

40

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по научной работе
Московского Политеха

А.Ю. Наливайко



«05» декабря 2025 г.

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОТЧЕТ

Исследование тенденций развития сегмента автономных
транспортных средств в России и мире

Руководитель работы
Начальник инфраструктурного
центра НТИ «Автонет»

А.В. Карловский

г. Москва, 2025 г.



**МОСКОВСКИЙ
ПОЛИТЕХ**



Автонет

Национальная
технологическая
инициатива

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕНДЕНЦИЙ РАЗВИТИЯ СЕГМЕНТОВ АВТОНОМНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ В РОССИИ И МИРЕ

Аналитический отчет



Москва 2025

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕНДЕНЦИЙ РАЗВИТИЯ СЕГМЕНТОВ АВТОНОМНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ В РОССИИ И МИРЕ

Аналитический отчет

Текстовое электронное издание

Москва
2025

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Ботвиньев А.И., эксперт ИЦ «Автонет» Московского Политеха

Ильдеменов Д.С., менеджер проектов ИЦ «Автонет»
Московского Политеха

Карловский А.В., начальник ИЦ «Автонет» Московского Политеха

Корзников А.М., заместитель начальника ИЦ «Автонет»
Московского Политеха, патентный поверенный РФ

РЕФЕРАТ

Отчет 130 с., 34 рис., 4 табл.

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ТРАНСПОРТ, ВАТС, ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ТРАНСПОРТНАЯ СИСТЕМА, ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ, ИНЖЕНЕРНО-КОММУНАЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ, АВТОНЕТ.

Объектом исследования выступает рынок автоматизированного транспорта в России и мире и его сегменты. Предмет исследования – инновационные разработки и технологии, организационные мероприятия, финансово-экономические условия, влияющие на развитие рынка.

Целью данного исследования является анализ условий развития автоматизированного автотранспорта.

Разработанный в ходе исследования отчет содержит анализ развития мирового и российского рынков автономных транспортных средств, современные тренды, основные драйверы роста и ограничения, а также особенности внедрения и поддержки в ведущих странах.

Представлен анализ ключевых сегментов автономного транспорта. В разделе о логистике людей исследуются тенденции развития городских беспилотных транспортных решений. Грузовая логистика представлена как перспективное направление внедрения автономных платформ. Раскрываются технологические аспекты, включая эволюцию систем управления, искусственный интеллект, сенсорные комплексы, решения в коммуникационной инфраструктуре, вопросы аппаратных платформ и интеграционных механизмов.

Проведено фокусное исследование сегмента инженерно-коммунальной автономной техники, выделяемого как один из наиболее перспективных для Российской Федерации. Подготовлен прогноз развития рынка коммунальной автономной техники, и дана подробная оценка рисков, барьеров и вызовов.

По результатам исследования сформулированы направления дальнейших шагов в развитии рынка автономных транспортных систем и рекомендации для государственных органов, бизнеса, инвесторов, а также для научно-образовательных организаций, с учетом нормативно-правовых, технологических и организационных факторов.

При проведении исследования использовались первичные и вторичные данные, в том числе опрос участников рынка НТИ «Автонет», результаты интервью участников мероприятий ИЦ «Автонет» Московского Политеха, статистические и аналитические данные, международные и российские аналитические материалы.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ	7
ВВЕДЕНИЕ	9
1. ОБЗОР МИРОВОГО И РОССИЙСКОГО РЫНКОВ АВТОНОМНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ	13
1.1. Эволюция и современные тенденции развития автономного транспорта	13
1.2. Главные драйверы и системные ограничения развития автономного транспорта	19
1.3. Анализ основных мировых регионов – лидеров по развитию автономных транспортных технологий	24
1.4. Состояние российского рынка: особенности внедрения, поддержки и драйверов развития.	28
2. АНАЛИЗ КЛЮЧЕВЫХ СЕГМЕНТОВ АВТОНОМНОГО ТРАНСПОРТА	32
2.1. Логистика людей	32
2.2. Грузовая логистика	36
2.3. Технологические аспекты развития автономного транспорта	48
2.3.1. Эволюция технологий автономного управления	48
2.3.2. Развитие искусственного интеллекта и его влияние на развитие автоматизированного транспорта	51
2.3.3. Сенсорные системы и технологии связи	55
2.3.4. Аппаратные платформы и интеграционные решения	58

2.4. Особенности инфраструктурного обеспечения	60
2.5. Экономические вопросы внедрения автономного транспорта	63
2.6. Модели финансирования и государственно-частное партнерство.....	68
3. ФОКУСНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ: СЕГМЕНТ АВТОНОМНОГО ИНЖЕНЕРНО-КОММУНАЛЬНОГО ТРАНСПОРТА.....	76
3.1. Основные направления развития автономной коммунальной техники в мире.....	76
3.2. Обзор автономной коммунальной техники и технологий, использующихся в России и за рубежом	78
3.3. Специфика применения в муниципальных службах и частных организациях	88
3.4. Оценка воздействия на предприятия, экономику, экологию и общество	92
3.5. Анализ рисков, вызовов и барьеров развития	96
3.6. Прогноз развития рынка автономной коммунальной техники в России	101
4. ПРОГНОЗЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ.....	106
4.1. Сценарный анализ развития рынка автономного транспорта до 2030 года.....	106
4.2. Рекомендации для государственных органов	110
4.3. Рекомендации для бизнеса и инвесторов.....	112
4.4. Рекомендации для научно-образовательного сегмента	116
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	120
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	123

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

ADS (Automated Driving System) – автоматическая система управления движением (АСУД).

AV (Autonomous vehicle) – автономный автомобиль.

LSAD (Low-Speed Automated Driving) – низкоскоростные автоматизированные системы вождения.

OEM (original equipment manufacturer) – производитель оригинального оборудования.

LCV – малотоннажные грузовые автомобили.

IMU – инерциальные измерительные модули.

GNSS – приемники спутниковой навигации.

V2X (vehicle-to-everything) – технологии обмена информацией между автомобилем и любым другим объектом посредством технологий беспроводной связи.

ADAS (Advanced Driver Assistance Systems) – передовые системы помощи водителю; включает спектр технологий, используемых для автоматизации, повышения безопасности и поддержки водителя при движении.

Классификация SAE – разработанная ассоциацией автомобильных инженеров (Society of Automotive Engineers) система уровней автономности транспортного средства. Включает шесть уровней:

Уровень 0 – нет автоматизации (No Automation). Водитель полностью управляет всеми аспектами движения – рулением, ускорением, торможением, контролем полосы, анализом дорожной ситуации. Система может только предупреждать о рисках, но не влияет на управление. Все решения принимает человек.

Уровень 1 – вспомогательная автоматизация (Driver Assistance). Система помощи может контролировать либо рулевое управление, либо ускорение/торможение — но не оба одновременно. Ответственность полностью на человеке.

Уровень 2 – частичная автоматизация (Partial Automation). Система контролирует несколько функций одновременно: руление и ускорение/торможение. Водитель обязан следить за дорогой и быть готовым в любой момент взять управление на себя.

Уровень 3 – условная автоматизация (Conditional Automation). Автомобиль может полностью контролировать вождение в заранее ограниченных условиях (например, движение по шоссе или в пробках) управляет направлением, ускоряется, тормозит и следит за дорожной ситуацией. Водителю остаётся за рулём и должен быть готовым немедленно взять управление при необходимости.

Уровень 4 – высокая автоматизация (High Automation). Автомобиль способен самостоятельно выполнять все задачи в большинстве дорожных ситуаций без участия человека, но только в рамках заранее определённой области или условий. Внутри этих зон водитель может полностью отказаться от контроля.

Уровень 5 – полная автоматизация (Full Automation). Машина полностью берёт на себя всю ответственность за управление в любых условиях: она может ездить по городу, трассе, в плохую погоду — везде, где способен поехать человек. Водитель не нужен, и как правило, отсутствует.

АТС – автоматизированные транспортные средства.

ВАТС – высокоавтоматизированные транспортные средства.

ДВС – двигатель внутреннего сгорания.

ЕАЭС – Евразийский экономический союз.

ЕС – Европейский Союз.

ИТС – интеллектуальная транспортная система.

ИИ – искусственный интеллект.

ИТ – информационные технологии.

ИКТ – инженерно-коммунальный транспорт.

НТИ – национальная технологическая инициатива.

РИД – результаты интеллектуальной деятельности.

СИМ – средство индивидуальной мобильности.

ЭМ – электромобиль.

ЭПР – экспериментальный правовой режим.

ВВЕДЕНИЕ

Обоснование актуальности исследования в контексте глобального и российского развития автономных транспортных средств

Развитие автономных транспортных средств (АТС) представляет собой одну из ключевых тенденций трансформации глобальной транспортной системы. Данная технология, основанная на прорывах в области искусственного интеллекта, машинного зрения и сенсорных систем, перешла из стадии концептуальной разработки в фазу коммерческих пилотных проектов. Такие компании, как Waymo и TuSimple, демонстрируют растущую зрелость решений в сегментах беспилотного такси и грузовых перевозок, свидетельствуя о начале этапа ранней коммерциализации.

Актуальность внедрения АТС обусловлена комплексом экономических и социальных факторов. Транспортная отрасль сталкивается с проблемой дефицита водительских кадров, высоким уровнем аварийности из-за человеческого фактора и ростом логистических издержек. Автономные технологии способствуют повышению безопасности дорожного движения, снижению операционных расходов и оптимизации транспортных потоков. Кроме того, интеграция АТС с электрическими платформами усиливает их вклад в области энергоэффективности и устойчивого развития.

Мировой опыт свидетельствует, что успешное развертывание автономного транспорта зависит не только от технологической готовности, но и от развитой инфраструктуры, адаптивного нормативно-правового регулирования и сформированного общественного запроса. Лидирующие юрисдикции реализуют комплексные стратегии, включающие создание гибких правовых рамок, стандартов безопасности, развитие сетей связи (5G, V2X) и интеграцию АТС в интеллектуальные транспортные системы.

Для России развитие сегмента АТС имеет стратегическое значение и сопряжено с уникальными условиями. К ним относятся разнообразие климатических и географических зон, специфика городской инфраструктуры, а также необходимость импортозамещения критических технологий в условиях внешних ограничений. При этом экстремальные погодные условия (снег, гололед, плохая видимость) создают полигон для отработки устойчивых решений, что может стать конкурентным преимуществом отечественных разработок.

В текущей фазе развитие рынка в России характеризуется реализацией ограниченных пилотных проектов в ряде регионов (Москва, Татарстан, Краснодарский край) и формированием необходимой нормативной базы. Перспективы масштабирования связаны с федеральной поддержкой, включая финансирование НИОКР, создание центров компетенций и механизмы льготного лизинга, что позволит увеличить долю автономной техники в парках городов-миллионников.

Таким образом, настоящее исследование актуально в силу необходимости комплексного анализа глобальных трендов, оценки потенциала и выработки рекомендаций для ускоренного развития сегментов АТС в России с учетом технологических, регуляторных и экономических аспектов.

Цели, задачи и методические подходы исследования

Настоящее исследование нацелено на проведение комплексного анализа текущего состояния, динамики и перспектив развития сегментов автономных транспортных средств в Российской Федерации с учетом общемировых тенденций. На основе проведенного анализа работа предполагает разработку системы практических рекомендаций для ключевых участников отрасли, способствующих ускорению технологического развития и коммерциализации автономных транспортных систем.

Для достижения поставленной цели в рамках исследования последовательно решается ряд взаимосвязанных задач.

Первоначальной задачей выступает проведение сравнительного анализа технологического развития и основных направлений эволюции мирового рынка автономных транспортных систем с идентификацией регионов-лидеров и их конкурентных преимуществ.

Затем осуществляется оценка современного состояния российского рынка, включая особенности внедрения технологий, активность ключевых участников и меры государственной поддержки.

Следующим этапом становится детальный анализ основных сегментов применения автономных транспортных средств: перевозки пассажиров, грузовые перевозки и инженерно-коммунальный транспорт с точки зрения их технологической готовности, экономической обоснованности и потенциала роста в условиях российской действительности.

Важным компонентом исследования является системное выявление технологических, нормативно-правовых, инфраструктурных и экономических ограничений, сдерживающих развитие рынка в России.

Завершающим этапом становится разработка сценарных прогнозов развития до 2035 года и формирование адресных рекомендаций для органов государственной власти, коммерческих предприятий и научно-образовательных организаций.

Структура исследования построена по принципу последовательного перехода от общего к частному и от аналитического рассмотрения к практическим выводам. В ходе исследования были использованы следующие методики исследования: контент-анализ, включающий систематическое изучение содержания документов, сообщений, публикаций и иных материалов, сравнительный анализ региональных стратегий, фокус-группы, включающие проведение групповых обсуждений, интервью с экспертами компаний – участников рынка «Автонет», проведение опросов.

Подготовленный по результатам исследований аналитический отчет представляет всесторонний обзор глобального и российского рынка автономных транспортных систем. В первой главе раскрываются актуальность темы и обоснование необходимости исследования, а также формулируются цели, задачи и применяемые методологические подходы.

Вторая глава содержит анализ развития мирового и российского рынков автономных транспортных средств, подробно рассматривает этапы эволюции технологий, современные тренды, основные драйверы роста и ограничения, а также особенности внедрения и поддержки в ведущих странах. Последовательно освещаются позиции регионов-лидеров и базовые характеристики российского рынка,

включая специфику государственного регулирования и динамику внедрения инноваций.

Третья глава посвящена анализу ключевых сегментов автономного транспорта. В разделе о логистике людей исследуются тенденции развития городских беспилотных транспортных решений. Грузовая логистика представлена как перспективное направление внедрения автономных платформ. Раскрываются технологические аспекты, включая эволюцию систем управления, искусственный интеллект, сенсорные комплексы, решения в коммуникационной инфраструктуре, вопросы аппаратных платформ и интеграционных механизмов. Кроме того, анализируются особенности обеспечения транспортной инфраструктуры, экономические аспекты и возможные модели финансирования.

Четвёртая глава включает фокусное исследование сегмента инженерно-коммунальной автономной техники, выделяемого как один из наиболее перспективных для Российской Федерации. Рассматриваются основные направления мирового развития, практические внедрения в России и за рубежом, специфика использования в муниципальном и частном секторах, а также воздействие на экономику, экологию и социальную сферу. Дается подробная оценка рисков, барьеров и вызовов, проводится прогноз развития рынка коммунальной автономной техники.

Пятая глава обобщает результаты сценарного анализа возможных траекторий роста автономного транспорта до 2030 года. В этом разделе формулируются рекомендации для государственных органов, бизнеса, инвесторов, а также для научно-образовательных организаций, учитывающие комплексный анализ нормативно-правовых, технологических и организационных факторов.

В заключении отчёта подведены итоги исследования, представлены ключевые выводы и направления дальнейших шагов в развитии рынка автономных транспортных систем.

1. ОБЗОР МИРОВОГО И РОССИЙСКОГО РЫНКОВ АВТОНОМНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

1.1. Эволюция и современные тенденции развития автономного транспорта

Развитие автономных транспортных средств имеет продолжительную историю, берущую начало в первой половине XX века. Первые эксперименты с автоматизированным управлением проводились в авиации, где создавались системы автоматической стабилизации полета, позволявшие летательным аппаратам сохранять заданный курс без постоянного вмешательства пилота. Эти разработки стали важным этапом в формировании принципов автономного управления сложными динамическими системами. К 1950-м годам в автомобильной промышленности появились системы круиз-контроля, позволившие поддерживать заданную скорость без постоянного участия водителя. Эти технологии заложили фундамент для дальнейшего движения в направлении автономности, создав базовые принципы взаимодействия технических систем и оператора.

Исторический анализ показывает, что развитие автономных систем шло параллельно в различных отраслях транспорта. В железнодорожной сфере автоматизация началась с систем сигнализации и блокировки, постепенно эволюционировав до полноценного автоматического управления движением поездов. В морском транспорте разрабатывались системы автоматического прокладывания курса и предотвращения столкновений. Каждая из этих областей внесла свой вклад в общее развитие технологий автономного управления, создавая основу для их интеграции в автомобильный транспорт.

Знаковым событием стало открытие в 1981 году в Японии первой в мире полностью автоматизированной линии метро, где поезда двигались без машинистов в регулярном пассажирском сообщении. Данный пример демонстрирует, что изначально полная автоматизация управления была успешно реализована именно на рельсовом транспорте, функционирующем в строго регламентированных условиях. В

последующие годы подобные системы получили распространение в метрополитенах Европы и Азии, подтвердив надежность полностью автоматизированного управления в условиях выделенных путей. Особенностью этих систем стало использование множества дублирующих систем безопасности, обеспечивающих бесперебойную работу даже при отказах отдельных компонентов.

Развитие автоматизированных систем метрополитена показало важность создания комплексной инфраструктуры для поддержки автономного транспорта. Это включало не только техническое оснащение подвижного состава, но и модернизацию путевого хозяйства, систем связи и управления. Опыт эксплуатации таких систем продемонстрировал возможность достижения высокой точности движения и сокращения интервалов между поездами, что значительно повысило пропускную способность линий. Эти успехи стали важным психологическим и технологическим прорывом, доказавшим возможность безопасной эксплуатации полностью автономного транспорта.

В автомобильной индустрии эволюция автономности происходила постепенно через внедрение ассистентов водителя. После систем круиз-контроля и парковочных радаров последовало развитие функций распознавания дорожных знаков, удержания в полосе движения и автоматического торможения. В последние два десятилетия индустрия перешла к созданию и коммерциализации систем автопилотирования второго-четвертого уровня, способных управлять транспортным средством без вмешательства человека на большинстве типов дорог. Каждый новый уровень автономности требовал совершенствования сенсорных систем и алгоритмов принятия решений.

Современные системы автономного управления автомобилем представляют собой сложные комплексы, включающие разнообразные датчики – лидары, радары, камеры и ультразвуковые сенсоры. Информация от этих устройств обрабатывается мощными вычислительными системами, использующими алгоритмы машинного обучения для распознавания объектов и прогнозирования их поведения. Особое внимание уделяется созданию отказоустойчивых архитектур, способных обеспечивать безопасность даже при частичных отказах оборудования. Разработка таких систем требует тесной интеграции усилий автомобилестроителей, производителей электроники и программного обеспечения.

Особенно показательной представляется эволюция подходов к автономизации грузовых перевозок, где сформировался четкий поэтапный сценарий внедрения. В настоящее время, когда транспорт полностью контролируется людьми, отмечаются ограничения по времени работы и высокие операционные расходы. Переходный этап, ориентированный на период 2025–2030 годов, предполагает организацию автономного движения между логистическими хабами по автомагистралям с использованием передаточных пунктов. В этой модели водитель выполняет первую и последнюю милю, что позволяет снизить операционные расходы на 25–30% и отработать технологии в контролируемых условиях до их распространения на более сложные городские среды.

Важным аспектом поэтапного внедрения является параллельное развитие нормативной базы и страхования автономных транспортных средств. На начальном этапе особое внимание уделяется созданию стандартов взаимодействия между автономными грузовиками и инфраструктурой автомагистралей. Это включает разработку систем связи «автомобиль – инфраструктура» и «автомобиль – автомобиль», позволяющих координировать движение и оперативно реагировать на изменения дорожной обстановки. Одновременно ведется работа по адаптации правил дорожного движения и стандартов безопасности для автономного транспорта.

К 2030–2035 годам ожидается переход к полной автономности, когда беспилотные грузовики смогут осуществлять сквозную доставку «от склада до двери» без участия человека, обеспечивая непрерывную работу и сокращая затраты на 40–45%. Преимуществом поэтапного подхода является минимизация технологических рисков, постепенная адаптация инфраструктуры и нормативной базы, а также накопление статистики надежности систем. Такой подход также позволяет поэтапно решать вопросы страхования и ответственности при эксплуатации автономного транспорта.

В ходе исследования был проведен опрос о достижении в мире возможности свободно пользоваться автономным транспортом. Результаты ответов приведены на рисунке 1.

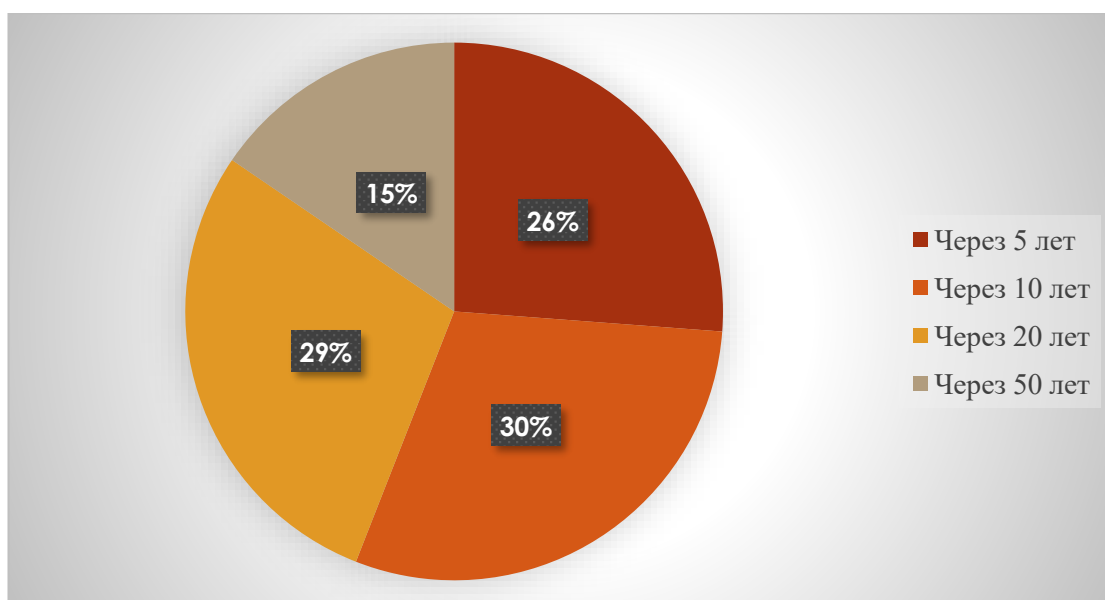


Рисунок 1 – Доля экспертов, предполагающих достижение возможности свободно пользоваться автономным транспортом в определённый срок

Переход к полной автономности потребует решения ряда сложных технических и организационных задач. Среди них – обеспечение безопасности в сложных погодных условиях, создание систем резервирования для критически важных функций, разработка протоколов взаимодействия с экстренными службами. Особое внимание уделяется вопросам кибербезопасности, поскольку автономные транспортные средства представляют собой сложные компьютерные системы, уязвимые для внешних атак. Решение этих задач требует кооперации производителей транспортных средств, разработчиков программного обеспечения и государственных регуляторов.

Современный этап характеризуется активными испытаниями и запуском коммерческих пилотных проектов лидерами отрасли. К наиболее значимым тенденциям последних лет относится развертывание сетей беспилотного такси в крупных городах Китая и США, которые уже осуществляют регулярные пассажирские перевозки. Параллельно в логистической отрасли растет применение автономных грузовых платформ, направленных на снижение себестоимости перевозок и решение проблемы дефицита водителей. Особое внимание уделяется разработке стандартов взаимодействия автономных транспортных средств с инфраструктурой «умного города».

Анализ современных пилотных проектов показывает разнообразие подходов к внедрению автономного транспорта. В некоторых

случаях используется принцип постепенного расширения зоны действия – от ограниченных территорий к полноценной эксплуатации на городских улицах. Другие проекты ориентированы на создание специализированных зон с полностью автономной транспортной системой. Особый интерес представляют проекты, сочетающие автономные транспортные средства с традиционными видами транспорта в единой системе мобильности. Это позволяет оптимизировать использование инфраструктуры и предоставлять пользователям комплексные транспортные услуги.

Переход к автономным системам стал возможен благодаря серии технологических прорывов. В середине 2010-х годов прогресс в области обучения нейронных сетей и распространение высокоточных лидарных систем существенно расширили функциональные возможности беспилотных решений. Согласно скорректированным отраслевым прогнозам, к концу текущего десятилетия ожидается начало серийного производства автомобилей с третьим и четвертым уровнями автономности, тогда как в наиболее продвинутых сервисах активно отрабатываются элементы полностью автономного уровня управления. Совершенствование вычислительных систем и алгоритмов искусственного интеллекта продолжает расширять возможности автономного транспорта.

Эксперты планируют поэтапный переход к внедрению беспилотных транспортных систем¹.

Сначала автономные решения появляются в контролируемых и предсказуемых зонах, где минимален риск для людей и инфраструктуры: склады, логистические центры, промышленные территории, аэропорты и портовые зоны. Здесь минимальные технологические и правовые барьеры позволяют достичь высокой отдачи от инвестиций – окупаемость подобных внедрений оценивается как одна из самых быстрых, обычно в течение 1–3 лет.

В этих условиях применяются автономные погрузчики, транспортные роботы, сельскохозяйственная техника и специальные средства для перевозки грузов. Это комфортная стартовая площадка для развития беспилотников, которая характеризуется простотой

¹ Робот за рулем: перспективы перехода на беспилотные автомобили в России Максим Болотских, Андрей Павлович, Александр Рыжов Москва, 2025 <https://yakovpartners.ru/publications/self-driving-cars/?ysclid=mfwh03zblq741170234>

интеграции, быстрым экономическим результатом и высоким доверием со стороны бизнеса. Особое значение имеет отработка технологий в условиях ограниченного пространства перед их выходом на открытые дороги.

На следующем этапе (сроки 3–7 лет) беспилотные технологии выходят за пределы изолированных территорий и начинается внедрение на магистральных направлениях, в грузоперевозках на дальние расстояния, а также в городской логистике и сервисах доставки последней мили. Предполагается, что вопросы регулирования, технических стандартов, безопасности движения и потребности в адаптации инфраструктуры, решатся в ближайшие годы. Примерами такого внедрения служат карьерная техника, малотоннажные грузовые автомобили (LCV), городские сервисные роботы и передовые магистральные автопоезда.

Сроки достижения массового эффекта планируется через 7–10 лет. Сюда входят городские беспилотные автобусы, шаттлы и специализированная роботизированная техника для коммунального обслуживания, уборки, перевозки жителей мегаполисов. Внедрение в этой сфере сдерживается технологическими и нормативными барьерами. Для массового выхода необходима комплексная реализация масштабных инфраструктурных проектов, принятие новых стандартов безопасности и преодоление недоверия со стороны общества.

В ходе исследования был проведен опрос, который показал, что 45% его участников ожидают достижения доли автономного транспорта 25% общего рынка транспортных средств в течение 10 лет. А достижения доли АТС 25% в течение 20 лет ожидает 68% участников опроса.

На рисунке 2 представлены результаты опроса о периоде, когда следует ожидать достижения доли автономного транспорта 25% общего рынка транспортных средств.

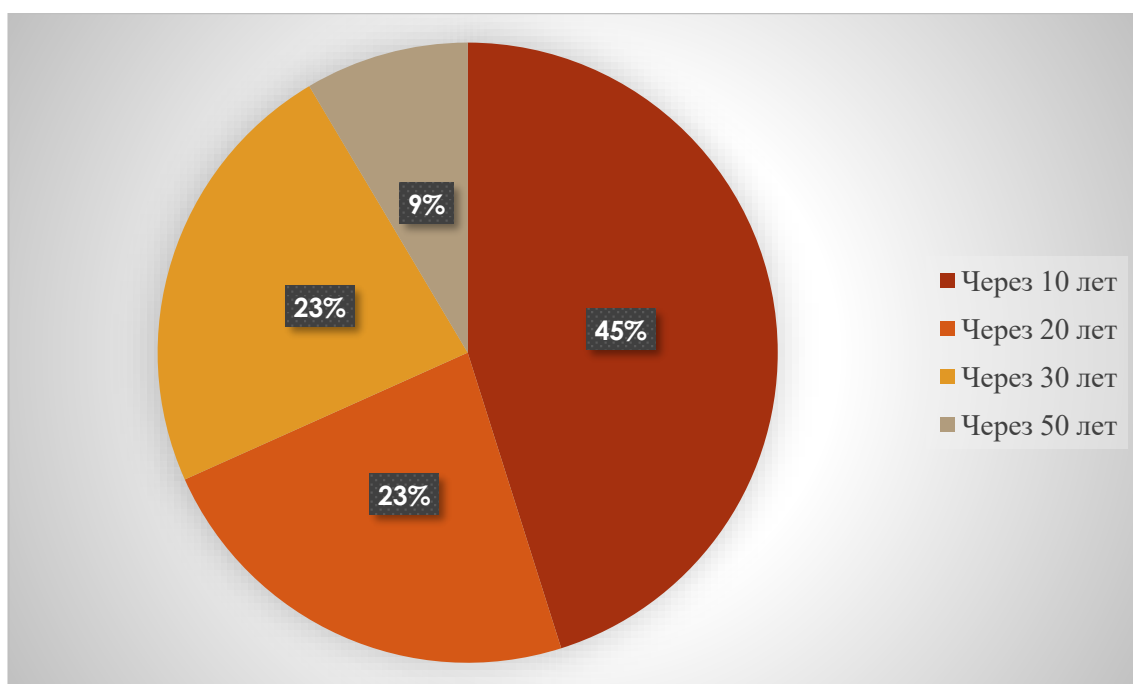


Рисунок 2 – Доля участников опроса, ожидающих достижения доли автономного транспорта 25% от общего рынка транспортных средств

В целом, распространение и интеграция беспилотных автомобилей – процесс постепенный: он проходит через стадию локального тестирования и пилотных внедрений, а в дальнейшем – широкую экспансию в отрасли логистики, городского и пассажирского транспорта, а также в системах управления городской средой. Достижение устойчивого эффекта возможно лишь при согласованном решении правовых, технологических и социальных проблем, а также при развитии инфраструктуры для обеспечения надёжности и безопасности автономного движения. Особое значение имеет международная гармонизация стандартов и создание единых требований к автономным транспортным системам.

1.2. Главные драйверы и системные ограничения развития автономного транспорта

Развитие автономного транспорта представляет собой сложный, нелинейный процесс, темпы и направления которого формируются под воздействием множества стимулирующих факторов, которые, в свою очередь, сталкиваются с системными барьерами. Для формирования реалистичного понимания перспектив развития автономных транспортных систем как в мире, так и в России, необходим детальный анализ этой сложной динамики.

Со стороны драйверов развития наблюдается устойчивая комбинация не только общих технологических трендов, но и конкретных экономических и социальных импульсов. В экономической сфере особое значение приобретает логистическая эффективность.

В области грузоперевозок, особенно на магистральных маршрутах, основным параметром становится оценка совокупной стоимости владения транспортом. Автономные системы, позволяющие исключить расходы на оплату труда водителей дальних рейсов, обязательные перерывы в их работе и соблюдение строгих режимов труда, демонстрируют потенциал для сокращения операционных издержек на 30–40% в долгосрочной перспективе. В пассажирских перевозках аналогичный эффект может быть достигнут благодаря модели «мобильность как услуга», где внедрение беспилотных такси позволяет оптимизировать использование транспортного парка и значительно уменьшить одну из крупнейших статей расходов – фонд заработной платы водителей.

Другим важным драйвером выступают вызовы урбанистики и растущее стремление к повышению качества городской среды. Крупные мегаполисы по всему миру сталкиваются с острой проблемой перегруженности транспортных систем, заторов и загрязнения воздуха. В этом контексте автономный транспорт, будучи интегрированным в интеллектуальные системы управления трафиком, рассматривается как действенное средство для повышения пропускной способности дорог на 15–20%. Этот потенциал реализуется за счет минимизации числа ошибок водителей, снижения агрессивного вождения и общей рационализации транспортных потоков.

Не менее значимым фактором является демографическая ситуация и структурные изменения на рынке труда. Во многих развитых странах, включая Россию, наблюдается устойчивый дефицит профессиональных водителей, усугубляемый старением кадрового состава. В этих условиях автономизация транспорта становится стратегическим ответом на назревающий структурный кризис, позволяя компенсировать нехватку рабочих рук и снижая зависимость всей отрасли от кадровых ограничений.

Особого внимания заслуживает современная тенденция, связанная со смещением акцента в сторону моделей совместного пользования технологиями. Согласно актуальным научным представлениям, максимальный положительный эффект для городской среды

достигается именно при комбинации беспилотных технологий и экономики совместного потребления. Проведенные исследования показывают, что наиболее значимой для города и его жителей оказывается именно технология совместного использования, позволяющая решить транспортные проблемы, снизить напряженность на дорогах, уменьшить ресурсоемкость и стоимость автомобильной поездки. Эффективность моделей совместного использования транспортных средств подтверждается авторитетными исследованиями. Данные международных организаций и ведущих консалтинговых компаний свидетельствуют о значительном повышении коэффициента использования автомобилей при переходе к каршерингу. Если личный автомобиль в среднем используется около 1 часа в сутки, то каршеринговый транспорт эксплуатируется до 13–15 часов ежедневно, демонстрируя более высокие показатели загрузки.

Несмотря на мощные драйверы, развитие автономного транспорта сталкивается с комплексом нормативно-правовых ограничений, носящих системный характер. Существующие нормативы в большинстве стран не принимают возможность исключения водителя из контроля над транспортным средством. Это создает ситуацию, при которой легальная эксплуатация полностью автономных коммерческих транспортных средств, таких как роботакси или беспилотные грузовики, становится невозможной, что сдерживает инвестиции и замедляет темпы технологического развития.

Параллельно развитие отрасли сдерживается неразрешенными вопросами страхования и распределения ответственности. В случае дорожно-транспортных происшествий с участием автономных систем не существует четких правовых механизмов для определения виновной стороны – является ли ею производитель программного обеспечения, владелец транспортного средства, оператор системы или разработчик аппаратных компонентов.

Отсутствие специализированных страховых продуктов для транспортных средств высших уровней автономности, обусловленное как недостатком статистических данных для расчета рисков, так и правовой неопределенностью, приводит к тому, что существующие страховые тарифы делают пилотные проекты коммерчески нецелесообразными. Без создания адаптированной системы страхования, учитывающей распределенный характер ответственности в автономных системах, массовое внедрение технологии представляется маловероятным.

Серьезным ограничивающим фактором выступает наблюдаемый в глобальном масштабе пересмотр сроков коммерциализации автономных технологий. Согласно данным международных исследований, временные горизонты внедрения ключевых сценариев использования высших уровней автономности сдвинулись на два-три года по сравнению с прогнозами, сделанными ранее. Этот системный сдвиг свидетельствует о недооценке технологической сложности создания надежных и безопасных систем на базе искусственного интеллекта. Оптимистичные прогнозы быстрого перехода к полностью автономному транспорту требуют корректировки в сторону более реалистичных и постепенных сценариев развития.

Главной технологической проблемой остается достижение гарантированно высокого уровня надежности в так называемых нештатных ситуациях, то есть в редких и непредсказуемых сценариях. Речь идет о нестандартном поведении пешеходов, сложных метеоусловиях и необычных дорожных ситуациях, которые трудно формализовать и включить в обучающие выборки для алгоритмов искусственного интеллекта. Обеспечение уровня безопасности, сопоставимого с авиационными стандартами, требует колоссальных и непрерывных инвестиций в тестирование и доработку алгоритмов, включая создание расширенных симуляционных сред и проведение миллионов километров виртуальных и реальных испытаний.

Существенным барьером является недостаточная готовность дорожно-транспортной инфраструктуры к эксплуатации систем высших уровней автономности. Для их стабильной и безопасной работы требуется повсеместное развитие «умной» разметки, широкое внедрение телекоммуникационных сетей пятого поколения и технологий взаимодействия между транспортными средствами и инфраструктурой. Бизнес не готов пока массово инвестировать в технологии при отсутствии развитой инфраструктуры, а государство не станет проводить масштабную модернизацию дорог без значительного парка автономных автомобилей, что создает замкнутый круг, требующий координации усилий всех участников рынка.

Наконец, немаловажную роль играют социальные барьеры. Доверие широкой общественности к новым технологиям остается достаточно низким, а в публичном поле сохраняется обеспокоенность вопросами защиты персональных данных и потенциальной уязвимостью беспилотных систем к кибератакам.

В ходе исследования был проведен опрос, результаты которого представлены на рисунке 3.



Рисунок 3 – Барьеры внедрения автономного транспорта.

Результаты опроса показывают, что население рассматривает создание дополнительных рисков аварийности существенным ограничением внедрения ВАС. Эти социально-психологические факторы оказывают непосредственное влияние на скорость и успех коммерческого внедрения инноваций, требуя проведения целенаправленной работы по информированию населения и демонстрации реальных преимуществ и уровня безопасности автономных транспортных систем.

1.3. Анализ основных мировых регионов – лидеров по развитию автономных транспортных технологий

Мировой рынок автономных транспортных систем демонстрирует выраженную региональную специализацию, где лидирующие позиции распределяются между несколькими центрами, каждый из которых развивает отрасль на основе уникальных конкурентных преимуществ и стратегических приоритетов. Сложившаяся география технологического развития отражает не только текущий промышленный и научный потенциал территорий, но и особенности государственной политики, инвестиционного климата и готовности общества к принятию инновационных решений в транспортной сфере.

Динамика роста рынка характеризуется ежегодным увеличением на 12-15 процентов, при этом наибольшая активность наблюдается в сегментах грузовых перевозок и общественного транспорта.

Китайская Народная Республика демонстрирует комплексный подход к развитию автономного транспорта, сочетающий масштабные государственные инвестиции с активностью частных технологических компаний. Помимо широко известных достижений в сегменте роботизированных такси, китайские разработчики добились значительных успехов в создании специализированных автономных систем для логистических центров и портовых терминалов. Компания Baidu Apollo не только перешла к коммерческому запуску беспилотных такси в крупных городских агломерациях, но и разрабатывает интегрированные платформы для управления городским транспортом, объединяющие данные с тысяч датчиков и камер наблюдения.

Китайский подход характеризуется также формированием замкнутой технологической экосистемы, в которую интегрированы отечественные сенсоры, вычислительные платформы и программное обеспечение. Такой комплексный подход позволяет контролировать все ключевые элементы транспортных технологий, минимизируя внешние зависимости и ускоряя внедрение инноваций. На практике это проявляется в тесном взаимодействии производителей электромобилей, лидаров, полупроводников и специализированного программного обеспечения, формируя единую вертикально интегрированную структуру² (см. рис. 4). В результате внутренние ресурсы

² Главная сила Китая – взаимопроникающие технопромышленные экосистемы
<https://dzen.ru/a/Z5KQRKQJdz3CvmtV>

используются для быстрой адаптации и масштабирования решений, что способствует технологическому лидерству страны в отрасли автономного транспорта и робототехники.

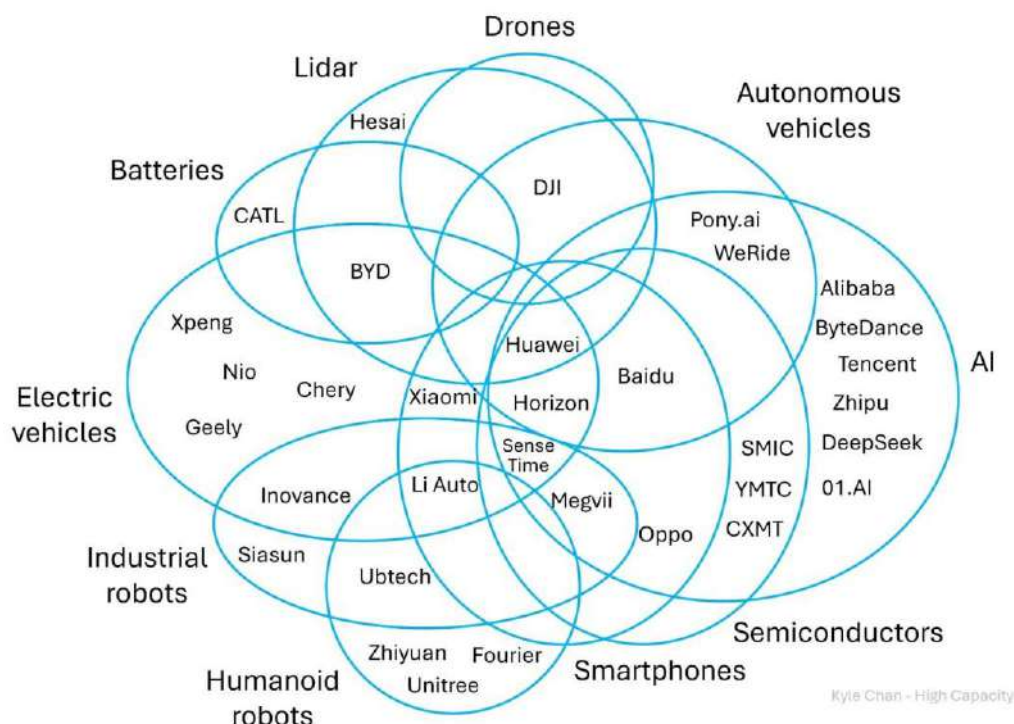


Рисунок 4 – Замкнутая технологическая экосистема Китая в сфере автономного транспорта и робототехники: ключевые компании и их пересечения по направлениям

Особого внимания заслуживает развитие в Китае нормативной базы. За последние три года принято более 15 национальных стандартов, регулирующих вопросы тестирования и эксплуатации автономных транспортных средств. В Китае принята Национальная стратегия развития интеллектуальных транспортных систем, предусматривающая создание специальных зон для тестирования и коммерческой эксплуатации автономного транспорта. В провинциях Гуандун и Чжэцзян созданы специальные экономические зоны с упрощенными процедурами сертификации, что ускорило внедрение перспективных разработок. Параллельно ведется работа по созданию единого информационного пространства для автономного транспорта, включающего центры обработки данных и системы мониторинга в реальном времени.

В Северной Америке сформировалась уникальная экосистема развития автономного транспорта, объединяющая технологических гигантов, автомобильных производителей и специализированные

стартапы. Соединенные Штаты Америки демонстрируют разнообразие бизнес-моделей – от сервисов роботакси до решений для автономных грузовых перевозок. Компания Waymo не только предоставляет коммерческие услуги в Финиксе и Калифорнии, но и развивает партнерскую сеть с производителями автомобилей для масштабирования технологий.

Особенностью американского рынка является активное развитие специализированных решений для грузовых перевозок. Компании Embark Trucks, TuSimple и Aurora разрабатывают системы, ориентированные на эксплуатацию в различных климатических и дорожных условиях. При этом значительное внимание уделяется вопросам стандартизации и страхования – за последние два года в 15 штатах приняты законы, регулирующие ответственность при эксплуатации автономных систем.

В Соединенных Штатах Америки регулирование автономного транспорта осуществляется на двух уровнях: федеральном и уровне штатов. Национальная администрация безопасности дорожного движения постепенно обновляет правила, устраняя ограничения на использование транспортных средств без традиционных органов управления. При этом отдельные штаты, такие как Калифорния и Аризона, разработали собственные нормативно-правовые базы, что создает определенные сложности для эксплуатации автономных систем между штатами.

Канада развивает автономный транспорт с акцентом на решения для сложных погодных условий. В провинциях Онтарио и Квебек реализуются программы тестирования автономных транспортных средств в зимний период, что позволяет отрабатывать работу сенсорных систем и алгоритмов управления в условиях снега и гололеда. Канадские исследовательские центры активно сотрудничают с европейскими партнерами в области разработки всепогодных систем автономного вождения.

Европейский союз демонстрирует скоординированный подход к развитию автономного транспорта, основанный на принципах безопасности и устойчивого развития. Нормативная база ЕС постепенно унифицируется – в 2024 году приняты поправки к директивам, регулирующим требования к системам автоматического управления и их сертификации. Особенностью европейского подхода является интеграция автономного транспорта в общую стратегию «Зеленого

курса», что определяет приоритетность разработок, направленных на снижение выбросов и энергопотребления.

Германия укрепляет свои позиции как технологический лидер региона. Помимо деятельности автомобильных концернов, развивается сеть исследовательских центров, специализирующихся на вопросах искусственного интеллекта для транспортных систем. Франция делает акцент на городской мобильности – в Париже и Лионе реализуются программы по интеграции автономного транспорта в существующую инфраструктуру общественного транспорта. Великобритания после выхода из ЕС развивает собственную систему регулирования, создавая благоприятные условия для тестирования инновационных решений.

Скандинавские страны и Нидерланды развивают автономный транспорт в тесной связи с концепциями умного города и устойчивой мобильности. В Швеции и Норвегии реализуются программы по созданию беспилотного общественного транспорта для удаленных регионов, что решает проблему транспортного обеспечения в условиях низкой плотности населения. Финляндия развивает технологии автономной логистики, используя свои компетенции в области телекоммуникаций и обработки данных.

Важным аспектом развития отрасли является международная кооперация. Несмотря на региональные различия в подходах, наблюдается тенденция к гармонизации технических стандартов и процедур сертификации. Международные организации, включая ООН и Международную организацию по стандартизации, работают над созданием единых требований к системам автономного управления. Параллельно развиваются отраслевые альянсы, объединяющие производителей из разных регионов для совместной разработки ключевых технологий.

Сравнительный анализ региональных стратегий позволяет выделить несколько моделей развития. Китай демонстрирует централизованный подход с активной ролью государства, Северная Америка – рыночно-ориентированную модель с разнообразием бизнес-решений, Европа – регулируемое развитие с акцентом на безопасность и устойчивость, Япония и Южная Корея ориентируются на гармонизацию национальных стандартов с международными практиками, уделяя особое внимание вопросам кибербезопасности и защиты персональных данных.

1.4. Состояние российского рынка: особенности внедрения, поддержки и драйверов развития

Российский рынок автономного транспорта демонстрирует устойчивый рост и значительный потенциал развития, берущий начало в 2010–2011 годах. В настоящее время на базе отечественных разработок формируются новые сегменты транспортных услуг и промышленного производства. Развитие осуществляется в рамках формирующейся нормативной базы, где ключевым инструментом выступают экспериментальные правовые режимы.

Основным инструментом развития является проект «Беспилотные логистические коридоры». Это стратегический проект Минтранса России, в рамках которого на дорогах общего пользования уже два года используются беспилотные грузовики для перевозки реальных грузов. Правительство Российской Федерации продлило до 12 ноября 2028 года срок действия экспериментального правового режима в рамках проекта «Беспилотные логистические коридоры» по эксплуатации высокоавтоматизированных транспортных средств³. Утверждены требования к безопасности беспилотников и определен порядок их оценки испытательными лабораториями – организациями, которые будут выдавать сертификат соответствия ВАТС – подтверждать, что машина безопасна.

В эксперименте теперь задействованы 13 регионов: Москва, Санкт-Петербург, Московская, Ленинградская, Новгородская, Владимирская, Нижегородская, Свердловская, Тверская области, Пермский край, а также Республика Башкортостан, Республика Татарстан и Чувашская Республика.

В проекте «Беспилотные логистические коридоры» участвуют отечественные перевозчики и ритейлеры, среди которых: ООО «ПЭК», АО «Национальный перевозчик», ООО «Агро-Авто» (Х5), ПАО «Магнит», ООО «Автотех» и ООО «Газпромнефть-Снабжение» осуществляют грузоперевозки ВАТС на регулярной основе. На трассе используются беспилотные грузовики двух производителей – «КАМАЗ» и Navio («Автотех»)

³ <https://mintrans.gov.ru/press-center/news/12260>

В текущий момент преобладает транспорт с третьим уровнем автономности, однако на магистралях проходят испытания систем четвертого уровня. Яркими примерами служат испытания беспилотных грузовиков КАМАЗ на трассе М-11 «Нева» и эксплуатация шаттлов «Симбай» в инновационном центре «Сколково», где за два года перевезено более 50 тысяч пассажиров.

За время проведения экспериментов накоплен суммарный пробег в 23 миллиона километров, совершено свыше 100 тысяч поездок в сегменте беспилотного такси. Российские компании демонстрируют значительные успехи: компания «Яндекс» провела испытания в Москве с пробегом более 5 миллионов километров, компания «Cognitive Technologies» разработала систему компьютерного зрения для сельскохозяйственной техники, компания «ГАЗ Групп» создала автономный электробус для городских маршрутов.

Россия формирует адаптивную модель, ориентированную на специфические климатические и логистические условия. Эти различия определяют не только текущие достижения регионов, но и их перспективы в средне- и долгосрочной перспективе. Россия развивает автономный транспорт, ориентируясь на адаптацию к экстремальным климатическим условиям и протяженным логистическим маршрутам, с активным использованием экспериментальных правовых режимов и развитием специализированных решений в партнерстве государства и бизнеса.

Критическим барьером в Российской Федерации выступает отсутствие нормативно-правовой базы. Сейчас формирование нормативной базы для автономного транспорта осуществляется в рамках Федерального закона «Об экспериментальных правовых режимах в сфере цифровых инноваций».

Особенностью российского подхода является требование обязательного наличия дистанционного оператора-диспетчера, способного вмешаться в управление транспортным средством. Данное требование обусловлено необходимостью обеспечения дополнительного уровня безопасности на текущем этапе развития технологий. Современное российское законодательство предусматривает возможность наличия специальных зон, где действуют адаптированные правила дорожного движения и упрощенные процедуры сертифика-

ции автономных транспортных средств. Такой подход позволяет совместить тестирование новых технологий с обеспечением необходимого уровня безопасности участников дорожного движения.

Установление четкого правового статуса автономных транспортных средств и единой классификации является фундаментальным условием для развития отрасли. Отсутствие продуманной правовой инфраструктуры создает существенные барьеры для инвестиций, исследований и коммерциализации технологий. Формирование сбалансированного регуляторного подхода, учитывающего как необходимость обеспечения безопасности, так и стимулирования инноваций, представляет собой одну из наиболее актуальных задач для законодателей и регуляторов во всем мире.

Подготовлен проект федерального закона «О высокоавтоматизированных транспортных средствах», предусматривающий переход к штатной эксплуатации. Согласно прогнозам, к 2035 году более 25% автомобилей на дорогах России будут беспилотными, а к 2042 году эта доля может превысить 80%. Рост предполагает поэтапное внедрение: от складов и логистических центров к магистральной логистике и далее к городской перевозке пассажиров.

Министерство транспорта Российской Федерации осуществляет формирование нормативной базы и создание правовых условий для тестирования и эксплуатации автономных транспортных средств в рамках скоординированной работы по двум национальным проектам – «Инфраструктура для жизни» и «Цифровая экономика». В рамках первого проекта развиваются интеллектуальные транспортные системы, цифровые карты и адаптивные светофорные объекты, что уже позволило городским агломерациям Красноярска и Тюмени достичь второго уровня зрелости таких систем через установку более 500 адаптивных светофоров и внедрение системы приоритетного проезда общественного транспорта.

Параллельно в сфере нормативного регулирования ведется активная работа над совершенствованием законодательной базы при участии крупнейших игроков рынка, включая компании «КАМАЗ» и «Яндекс», которые участвуют в разработке поправок к Правилам дорожного движения для легализации эксплуатации транспортных средств четвертого уровня автономности. Ожидается, что принятие соответствующих нормативных актов создаст условия для начала массового использования беспилотного транспорта к 2027–2028 годам.

Эксперты подтверждают значительный экономический потенциал внедрения автономного транспорта, оценивая возможный ежегодный экономический эффект на уровне 4,6 триллионов рублей при условии стимулирования частных инвестиций и построения интеллектуальной инфраструктуры общей стоимостью 1,5 триллионов рублей до 2035 года. Дополнительный эффект может быть получен от сокращения числа дорожно-транспортных происшествий на 40–45 процентов.

Факторами развития выступают технологические достижения в области искусственного интеллекта, растущий спрос на экологически чистый транспорт и глобальная тенденция перехода на электрическую тягу, что нашло отражение в запущенной в 2024 году программе субсидирования производства электромобилей с элементами автономного управления. Перспективы развития связаны с совершенствованием нормативной базы, расширением экспериментальных зон, укреплением кооперации между научными центрами, бизнесом и государством, а также адаптацией систем к сложным климатическим условиям и специфическим требованиям российских дорог.

2. АНАЛИЗ КЛЮЧЕВЫХ СЕГМЕНТОВ АВТОНОМНОГО ТРАНСПОРТА

2.1. Логистика людей

Сегмент автономных перевозок пассажиров представляет собой динамично развивающееся направление, включающее несколько взаимосвязанных компонентов: роботизированные такси, автономный общественный транспорт и комплексные системы предоставления транспортных услуг по подписке.

Роботизированные такси как направление представлено автономными автомобилями и микроавтобусами, осуществляющими пассажирские перевозки без участия человека-водителя. Мировыми лидерами в данной области демонстрируются различные подходы к реализации технологии. Компания Waymo является одним из пионеров отрасли, осуществившим более 10 миллионов коммерческих поездок с использованием автопарка свыше 700 полностью автономных транспортных средств. Сервисы компании функционируют в крупных американских городах, включая Сан-Франциско, Финикс и Лос-Анджелес. Особенностью технологической платформы стало применение передовых лидарных систем, радаров, камер и алгоритмов искусственного интеллекта для обеспечения безопасного движения.

Китайский оператор Baidu Apollo Go демонстрирует значительные успехи в масштабировании услуг беспилотных такси, располагая автопарком более 1000 машин, работающих в более чем 15 городах. Компания провела более 100 миллионов километров тестовых поездок без регистрации серьезных аварийных ситуаций. В некоторых городах, например, в Ухане, более 45% заказов выполняется полностью автономными такси без оператора безопасности. Беспилотное такси Baidu в Ухане представлено на рисунке 5⁴.

⁴ JIAO HONGTAO/FOR CHINA DAILY



Рисунок 5 – Беспилотное такси Baidu в Ухане

В Российской Федерации сегмент роботизированных такси демонстрирует устойчивый рост в рамках экспериментальных правовых режимов. Согласно имеющимся данным, совершено свыше 100 тысяч поездок в сегменте беспилотного такси, что свидетельствует о активном развитии данного направления. Российская компания «Яндекс» с 2018 года проводит тестирование роботакси в Иннополисе и Москве, используя технологии искусственного интеллекта для распознавания дорожной обстановки. Развивается партнерство с муниципалитетами с целью интеграции беспилотных такси в городскую транспортную систему. В настоящее время роботакси «Яндекса» осуществляют регулярные рейсы с пассажирами в рамках пилотных и коммерческих проектов, накопив значительный опыт эксплуатации в реальных дорожных условиях.

Помимо роботакси, сегмент включает беспилотные шаттлы и микроавтобусы, курсирующие по регулярным маршрутам в ограниченных или специализированных зонах, таких как университетские кампусы, деловые кварталы и парковые территории (см. рис. 6⁵). Данные транспортные средства интегрируются с сервисами каршеринга и городским общественным транспортом, обеспечивая решения для «последней мили» и повышая комфорт и экологичность городской мобильности.

⁵ Московский Политех показал беспилотный Smart шаттл на форуме «Армия-2021» <https://www.autonews.ru/news/612379a59a79475b15aa3f41?from=copy>

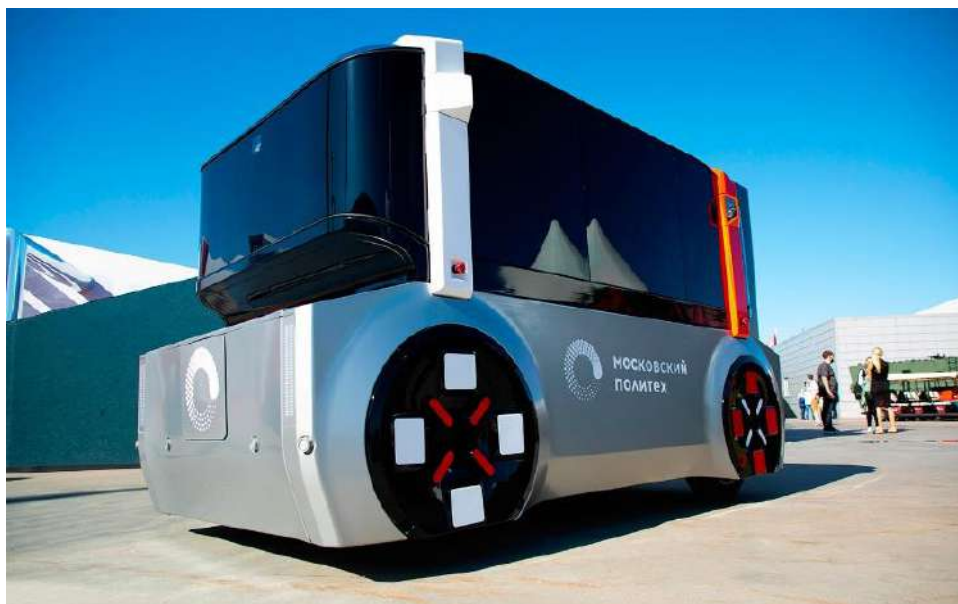


Рисунок 6 – Беспилотный Smart шаттл Московского Политеха

Системы предоставления транспортных услуг по подписке представляют собой цифровые платформы, объединяющие в едином приложении различные виды городского транспорта: автономные такси, шаттлы, каршеринг, электросамокаты, велосипеды и общественный транспорт. Они позволяют пользователю планировать маршрут, выбирать оптимальные виды транспорта, осуществлять оплату всех услуг через единый интерфейс, обеспечивая целостность транспортного обслуживания.

Примером успешной реализации концепции является система Whim в Хельсинки, разработанная финской компанией MaaS Global (Mobility as a Service). С 2016 года жители Хельсинки используют приложение, которое объединяет все виды городского транспорта. Платформа предлагает удобный интерфейс для планирования маршрута, выбора транспорта с учетом предпочтений пользователя и оплаты поездки через единое приложение. Значительной особенностью является система единого тарифа и различных подписок: за фиксированную ежемесячную плату пользователи могут неограниченно пользоваться общественным транспортом и некоторыми другими видами транспорта.

В Дубае создается специализированная 15-километровая зона для автономного транспорта, объединяющая наземные и водные беспилотные перевозки. Проект Dubai Autonomous Zone, анонсиро-

ванный Управлением дорог и транспорта эмирата (RTA), охватит территорию от станции метро Creek до районов Dubai Creek Harbour и Dubai Festival City.

Инициатива станет важным шагом к достижению цели по переводу 25% транспортных перевозок на автономные системы к 2030 году. В зоне будут интегрированы семь видов беспилотного транспорта: метро, такси, автобусы, традиционные лодки "абры", шаттлы, логистические и уборочные машины.

Пилотная эксплуатация роботакси начнется в первом квартале 2026 года, а к середине 2027 года планируется полноценное функционирование всей системы. В перспективе опыт будет распространен на другие районы города. Над реализацией проекта совместно с RTA работают международные компании, включая Pony.ai, WeRide и Apollo Go.

Сингапурская платформа Singtel Dash также представляет интересный пример реализации концепции. Приложение объединяет автобусы, метро, такси, каршеринг и электросамокаты. Благодаря этому жители могут планировать поездки, оплачивать и оперативно переключаться между различными видами транспорта в единой среде, что существенно упрощает передвижение в условиях густонаселенного города с интенсивным трафиком.

Основные тенденции в сегменте логистики пассажирских перевозок включают значительный рост числа беспилотных такси и их интеграцию с мобильными приложениями, что повышает доступность и удобство сервисов для пользователей. Активно внедряются гибкие маршруты, динамически изменяющиеся в зависимости от текущего спроса и дорожной ситуации. Современные цифровые инфраструктуры и системы управления на базе искусственного интеллекта развиваются для оптимизации пассажиропотоков, сокращения времени ожидания и повышения общего уровня комфорта.

Представленные направления трансформируют традиционные модели городской мобильности, облегчая передвижение, снижая уровень заторов и уменьшая негативное воздействие на экологию. Роботакси, автономный общественный транспорт и сервисы предоставления транспортных услуг по подписке совместно формируют новую экосистему городской мобильности, где услуги перемещения становятся более доступными, удобными и безопасными для жителей мегаполисов и пригородных зон.

2.2. Грузовая логистика

Мировая практика внедрения автономных грузоперевозок демонстрирует разнообразие подходов и бизнес-моделей.

Основной технологией, используемой в автономных транспортных средствах считается создание на основе данных лидаров и иных датчиков точной трёхмерную модель окружающего пространства и прогнозирование поведения других участников дорожного движения. В последние годы произошёл сдвиг в сторону гибридных моделей доставки грузов, а не полной автономии «от двери до двери». Наиболее распространённой является модель «transfer-hub», при которой водитель отвечает за движение на сложных этапах, в черте города и подъездах к складам, а на магистрали управление переходит к автопилоту. Перед конечной точкой водитель снова берёт управление на себя.

Технологический прогресс в области автономных грузоперевозок демонстрирует переход от концепции полной автономности «от двери до двери» к гибридным моделям эксплуатации.

В Северной Америке сформировалась экосистема технологических компаний, тесно интегрированных с традиционными производителями коммерческого транспорта и логистическими операторами. Компания Waymo Via, осуществляет регулярные коммерческие перевозки между Хьюстоном и Форт-Уэртом. Используемые в проекте автономные грузовики Peterbilt оснащены многоуровневой системой сенсоров, включающей лидары пятого поколения, радары с синтезированной апертурой и камеры высокого разрешения с углом обзора 360 градусов. Особенностью функционирования является постоянное присутствие в кабине инженера-испытателя, осуществляющего мониторинг работы систем и готового взять управление в случае необходимости.

Значимым игроком североамериканского рынка выступает компания Aurora Innovation, которая после приобретения подразделения Uber ATG сосредоточилась на разработке универсальной платформы «Aurora Driver». Стратегия компании предусматривает глубокую интеграцию с производителями коммерческого транспорта — заключены долгосрочные партнерские соглашения с Volvo Trucks и PACCAR (владеющей брендами Kenworth и Peterbilt). Такая кооперация позволяет объединить компетенции в области автомобилестроения и искусственного интеллекта, создавая комплексные решения для автономных грузоперевозок.

Отдельного внимания заслуживает компания Kodiak Robotics, разработавшая специализированное решение для перевозки тяжелых грузов оборонного и логистического секторов на маршруте Даллас-Атланта. Особенностью технологической платформы Kodiak является модульная архитектура программного обеспечения, позволяющая адаптировать систему под специфические требования различных типов грузов и условий перевозки. Компания реализует инновационный подход к организации сенсорной системы, размещая основные датчики в специализированном модуле на крыше кабины, что обеспечивает оптимальные углы обзора и защиту от внешних воздействий.

Инновационным проектом в области автономных грузоперевозок является разработка компании Golden Outrider автономного электрического грузовика со специализированным программным обеспечением для управления складскими операциями и логистической инфраструктурой⁶. На рисунке 7 представлены разработанные грузовики.



Рисунок 7 – Автономный электрический грузовик Outrider

⁶ Outrider привлекла \$65 млн для развития автономных логистических решений. https://siliconangle.com/2020/10/28/truck-automation-logistics-startup-outrider-raises-65m/?utm_medium=organic&utm_source=yandexsmartcamera

Транспортные средства функционируют на беспилотной электрической платформе, использующей комбинацию лидаров с увеличенной дальностью действия, радаров с улучшенной разрешающей способностью и камер с технологией HDR, что обеспечивает точное позиционирование и выполнение задач в различных погодных условиях. Уникальной особенностью системы является роботизированный манипулятор, автоматически осуществляющий подключение и отключение тормозных механизмов полуприцепов, а также электропитания, полностью исключая человеческое участие в процессе сцепки. Тягач интегрирован в систему автоматизации складских операций, обеспечивая перемещение контейнеров на терминальных территориях и оптимизацию маршрутов через единую платформу управления логистическими процессами.

Европейский рынок автономных грузоперевозок развивается в условиях более строгих законодательных требований и повышенных стандартов безопасности. Несмотря на регуляторные сложности, европейские компании активно инвестируют в разработку и тестирование соответствующих технологий. Daimler Truck AG в партнерстве с американской Torc Robotics проводит комплексные испытания на дорогах США, сохраняя при этом основные научно-исследовательские центры в Германии. Такой подход позволяет совместить преимущества благоприятного регуляторного климата США с инженерными компетенциями европейских специалистов.

Значимым достижением европейского консорциума стал проект ENSEMBLE, финансируемый Европейской комиссией в рамках программы Horizon 2020. В ходе проекта была продемонстрирована возможность организации движения грузовиков разных производителей в единых колоннах (platooning), что обеспечивает экономию топлива до 15% и существенно снижает нагрузку на водителей⁷. Однако внедрение этой технологии и связанные с ней сборы и затраты могут повысить себестоимость перевозок, особенно для небольших компаний. На рисунке 8 представлены перевозки в «стиле платунинг».

⁷ Проект ENSEMBLE Horizon 2020 <https://ensemble-he.eu/>



Рисунок 8 – Перевозки в «стиле платунинг»

Volvo Group концентрирует усилия на разработке автономных решений для карьерных самосвалов и логистических терминалов с контролируемой средой движения, где возможно обеспечение необходимых условий для безопасной эксплуатации автономного транспорта⁸. Выбор обусловлен тем, что в этих условиях маршруты заранее определены, отсутствуют пешеходы и посторонние транспортные средства, что снижает операционные риски. Кроме того, непрерывный режим работы карьерных и портовых объектов обеспечивает максимальную эффективность использования автономных машин. Такие площадки с контролируемой средой позволяют безопасно тестировать и внедрять новые технологии с меньшими переменными факторами риска, что упрощает их эксплуатацию и дальнейшее развитие. На рисунке 9 представлены самосвалы Volvo.

⁸ Volvo представила автономный карьерный самосвал
<https://nplus1.ru/news/2021/10/15/volvo>



Рисунок 9 – Volvo запустила автономный самосвал на электрической тяге

Азиатский регион демонстрирует стремительное развитие автономных грузоперевозок, во многом обусловленное активной государственной поддержкой. Китайская компания PlusAI привлекла инвестиции в размере 400 миллионов долларов для масштабных испытаний беспилотных грузовиков, включая тестирование на сложных горных трассах с экстремальными перепадами высот.

Крупнейшие производители коммерческого транспорта FAW Group и Sinotruk разрабатывают собственные прототипы автономных грузовиков в тесной кооперации с государственными исследовательскими институтами.

Китайская компания Westwell из Шанхая, разработала автономный электрический портовый тягач Q-Truck для работы в портах и терминалах⁹. Отличается короткими маршрутами, высокой грузоподъемностью (до 75 тонн) и автономным управлением L4 с использованием лидаров и камер. К 2024 году поставлено более 200 тягачей, активно работают в портах Циндао и Жичжао, быстрая зарядка с беспроводными станциями на площадках ожидания. Проект под-

⁹ Компания Westwell из Китая — Развитие устойчивых контейнерных перевозок в мире https://www.wipo.int/en/web/ip-advantage/w/stories/westwell-china-making-global-container-logistics-more-sustainable?utm_medium=organic&utm_source=yandexsmartcamera

держан правительством и венчурными фондами, в результате производительность выросла на 28%, а расходы и аварийность снизились на 35% и 90% соответственно. Недостатки: высокая стоимость, необходимость инфраструктуры и ограничения при плохой погоде. На рисунке 10 представлены грузовики компании Westwell (КНР).



Рисунок 10 – Грузовики компании Westwell (КНР)

На рисунке 11 представлены грузовики компании Dongfeng с поддержкой 5G+¹⁰.



Рисунок 11 – Автономные грузовики Dongfeng с поддержкой 5G+

¹⁰ Источник фото: Запуск «Умного порта с технологиями 5G и автономного вождения»
В Сямэне
https://ru.pinterest.com/pin/721842646514513062/?utm_medium=organic&utm_source=yandexsmartcamera

Российская Федерация демонстрирует последовательный подход к развитию автономных грузоперевозок. Компания «КАМАЗ» в стратегическом партнерстве с «Газпром нефть» и Cognitive Technologies развивает автономные системы для работы в специфических условиях добывающих предприятий¹¹. На Восточно-Мессояхском месторождении проводится испытание беспилотных автомобилей КАМАЗ для перевозки грузов в условиях отсутствия дорожной инфраструктуры и сложного климата Арктики. Технологическая платформа включает навигационное оборудование, 3D лидары, видеосистемы, радары и телекоммуникационные модули. Колонна из 20 автомобилей контролируется одним оператором. Основные ожидаемые эффекты – рост скорости доставки, увеличение надежности транспорта и снижение аварийности.

Внимание также уделяется созданию решений для карьерной техники, функционирующей в замкнутых технологических пространствах с контролируемым доступом¹². Карьерный самосвал «Юпитер» для работы в карьере может перевозить десятки тонн руды при помощи датчиков камеры или радара. Разрабатываемая система включает специализированные алгоритмы компьютерного зрения, адаптированные для работы в условиях российского климата, и интеллектуальную систему управления на основе данных телеметрии. На рисунке 12 представлены грузовые платформы компании «КАМАЗ».

¹¹ В России проводят тестирования беспилотных грузовиков https://yandex.ru/q/article/v_rossii_provodiat_testirovaniia_194bfebd/

¹² Ботвиньев А.И. «Мир дорог» Каковы перспективы ближайшего времени для развития беспилотного транспорта? [https://motor.ru/thumb/908x0/filters:quality\(75\):no_upscale\(\)/imgs/2022/06/27/10/5468943/585506f56bdec9916d594348af7185fe9f468049.jpg](https://motor.ru/thumb/908x0/filters:quality(75):no_upscale()/imgs/2022/06/27/10/5468943/585506f56bdec9916d594348af7185fe9f468049.jpg)



Рисунок 12 – Карьерный самосвал «Юпитер»

Недавно стартовали испытания и коммерческие рейсы автономных тягачей КАМАЗ на маршруте Москва–Тула, трассах М-11 «Нева» и М-12 «Восток»¹³. Транспортные средства оснащены отечественными системами автоматизированного управления и навигации, реализующими беспилотное движение по магистральным маршрутам. Проект предусматривает поэтапное расширение парка, внедрение новых поколений беспилотных грузовиков, совершенствование цифровой инфраструктуры и нормативной базы. На рисунке 13 представлен беспилотный КАМАЗ на трассе М-11.

¹³ На трассе М-11 «Нева» запустили движение беспилотных КАМАЗов <https://m.vz.ru/news/2023/6/14/1216540.html>



Рисунок 13 – Беспилотный КАМАЗ на трассе М-11

Компания «Эвокарго» представляет собой российского разработчика электрических транспортных платформ для логистики. Компания создала автономную грузовую платформу EVO-1, отличающуюся отсутствием кабины водителя. Конструкция предназначена для работы на складских территориях, в промышленных зонах и других ограниченных пространствах.

Технические характеристики платформы включают грузоподъемность 1,5–3 тонны и запас хода до 250 км. Особенностью является время зарядки 40 минут и возможность автономной работы до 4 суток. Платформа оснащена системами предотвращения столкновений и может функционировать без участия человека в условиях регламентированной территории.¹⁴

На рисунке 14 представлен беспилотный автомобиль Evocargo EVO.1 с грузоподъемностью 1,5 тонны.

¹⁴ Evocargo представит технологию автономных транспортных средств на выставке CES-2022 <https://kiosksoft.ru/news/2021/12/31/evocargo-predstavit-tehnologiyu-avtonomnyh-transportnyh-sredstv-na-vystavke-ces-2022-85809>



Рисунок 14 – Беспилотный автомобиль Evocargo EVO.1

В России коммерческие перевозки беспилотными грузовиками на общедоступных дорогах пока носят экспериментальный характер и осуществляются в рамках специальных правовых режимов. Эти режимы позволяют тестировать и внедрять автономные технологии в реальных условиях при одновременно адаптированном законодательстве, которое регулирует их эксплуатацию с учетом безопасности и ответственности.

Особое внимание уделяется роботизация «последней мили». Доставка «последней мили» представляет собой наиболее затратный и организационно сложный этап в логистической цепочке, характеризующийся перемещением груза от регионального распределительного центра непосредственно конечному потребителю. Данный сегмент отличается исключительно высокой долей в общей стоимости логистических услуг, достигающей 40–50%, а также сложностью управления в условиях плотной городской застройки и постоянно растущими требованиями клиентов к скорости, точности и прозрачности процесса доставки. Автоматизация этого этапа призвана кардинально преобразовать традиционные подходы к городской логистике, обеспечивая существенное повышение эффективности и снижение операционных издержек.

Наиболее распространенным технологическим решением в области автоматизации доставки «последней мили» стали компактные автономные роботы-курьеры. Эти устройства перемещаются по тротуарам и пешеходным зонам со скоростью, сопоставимой со скоростью пешехода (4–6 км/ч), и оснащены сложными системами нави-

гации, включающими высокоточные картографические данные, приемники GPS и ГЛОНАСС, инерциальные измерительные системы, а также комплексы камер и лидаров для обнаружения и обхода препятствий в реальном времени. Управление парком таких роботов осуществляется централизованно через облачные платформы, что позволяет оптимизировать маршруты и оперативно реагировать на изменения дорожной обстановки.

Мировой опыт внедрения наземных роботов-курьеров демонстрирует разнообразие бизнес-моделей и подходов к интеграции в городскую инфраструктуру. Компания Starship Technologies, являющаяся пионером в данной области, к 2023 году достигла значительных результатов: ее роботы осуществили несколько миллионов коммерческих доставок в университетских кампусах Северной Америки (Университет Аризоны, Университет Питтсбурга), а также в жилых районах США (Сан-Матео, Калифорния) и Великобритании (Милтон-Кейнс). Сервис глубоко интегрирован в мобильные приложения ресторанов и розничных магазинов, предоставляя пользователям возможность отслеживания заказов в режиме реального времени.

Шведская компания Foodora разработала перспективную модель использования «тяжелых» роботов-курьеров, способных перевозить грузы массой до 20 кг. Эти устройства работают на литий-ионных аккумуляторах с автономностью до 8 часов, развивают скорость до 6 км/ч и обслуживаются сетью зарядных станций, что обеспечивает доставку в любую точку города в течение часа. Руководство компании отмечает неожиданно высокий уровень принятия технологии со стороны потребителей.

В Российской Федерации компания «Яндекс» успешно реализовала проект автономной доставки еды и мелких посылок в Москве и Иннополисе (Республика Татарстан). Разработанные в ходе испытаний технологии навигации в сложной городской среде нашли применение в других продуктах компании, демонстрируя потенциал кросс-платформенного использования разработок¹⁵. На рисунке 15 представлен беспилотные роботы-доставщики – автономные устройства, предназначенные для транспортировки грузов, еды или документов.

¹⁵ Топ самых технологичных роботов мира https://dzen.ru/a/YvOu4WVNDAl-2A8K?utm_medium=organic&utm_source=yandexsmartcamera

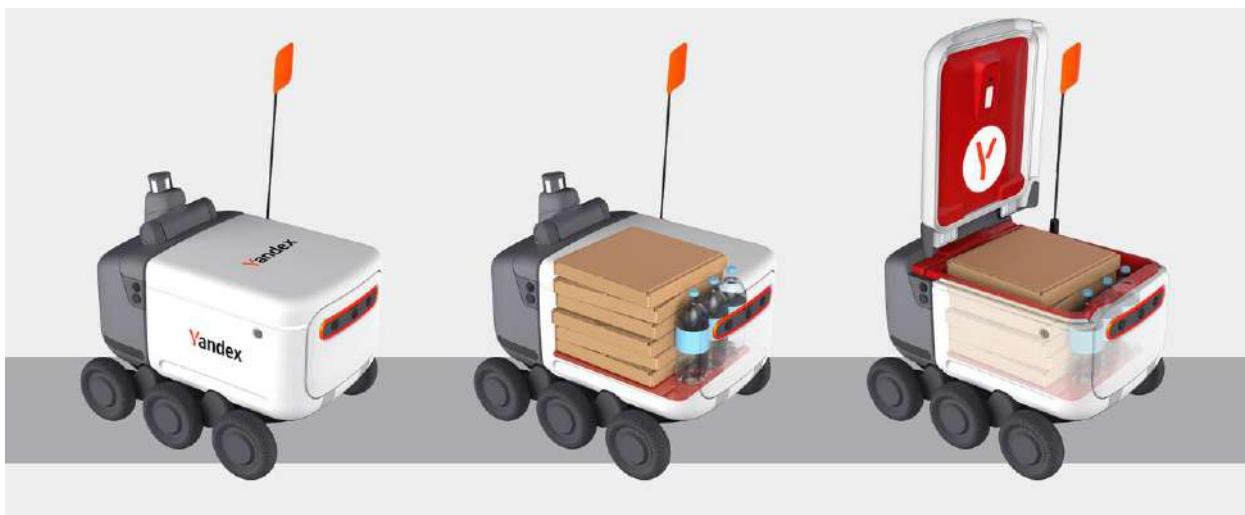


Рисунок 15 – Беспилотные роботы-доставщики

Экономическая эффективность роботизированной доставки проявляется в значительном снижении стоимости одной доставки за счет исключения расходов на оплату труда курьеров и связанных социальных выплат. Роботы могут функционировать круглосуточно, потребляя при этом значительно меньше энергии по сравнению с традиционными транспортными средствами. Наибольшая экономическая отдача достигается в условиях высокой плотности заказов на ограниченной территории, что делает данную технологию особенно востребованной в густонаселенных городских районах.

Однако есть и существенные ограничения: архитектура городских улиц с бордюрами, лестницами и интенсивным пешеходным движением ограничивает грузоподъемность роботов, которая редко превышает 3–10 килограммов. Правовое регулирование в большинстве стран не адаптировано к использованию автономных устройств на тротуарах, что требует получения специальных разрешений и замедляет масштабирование технологии.

Перспективным направлением развития является интеграция различных технологий доставки в единые логистические цепочки. В такой системе автономный грузовик осуществляет доставку грузов на городской распределительный терминал, где происходит сортировка: срочные и легкие посылки передаются дронам, а более крупные отправления распределяются между наземными роботами-курьерами. Управление всем процессом осуществляется единой платформой на основе искусственного интеллекта, которая в реальном

времени оптимизирует маршруты с учетом множества факторов: погодных условий, дорожной ситуации, требований безопасности и специфических пожеланий клиентов.

Создание интегрированных систем позволяет достичь синергетического эффекта: снижаются капитальные затраты за счет оптимизации транспортного парка, минимизируются задержки, связанные с человеческим фактором, и повышается гибкость логистических цепочек. Автономная доставка, объединяющая беспилотные грузовики, роботов «последней мили» и дроны, постепенно трансформируется из экспериментальной технологии в коммерчески выгодное решение, способное кардинально изменить подходы к организации городской логистики во всем мире.

2.3. Технологические аспекты развития автономного транспорта

2.3.1. Эволюция технологий автономного управления

Развитие технологий автономного управления представляет собой сложный последовательный процесс, характеризующийся поэтапным переходом от простых систем помощи водителю к комплексным решениям полной автономии. Эволюция данного направления охватывает не только техническое совершенствование аппаратных и программных компонентов, но и фундаментальное преобразование парадигмы взаимодействия между человеком-оператором и интеллектуальными автоматизированными системами. Исследования в этой области демонстрируют тесную взаимосвязь между технологическими инновациями, изменениями в нормативно-правовом регулировании и трансформацией общественного восприятия автономных транспортных средств.

Современная парадигма развития автономного управления основывается на принципе постепенного перераспределения функций управления между человеком и автоматизированной системой и предусматривает использование несколько систем классификации уровней автономности, среди которых наиболее распространенной является стандарт SAE J3016, разработанный Обществом автомобильных инженеров. Данная классификация предусматривает шесть

уровней автономности: от уровня 0 (отсутствие автоматизации) до уровня 5 (полная автономность).

Исторически начальной фазой этого процесса стало внедрение систем ограниченной автономности, соответствующих уровням 1 и 2 по классификации SAE J3016. Данный этап характеризуется разработкой и внедрением систем помощи водителю, которые берут на себя выполнение отдельных функций управления, однако требуют постоянного мониторинга и готовности к немедленному вмешательству со стороны человека-оператора.

Следующим значимым этапом эволюции стало формирование систем условной автономности с сохранением готовности оператора к вмешательству, что соответствует уровню 3 по классификации SAE J3016 и в промышленной терминологии характеризуется режимами «Hands Off» и «Eyes Off».

Высшей стадией эволюции автономного управления является достижение уровня полной автономности, соответствующего уровням 4 и 5 по классификации SAE J3016. Уровень 4 предполагает возможность системы самостоятельно выполнять все функции управления в определенных условиях и областях применения, в то время как уровень 5 предусматривает полную автономность в любых условиях без какого-либо вмешательства человека.

Данный этап характеризуется созданием интегрированных киберфизических систем, объединяющих передовые достижения в области искусственного интеллекта, сенсорных технологий, телекоммуникаций и распределенных вычислительных мощностей. Системы полной автономности демонстрируют способность к самостоятельной навигации в сложной городской среде, принятию решений в нештатных и непредвиденных ситуациях, а также адаптации к динамически изменяющимся условиям окружающей среды.

Современные научные исследования в области автономного управления сосредоточены на преодолении фундаментальных технологических ограничений, связанных с обеспечением надежности и безопасности систем в условиях неопределенности реальной дорожной среды. Особое внимание уделяется разработке адаптивных алгоритмов, способных адекватно реагировать на редкие и нестандартные ситуации, не представленные в тренировочных наборах

данных. Значительные усилия направлены на создание систем объяснимого искусственного интеллекта, обеспечивающих прозрачность и понятность принимаемых решений для человека.

Критически важным аспектом развития является обеспечение комплексной кибербезопасности автономных систем. Современные подходы включают разработку многоуровневых систем защиты, внедрение методов криптографической аутентификации и создание резервных каналов управления для противодействия потенциальным атакам на системы связи, алгоритмы управления и сенсорные данные.

Перспективы развития технологий автономного управления связаны с созданием интегрированных транспортных экосистем, где автономные транспортные средства взаимодействуют с дорожной инфраструктурой и между собой в режиме реального времени. Формирование таких распределенных интеллектуальных систем позволит оптимизировать транспортные потоки, повысить безопасность дорожного движения и увеличить эффективность использования транспортных ресурсов. Особую актуальность приобретают исследования в области коллективного искусственного интеллекта, способного координировать действия множества автономных агентов в динамически изменяющейся среде.

Эволюция технологий автономного управления представляет собой непрерывный итерационный процесс трансформации научных достижений в практические решения. Успешное развитие данного направления требует консолидации усилий международного научного сообщества, промышленных предприятий и регулирующих органов для обеспечения безопасного и социально приемлемого внедрения автономных технологий. Особое значение имеет разработка единых международных стандартов и протоколов тестирования, устанавливающих унифицированные требования к безопасности и надежности автономных транспортных систем различных производителей.

2.3.2. Развитие искусственного интеллекта и его влияние на развитие автоматизированного транспорта

Искусственный интеллект становится важным фактором, который трансформирует автомобильную промышленность по всему миру. Наблюдается положительная динамика развития ИИ в ведущих странах мира, где он интегрируется в разработку новых моделей автомобилей, системы автопилота и интеллектуальные сервисы. В 2025 году технологии искусственного интеллекта применяются на всех этапах жизни транспортного средства, начиная с проектирования и производства и заканчивая эксплуатацией и обслуживанием.

В 2024 году объем мирового рынка ИИ в автомобильной промышленности оценивался в 7,7 млрд. долларов США с прогнозным темпом роста 37,4%¹⁶.

На рисунке 16 представлена динамика развития ИИ в автомобильной промышленности мира.

Объем мирового рынка ИИ в автомобильной промышленности, 2023–2033 гг., млрд долларов США

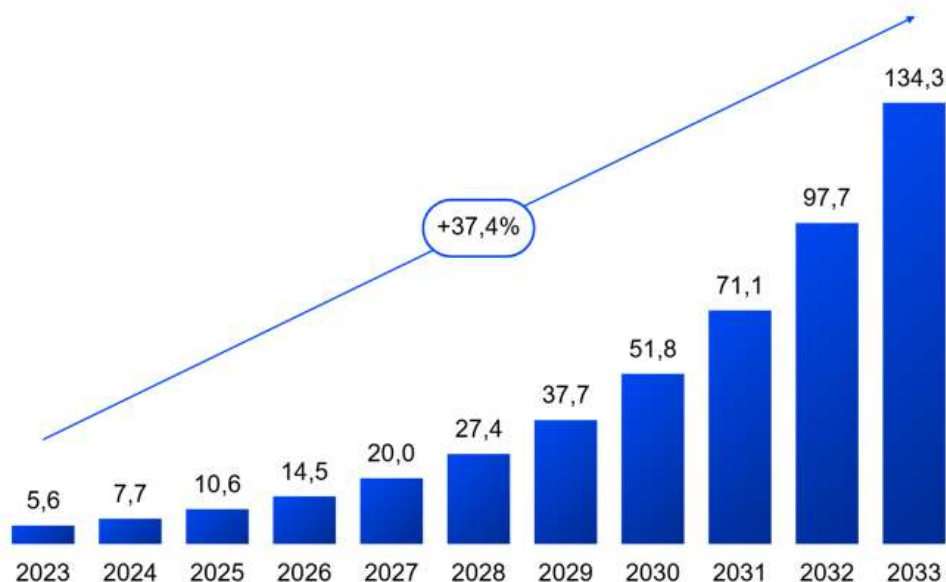


Рисунок 16 – Динамика развития ИИ в автомобильной промышленности мира

¹⁶ Тренды на рынке транспорта и городской умной мобильности <https://data.tedo.ru/publications/transport-mobility-rus.pdf>

В сфере автономного вождения искусственный интеллект отвечает за распознавание пешеходов, дорожных знаков, препятствий и других объектов, а также за управление адаптивным круиз-контролем, удержанием полосы и автоматическим торможением. Современные автопилоты достигают уровня 3–4, что позволяет автомобилям выполнять значительную часть функций без участия человека. Например, на выставке Auto Shanghai 2025 был представлен китайский ИИ DeepSeek, который используется такими брендами, как BMW и Hongqi. Этот ИИ управляет функциями автомобиля и подстраивает интерфейс под особенности каждого пользователя. При проектировании и производстве искусственный интеллект помогает оптимизировать процесс создания новых моделей, анализировать результаты испытаний и прогнозировать возможные отказы. Автоматизация на производстве снижает количество ошибок, повышает точность сборки автомобилей и ускоряет контроль качества. Многие автопроизводители используют модульные архитектуры, которые позволяют быстро и эффективно внедрять новые ИИ-компоненты и обновлять электронные системы автомобилей. В сфере диагностики и обслуживания ИИ играет роль помощника, который помогает быстрее выявлять неисправности, прогнозировать необходимость ремонта и предлагать клиентам персонализированные услуги. Это сокращает время нахождения автомобиля в сервисе и повышает качество обслуживания, что положительно сказывается на пользовательском опыте.

Важное направление развития – оптимизация энергопотребления, особенно в электромобилях. Системы на базе искусственного интеллекта управляют энергозатратами, прогнозируют режимы эксплуатации и позволяют увеличить запас хода за счет более эффективного использования батареи.

Целевым результатом развития взаимодействия автомобиля с окружающей средой является технология V2X (Vehicle-to-Everything), которая обеспечивает связь автомобиля с дорожной инфраструктурой, другими транспортными средствами и различными сервисами. Это помогает повысить безопасность и улучшить эффективность движения, делая городские транспортные потоки более упорядоченными.

Технология V2X включает несколько направлений, включая следующие:

- обмен данными между автомобилями (V2V) позволяет предупредить аварийные ситуации, так как транспортные средства узнают о скорости, положении и намерениях друг друга заранее;
- связь с дорожной инфраструктурой (V2I) помогает оптимизировать скорость и получать актуальные данные о дорожных условиях;
- V2P обеспечивает возможность пешеходам передавать информацию о своем местоположении через мобильные устройства, повышая безопасность переходов;
- V2N расширяет доступ к облачным сервисам, предоставляющим обновления карт и сведения о состоянии дорог в реальном времени.

Примером успешных инноваций в сегменте использования ИИ является китайская система DeepSeek, которая объединяет голосовое управление, планирование маршрута и функции безопасности с обучением через облачные платформы.

Компания Geely представила решение «Полноценный ИИ», интегрируемое в концепцию умного дома.

Американская компания Tesla продолжает развивать автопилот, который сегодня достигает четвертого уровня автономности и обновляется через беспроводное обновление, совершенствуя алгоритмы на основе анализа данных всего автопарка.

Компания Waymo использует ИИ в автономных такси и грузовых перевозках, снижая аварийность и оптимизируя маршруты в зависимости от дорожной обстановки.

В России проекты с применением ИИ реализуют Яндекс и Cognitive Technologies, адаптируя технологии к специфике российских дорог и внедряя системы диагностики, что заметно повышает качество и безопасность движения.

Объем российского рынка искусственного интеллекта в автомобильном секторе в 2024–2025 годах стремительно растет и оценивается примерно в 23,7 миллиарда рублей. Это на 270% больше, чем годом ранее¹⁷.

Сейчас можно выделить пять основных направлений развития технологий умной мобильности, в которых искусственный интеллект активно используется:

- технология «Подключенный автомобиль». Такие машины обмениваются данными с другими транспортными средствами и городской инфраструктурой, благодаря чему получают информацию о ситуации на дороге, погоде и пробках, что повышает безопасность и удобство поездок;
- технология «Автономное вождение». Искусственный интеллект выполняет функции распознавания объекта, прогнозирования поведения и помогает автомобилю самостоятельно управлять движением, снижая нагрузку на водителя.
- технология «Электрификация». ИИ отвечает за оптимизацию расхода энергии в электромобилях, обеспечивает прогнозирование условий эксплуатации и продление срока службы батарей, что улучшает запас хода.
- технология «Мобильность как услуга» (MaaS). Здесь ИИ помогает объединять разные виды транспорта – каршеринг, самокаты, общественный транспорт в единые сервисы с оптимальными маршрутами и минимальными затратами времени.
- технология «Транспортная телематика». Искусственный интеллект используется для управления автопарками, контроля технического состояния и оптимизации маршрутов, что повышает экономическую эффективность перевозок.

Эти направления вместе формируют основу современной умной мобильности, делая транспорт более безопасным, экологичным и удобным. Искусственный интеллект становится основой для повышения конкурентоспособности автопроизводителей и технологических компаний. Он помогает создавать более безопасные, экологичные и экономичные автомобили, трансформирует сферы сервисного

¹⁷ Тренды на рынке транспорта и городской умной мобильности <https://data.tedo.ru/publications/transport-mobility-rus.pdf>

обслуживания и эксплуатации, что повышает удовлетворенность пользователей и снижает расходы на содержание транспортных средств.

2.3.3. Сенсорные системы и технологии связи

Лидар (LiDAR) – это активный оптический сенсор, который при помощи лазерных импульсов создает детализированную трёхмерную карту окружающей среды. Принцип его работы основан на измерении времени, за которое лазерный импульс проходит от излучателя до объекта и обратно к приёмнику. Лидары сканируют пространство вокруг транспортного средства с частотой до 20 Гц, формируя точную карту, которая используется системой искусственного интеллекта для ориентирования и принятия решений. Они эффективно фиксируют как стационарные объекты – здания, деревья, так и движущиеся – автомобили, пешеходы. Разновидности лидаров включают механические с вращающимися узлами и твердотельные, с отсутствием подвижных частей, что увеличивает надежность и компактность. Их способность работать в неблагоприятных погодных условиях – туман, снег, темнота, особо ценно для эксплуатации в российском климате (см. рис. 17).

На рисунке 17 представлена картина окружающего пространства, получаемая при помощи лидара¹⁸.

¹⁸ A Sense of Responsibility: Lidar Sensor Makers Build on NVIDIA DRIVE https://blogs.nvidia.com/blog/lidar-sensor-nvidia-drive/?nv_excludes=51266,50902

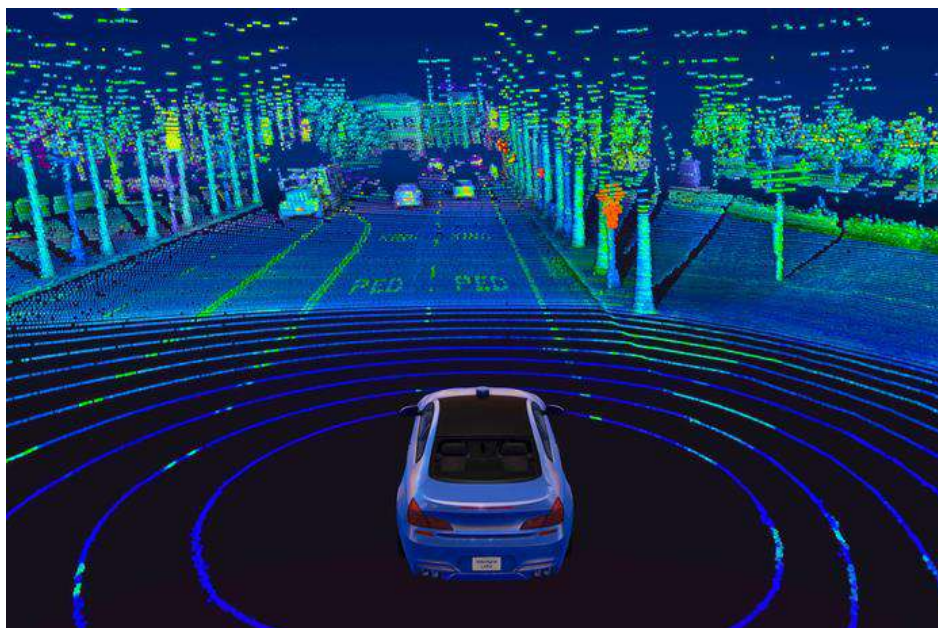


Рисунок 17 – Картина окружающего пространства, получаемая при помощи лидара

Следующий внешний сенсор – радар, который с помощью электромагнитных радиоволн определяет расстояние, скорость и направление движения объектов вокруг автомобиля. Он излучает радиоволны, которые отражаются от препятствий – машин, пешеходов, животных, после чего фиксирует отражённый сигнал. Благодаря этому можно измерять параметры объектов даже на больших расстояниях и в условиях плохой видимости.

В составе радара есть передатчик, антенна и приёмник. Передатчик посылает волны в диапазоне 20–100 ГГц, приёмник получает отражённые сигналы и измеряет время их возврата. Электронная система обрабатывает полученные данные, определяя местоположение, скорость и направление объектов.

Радиус обнаружения может достигать 150–300 метров, что значительно превышает дальность работы лидаров. Точность измерения расстояния около 1 метра, скорости – примерно 1 км/ч. Радар эффективно работает в любых погодных условиях, включая туман, дождь и снег. В некоторых моделях есть система нагрева, которая предотвращает обледенение сенсоров.

Благодаря радарам в современных автомобилях реализуются такие функции, как поддержание дистанции и скорости при адаптивном круиз-контроле, автоматическое экстренное торможение для

предотвращения столкновений, контроль слепых зон и распознавание движения пешеходов и животных. Это значительно повышает безопасность и комфорт вождения.

Для распознавания знаков и объектов используются видеокамеры. Камеры в беспилотных автомобилях играют очень важную роль, обеспечивая визуальное восприятие окружающей среды. Они захватывают изображения и видеопотоки, которые затем анализируются с помощью алгоритмов компьютерного зрения для распознавания объектов: других автомобилей, пешеходов, дорожных знаков, разметки, светофоров и препятствий.

Особое значение имеют системы с несколькими камерами, обеспечивающими обзор в 360 градусов, что позволяет отслеживать всю окружность вокруг автомобиля. Камеры также используются для оценки состояния дороги и погодных условий (например, распознавания дождя или снега), позволяя системе адаптировать поведение машины.

Эффективная работа АТС достигается благодаря комплексному взаимодействию разных типов датчиков. Каждый сенсор, будь то радар, лидар или камера, вносит свой уникальный вклад в восприятие окружающей среды.

Помимо базовых систем восприятия, таких как камеры, лидары и радары, автономный транспорт эффективно функционирует благодаря многокомпонентному комплексу дополнительных сенсоров и современных технологий связи. Эти вспомогательные системы выполняют крайне важные задачи: они обеспечивают точное определение местоположения и ориентации транспортного средства в пространстве, даже когда основной сигнал затруднён или временно отсутствует. Кроме того, благодаря постоянному обмену данными с элементами городской и дорожной инфраструктуры, а также другими участниками движения, зоны восприятия автономного автомобиля значительно расширяются.

Важным компонентом автономной навигации являются инерциальные измерительные системы. Эти системы отвечают за непрерывный мониторинг параметров движения транспортного средства, особенно в тех случаях, когда спутниковые или другие внешние сигналы становятся недоступными, например, в тоннелях, под мостами или среди плотной застройки в городах. Принцип работы системы основан на измерении движения с помощью внутренних датчиков,

акселерометров и гироскопов, которые не зависят от внешних источников. Акселерометры фиксируют ускорение машины по трём взаимно перпендикулярным осям (вперед-назад, влево-вправо и вверх-вниз). После математической обработки этих данных можно вычислить текущую скорость и пройденное расстояние.

Системы GPS из США и российский ГЛОНАСС предоставляют данные о местоположении автомобиля в виде географических координат. Однако стандартная точность их сигналов, обычно несколько метров, не подходит для автономного вождения, требующего погрешности менее десяти сантиметров для точного удержания полосы. Для повышения точности применяют технологии дифференциальной коррекции, в частности, метод кинематики в реальном времени, который использует сеть базовых станций с известными координатами. Эти станции определяют погрешность сигнала и передают корректирующие данные транспортному средству, что позволяет достигать точности около одного-двух сантиметров.

Основной задачей является интеграция всех этих данных: сенсорных, навигационных и коммуникационных, с помощью методов цифровой обработки. Система объединяет информацию на разных уровнях, от обработки сырых данных до объединения объектов и принятия решений, что позволяет компенсировать недостатки каждого отдельного источника.

В итоге, благодаря комплексной работе инерциальных датчиков, спутникового позиционирования, современных технологий связи и продвинутой обработки данных, автономные транспортные средства получают необходимые знания об окружающей среде и собственном положении, что делает эксплуатацию безопасной и эффективной.

2.3.4. Аппаратные платформы и интеграционные решения

Аппаратные платформы для автономных транспортных средств представляют собой физическую основу и совокупность вычислительных модулей, коммуникационных устройств и элементов управления, которые формируют «мозг» автомобиля. Они обеспечивают обработку больших потоков данных, восприятие окружающей среды, вычислительную мощность для алгоритмов искусственного интеллекта и связь с системами управления. Развитие аппаратного обеспечения является не менее важным, чем создание алгоритмов,

поскольку именно оно определяет пределы возможностей программного обеспечения.

Основу любой такой платформы составляет высокопроизводительный бортовой компьютер. Это не единый процессор, а сложная гетерогенная система, построенная по принципу System-on-a-Chip (SoC) или на базе нескольких специализированных модулей. Современные платформы оснащены высокопроизводительными центральными процессорами для общего управления, графическими ускорителями для параллельной обработки данных с камер и нейронных сетей, а также специализированными нейронными процессорами (ASIC, TPU, NPU), оптимизированными исключительно для задач глубокого обучения. Такие решения, как платформы NVIDIA DRIVE AGX, Qualcomm Snapdragon Ride или Mobileye EyeQ, способны выполнять до сотен триллионов операций в секунду (TOPS), что необходимо для работы в режиме реального времени.

Вторым важным компонентом является сенсорная система, которая строится на принципе сенсорной фузии: объединения данных от различных типов датчиков для компенсации их недостатков и создания целостной картины мира. Стандартный набор включает камеры высокого разрешения, лидары и радары. Интеграция данных с этих разнородных датчиков – сложная инженерная задача, требующая их точной временной и пространственной синхронизации, а также мощных алгоритмов объединения данных. Кроме того, платформы интегрируют дополнительные датчики: ультразвуковые сенсоры, инерциальные измерительные модули (IMU) и приемники спутниковой навигации (GNSS) с коррекцией.

Следующий аспект технологического развития – интеграционные решения, обеспечивающие объединение различных подсистем в единую платформу. Главной задачей здесь является интеграция с системами управления автомобилем по принципу drive-by-wire. Аппаратная платформа должна не только принимать решения, но и физически воздействовать на органы управления. Для этого бортовой компьютер через высоконадежные и защищенные от сбоев шины данных (такие как CAN FD или Automotive Ethernet) соединяется с исполнительными механизмами. Это включает в себя блоки управления рулевым механизмом, тормозной системой и двигателем/электромотором. Обеспечение низкой задержки обработки данных и высочайшей надежности связи между подсистемами является критиче-

ски важным. Надежность достигается за счет резервирования: критически важные системы (торможение, руление) дублируются, чтобы в случае отказа одного компонента его мог немедленно заменить резервный.

Интеграционные решения также подразумевают объединение сенсорных комплексов, программного обеспечения ИИ, навигационных и коммуникационных модулей в единую экосистему. Важным требованием к аппаратной платформе является её модульность и масштабируемость, что позволяет адаптировать решения под различные классы транспортных средств и обновлять программное обеспечение без полной замены аппаратной базы. Разработка общих стандартов интерфейсов и протоколов обмена данными способствует совместимости компонентов от разных производителей. Особое значение имеет безопасность платформы, включая как физическую защиту компонентов, так и комплекс мер кибербезопасности, направленных на предотвращение несанкционированного доступа к системам управления. Платформы интегрируют системы хранения и обмена данными, обеспечивая устойчивость к сбоям и защиту от кибератак.

В России, наряду с мировыми лидерами, ведутся активные разработки аппаратных платформ, адаптированных к национальным условиям, включая создание цифровых двойников дорог и комплексов диагностики, учитывающих требования к надёжности в суровых климатических и дорожных ситуациях.

Создание аппаратной платформы – это комплексная задача по объединению высокопроизводительных вычислений, многоуровневой системы восприятия и надежных каналов управления в единый, отказоустойчивый комплекс. Эволюция платформ движется в сторону повышения вычислительной мощности при одновременном снижении энергопотребления, миниатюризации сенсорных модулей и стандартизации интерфейсов, что обеспечивает техническую базу для надёжной и эффективной работы автономных систем в реальной эксплуатации.

2.4. Особенности инфраструктурного обеспечения

Инфраструктурные требования к внедрению автономных транспортных средств включают необходимость создания современной

цифровой экосистемы. Ключевыми элементами такой инфраструктуры являются высокоскоростные телекоммуникационные сети пятого поколения, обеспечивающие минимальные задержки передачи данных, что критически важно для управления транспортными средствами в реальном времени. Технологии взаимодействия между транспортными средствами и элементами дорожной инфраструктуры позволяют передавать информацию о дорожной обстановке на значительные расстояния.

Интеллектуальные дорожные системы с адаптивной разметкой и цифровыми двойниками становятся неотъемлемой частью инфраструктуры для автономных транспортных средств. В Российской Федерации уделяется особое внимание развитию необходимой инфраструктуры в рамках национальных проектов и государственных программ. Реализуются проекты по созданию «умных» перекрестков, оснащенных датчиками и системами связи, разрабатываются стандарты для телекоммуникационных сетей следующего поколения.

Особое значение приобретает разработка специализированных решений для различных городских сред – от центральных районов с плотной застройкой до периферийных территорий с менее интенсивным движением. Для каждого типа городской среды требуются адаптированные подходы к интеграции автономного транспорта, учитывающие специфику пассажиропотоков, дорожной инфраструктуры и социальных ожиданий населения

Принципиально важным аспектом успешного функционирования комплексной экосистемы автономного транспорта является развитие специализированной инфраструктурной базы, включающей сети высокоскоростной связи следующего поколения, системы высокоточного картографирования, надежные платформы обработки данных и комплексные решения в области кибербезопасности, что в совокупности создает прочный технологический фундамент для интеграции коммунального транспорта в общую архитектуру «умного города». Все рассматриваемые сценарии предполагают развитие соответствующей инфраструктуры за счет муниципалитета либо в форме муниципально-частного партнерства, которая включает: сети высокоскоростного интернета пятого поколения и беспроводной связи с опорными пунктами на перекрестках; высокоточные карты для обеспечения автономного передвижения; сервисы маркировки и поиска ближайшего парковочного места; сети парковочных концентраторов.

Формирование моделей внедрения автономного транспорта в городскую среду должно учитывать выявленные особенности общественного восприятия и требования к управленческим подходам. Наиболее эффективной представляется поэтапная модель, предполагающая начальное развертывание автономных систем в ограниченных зонах с последующим постепенным расширением их присутствия по мере роста общественного доверия и накопления опыта эксплуатации.

Успешная интеграция автономного транспорта в городскую среду требует реализации комплексных управленческих подходов, основанных на принципах развития «умного города». Основные компоненты управления «умным городом» представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Компоненты управления «умным городом»

Компонент управления	Описание
Управление видением	Формирование долгосрочного видения города как умного и устойчивого
Роуд-мэппинг	Разработка плана действий с четкими этапами и временными рамками
Ориентация на граждан	Вовлечение жителей в процесс принятия решений и учет их потребностей
Управление городскими ресурсами	Эффективное использование ресурсов с помощью умных технологий
Эффективность открытой платформы	Создание единой IT-платформы для интеграции систем и данных
Реализация выгод	Измерение результатов, таких как снижение затрат и улучшение качества жизни

2.5. Экономические вопросы внедрения автономного транспорта

Внедрение автономного транспорта представляет собой сложный и многогранный процесс, требующий всестороннего экономического анализа, включающего оценку капитальных и операционных затрат, анализ потенциальных выгод и подготовку к трансформации существующих бизнес-моделей. Экономическая аргументация развития автономных систем охватывает как прямые финансовые показатели участников рынка, так и макроэкономическое влияние на развитие национальных экономик и глобальных транспортных систем.

Первоначальным экономическим препятствием для массового внедрения автономного транспорта выступают значительные капитальные затраты, которые можно характеризовать по нескольким ключевым направлениям. Существенные финансовые ресурсы направляются на проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, включающих разработку специализированного программного обеспечения, создание и интеграцию высокоточных сенсорных систем, проведение многоуровневых тестирований и отладку комплексных систем управления.

В ходе исследования, на основании обсуждения с экспертами, была сформирована структура затрат на разработку собственных систем управления АТС представлена на рисунке 18.



Рисунок 18 – Структура затрат на разработку системы управления

Объем требуемых инвестиций исчисляется миллиардами долларов для отдельных проектов. Например, ведущие технологические компании, такие как Waymo и Cruise, инвестировали свыше одного миллиарда долларов США исключительно в начальные стадии разработки своих автономных систем.

Дополнительным фактором, увеличивающим капитальные затраты, является высокая стоимость аппаратного обеспечения автономных транспортных средств. Современные лидарные системы стоимостью от 8 000 до 75 000 долларов за единицу, высокопроизводительные вычислительные платформы ценой 15 000–25 000 долларов и сложные системы резервирования критических функций существенно увеличивают первоначальную стоимость автономного автомобиля. По оценкам отраслевых аналитиков, дополнительное оборудование для обеспечения автономности может увеличивать стоимость базового транспортного средства на 45–120% в зависимости от уровня автономности и комплектации.

Значительные инвестиционные требования распространяются также на модернизацию дорожной инфраструктуры. Муниципальные и национальные бюджеты вынуждены учитывать необходимость финансирования развития систем связи V2X, обеспечения надежной телекоммуникационной инфраструктуры и создания адаптированной дорожной сети для безопасной интеграции автономных транспортных средств в существующую транспортную систему. Стоимость модернизации одного километра городской дороги для поддержки автономного транспорта оценивается в 150 000–300 000 долларов.

Несмотря на высокие первоначальные затраты, автономный транспорт демонстрирует значительный потенциал операционной экономической эффективности.

Сокращение операционных расходов выступает одним из ключевых источников повышения экономичности транспортных систем. В секторе логистики и пассажирских перевозок исключение расходов на оплату труда водителей позволяет сократить общие операционные затраты на 30–40 процентов. Для междугородных грузоперевозок экономия составляет 35–45% от общих затрат, тогда как в городских пассажирских перевозках показатель достигает 25–35%.

Экономический анализ потенциальных преимуществ внедрения автономных грузовиков свидетельствует о значительном потенциале

снижения общих расходов. Расходы, связанные с эксплуатацией обычного (с ДВС и автоматизацией 1–3 уровня) автомобиля, представлены на рисунке 19¹⁹.



Рисунок 19 – Операционные расходы, связанные с эксплуатацией обычного автомобиля

Потенциал снижения операционных затрат при переходе на БАТС приходится прежде всего на оплату труда водителей и сопутствующие социальные отчисления.

Дополнительная экономия достигается за счет оптимизации логистических цепочек с использованием автономных грузовых перевозок, особенно при организации движения в плотных колоннах, что ведет к снижению расхода топлива на 10–15% благодаря эффекту аэродинамического сопротивления. При скорости движения 80 км/ч и расстоянии между грузовиками 10–15 метров экономия топлива для ведущего транспортного средства составляет 4–6%, для следующих транспортных средств – 10–15%.

Существенным операционным преимуществом является повышение коэффициента использования транспортных средств. При дальнейшем развитии технологий автономного вождения, когда отпадет

19

https://dato-logistics.ru/chto-takoe-sebestoinost-perevozk?fa821dba_redirect=&utm_medium=organic&utm_source=yandexsmartcamera

необходимость в постоянном присутствии водителя за рулём, время полезного использования грузовых автомобилей сможет быть увеличено практически вдвое: с 9–10 часов до 20–22 часов в сутки. Это, в свою очередь, обеспечивает повышение годового пробега примерно на 50%, что значительно расширяет возможности эксплуатации техники в рамках непрерывного рабочего цикла.

Данное увеличение рабочего времени позволяет существенно сократить сроки доставки грузов, поскольку транспортные средства смогут функционировать круглосуточно, без вынужденных перерывов на отдых водителей. Такой режим движения возможен в условиях действующего экспериментально-правового режима, что создает заметное конкурентное преимущество и способствует повышению привлекательности бизнеса, использующего автономные технологии.

Проведенный экономический анализ подтверждает, что автономный автопоезд с дизельным двигателем обладает значительным экономическим потенциалом и перспективностью даже при отсутствии государственной поддержки в виде субсидий. Главным фактором, создающим предпосылки для широкого внедрения автономного транспорта, является прогнозируемое снижение капитальных затрат на технологии автономного вождения на уровне 15–20% в течение ближайших нескольких лет. Такой тренд позволит сделать подобные решения экономически более выгодными по сравнению с традиционными неавтономными системами, при этом сохраняя преимущества операционной эффективности и безопасности перевозок.

Для достижения рентабельности автономных электротягачей и обеспечения их массового внедрения как экономически выгодного решения для транспортного бизнеса требуется системная государственная поддержка в форме прямых субсидий на приобретение техники. Согласно проведенному анализу стоимости, наиболее эффективным уровнем такой поддержки является компенсация не менее 50% от цены каждого электротягача (при рыночной стоимости 30–36 млн руб. это составит 15–18 млн руб. на единицу), что позволит существенно снизить барьер первоначальных капитальных вложений для операторов и ускорить процесс обновления автопарков в условиях ограниченных собственных финансовых ресурсов компаний.

Не менее важным фактором остается необходимость в механизме компенсации расходов на замену электробатарей в течение полного жизненного цикла тягача (каждые 5 лет, ориентировочно 17 млн руб. на единицу), поскольку эти затраты составляют значительную долю общих расходов и без господдержки делают электрические решения неконкурентоспособными по сравнению с дизельными аналогами.

Комплексное сочетание этих двух направлений государственной поддержки – прямого субсидирования капитальных затрат на приобретение и отдельного возмещения расходов на замену батарей создаст устойчивую экономическую модель внедрения электротягачей в грузовую логистику, сократив срок окупаемости до приемлемых 4–5 лет даже при консервативных сценариях эксплуатации.

Внедрение автономных технологий в транспортной отрасли приводит к кардинальному изменению традиционных бизнес-моделей. Доминирующим направлением развития становится переход от собственности на транспортные средства к модели предоставления услуг мобильности. По оценкам экспертов, уже к 2035 году в мегаполисах около 40% пассажирских поездок будут выполняться беспилотными такси.

Сроки возврата инвестиций сильно различаются по сегментам. В коммерческих грузоперевозках окупаемость достигается за 3–5 лет благодаря исключению затрат на водителей и снижению расхода топлива. В пассажирских сервисах роботакси этот показатель составляет 7–10 лет и зависит от плотности трафика и загрузки парка.

Эффективность проектов зависит от множества внешних факторов. Задержки в утверждении стандартов и разрешений растягивают коммерциализацию. Ограничения работы систем в сложных погодных условиях и на перегруженных дорогах требуют доработок. Скорость общественного принятия технологий напрямую влияет на объемы продаж и эксплуатацию.

Экономическое обоснование показывает высокий потенциал автономного транспорта для оптимизации логистики и снижения аварийности. Для реализации этих возможностей необходимы значительные стартовые вложения, совершенствование законодательства, развитие инфраструктуры и работа по повышению доверия населения. Первые ощутимые результаты ожидаются в коммерческих грузоперевозках и городских роботакси, где высокая интенсивность движения обеспечивает эффект масштаба.

Стратегия внедрения должна начинаться с наиболее выгодных направлений. Запуск пилотов с последующим расширением минимизирует риски и рационально распределяет капитал, создавая основу для устойчивого развития автономных технологий в транспортной системе.

В России в июле 2024 года насчитывалось почти 4,22 млн легких коммерческих автомобилей (LCV) и 3,66 млн грузовиков²⁰. В условиях, когда около 70% всех грузов в стране перевозится автомобильным транспортом, возможен быстрый экономический скачок от внедрения беспилотников в коммерческом сегменте. В том числе из-за возможности получить экономический эффект. При переходе на полностью беспилотные решения операционные затраты грузоперевозчиков, по оценкам экспертов, могут сократиться на 30–40%. Это даст положительный эффект около 2,0–2,1 трлн руб. в год.

2.6. Модели финансирования и государственно-частное партнерство

Развертывание автономного транспорта представляет собой одну из наиболее капиталоемких задач современной технологической повестки, требующую согласованных инвестиций на всех стадиях – от проведения фундаментальных научных изысканий и опытно-конструкторских работ до организации серийного производства и создания сопутствующей инфраструктуры. Ключевым ограничивающим фактором выступает сочетание высоких технологических и рыночных рисков с исключительно длительным инвестиционным горизонтом, что делает традиционные банковские кредиты и прямые инвестиции недостаточно эффективными. В этой связи формирование комплексных многоуровневых финансовых моделей, основанных на принципах синергии между государственными интересами и частной инициативой, становится стратегическим императивом.

Со стороны частного сектора финансирование инновационных проектов осуществляется с использованием специализированных инструментов, соответствующих уровню зрелости технологий. При этом выделяются следующие ключевые этапы.

²⁰ <https://www.autostat.ru/news/58124/>

Стадия начального финансирования (Seed Stage). На начальном этапе ведущую роль играют венчурные фонды и инвестиции бизнес-ангелов. Проекты привлекают первоначальный капитал, направленный на проверку технического потенциала идеи. Этот этап особенно важен для технологических стартапов, позволяя осуществить первые научные исследования и создать прототипы продукции.

Фаза роста и развития (Growth Stage). По мере продвижения проекта и перехода к тестированию и валидации подключаются корпоративные инвесторы, включая международные корпорации, такие как Waymo и Cruise. Эти компании вкладывают значительные средства в развитие технологий и ускоряют процесс коммерциализации инноваций. Общий объем инвестиций частного сектора в этот сектор рынка «Автонет» за последние пять лет превысил сто миллиардов долларов, демонстрируя высокий уровень инвестиционной привлекательности отрасли.

Этап масштабирования и коммерциализации (Scaling and Commercialization). Компании переходят к активным действиям по расширению бизнеса и выходу на рынок путем привлечения крупных финансовых ресурсов. Один из эффективных механизмов последнего десятилетия — слияния с особыми компаниями-покупателями акций. Такие сделки позволяют быстро выйти на фондовую биржу, минуя традиционные процедуры IPO. Примером успешного использования этого инструмента стала интеграция стартапа Aurora Innovation с компанией-покупателем, обеспечившая привлечение почти двух миллиардов долларов.

Формирование стратегических альянсов (Strategic Partnerships). Параллельно развивается практика формирования стратегических союзов и корпораций между автомобильными производителями и высокотехнологичными предприятиями. Например, сотрудничество компаний Ford и Volkswagen направлено на разработку автономных транспортных решений. Подобные союзы помогают снизить риски и ускорить внедрение новых технологий, способствуя объединению компетенций и избежанию дублирования затрат.

Таким образом, частные инвесторы и корпоративные структуры формируют комплексную систему поддержки инновационных проектов, охватывая весь цикл развития – от ранней фазы исследований до масштабного внедрения на рынке

Но для крупных проектов большую роль играет государственная поддержка. Институциональной основой для реализации масштабных инфраструктурных проектов выступают модели государственно-частного партнерства, которые обеспечивают оптимальное распределение финансовой нагрузки, административных и технических рисков между участниками. Так, при создании «умной» транспортной инфраструктуры, в классической модели государство, выступая инициатором проекта, берет на себя обязательства по финансированию создания или модернизации интеллектуальной дорожной инфраструктуры, включая системы связи, датчики и центры обработки данных. Частный оператор, в свою очередь, получает исключительные права на ее коммерческую эксплуатацию в течение длительного периода, обычно составляющего от 15 до 25 лет, что создает предсказуемые условия для возврата вложенных средств и получения прибыли.

Другой распространенной формой кооперации является создание отраслевых исследовательских консорциумов, в которых финансирование научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ осуществляется на паритетных началах. Яркой иллюстрацией служит европейская инициатива L3Pilot с общим бюджетом 68 миллионов евро, нацеленная на масштабные испытания и валидацию автономных систем управления в реальных дорожных условиях.

Дополнительным катализатором инноваций стало создание так называемых регуляторных песочниц – специальных правовых режимов, действующих на ограниченных территориях. В этих зонах компании-разработчики получают возможность тестировать новейшие прототипы в условиях адаптированного и упрощенного законодательства при постоянной экспертной и правовой поддержке со стороны государственных органов. Такой подход значительно ускоряет итерационный процесс доводки технологии и повышает общую гибкость нормативного регулирования.

Мировая практика демонстрирует значительный разброс в подходах к стимулированию инвестиций в автономный транспорт, обусловленный национальными особенностями экономической политики и технологического развития.

В Соединенных Штатах Америки доминирует децентрализованная модель, сочетающая федеральные грантовые программы, такие как Automated Driving System Grants, с широким спектром налоговых

льгот на уровне штатов для субъектов, инвестирующих в соответствующие научно-исследовательские проекты. Акцент делается на создании благоприятного регуляторного климата, который поощряет частную инициативу и конкуренцию.

В Европейском Союзе, напротив, реализуется скоординированная централизованная стратегия. Основным финансовым инструментом выступают многолетние рамочные программы, такие как «Горизонт Европа» с бюджетом 95,5 миллиарда евро, в рамках которых финансируются масштабные международные проекты в области подключенной и автоматизированной мобильности. Ключевым требованием является обязательное образование международных консорциумов, что способствует гармонизации стандартов и распределению знаний.

В Китае применяется директивная модель, характеризующаяся прямыми государственными инвестициями через национальные фонды развития и суверенные фонды благосостояния. Крупные госкорпорации получают целевые субсидии и административную поддержку для быстрого развертывания инфраструктуры и создания замкнутых производственных цепочек. Регуляторные песочницы здесь часто интегрированы в специальные экономические зоны, где тестирование технологий сочетается с их оптовой коммерциализацией.

Эффективное распределение и минимизация рисков составляет основу финансовой устойчивости любых проектов в области автономного транспорта. Структура рисков обладает высокой динамичностью и существенно меняется по мере развития проекта. На ранних, научно-исследовательских стадиях преобладают технологические риски, связанные с принципиальной реализуемостью заявленных характеристик системы. Эти риски в большинстве моделей финансирования принимают на себя частные компании, обладающие необходимой экспертизой. По мере перехода к стадии тестирования и валидации на первый план выходят риски нормативно-правового характера: несовершенство законодательной базы, проблемы лицензирования и сертификации, а также вопросы гражданской ответственности. Данные риски распределяются между участниками: государство берет на себя обязательства по адаптации законодательства, а частный партнер – по страхованию своей деятельности.

На этапе коммерческого развертывания возрастает значимость операционных и рыночных рисков, включая кибербезопасность,

устойчивость бизнес-модели и общественное восприятие технологии. Для их хеджирования применяются сложные финансовые инженерные механизмы. К ним относятся: поэтапное финансирование, при котором транши выделяются по достижении ключевых вех; страхование гражданской ответственности на сумму, адекватную потенциальному ущербу; создание совместных резервных фондов для покрытия непредвиденных расходов; использование производных финансовых инструментов для хеджирования валютных и процентных рисков в международных проектах.

Эволюция финансовых инструментов продолжается, порождая модели, более адекватные специфике цифровых технологий. К их числу относится концепция «финансирования как услуги» (Financing-as-a-Service), которая подразумевает предоставление операторам автономного транспорта не просто заемных средств, а комплексного продукта, включающего лизинг подвижного состава, страхование, техническое обслуживание и управление программным обеспечением по единой подписной модели.

Получает распространение и токенизация активов – выпуск цифровых обязательств, обеспеченных конкретными активами проекта (например, парком беспилотных транспортных средств или интеллектуальной собственностью) и обращающихся на распределенных блокчейн-платформах. Это открывает доступ к новым классам инвесторов и обеспечивает высокую ликвидность долей в капиталоемких проектах.

Отдельное стратегическое направление формирует так называемое «зеленое» финансирование. Оно предполагает эмиссию облигаций, условия по которым привязаны к достижению целевых показателей экологической устойчивости (снижению выбросов CO₂, повышению энергоэффективности парка), а также предоставление целевых льгот и грантов проектам, ориентированным на развитие электрических и водородных автономных транспортных средств. Данный тренд позволяет привлекать средства из специализированных «зеленых» фондов и от инвесторов, предъявляющих повышенные требования к экологичности своих портфелей.

Таким образом, успешная реализация проектов в области автономного транспорта в долгосрочной перспективе напрямую зависит от выстраивания сложной, многоуровневой системы финанси-

ния, основанной на глубокой интеграции государственных и частных интересов. Модель государственно-частного партнерства, постоянно обогащаемая новыми инструментами и механизмами распределения рисков, демонстрирует свою максимальную результативность для задач подобного масштаба и сложности, поскольку позволяет консолидировать значительные финансовые, материальные и интеллектуальные ресурсы, недоступные для каждого из участников по отдельности.

В ходе исследования был проведен опрос, результаты которого представлены на рисунке 20.



Рисунок 20 – Существенность государственной поддержки для производителей автономного транспорта в мире

Результаты опроса показывают, что приоритетными направлениями господдержки рассматриваются, прежде всего направления финансовой поддержки, как на уровне исследований и разработок, так и на уровне производства и выхода на рынок.

Результаты опроса в отношении господдержки в России представлены на рисунке 21.



Рисунок 21 – Существенность государственной поддержки для производителей автономного транспорта в России

Результаты опроса в отношении ожиданий господдержки в России показывают оценки, примерно соответствующие ситуации в мире.

В Российской Федерации развитие автономного транспорта активно стимулируется через механизмы государственной поддержки, адаптированные к национальным экономическим и правовым условиям. Ключевым инструментом выступает Федеральный закон № 224-ФЗ «О государственно-частном партнерстве, муниципально-частном партнерстве в Российской Федерации», который предусматривает различные формы соглашений – от классических концессий до договоров о жизненном цикле.

Характерным проектом в данной сфере является инициатива по созданию и тестированию беспилотных грузовых перевозок, реализуемая в рамках Национальной технологической инициативы. Финансирование проекта осуществляется по модели софинансирования: значительная часть капитальных затрат на создание тестовой инфраструктуры покрывается за счет федерального бюджета через институты развития, такие как Фонд развития промышленности и ВЭБ.РФ.

Частные участники отвечают за поставку технологических решений, программного обеспечения, автономных транспортных плат-

форм и проведение комплексных испытаний, что обеспечивает комплексное развитие технологии автономного транспорта в России. Особенностью модели является использование механизма «проектного финансирования», при котором возврат инвестиций частных партнеров привязан к достижению заранее определенных технологических вех-показателей, например, уровня безаварийной наработки часов или количества успешно завершенных тестовых рейсов. Это позволяет минимизировать бюджетные риски и стимулирует участников к достижению конкретных результатов.

Реализация данного проекта позволила не только апробировать технологию в реальных условиях, но и отработать эффективную финансовую схему для последующего тиражирования на других транспортных коридорах.

3. ФОКУСНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ: СЕГМЕНТ АВТОНОМНОГО ИНЖЕНЕРНО-КОММУНАЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

3.1. Основные направления развития автономной коммунальной техники в мире

Сегмент автономного инженерно-коммунального транспорта занимает стратегически важное место в общей системе беспилотных технологий, что обусловлено спецификой задач и особенностями эксплуатационной среды. В отличие от автономных систем общего дорожного движения, где возникают серьезные проблемы, связанные с правовым регулированием, сложностью динамичной окружающей среды и необходимостью взаимодействия с пешеходами и разнородным транспортом, автономная коммунальная техника функционирует преимущественно в ограниченных, частично или полностью контролируемых зонах. К таким зонам относятся дворовые территории, парковые зоны, промышленные площадки, закрытые строительные объекты и выделенные полосы движения, где условия эксплуатации значительно более предсказуемы и управляемы. Эта ограниченность и контролируемость среды существенно снижают операционные риски и упрощают задачи программного обеспечения, что в конечном итоге ведет к ускоренному и более безопасному внедрению автономных систем в коммунальной сфере.

С точки зрения технологической трансформации, автономные системы в коммунальном хозяйстве представляют собой пример глубоких преобразующих нововведений, способных коренным образом изменить традиционные подходы к предоставлению городских услуг. Анализ подтверждает, что беспилотные автотранспортные технологии относятся к категории радикальных преобразований, которые необратимо меняют принципы пользования автомобилем как таковым.

На глобальном уровне сегодня наблюдается выраженный переход от стадий экспериментальных проектов и демонстрационных испытаний технологий к их практическому применению и созданию масштабируемых коммерческих решений. При этом принципиально важным аспектом становится не только подтверждение технической осуществимости использования автономных систем, но и демонстрация их экономической эффективности, которая измеряется через комплекс показателей, включая сокращение эксплуатационных расходов, снижение затрат на техническое обслуживание, минимизацию износа оборудования и существенное повышение качества предоставляемых коммунальных услуг.

Современные аналитические исследования последовательно отмечают значительный экономический потенциал от внедрения автономных систем, который формируется за счет комплексной экономии различных ресурсов, радикального снижения аварийности и фундаментальной оптимизации всех логистических процессов. По имеющимся оценкам, суммарный эффект от ресурсосбережения и роста производительности экономики от беспилотных автомобилей может составить существенные величины благодаря экономии топлива, снижению аварийности и затрат на перемещение товаров и пассажиров.

Автономная коммунальная техника развивается по нескольким основным направлениям, которые структурированы в соответствии с типами выполняемых задач и характером условий эксплуатации. Такой подход позволяет максимально эффективно адаптировать технологические решения под конкретные эксплуатационные требования и специфические особенности различных коммунальных задач.

Важно отметить, что автоматизация этих процессов закономерно приводит к серьезной трансформации структуры занятости в отрасли, создавая устойчивый спрос на высококвалифицированных специалистов при одновременном сокращении потребности в низкоквалифицированном ручном труде. Наблюдается существенное сокращение потребности в сопровождающих и водителях, что ведет к изменению уровня занятости при различных сценариях развития. Речь может идти о сокращении значительного числа рабочих мест.

3.2. Обзор автономной коммунальной техники и технологий, использующихся в России и за рубежом

В скандинавских странах активное развитие автономной коммунальной техники вызвано во многом суровым климатом и высоким затратами на обслуживание инфраструктуры. Например, финская компания Trombia Technologies уже поставляет полностью автономные подметально-уборочные машины Trombia Free (см. рисунок 22), которые работают до 18 часов без участия оператора²¹. Электрическая силовая установка снижает уровень шума и выбросов, что позволяет проводить уборку ночью, не мешая людям.



Рисунок 22 – Автономные подметально-уборочные машины Trombia Free на улицах Хельсинки

В Швеции компания Einride вместе с электросетевой компанией Svenska Kraftnät испытывает автономные электромобили для перевозки оборудования и работников на линиях электропередач в труднодоступных местах.

²¹ Autonomous street sweeper cleans up city streets in Helsinki pilot <https://newatlas.com/automotive/trombia-free-autonomous-street-sweeper>

В Эстонии для автономной уборки улиц используется робот Lumebot²², представленный на рисунке 23.



Рисунок 23 – Автономный уборщик улиц Lumebot

В ФРГ автономные пылесосы для закрытых логистических зон моют и полируют полы торговых центров, на заводах и складах, эффективно убирая полы между стеллажами. Также эксплуатируются в учреждениях здравоохранения для уборки с высокими требованиями к чистоте. Представленный на рисунке 24 HAKO Scrubmaster B75 i – роботизированное решение для уборки закрытых муниципальных помещений²³.

²² Stell использует для уборки снега робот Lumebot <https://stell.ee/ru/stell-%D0%B8%D1%81%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D1%8C%D0%B7%D1%83%D0%B5%D1%82-%D0%B4%D0%BB%D1%8F-%D1%83%D0%B1%D0%BE%D1%80%D0%BA%D0%B8-%D1%81%D0%BD%D0%B5%D0%B3%D0%B0-%D1%80%D0%BE%D0%B1%D0%BE%D1%82-lumebot/>

²³ <https://www.hako.com/en/products/cleaning-technology/scrubber-driers/autonomous-scrubber-driers/scrubmaster-b75-i>



Рисунок 24 – Автономный уборщик HAKO Scrubmaster B75 i

Автономный коммунальный транспорт в Северной Америке развивается как интегрированная система цифровых, электрических и роботизированных технологий, обеспечивая современный уровень обслуживания городской среды.

В США компания Left Hand Robotics разработала SnowBot Pro – автономного робота для уборки снега с тротуаров²⁴. На рисунке 25 представлен робот-уборщик. Он оснащён GPS-навигацией, лидарами, камерами и датчиками, чтобы самостоятельно очищать улицы, избегая людей и препятствий. Пользователь задаёт маршрут через облачное ПО, а робот передаёт данные о работе в реальном времени. SnowBot Pro сокращает необходимость ручной уборки снега и повышает безопасность, стоя примерно 36 тысяч долларов.

²⁴ Autonomous Snowbot Pro hits the sidewalk <https://www.gpsworld.com/autonomous-snowbot-pro-hits-the-sidewalk/>



Рисунок 25 – Робот – уборщик снега

В Канаде впервые введён в эксплуатацию автоматизированный снегоочиститель T3-1000 от компании Left Hand Robotics (Колорадо). Он работает по GPS, радару и 360-градусным камерам, очищая пешеходные тропы, избегая людей и препятствий. Машина ограничена в работе при снеге более 8 см и стоит около 100 тысяч долларов. Летом её можно переоборудовать в беспилотную газонокосилку. Проект направлен на освобождение работников от рутинных задач и повышение эффективности уборки.

Здесь же, в Канаде запущен проект очистки побережья озера Эри от мусора с помощью роботов-уборщиков BeBot и PixieDrone²⁵. BeBot просеивает песок и собирает мелкий пластик на берегу, работая на солнечной энергии. PixieDrone очищает воду, выбирая до 150 л мусора на небольшой глубине. Роботы будут работать на 18 популярных пляжах, помогая бороться с загрязнением микропластиком, концентрация которого в Великих озерах сопоставима с океанской. Проект начнется весной и направлен на защиту внутренних водоемов. На рисунке 26 представлен BeBot во время демонстрации на озере в Канаде.

²⁵ Роботы будут убирать побережье Великих озер в Канаде
<https://hightech.fm/2022/12/27/great-lakes-robots>



Рисунок 26 – Робот-уборщик VeBot во время демонстрации на озере в Канаде

Азиатские и ближневосточные страны развивают решения для умных городов. В Сингапуре и Дубае применяются автономные машины для мытья улиц и сбора мусора²⁶. На рисунке 27 представлен Робот-уборщик на улицах ОАЭ.



Рисунок 27 – Роботы-уборщики на улицах ОАЭ

²⁶ На улицах Абу-Даби появились роботы-уборщики
<https://russianemirates.family/news/family-news/na-ulitsakh-abu-dabi-poyavilis-roboty-uborshchiki/>

В сингапурском аэропорту Чанги проходит испытания парк автономных тягачей EZTow, внедряемых для автоматизации наземных операций. Эти электрические беспилотные тягачи способны передвигаться со скоростью до 15 км/ч и буксировать до четырёх грузовых контейнеров массой до 20 тонн, обеспечивая эффективную доставку багажа от зон обработки к воздушным судам и оптимизацию маршрутов внутри аэродрома²⁷. На рисунке 28 представлен автономный электробуксир EZTow.



Рисунок 28 – Автономный электробуксир EZTow

Благодаря применению автономных технологий повышается производительность, снижаются эксплуатационные издержки и освобождается персонал для более сложных задач. Эти проекты не только решают практические задачи, но и служат элементами имиджа технологически развитых городов.

В КНР достаточно много примеров уже повседневного использования роботизированных коммунальных машин. Вот некоторые из них: Робосвипер (Robosweeper) – это беспилотный электрический дорожный уборщик, разработанный китайскими компаниями WeRide

²⁷ Испытание в аэропорту Чанги использования беспилотного тягача для перевозки багажа с самолётов
https://www.straitstimes.com/singapore/transport/changi-airport-trials-use-of-driverless-tractor-to-fetch-luggage-from-planes?utm_medium=organic&utm_source=yandexsmartcamera

и Yutong Group²⁸. На рисунке 29 представлен беспилотный электрический дорожный уборщик Robosweeper. Он обладает уровнем автономности 4, работает без водителя на подготовленных маршрутах, используя лидары, камеры и GPS для навигации по 3D-карте. Робосвипер выполняет уборку улиц, опрыскивание парков и дезинфекцию, самостоятельно пополняет запасы воды и управляется через интеллектуальные системы. Модель Robosweeper S1 компактна, с емкостью бака для воды 400 л и мусорного бака 240 л, способна эффективно убирать площадь свыше 120 000 квадратных метров на одной зарядке. Все эти разработки и испытания ведутся в Китае, в частности в городах Гуанчжоу и Шэньчжэнь.



Рисунок 29 – Robosweeper – беспилотный электрический дорожный уборщик

В Китае начались испытания первого полностью автономного электротрактора Honghu T70 от Shiyan Guoke Honghu Technology²⁹.

²⁸ Robosweeper – беспилотный электрический дорожный уборщик <https://tenchat.ru/media/3081513-robosweeper--bespilotniy-elektricheskiy-dorozhniy-uborschik>

²⁹ Беспилотный электротрактор Honghu T70 управляется с помощью ИИ <https://4pda.to/2025/08/10/445283/bespilotnyj-elektrotraktor-honghu-t70-upravlyaetsya-s-pomoschyu-ii-foto/>

Техника без кабины и руля, управляется ИИ, оснащена GPS, лидарами и датчиками для анализа почвы и условий. Обработывает 2 гектара за 2,5 часа с точностью до 2,5 см. Работает на литий-ионном аккумуляторе, заряда хватает на 6 часов. Два мотора отвечают за движение и навесное оборудование. Сейчас тестируется в Хэбэй и других регионах, с потенциалом для масштабного внедрения на автоматизированных фермах. На рисунке 30 представлен трактор Honghu T70.



Рисунок 30 – Полностью автономный трактор Honghu T70

В России ситуация развивается несколько иначе. Главным стимулом становятся потребности крупных промышленных компаний и проекты по импортозамещению, а не муниципальные заказы в чистом виде. Например, группа ГАЗ демонстрирует прототипы автономных машин для коммунальных нужд на собственных шасси.

Что касается уже эксплуатируемой коммунальной техники, то здесь есть уже несколько убедительных примеров эффективной эксплуатации роботов уборщиков улиц. Например, полностью автономный беспилотный робот-уборщик «Пиксель» компании «Автономика» разработан для тихой и качественной уборки садово-парковых территорий³⁰. Сменное навесное оборудование позволяет поддерживать чистоту в городской среде независимо от погоды, времени суток и сезона. «Пиксель» выполняет влажную уборку и под-

³⁰ В Москве протестируют автономных роботов для уборки улиц «Пиксель» https://dzen.ru/a/Y9UGi5dM9RGpqpPA?utm_medium=organic&utm_source=yandex_smartcamera

метает тротуары до 16 часов подряд круглый год, повышая эффективность и снижая трудозатраты. На рисунке 31 представлен робот «Пиксель».



Рисунок 31 – Робот «Пиксель»

Компания DRONESHUB предлагает универсальных роботов для уборки улиц и общественных пространств круглый год³¹. Зимой они убирают снег и обрабатывают поверхности от льда, весной и осенью собирают мусор, листву и ветки. Летом роботы убирают пыль, чистят ливневую канализацию и ухаживают за зелеными зонами, включая стрижку газонов и защиту растений. Универсальный робот DRONESHUB представлен на рисунке 32.



Рисунок 32 – Универсальный робот DRONESHUB

Главное отличие России от лидеров – ограниченный масштаб внедрения. Если в Финляндии автономные машины для уборки уже

³¹ <https://droneshub.group/>

работают на улицах городов, то в России такие проекты чаще ограничиваются пилотными тестами на отдельных объектах, например, в бизнес-парках или на предприятиях.

Перспективы развития отдельных сегментов сектора инженерно-коммунального транспорта, согласно проведенному опросу, представлены на рисунке 33.



Рисунок 33 – Перспективы развития автономного инженерно-коммунального транспорта в России (по 5-балльной шкале)

Сегментом, набравшим наибольшую оценку является «Подметально-уборочные машины».

В России успех развития сектора «Инженерно-коммунального транспорта» во многом будет зависеть от создания отечественной компонентной базы и адаптации технологий к непростым климатическим условиям. Основное внимание сосредоточено на безопасности и эксплуатации важной инфраструктуры – нефтегазовых и энергетических объектов, оборонных предприятий, где экономическая целесообразность дополняется стратегической необходимостью.

В итоге сегмент автономного инженерно-коммунального транспорта перешёл из стадии лабораторных разработок к поиску реальных бизнес-моделей. Его будущее тесно связано с интеграцией в цифровые экосистемы умных городов и способностью предлагать экономически оправданные решения для локальных и специализированных задач.

3.3. Специфика применения в муниципальных службах и частных организациях

Специфика и перспективы развития автономного городского транспорта связаны с объединением и интеграцией существующих технологий для решения конкретных задач. Всё больше автономная коммунальная техника становится частью городской экосистемы «умного города». Уборочная машина может выезжать по сигналу датчиков загрязнения воздуха или прогноза гололёда, система полива зеленых насаждений активируется при снижении влажности почвы.

Помимо крупных машин, развивается идея использования групп небольших роботов, которые могут совместно выполнять задачи. Например, дроны могут мониторить фасады зданий или линии электропередач, а наземные роботы устранять дефекты. Также меняется модель бизнеса: муниципалитетам и компаниям предлагается не покупать дорогостоящую технику, а пользоваться её услугами по подписке. Производитель или оператор берёт на себя обслуживание, обновления и управление, что снижает риск для клиента и облегчает доступ к технологиям.

Внедрение автономного инженерно-коммунального транспорта зависит от того, кто именно его использует, муниципалитет или частная компания. Анализ показывает, что подходы у них существенно отличаются.

Сравнительный анализ демонстрирует принципиальные различия в целеполагании: муниципальные службы ориентированы на повышение бюджетной эффективности и выполнение социальных обязательств, в то время как частные организации фокусируются на снижении операционных затрат и повышении рентабельности.

Для муниципальных служб главное найти способы улучшить городскую среду, несмотря на ограниченные бюджеты и нехватку персонала. Такие службы сосредоточены на ряде задач. В первую очередь это круглогодичная уборка улиц и тротуаров, а также борьба с гололёдом. Автономные машины позволяют выполнять эти работы ночью без помех для движения, что повышает эффективность. Кроме того, важна оптимизация вывоза твердых коммунальных отходов с помощью маршрутов мусоровозов и сокращение затрат на оплату труда. Автоматизация также применяется для ухода за зелеными насаждениями, например, для полива газонов и мониторинга их состояния.

Важна и инспекция инфраструктуры: дроны и наземные роботы непрерывно проверяют состояние дорожного покрытия, мостов и фасадов зданий. Однако внедрение сталкивается с определенными трудностями. Одной из ключевых является высокая стоимость приобретения техники, что заставляет муниципалитеты чаще выбирать модели лизинга или сервисные контракты, когда платят не за саму технику, а за выполненную работу, например, за каждый километр очищенной дороги. Также для работы автономных машин на публичных территориях нужно одобрение регуляторных органов, а вопросы ответственности при авариях остаются не до конца решёнными. К тому же городские власти учитывают возможность негативной реакции жителей, которые опасаются потери рабочих мест или снижения безопасности. Производитель автономной техники отвечает за качество уборки на заданных улицах, а муниципалитет экономит на парке техники и зарплатах, оплачивая услугу по факту.

Особое значение для муниципального сектора имеет обеспечение доступности услуг автономного транспорта для маломобильных групп населения. Исследования показывают, что в сценариях с развитой инфраструктурой общественных автомобилей уровень доступности для таких групп может достигать максимальных оценок по пятибалльной шкале.

Частные компании, такие как управляющие жилыми комплексами, сети гипермаркетов или владельцы логистических парков, преследуют другие цели при внедрении автономного транспорта. Для них это инвестиция, направленная на снижение операционных расходов и повышение конкурентоспособности. Среди их задач – уборка и охрана крупных складских территорий, бизнес-парков, стадионов и аэропортов. Кроме того, важна диагностика и мониторинг критически важных объектов, таких как нефтехранилища, трубопроводы и энергетические комплексы. Автономные решения также применяются в сельском хозяйстве, например, для обработки полей вне сезона.

Для частного сектора важным фактором является чёткий расчёт окупаемости инвестиций. Решение о покупке техники принимается быстрее, если можно доказать экономию за счёт сокращения числа водителей, снижения расхода топлива или электроэнергии и увеличения рабочего времени машин.

Еще одним преимуществом является меньшая регуляторная нагрузка: на частных территориях проще проводить испытания и эксплуатацию, не требуя сложных согласований как на дорогах общего пользования. Кроме того, использование современных и экологических технологий становится частью имиджевой политики компаний. В качестве примера можно привести управляющую компанию, которая приобрела автономные газонокосилки и роботы для уборки территорий элитного жилого комплекса. Внедрение таких решений позволяет обеспечивать высокий уровень чистоты при фиксированной стоимости услуг, при этом снижая затраты на персонал в долгосрочной перспективе.

В частном секторе ключевым ограничением выступает расчет возврата инвестиций и начальная стоимость решения, тогда как для муниципалитетов основными барьерами являются бюджетное финансирование, регулирование и общественное мнение.

Подходы к внедрению автономного инженерно-коммунального транспорта существенно различаются в зависимости от типа оператора: муниципалитеты ориентируются на бюджетную эффективность и социальные задачи, а частные компании — на повышение операционной эффективности и экономическую выгоду. В каждом случае автономные технологии помогают решать конкретные задачи, делая управление территорией и инфраструктурой более современным и экономичным. В таблице 2 представлены подходы к внедрению автономного инженерно-коммунального транспорта.

Таблица 2 – Подходы к внедрению автономного инженерно-коммунального транспорта

Критерий	Муниципальные службы	Частные организации
Основной драйвер	Повышение бюджетной эффективности, выполнение социальных обязательств	Снижение операционных затрат, повышение рентабельности
Ключевое ограничение	Бюджетное финансирование, регулирование, общественное мнение	Расчет окупаемости (ROI), начальная стоимость решения
Модель внедрения	Сервисная подписка (ХааS), лизинг	Прямая закупка, лизинг
Типичная территория	Общественные улицы, парки	Ограниченные частные территории (склады, промзоны, бизнес-центры)

Специфика применения автономного инженерно-коммунального транспорта требует от разработчиков максимально гибких и адаптируемых подходов, которые учитывали бы уникальные требования и условия разных пользователей. Для муниципального сектора, где главный акцент делается на бюджетную эффективность и выполнение социальных обязательств перед жителями, ключевой задачей становится разработка экономически обоснованных сервисных моделей с четко распределёнными рисками. Это означает, что вместо покупки дорогостоящей техники муниципалитеты чаще выбирают схемы лизинга или подписки, когда платят не за само оборудование, а за конкретные услуги — например, за каждый километр убранной улицы или время работы машины. В таких моделях ответственность за техническое состояние, ремонт и страхование техники ложится на производителя или оператора, что существенно снижает финансовые риски для городов.

В то же время для частного сектора всё гораздо более прагматично и ориентировано на быструю окупаемость инвестиций. Здесь важны готовые и легко интегрируемые технологические решения, которые можно быстро внедрить в существующую инфраструктуру предприятия без значительных простоев. Частные компании стараются оценивать экономическую эффективность такого внедрения на основе чёткого расчёта возврата инвестиций: сколько именно удастся сэкономить на зарплатах персонала, топливе или электроэнергии, насколько увеличится время работы оборудования и снизятся простои. Также частный бизнес ценит решения, которые требуют минимального административного вмешательства и обладают достаточной гибкостью под свои операционные процессы.

Для успешного развития и внедрения автономного ИКТ необходимо учитывать эти разные подходы. Муниципальный рынок требует сервисных моделей с прозрачным распределением рисков и финансовой нагрузки, а частный сектор – практичных, эффективных продуктов. Умение адаптировать технологии и бизнес-модели под эти различные потребности и ожидания становится залогом широкого распространения автономного инженерно-коммунального транспорта и его успешной интеграции как в городскую инфраструктуру, так и в индустриальные объекты.

3.4. Оценка воздействия на предприятия, экономику, экологию и общество

Внедрение автономного инженерно-коммунального транспорта оказывает многогранное влияние на различные уровни хозяйственной и социальной жизни. Анализ показывает, что существуют как положительные эффекты, так и некоторые потенциальные риски, которые необходимо учитывать.

На уровне предприятий, или микроуровне, внедрение такой техники положительно сказывается на операционной эффективности. Благодаря возможности работать круглосуточно, исключению простоев, связанных с человеческим фактором, а также оптимизации маршрутов и расхода материалов: воды, реагентов, топлива, себестоимость услуг значительно снижается.

Одновременно формируются новые каналы получения доходов через монетизацию данных. Автономные транспортные средства в процессе работы генерируют огромные массивы информации, которые могут быть использованы для анализа поведения пассажиров, прогнозирования транспортных потоков, создания персонализированной рекламы и разработки платных информационных сервисов. Размер рынка таких услуг к 2030 году прогнозируется на уровне 4,5–6,3 трлн рублей.

На макроэкономическом уровне массовое внедрение автономного транспорта существенно повысит производительность национальных экономик. По данным ведущих консалтинговых агентств, в развитых странах этот фактор добавит 1–2% к ВВП за счет оптимизации транспортных процессов. Для экономики с сильной промышленностью это означает ежегодный прирост в 45–90 трлн рублей.

Автономные системы стимулируют рост смежных секторов. Страховщики создают новые полисы для покрытия специфических рисков беспилотников. Операторы связи расширяют сети пятого и шестого поколений для стабильной передачи данных. Энергетики строят зарядные комплексы для электрических автономных машин. Общий объем вложений в эти отрасли к 2035 году превысит 27–45 трлн рублей.

Автономная техника обеспечивает стабильно высокое качество и предсказуемость выполнения работ, поскольку функционирует по заранее заданным алгоритмам, например, в процессе уборки улиц с одинаковым уровнем давления воды. Важным преимуществом становится

и снижение рисков: количество аварий из-за человеческих ошибок сокращается, а безопасность персонала повышается, особенно в опасных условиях, таких как работа на проезжей части или на большой высоте.

Однако наряду с плюсами есть и минусы. Во-первых, высокие первоначальные инвестиции являются существенным препятствием – это затраты на покупку или лизинг техники, а также на модернизацию информационно-технической инфраструктуры. Во-вторых, внедрение требует переобучения персонала: инженеров и операторов, которые должны уметь управлять и обслуживать сложные киберфизические системы. В-третьих, существует зависимость от технологий и производителей – возможные сбои программного обеспечения или кибератаки могут привести к простоев техники и дополнительным потерям.

На макроуровне внедрение автономного инженерно-коммунального транспорта способствует формированию новой высокотехнологичной отрасли. Это стимулирует развитие смежных секторов, таких как информационные технологии, микроэлектроника и телекоммуникации, а также создание новых рабочих мест в наукоемких сферах. Один из важных аспектов – импортозамещение, когда развитие отечественных технологий позволяет снизить зависимость от зарубежных платформ и комплектующих.

Высокий уровень автоматизации коммунального хозяйства повышает инвестиционную привлекательность регионов и городов, делая их более интересными для бизнеса.

С другой стороны, внедрение автономных систем вызывает структурные изменения на рынке труда. Сокращается спрос на низкоквалифицированный труд, например, на водителей и дворников, в то время как создание рабочих мест в высокотехнологичных секторах не всегда идет с нужной скоростью. Это может усугубить социальное неравенство в обществе.

Экологический аспект внедрения автономного инженерно-коммунального транспорта также имеет свои положительные стороны. Массовый переход на электрические источники тяги в сочетании с автономией существенно снижает уровень загрязнения воздуха в городах. Системы ИИ позволяют точно дозировать использование ресурсов — воды, реагентов и топлива, что снижает их излишнее по-

требление. Кроме того, электроника в автономных машинах работает практически бесшумно, что позволяет совершать работы в ночные часы без создания дискомфорта для жителей.

На социальном уровне внедрение автономных решений повышает качество и доступность городских услуг. Уборка улиц, освещение, озеленение становятся более стабильными и не зависят от человеческого фактора, такого как болезнь или смена сотрудников. Кроме того, снижаются риски на дорогах, так как автономные технологии устраняют ошибки, связанные с усталостью или невнимательностью водителей. Однако процесс внедрения сопровождается и социальными рисками. В обществе существует потенциальное сопротивление, опасения, что «роботы забирают рабочие места», а также недоверие к безопасности автономных технологий. Есть риск цифрового неравенства, когда крупные города легко внедряют инновации, а малые населённые пункты остаются с устаревшей инфраструктурой. Кроме того, для части населения может возникать психологический дискомфорт из-за постоянного присутствия в городской среде автономных машин.

В целом, внедрение автономного инженерно-коммунального транспорта – это сложный и многогранный процесс, который приносит множество положительных изменений, но требует тщательного внимания к возникшим рискам и вызовам. Только сбалансированный подход, учитывающий все аспекты и интересы участников процесса, обеспечит успешную интеграцию новых технологий в повседневную жизнь городов и регионов. В таблице 3 представлен сводный анализ воздействия внедрения автоматизированных ТС на города.

Таблица 3 – Сводный анализ воздействия на город

Сфера	Позитивное воздействие	Потенциальные риски и вызовы
Предприятия	Снижение затрат, повышение эффективности и безопасности	Высокие капиталовложения, технологические риски, необходимость переквалификации кадров
Экономика	Рост высокотехнологичного сектора, импортозамещение	Структурная безработица, рост социального напряжения
Экология	Снижение выбросов, оптимизация ресурсов, тишина	Утилизация батарей (для электрических моделей)
Общество	Повышение качества и безопасности городской среды	Социальное сопротивление, цифровое неравенство, психологический дискомфорт

Внедрение автономного инженерно-коммунального транспорта несёт в себе большой потенциал для улучшения различных сфер хозяйственной и социальной жизни, однако его успешная реализация требует взвешенного, продуманного подхода и внимания к ряду сопутствующих социальных и экономических вопросов. В первую очередь нельзя ограничиваться лишь развитием самих технологий, необходимо одновременно активно работать над решением связанных с этим явлений и сложностей.

Особую роль в этом процессе будет играть государственная политика, которая должна быть направлена на комплексную поддержку трансформации сферы инженерно-коммунальных услуг. Важным направлением станет организация программ переобучения работников, чьи роли изменятся в связи с автоматизацией и внедрением новых средств. Это поможет смягчить социальную напряжённость, связанную с трансформацией профессий, и обеспечит качественную подготовку специалистов для эксплуатации и обслуживания сложного оборудования. Не менее существенной является задача разработки и имплементации чётких и последовательных стандартов, которые позволят упростить процессы сертификации, лицензирования и нормативного контроля автономной техники. Единые отраслевые правила и методики оценки эффективности должны способствовать ускорению внедрения технологий и снятию неопределённости как для производителей, так и для заказчиков. Еще одной важной задачей станет преодоление цифрового разрыва между регионами и социальными группами, что требует мероприятий, направленных на равномерное распространение инноваций и повышение уровня цифровой грамотности населения. Без обеспечения равноправного доступа к новым технологиям реализовать весь потенциал автоматизации будет крайне трудно.

Также необходимо учитывать необходимость создания устойчивых финансовых моделей поддержки внедрения, как со стороны государственных бюджетов, так и с участием частного капитала. Возможны разнообразные механизмы субсидирования, лизинга или сервисных контрактов, которые уменьшат начальную финансовую нагрузку для потребителей.

В целом, взвешенная государственная политика должна сочетать стимулирование инноваций с решением социально-экономических

вызовов, чтобы максимально раскрыть потенциал автономного инженерно-коммунального транспорта и сделать этот процесс социально ответственным и экономически эффективным. Благодаря такому комплексному подходу не только технологии, но и общество будет готово к качественным переменам в сфере коммунального обслуживания и городской инфраструктуры.

3.5. Анализ рисков, вызовов и барьеров развития

Развитие сегмента автономного инженерно-коммунального транспорта сопряжено с комплексом взаимосвязанных барьеров, которые можно разделить на несколько ключевых категорий, каждая из которых представляет собой значительный вызов для внедрения и масштабирования технологий.

Особую сложность представляет проблема переходного периода, когда на дорогах одновременно находятся транспортные средства, управляемые искусственным интеллектом и людьми, с принципиальными различиями в механизмах принятия решений.

Одной из наиболее серьёзных проблем остаётся обеспечение надёжности работы искусственного интеллекта в нестандартных ситуациях. Это критично в российских условиях, где сложные погодные явления, такие как сильный снегопад, гололёд или густой туман, нередко нарушают работу сенсоров, лидаров и камер. Способность системы адаптироваться и адекватно реагировать на редкие и непредсказуемые события становится важным ориентиром развития технологии. Помимо этого, работу усложняет необходимость достижения высокой точности позиционирования, особенно при эксплуатации техники в городской среде с плотной инфраструктурой, где маневры должны осуществляться буквально с сантиметровой точностью. Обычные GPS-системы не справляются с этой задачей, а методы точного позиционирования существенно увеличивают стоимость оборудования и зависят от стабильности телекоммуникационных сетей в регионе. Особое место занимает кибербезопасность: централизованное управление парком техники ведёт к рискам масштабных хакерских атак, способных вывести из строя всю систему городского хозяйства. Для предотвращения таких ситуаций необходимы защищённые каналы связи и надёжные протоколы.

В экономической и финансовой плоскости проблема высоких капитальных затрат остаётся основным барьером. Автономная техника существенно дороже традиционной из-за стоимости разработки, производства и внедрения IT-инфраструктуры. Модель сервисной подписки частично сглаживает это бремя для конечного покупателя, но требует от производителя или оператора значительных вложений. Дополнительным фактором усложнения является неопределённость окупаемости – отсутствие отработанных бизнес-моделей и длительного опыта эксплуатации в отечественных условиях затрудняет правильный расчёт экономического эффекта и замедляет решение о приобретении. Российским разработчикам приходится полагаться на государственные гранты и собственные ресурсы, так как доступ к иностранным технологиям и инвестициям ограничен, что замедляет развитие и вывод новых продуктов на рынок.

К инфраструктурным проблемам относится необходимость создания специализированной инфраструктуры, включающей сети высокоскоростного интернета нового поколения с опорными пунктами на перекрестках, высокоточные карты для обеспечения автономного передвижения, сервисы маркировки и поиска парковочных мест.

Инфраструктурные ограничения также препятствуют массовому внедрению. Российские города зачастую не готовы к эксплуатации автономного транспорта из-за отсутствия «умной» инфраструктуры, таких как системы связи V2X (vehicle-to-everything) и стабильного покрытия сетей четвертого и пятого поколений. Дорожная разметка не всегда соответствует требованиям высокой точности, необходимой для эффективной работы автономных систем. Кроме того, в стране не хватает специализированных испытательных полигонов, где можно безопасно тестировать технологии в максимально приближенных к реальным условиям, особенно зимой.

Правовые и регуляторные барьеры включают нерешенные вопросы регулирования безопасности и правил дорожного движения, ответственности за аварийные ситуации, страхования, сбора и хранения данных.

В регуляторной сфере ситуация осложняется отсутствием федерального законодательства, которое бы чётко определяло правовой статус автономного транспортного средства, правила допуска его на дороги общего пользования, процедуры сертификации и ответственность за происшествия. Вопросы лицензирования и стандартизации

остаются нерешёнными: не ясно, по каким именно стандартам должна проходить сертификация автономной техники и какие органы имеют полномочия для выдачи разрешений. Сегодня также нет единой отраслевой базы требований к интерфейсам, протоколам связи и безопасности, что значительно затрудняет совместимость техники разных производителей и интеграцию в общие системы управления.

Социальные риски включают сокращение рабочих мест – речь может идти об уменьшении числа рабочих мест на значительную величину, что составляет заметный процент от общего их числа.

Отдельное значение имеют барьеры в социальной адаптации. Общественное и властное недоверие к новым технологиям часто обусловлено консерватизмом и низким уровнем технологической грамотности части населения и чиновников, что формирует сопротивление внедрению. Особую проблему представляет острый дефицит квалифицированных кадров, инженеров и IT-специалистов, способных разрабатывать, обслуживать и управлять сложными киберфизическими системами. Против автоматизации нередко возникают протесты и опасения, связанные с возможным сокращением рабочих мест для водителей и низкоквалифицированных работников.

Все перечисленные факторы (см. табл.4) совместно создают достаточно высокие препятствия, которые нужно преодолевать для успешного внедрения автономного инженерно-коммунального транспорта в российских условиях. Для этого необходим комплексный подход, сочетающий технологическое развитие с комплексным регулированием, подготовкой кадров и повышением общественного доверия. Только так можно будет обеспечить устойчивое и масштабное внедрение этих инноваций, что станет важным шагом к модернизации городского хозяйства и повышению качества жизни граждан.

В таблице 4 представлен перечень основных барьеров и потенциальных мер по их преодолению.

Таблица 4 – Сводная таблица барьеров и потенциальных мер по их преодолению

Категория барьеров	Основные проблемы	Возможные пути решения
Технологические	Надежность в сложных условиях, кибербезопасность	Увеличение объемов тестовых накоплений миль, создание цифровых двойников для тестирования, развитие отечественных компонентов
Экономические	Высокие капитальные затраты, неясный ROI	Развитие моделей лизинга и сервисной подписки, государственные субсидии на пилотные проекты, реализация механизмов государственно-частного партнерства
Инфраструктурные	Неподготовленность городов, слабая связь	Точечная модернизация инфраструктуры в пилотных зонах, использование гибридных систем навигации
Регуляторные	Правовой вакуум, отсутствие стандартов	Разработка "регуляторных песочниц", принятие техрегламентов, создание системы обязательного страхования
Социальные	Недоверие, кадровый голод	Программы переобучения сотрудников, информационные кампании, прозрачность тестовых проектов

Преодоление барьеров, стоящих на пути развития автономного инженерно-коммунального транспорта, требует скоординированных и объединённых усилий со стороны государства, бизнеса и научного сообщества. Это совместное взаимодействие становится ключевым фактором успеха в создании условий для масштабного внедрения подобных технологий. На начальном этапе крайне важно сосредоточиться на создании адекватной регуляторной базы, которая обеспечит пространство для испытаний и экспериментального внедрения новых разработок.

Одним из эффективных инструментов в этом направлении стали так называемые «регуляторные песочницы» – специальные правовые режимы, позволяющие компаниям тестировать инновационные решения с снятием части нормативных ограничений и снижением юридических рисков.

В России этот механизм широко применяется для цифровых инноваций, включая автономный транспорт, и позволяет оперативно

адаптировать законодательство на основе реальных данных, выявленных в ходе тестирований. Такой подход способствует быстрому выявлению и устранению правовых пробелов, формированию новых норм и стандартов, которые поддерживают инновации и обеспечивают безопасность.

Параллельно с этим необходима активная финансовая поддержка пилотных проектов и научно-исследовательских инициатив. Такая поддержка снижает финансовые барьеры для участников рынка, в особенности для малых и средних технологических компаний, помогая им быстрее выводить продукты на рынок. Инвестиции в создание демонстрационных площадок и специализированных испытательных центров способствуют накоплению опыта и повышению доверия к новым технологиям. Кроме того, крайне важна работа по формированию и укреплению общественного доверия к автономным инженерно-коммунальным технологиям. Для этого необходимы открытость и прозрачность процессов внедрения – информирование граждан, участие общественности в обсуждениях и демонстрация безопасности и эффективности новых систем. Социально ориентированный диалог поможет снизить уровень сопротивления и создаст предпосылки для мирного перехода к новым формам обслуживания.

Только при условии скоординированного взаимодействия всех заинтересованных сторон: органов власти, бизнеса, научных кругов и общества можно будет обеспечить комплексное решение технических, нормативных, финансовых и социальных задач. Такая интеграция усилий создаст базис для перехода автономного инженерно-коммунального транспорта из стадии отдельных испытаний к массовому коммерческому применению, продвигая модернизацию городской инфраструктуры и качество коммунальных услуг.

В итоге, обладая эффективной регуляторной поддержкой, достаточным финансированием и высоким уровнем общественного доверия, развитие данного сегмента сможет выйти на новый уровень. Это станет значительным шагом в сторону цифровой трансформации коммунального хозяйства и создания устойчивого, технологически развитого общества, отвечающего вызовам и потребностям XXI века.

3.6. Прогноз развития рынка автономной коммунальной техники в России

Развитие рынка автономной коммунальной техники в Российской Федерации будет осуществляться вместе с развитием других секторов.

На рисунке 34 представлены результаты опроса в отношении оценки секторов российского рынка, наиболее привлекательных для использования автономных транспортных средств.

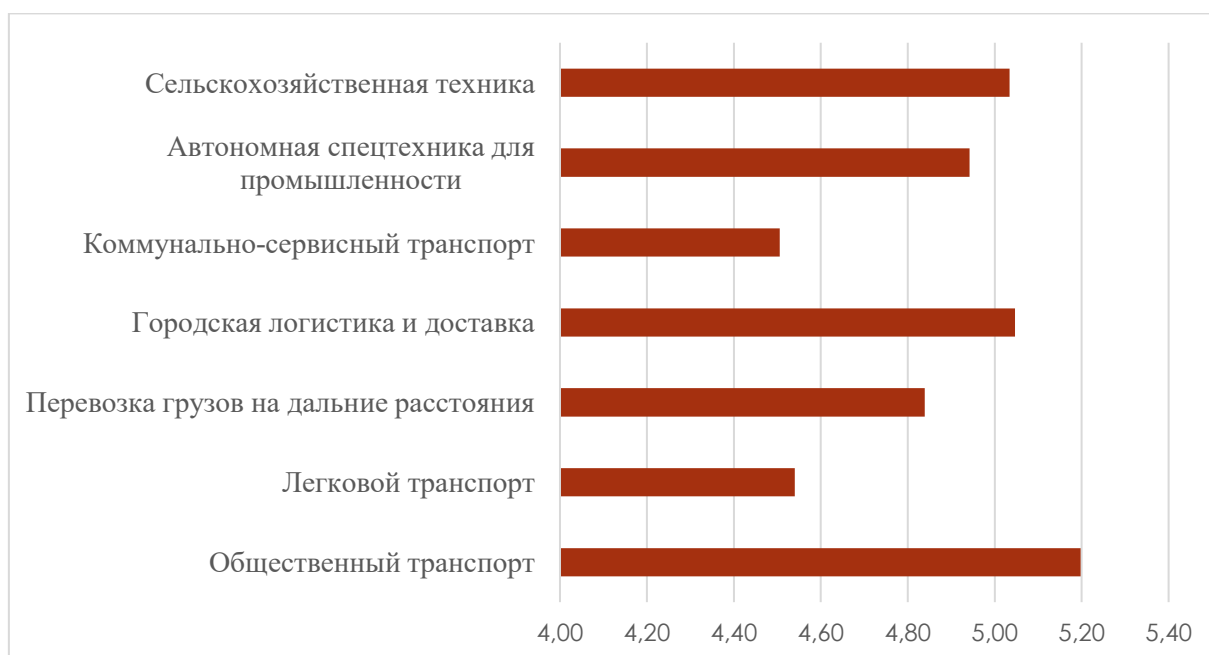


Рисунок 34 – Секторы российского рынка, наиболее привлекательные для использования автономных транспортных средств (по 7-балльной шкале)

Проведённый в ходе исследования опрос показал, что лидирующими рассматриваются, прежде всего, секторы «Общественный транспорт» и «Городская логистика и доставка». Сектор «Коммунально-сервисный транспорт» пока не привлекает основное внимание пользователей автономных транспортных средств. Но эксперты рассматривают этот сектор как наиболее доступный для применения ВАТС на закрытой территории в условиях отсутствия полного нормативного поля.

Формирование рынка автономной коммунальной техники в Российской Федерации на период до 2030 года будет определяться динамичным взаимодействием трех основных групп факторов: состоя-

ния технологической базы, скорости адаптации нормативно-правового поля и объема инвестиционных ресурсов. На основе экспертных оценок и анализа текущих отраслевых программ можно выделить три вероятных сценария развития, различающихся по темпам внедрения, масштабу распространения и итоговым экономическим эффектам.

Особую значимость приобретает проблема переходного периода, когда на дорогах одновременно находятся транспортные средства, управляемые искусственным интеллектом и людьми, с принципиальными различиями в механизмах принятия решений.

Наиболее вероятным считается базовый сценарий, вероятность реализации которого оценивается в 60–70%. Данный вариант предполагает поступательное, поэтапное освоение технологий. На первом этапе (2024–2026 годы) основное внимание будет сосредоточено на создании необходимой законодательной и инфраструктурной основы. В этот период ожидается принятие основополагающих документов, таких как технический регламент Евразийского экономического союза, регламентирующий допуск автономных транспортных средств к эксплуатации, законопроект «О беспилотных транспортных средствах», а также специализированных национальных стандартов, устанавливающих требования к автономной коммунальной технике. Параллельно будут развернуты пилотные проекты в нескольких субъектах федерации. В Москве планируется испытание 15–20 автономных подметально-уборочных машин для работы в ночное время на территориях Московских центральных диаметров и магистралях. В Татарстане, на базе полигона в Иннополисе, будет проводиться тестирование техники в условиях, имитирующих городскую среду. В Краснодарском крае стартует проект по автономному кошению газонов в курортных зонах.

К инфраструктурным проблемам, которые необходимо решить на первом этапе, относится создание сетей высокоскоростного интернета нового поколения с опорными пунктами на перекрестках, высокоточных карт для обеспечения автономного передвижения, сервисов маркировки и поиска парковочных мест.

Второй этап в рамках базового сценария (2027–2030 годы) ознаменуется переходом к ограниченной коммерческой эксплуатации. Прогнозируется, что доля автономных машин в общем парке комму-

нальной техники крупных городов достигнет 3–5%. Внедрение тракторет, прежде всего, уборочную технику, парк которой в Москве может увеличиться до 30–40 единиц, а в Санкт-Петербурге – до 15–20. Начнется использование автономных снегоочистителей в аэропортах «Шереметьево» и «Домодедово», а также на критически важных федеральных трассах, таких как М-11 «Нева». Параллельно до 60% крупных городских агломераций оснастятся системами автономного мониторинга состояния дорожного покрытия.

Оптимистичный сценарий, вероятность которого оценивается в 20–25%, реализуется при условии существенной активизации государственной поддержки. Ключевыми условиями являются выделение целевого финансирования в объеме 50–70 миллиардов рублей в рамках федеральной программы цифровизации коммунального хозяйства, создание сети из 10–12 региональных центров компетенций и запуск программ льготного лизинга с процентной ставкой 1–3% годовых. В этом случае к 2030 году доля автономной техники в парках городов-миллионников может достигнуть 8–12%, а ежегодный объем рынка – 45–55 миллиардов рублей. Это позволит автоматизировать до 30% уборочных работ в Москве, внедрить системы для работы в сложных климатических условиях Дальнего Востока и создать «умные» системы полива в Крыму.

Пессимистичный сценарий (вероятность 10–15%) предполагает консервацию текущей ситуации из-за сохранения недостаточного финансирования научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, отсутствия прогресса в регулировании и общей экономической стагнации. В этой ситуации доля автономных машин к 2030 году не превысит 1–2%, рынок останется фрагментированным, а технологическое отставание от мировых лидеров достигнет 7–10 лет.

Правовые и регуляторные барьеры включают нерешенные вопросы регулирования безопасности и правил дорожного движения, ответственности за аварийные ситуации, страхования, сбора и хранения данных, что особенно актуально для пессимистичного сценария.

Анализ по сегментам техники позволяет детализировать прогноз. В сегменте уборочной и снегоочистительной техники к 2024–2025 годам предполагается тестовая эксплуатация 50–70 машин. К 2026–2027 годам их количество в коммерческой эксплуатации может возрасти до 200–300 единиц, а к 2028–2030 – до 800–1000, что составит 5–7% парка крупных городов. Использование автономных

снегоочистителей на трассе М-11 «Нева», по оценкам, позволит сократить время очистки на 30–40%, снизить расход реагентов на 15–20% и минимизировать риски при проведении ночных работ. В сегменте диагностики и мониторинга к 2024–2025 годам системами автономного контроля будет охвачено 20% крупных городов, к 2026–2028 – 60% городов с населением свыше 500 тысяч человек, а к 2029–2030 – до 85% городских агломераций. Пилотный проект «Умный дорожный инспектор» в Московской области, осуществляющий ежедневный мониторинг 500 километров дорог и выявляющий 95% дефектов на ранней стадии, демонстрирует потенциальную экономию на ремонте в 200–300 миллионов рублей в год. Сегмент дорожной и строительной техники будет развиваться медленнее: в 2024–2026 годах эксплуатация ограничится закрытыми полигонами, и лишь к 2027–2030 годам возможно коммерческое использование на 10–15% строящихся объектов.

Социальные риски включают сокращение рабочих мест – речь может идти об уменьшении числа рабочих мест на значительную величину, что составляет заметный процент от общего их числа, что необходимо учитывать при планировании переподготовки кадров.

Географическое распределение проектов ожидается неравномерным. Лидером является Центральный федеральный округ, на который придется 35–40% проектов, из них большая часть будет реализована в Москве. Значительная активность прогнозируется в Северо-Западном федеральном округе (20–25% проектов, в основном в Санкт-Петербурге и Ленинградской области), а также в Приволжском и Уральском округах, где ключевыми точками роста станут Татарстан и Свердловская область.

Технологическое развитие будет идти по пути совершенствования сенсорных систем и алгоритмов искусственного интеллекта. В период до 2027 года основной фокус будет сосредоточен на адаптации лидарных технологий и систем компьютерного зрения для работы в сложных погодных условиях. К 2029–2030 годам возможно появление отечественных аналогов ключевых сенсоров и создание систем прогнозирования износа оборудования.

С точки зрения экономики, по базовому сценарию ожидаемый кумулятивный эффект выражается в снижении эксплуатационных расходов на 25–30%, росте производительности на 40–50% и сокращении аварийности на 60–70%.

К числу критически важных факторов успеха относятся синхронное развитие нормативной базы, обеспечение стабильного финансирования исследований и разработок, локализация производства ключевых компонентов и подготовка специалистов требуемой квалификации. Основные риски связаны с недостаточной надежностью технологий в экстремальных условиях, задержками в регулировании, дефицитом инвестиций и оттоком квалифицированных специалистов.

Таким образом, формирование рынка автономной коммунальной техники в России представляет собой сложный, многофакторный процесс. Его устойчивое развитие возможно лишь при условии тесной координации усилий государства, бизнеса и научного сообщества. Наиболее реалистичным представляется базовый сценарий, предполагающий поэтапный, от пилотных проектов к коммерческому внедрению, путь технологической трансформации отрасли.

4. ПРОГНОЗЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

4.1. Сценарный анализ развития рынка автономного транспорта до 2030 года

Проведенное комплексное исследование позволяет сформулировать три альтернативных сценария развития рынка автономного транспорта на горизонте до 2030 года, основанных на экспертной оценке взаимодействия нескольких критически важных переменных. К ним относятся темпы технологического совершенствования ключевых компонентов, динамика формирования адаптивного нормативно-правового поля, уровень инвестиций в модернизацию дорожной и коммуникационной инфраструктуры, а также степень готовности общества к повседневному использованию беспилотных систем.

Наиболее вероятным, с вероятностью реализации около 60%, считается базовый инерционный сценарий, предполагающий поступательное, но неравномерное развитие отрасли. В его рамках системы автономного управления третьего и четвертого уровня становятся стандартной опцией для автомобилей премиального и среднего ценового сегмента, а также получают широкое распространение в коммерческом грузовом транспорте для движения по магистралям. Сервисы беспилотного такси начинают устойчиво функционировать в строго ограниченных географических зонах, обычно в центральных районах мегаполисов или специализированных деловых кластерах.

Нормативная база развивается по принципу догоняющего регулирования, при этом в большинстве юрисдикций сохраняется требование о наличии водителя-оператора, способного взять управление на себя. Прогнозируется, что к 2030 году доля новых транспортных средств, оснащенных функциями высокоуровневой автономности, достигнет 15–20% в общем объеме мировых продаж. Для реализации данного сценария необходимо выполнение ряда условий, включая стабильное финансирование научно-исследовательских и

опытно-конструкторских работ со стороны крупных автопроизводителей и технологических компаний, завершение процесса стандартизации протоколов взаимодействия транспортных средств с инфраструктурой и другими участниками движения, а также формирование адекватного страхового рынка, предлагающего специализированные продукты для частично автоматизированных транспортных средств.

Оптимистичный прорывной сценарий, вероятность которого эксперты оценивают в 25%, связан с ускорением технологического прогресса и формированием максимально благоприятных регуляторных и рыночных условий. В этом случае системы четвертого уровня автономности становятся массовыми не только для грузовых перевозок, но и для общественного транспорта в городах. На рынке появляются первые серийные модели транспортных средств пятого уровня, способные функционировать в полностью автономном режиме в заданных операционных зонах, таких как логистические парки или аэропорты. Происходит глубокая международная гармонизация технических стандартов и процедур сертификации, что значительно упрощает выход производителей на глобальный рынок. Доля автономных функций в структуре продаж новых транспортных средств превышает 30%. Драйверами, способными обеспечить реализацию этого сценария, выступают прорывные достижения в области искусственного интеллекта, в частности в возможностях прогнозной аналитики и обработки нестандартных дорожных ситуаций, а также существенное снижение стоимости ключевых сенсоров. Не менее важным фактором является активная государственная поддержка, выражающаяся в прямом софинансировании инфраструктурных проектов и создании сквозных нормативных актов, регулирующих все аспекты использования автономного транспорта.

Консервативный пессимистичный сценарий с вероятностью 15% характеризуется существенным замедлением темпов внедрения и коммерциализации автономных технологий. В рамках этого сценария доминирующее положение на рынке сохраняют системы второго уровня усиленной автономности, предлагающие ограниченный набор функций помощи водителю. Процессы международной стандартизации и гармонизации нормативных требований сильно затягиваются из-за геополитических и торговых разногласий. Крупные инциденты с участием беспилотного транспорта, широко освещаемые в средствах массовой информации, подрывают общественное

доверие к технологии и провоцируют ужесточение регулирования. В результате доля автономных систем на рынке новых автомобилей не превышает 10%. К рискам, способным привести к реализации данного сценария, относятся сохраняющиеся технологические ограничения, не позволяющие системам надежно функционировать в сложных погодных условиях, усиление киберугроз, а также рост протекционизма, когда отдельные страны или регионы вводят законодательные барьеры для импорта иностранных автономных технологий с целью защиты внутреннего рынка.

Детальный анализ позволил выделить следующие группы взаимосвязанных факторов, определяющих динамику рынка.

Технологическая готовность включает в себя не только снижение стоимости лидарных систем и рост производительности вычислительных платформ, но и достижения в области алгоритмов машинного обучения для распознавания объектов, а также повышение энергоэффективности всех компонентов системы; критическим барьером остается обеспечение надежности в нестандартных и аварийных ситуациях.

Регуляторная среда зависит от скорости адаптации законодательства в различных странах, включая разработку процедур сертификации и одобрения типа транспортного средства, определение распределения гражданско-правовой ответственности в случае аварий, а также защиту данных, собираемых автономными системами.

Инфраструктурная подготовленность подразумевает наличие современной цифровой инфраструктуры, где важнейшее значение имеют развертывание сетей мобильной связи пятого и шестого поколения с ультранизкой задержкой сигнала, создание дорог, оснащенных датчиками и средствами связи, а также строительство центров обработки данных, способных управлять транспортными потоками в режиме реального времени. Общественное принятие как социальный фундамент рынка формируется под влиянием осведомленности о возможностях и ограничениях технологии, личного опыта взаимодействия с системами помощи водителю, а также эффективности разъяснительной работы производителей и регуляторов.

На основании проведенного сценарного анализа формулируются конкретные рекомендации для основных групп участников.

Производителям автономных транспортных средств и технологий рекомендуется сосредоточить усилия на создании модульных и масштабируемых аппаратно-программных архитектур, что позволит гибко адаптировать функциональность продуктов под специфические требования разных регионов и быстро интегрировать новые технологические решения по мере их появления, уделяя первоочередное внимание вопросам кибербезопасности и отказоустойчивости систем.

Органам государственной власти и регуляторам следует активизировать работу по созданию адаптивных нормативно-правовых рамок, предусматривающих поэтапное введение правил, соответствующих каждому уровню автономности, и механизмы их оперативного обновления, а также целесообразно создание специализированных платформ для тесного взаимодействия с разработчиками в режиме реального времени.

Инвесторам различных уровней рекомендуется применять диверсифицированную стратегию формирования портфелей, распределяя вложения между различными сегментами рынка – от разработки сенсорного оборудования и программного обеспечения до создания сервисов на основе автономной мобильности и новых моделей страхования, что позволит минимизировать риски и не упустить возможности роста.

Компаниям инфраструктурного сектора необходимо сфокусироваться на опережающем развитии систем связи и высокоточной навигации вдоль ключевых логистических коридоров и в границах крупных городских агломераций, где приоритетом должно стать обеспечение бесперебойного покрытия и высочайшего качества сервиса.

Для своевременной корректировки стратегий и тактических действий необходима система постоянного отслеживания ключевых индикаторов отрасли. К числу таких измеримых параметров относятся динамика себестоимости ключевых компонентов, то есть средние рыночные цены на лидарные системы, радары высокой четкости и вычислительные блоки; прогресс в стандартизации, оцениваемый по количеству принятых международных технических стандартов и степени их внедрения в национальные законодательства; эволюция страховых продуктов, отражаемая в изменении страховых тарифов и появлении новых видов страхового покрытия; инфраструктурные

метрики, включающие темпы развертывания сетей связи нового поколения вдоль автомагистралей и количество дорог, оснащенных интеллектуальными системами; наконец, социологические показатели, фиксирующие уровень доверия населения к автономным системам в различных демографических группах. Регулярный сбор и анализ данных по этим параметрам позволит участникам рынка объективно оценивать текущую ситуацию и вносить необходимые коррективы в свои операционные и инвестиционные планы.

Рассмотренный сценарный анализ предоставляет заинтересованным сторонам структурированную основу для стратегического планирования, позволяя оценивать потенциальные риски и возможности в среднесрочной перспективе и формулировать обоснованный набор упреждающих мер.

4.2. Рекомендации для государственных органов

Развитие автономного транспорта – это комплексная задача, которая требует активного участия и координации со стороны государственных органов на всех уровнях. Формирование эффективной государственной политики в этой области должно учитывать многообразие аспектов: технологические достижения, регуляторные требования и социальные последствия внедрения новых транспортных технологий.

Одним из ключевых направлений становится создание адаптивной нормативно-правовой базы. Государство должно разрабатывать технические регламенты с гибкими, поэтапными требованиями, позволяющими последовательно вводить автономные системы и адаптироваться к изменениям в технологиях. При этом важной мерой является введение специальных правовых режимов, обеспечивающих возможность экспериментального тестирования автономного транспорта в реальных условиях при соблюдении мер безопасности. Одновременно создаются системы сертификации компонентов и программного обеспечения, что позволяет стандартизировать и контролировать качество и надежность автономных решений. Не менее важно установление четких критериев ответственности для производителей и операторов автономных транспортных средств, чтобы обеспечить прозрачность и справедливость в случае инцидентов или сбоев.

Развитие инфраструктуры – второй важный компонент успешного внедрения АТС. Для этого необходима модернизация дорожной сети с целью поддержки систем V2X-коммуникации, обеспечивающей обмен данными между транспортными средствами и дорожными объектами. Важной задачей является широкое развертывание сетей пятого и шестого поколений – 5G и 6G вдоль главных транспортных коридоров, что позволит обеспечить бесперебойную и высокоскоростную связь. Особое значение приобретает создание цифровых карт высокой точности, регулярное их обновление и интеграция данных в навигационные системы АТС. Параллельно развивается зарядная инфраструктура для электрических автономных транспортных средств, которая станет одним из определяющих факторов успеха устойчивой и экологичной мобильности.

Неотъемлемой частью государственной политики становится обеспечение безопасности и киберзащиты автономного транспорта. Разрабатываются национальные стандарты функциональной безопасности, а также требования, направленные на защиту от кибератак и других видов внешних воздействий. Для повышения контроля и быстрого реагирования организуются системы мониторинга инцидентов с автономным транспортом, а также вводятся обязательные протоколы аварийной остановки, позволяющие гарантировать безопасность пользователей и окружающих.

Особое внимание уделяется стимулированию исследований и разработок. Государственные программы финансируют фундаментальные исследования в области искусственного интеллекта и робототехники – технологической базы для АТС. Создаются специализированные тестовые полигоны с разнообразными дорожными условиями, где компании могут проводить испытания и отработку алгоритмов. Для подготовки квалифицированных кадров поддерживаются и развиваются образовательные программы, направленные на обучение специалистов в области автономного вождения, авиации и цифровых технологий. Дополнительной мотивацией выступают налоговые льготы для компаний, инвестирующих в научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы.

Международное сотрудничество в сфере автономного транспорта становится главным фактором развития отрасли. Гармонизация национальных стандартов с требованиями международных организаций способствует взаимному признанию сертификатов и упрощению выхода технологий на зарубежные рынки. Россия принимает

активное участие в разработке глобальных технических регламентов и обменивается опытом с другими странами для реализации лучших практик в регулировании и развитии автономных транспортных систем.

Общественно-экономическая адаптация – еще одно важное направление государственной политики. Для снижения негативных последствий трансформации рынка труда разрабатываются программы профессиональной переподготовки водителей и других специалистов транспортной отрасли. Проводится анализ влияния автономного транспорта на занятость, а также разрабатываются специальные страховые модели, учитывающие новую специфику и риски автономных систем. Повышение уровня информированности населения о плюсах и ограничениях автономных технологий помогает формировать позитивное отношение и поддерживать доверие к инновациям.

Реализация всех перечисленных рекомендаций и планов требует скоординированных усилий многочисленных министерств и ведомств, а также постоянного диалога с научным и бизнес-сообществом. Особую значимость приобретает необходимость нахождения равновесия между поощрением технологических инноваций и обеспечением общественной безопасности. Только такое сбалансированное, интегрированное стратегическое управление позволит обеспечить устойчивое и успешное развитие автономного транспорта в масштабах всей страны.

4.3. Рекомендации для бизнеса и инвесторов

Формирование рынка автономного транспорта создает принципиально новые перспективы для хозяйствующих субъектов, одновременно предъявляя повышенные требования к устойчивости и адаптивности их стратегий. Достижение долгосрочной конкурентоспособности в данной области предполагает не только отслеживание технологических трендов, но и формирование комплексных управленческих решений, охватывающих вопросы специализации, интеграции, управления рисками и кадровой политики.

В области стратегического позиционирования наиболее рациональным представляется путь узкой специализации и концентрации на сегментах с относительно коротким циклом коммерциализации и

понятными механизмами монетизации. Перспективными нишами являются организация автономных логистических коридоров между распределительными центрами, обеспечение внутриаэропортового транспорта в границах крупных промышленных зон, аэропортов и морских портов.

Значительный потенциал имеют специализированные решения, предназначенные для эксплуатации в контролируемой среде, такие как автоматизированные шаттлы для перевозки сотрудников по территории предприятий или автономные карьерные самосвалы, функционирующие в рамках горнодобывающих комплексов. Параллельно с этим сохраняет актуальность разработка универсальных модульных платформ, архитектура которых допускает быстрое перепрофилирование базовых функций под различные типы транспортных средств и условия эксплуатации, что позволяет существенно сократить издержки и сроки вывода продуктов на рынок.

Важным элементом стратегии становится горизонтальная интеграция, направленная на объединение компетенций в сфере создания аппаратных компонентов, разработки программного обеспечения и предоставления сервисных решений в рамках единого технологического стека. Это позволяет формировать комплексные предложения с повышенной потребительской ценностью. Установление прочных альянсов с традиционными автопроизводителями открывает доступ к их производственным мощностям и дистрибьюторским сетям, обеспечивая необходимое масштабирование. Целесообразным также является мониторинг и приобретение перспективных стартапов, обладающих уникальными узкоспециализированными технологиями, что способствует ускоренному усилению собственной исследовательской и опытно-конструкторской базы.

Управление инвестиционными рисками требует взвешенного подхода, основанного на принципах диверсификации. Рациональным является распределение капиталовложений между различными рыночными сегментами, такими как грузовые и пассажирские перевозки, а также совмещение проектов с коротким горизонтом окупаемости, связанных с системами второго и третьего уровня автономности, и стратегических долгосрочных инвестиций в технологии четвертого и пятого уровня. Географическая диверсификация позволяет нивелировать риски, связанные с различиями в регуляторных режимах и уровне рыночной зрелости отдельных стран и регионов.

Эффективным инструментом контроля является поэтапное финансирование, при котором выделение каждого последующего транша привязывается к практическому достижению заранее согласованных технологических и коммерческих вех. Для минимизации потенциальных финансовых потерь необходимо формирование резервных фондов на случай непредвиденных изменений в законодательстве, а также применение стандартных инструментов хеджирования валютных и процентных рисков.

Среди приоритетных направлений для капиталовложений выделяются критические технологии, составляющие основу автономных транспортных систем. К ним относятся сенсорные комплексы следующего поколения, включая твердотельные лидары и высокоточные радары, способные обеспечивать надежное восприятие окружающей обстановки в любых погодных условиях; энергоэффективные вычислительные платформы, обладающие достаточной производительностью для обработки данных в реальном времени; комплексные системы кибербезопасности, защищающие каналы связи и управление от внешних вмешательств; программные решения для моделирования и виртуального тестирования, позволяющие отрабатывать миллионы сценариев без выхода на реальные полигоны.

Операционная деятельность должна быть ориентирована на достижение максимальной эффективности. Это предполагает инвестиции в создание и развитие платформ для централизованного управления автопарками беспилотных транспортных средств, систем удаленного мониторинга и контроля их состояния, а также телематических решений для сбора и аналитики больших данных о транспортных потоках и поведении систем в реальных условиях. Повышению операционной гибкости способствует аутсорсинг непрофильных функций, таких как производство отдельных стандартизированных компонентов, а также активное использование облачных инфраструктур для снижения капитальных затрат на вычислительные ресурсы. Процессы разработки программного обеспечения целесообразно выстраивать по итеративным принципам, предполагающим короткие циклы выпуска и постоянную обратную связь.

Кадровая политика является критическим фактором устойчивого развития. Компаниям необходимо осуществлять целенаправленные инвестиции в программы привлечения, обучения и удержания высококвалифицированных специалистов в областях, связанных с искусственным интеллектом, машинным обучением, робототехникой и

анализом данных. Создание распределенных центров компетенций в регионах с благоприятной образовательной и научной средой, а также установление долгосрочных партнерских отношений с ведущими университетами позволяют сформировать стабильный приток молодых кадров и обеспечить научное сопровождение инновационных проектов.

Взаимодействие с регуляторными органами требует проактивной и конструктивной позиции. Целесообразно активно участвовать в процессах формирования отраслевых стандартов и технических регламентов, создавать и работать через профильные ассоциации для координации общих интересов и лоббирования взвешенных нормативных решений. Повышению уровня доверия со стороны общества и регуляторов способствует публикация регулярных открытых отчетов, демонстрирующих достигнутые показатели безопасности и прозрачность работы алгоритмов принятия решений. Внутренняя система обеспечения соответствия должна включать регулярный аудит алгоритмических систем на предмет выявления потенциальной предвзятости, а также функционирование специализированных этических комитетов для оценки спорных случаев и выработки соответствующих внутренних политик.

Перспективные модели монетизации выходят за рамки традиционной продажи аппаратных платформ и включают предоставление подписок на программное обеспечение и его регулярные обновления, коммерциализацию собираемых данных через продажу аналитики транспортных потоков и паттернов спроса, создание платформенных решений в формате «программного обеспечения как услуги» для логистических и транспортных компаний, а также разработку готовых решений под собственной торговой маркой заказчика для автопроизводителей.

Для объективной оценки долгосрочной жизнеспособности и эффективности проектов инвесторам рекомендуется отслеживать ключевые метрики, включающие фактические эксплуатационные расходы на одну милю пробега автономного транспортного средства, статистику надежности и доступности систем, измеряемую в часах наработки на отказ, скорость и стоимость адаптации технологического стека под требования новых регионов и специфических сценариев использования, а также динамику снижения себестоимости критически важных компонентов, таких как лидары и вычислительные блоки.

Следование изложенным принципам позволяет участникам рынка выстраивать устойчивые и адаптивные бизнес-модели, способные не только минимизировать многочисленные риски, но и в полной мере использовать колоссальный потенциал формирующегося рынка автономных транспортных систем. Ключевым условием успеха остается сохранение стратегической гибкости и готовности к быстрой корректировке курса в условиях сохраняющейся технологической и нормативной неопределенности.

4.4. Рекомендации для научно-образовательного сегмента

Формирование и развитие рынка автономного транспорта предъявляет принципиально новые требования к системе подготовки кадров и организации научно-исследовательской деятельности. Создание сбалансированной экосистемы, объединяющей образовательные учреждения, научные организации и промышленных партнеров, становится стратегической задачей, от решения которой зависит технологический суверенитет и долгосрочная конкурентоспособность национальной экономики в данной высокотехнологичной сфере.

Модернизация образовательных программ должна начинаться с фундаментальной перестройки учебных планов на основе принципов междисциплинарной интеграции. Ведущие технические вузы страны уже демонстрируют успешные примеры такого подхода. Московский политехнический университет реализует магистерскую программу «Интеллектуальные транспортные системы», где студенты изучают архитектуру автономных систем, методы машинного обучения и вопросы нормативного регулирования. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого разработал уникальный курс «Системы технического зрения автономных транспортных средств», интегрирующий знания из компьютерного зрения, обработки сигналов и теории управления. Особое внимание уделяется созданию специализированных программ дополнительного профессионального образования, таких как курс «Технологии автономного транспорта» в НИТУ «МИСиС», ориентированный на переподготовку инженеров автомобильной промышленности.

Практическая подготовка требует создания современной материально-технической базы. Примером успешной реализации этого подхода может служить лаборатория «Беспилотные транспортные

системы» в МАДИ, оснащенная полным комплектом сенсорного оборудования – лидарами Velodyne, радарам Continental и вычислительными платформами NVIDIA. На базе Уральского федерального университета создан центр моделирования, где используются профессиональные симуляторы российского производства для отработки сложных дорожных сценариев. Системное взаимодействие с промышленностью демонстрирует пример Дальневосточного федерального университета, где студенты проходят практику в центре разработки беспилотных систем компании «Русские автономные системы», участвуя в реальных проектах по созданию автономных шаттлов для кампуса.

Научно-исследовательская деятельность развивается по двум взаимодополняющим направлениям. В области фундаментальных исследований следует отметить работу коллектива Московского физико-технического института над созданием новых алгоритмов прогнозирования поведения участников дорожного движения, основанных на сочетании методов глубинного обучения и байесовского вывода. Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН ведет разработки в области верификации систем принятия решений автономных транспортных средств. Прикладные исследования представлены проектом Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» по созданию отечественного твердотельного лидара с улучшенными характеристиками работы в сложных погодных условиях. Нижегородский государственный университет совместно с Горьковским автомобильным заводом разрабатывает методы повышения надежности систем управления в условиях российского климата.

Развитие исследовательской инфраструктуры демонстрирует несколько значимых инициатив. Технополис «ЭРА» в Анапе создал специализированный полигон для испытаний автономных систем, включающий городской маршрут, загородную трассу и специальную площадку для моделирования критических ситуаций. На базе Сколковского института науки и технологий функционирует центр коллективного пользования с высокопроизводительными вычислительными ресурсами для обработки данных автономного транспорта. В Татарстане создана уникальная испытательная зона «Смарт Сити», имитирующая полноценную городскую среду с интеллектуальной дорожной инфраструктурой.

Международное сотрудничество реализуется через различные форматы. Санкт-Петербургский государственный университет электротехники участвует в европейской исследовательской программе Horizon Europe по тестированию систем связи V2X. Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана регулярно проводит международные зимние школы по автономному транспорту с участием ведущих зарубежных специалистов. Программа академической мобильности Томского политехнического университета предусматривает стажировки преподавателей в технических университетах Германии и Китая.

Система непрерывного образования получает развитие через различные форматы. Российский университет транспорта (МИИТ) реализует программу повышения квалификации «Цифровые технологии на транспорте» для специалистов ОАО «РЖД». Уральский государственный университет путей сообщения разработал специализированные модули для государственных служащих, отвечающих за регулирование в сфере автономного транспорта. Онлайн-платформа «Открытое образование» предлагает массовые открытые курсы по основам работы автономных транспортных систем.

Коммерциализация разработок осуществляется через различные механизмы. Примером успешного трансфера технологий может служить создание малого инновационного предприятия при Казанском национальном исследовательском техническом университете, разработавшего систему мониторинга состояния водителя, адаптированную для использования в автономных транспортных средствах. Новосибирский государственный технический университет заключил лицензионное соглашение с компанией «КАМАЗ» на использование разработанных алгоритмов планирования траектории.

Популяризация научных знаний ведется через различные каналы. Политехнический музей регулярно проводит открытые лекции по технологиям автономного транспорта с демонстрацией работающих прототипов. В рамках проекта «Инженерные классы» московские школьники участвуют в мастер-классах по программированию автономных робомобилей. Телеканал «Наука» выпустил цикл документальных фильмов, посвященных российским разработкам в области беспилотного транспорта.

Реализация предложенного комплекса мер позволит сформировать устойчивую и динамично развивающуюся экосистему подготовки высококвалифицированных кадров и генерации новых знаний в области автономного транспорта. Ключевым условием успеха станет сохранение гибкости образовательных и научных программ, их способности к быстрой адаптации в условиях стремительного технологического прогресса и меняющихся требований рынка, а также эффективное использование накопленного отечественного опыта.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное комплексное исследование позволило выявить ключевые тенденции, а также основные вызовы и перспективы развития автономных транспортных средств как в мировом, так и в российском контекстах. Результаты анализа убедительно демонстрируют, что автономный транспорт – это не просто очередная технологическая инновация, а масштабная системная трансформация всей транспортной отрасли, охватывающая несколько взаимосвязанных аспектов: технологический прогресс, экономические изменения, правовые реформы и социальное воздействие.

Технологическое развитие достигло такого уровня, который сегодня уже позволяет говорить о коммерческом внедрении автономных систем в ограниченных, строго контролируемых условиях, так называемых геозонах. Основные тренды в этой области включают в себя конвергенцию сенсорных систем, таких как лидары, радары и камеры с коммуникационными технологиями V2X, что улучшает качество восприятия окружающей среды. Кроме того, значительный прогресс наблюдается в создании энергоэффективных вычислительных платформ, способных обрабатывать большой поток данных в реальном времени. Наконец, развивается искусственный интеллект, который становится способным прогнозировать поведение участников дорожного движения, обеспечивая безопасность и адаптивность систем.

На мировом рынке продолжается активная консолидация компаний, создаются стратегические технологические альянсы. Лидерство сохраняют такие державы, как США и Китай, где есть мощная государственная поддержка, существует развитая экосистема стартапов и направляются значительные инвестиции в научные исследования и разработки.

Российский рынок демонстрирует существенный потенциал в области разработки программного обеспечения и отдельных компонентов автономных систем. Однако он несколько отстает в сфере серийного производства комплексных решений. Основные препятствия на

пути развития включают недостаточность финансирования НИОКР, уровень развития необходимой инфраструктуры и неполноту нормативно-правовой базы.

Анализ различных сегментов показал неоднородность готовности к интеграции автономных технологий. Логистические коридоры и закрытые территории лидируют по темпам внедрения. Сегмент пассажирских перевозок требует более длительного периода адаптации, учитывая комплексность и социальную значимость процесса. Коммунальная техника, хотя и является нишевым направлением, играет важную роль в социальной и хозяйственной сферах.

Экономические аспекты свидетельствуют о высокой капиталоемкости проектов, а также о длительных сроках окупаемости инвестиций, что подчеркивает важность развивать государственно-частное партнерство. В этой связи нормативно-правовое регулирование остается одним из ключевых факторов успешного масштабного внедрения автономного транспорта. Исследование подчеркивает необходимость разработки адаптивных технических регламентов, учитывающих различные уровни автономности, а также создания четких механизмов распределения ответственности между производителями, операторами и владельцами автономных транспортных средств, включая развитие национальных стандартов кибербезопасности и защиты данных.

Экономический анализ подтверждает значительный потенциал отрасли при условии оптимизации операционных расходов в перспективе. Наибольшая экономическая отдача прогнозируется в сегментах грузовых перевозок и логистики. Модели государственно-частного партнерства рассматриваются как наиболее эффективные инструменты финансирования крупных инфраструктурных проектов. Периоды окупаемости напрямую зависят от регуляторной среды и технологического развития.

Сценарный анализ развития отрасли в России до 2030 года указывает на локальное внедрение автономных систем в ограниченных территориях и специальных объектах, постепенное развитие сегмента беспилотной коммунальной техники и постепенную адаптацию нормативной базы с сохранением требований дистанционного контроля.

Для российского рынка определены конкурентные преимущества – наличие сильных научных школ в области искусственного интеллекта и компьютерного зрения, опыт создания отечественных

технологических решений в условиях импортных ограничений, а также потенциал развития нишевых рынков – коммунальной техники и транспорта для сложных климатических условий.

Наиболее важным для достижения успеха скоординированное взаимодействие между всеми участниками экосистемы: государством, бизнесом и научно-образовательным сообществом.

Ключевые рекомендации по устойчивому развитию рынка автономного транспорта в России включают разработку комплексной дорожной карты с четкими этапами и показателями эффективности, стимулирование спроса на отечественные разработки через государственные заказы и налоговые льготы, создание и развитие тестовых полигонов для апробации технологий в реальных условиях.

Для бизнеса и инвесторов рекомендуется сосредоточить усилия на сегментах с быстрой окупаемостью, таких как логистика и автономные территории; развивать партнерство с научно-образовательными учреждениями; инвестировать в создание отечественных компонентов и ключевых технологий.

Для научно-образовательного сообщества необходимо разрабатывать междисциплинарные программы обучения, уделять внимание прикладным исследованиям с коммерческим потенциалом, участвовать в международных коллаборациях для обмена опытом и знанием.

Перспективные направления для российского рынка включают разработку автономных решений, адаптированных к климатическим особенностям страны; создание платформенных решений для муниципального транспорта и логистики; развитие сервисных моделей, основанных на данных, получаемых от автономных транспортных средств.

Успешное развитие автономного транспорта требует комплексной и скоординированной работы всех заинтересованных сторон, создания полноценной экосистемы, в которой совмещаются технологические инновации, нормативно-правовые рамки, подготовка необходимых кадров и надежное финансирование.

Реализация представленных рекомендаций открывает Российской Федерации возможность занять важнейшее место на формирующемся мировом рынке автономных транспортных средств и обеспечить технологический суверенитет в этой стратегически важной сфере.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Автономные транспортные средства: будущее логистики и городского транспорта. [Электронный ресурс]. – URL: <https://science.mail.ru/articles/5271-avtonomnye-transportnye-sredstva/> (дата обращения: 15.11.2025).
2. БелАЗ-7513R (беспилотный самосвал). [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.tadviser.ru/index.php> (дата обращения: 15.11.2025).
3. Беспилотные автомобили (мировой рынок). [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.tadviser.ru/index.php> (дата обращения: 15.11.2025).
4. Беспилотные автомобили Waymo попадают в ДТП гораздо реже людей по статистике за 80 млн км. [Электронный ресурс]. – URL: <https://dzen.ru/a/Z-bS0ki2MHkCIUVW> (дата обращения: 15.11.2025).
5. Беспилотные перспективы: логистика в небе и на дорогах. [Электронный ресурс]. – URL: https://logirus.ru/articles/sun_report/bespilotnye_perspektivy-_logistika_v_nebe_i_na_dorogakh.html?utm_medium=email&utm_source=Unisender&utm_campaign=339612310 (дата обращения: 15.11.2025).
6. Беспилотный электротрактор Honghu T70 управляется с помощью ИИ [ФОТО]. [Электронный ресурс]. – URL: https://4pda.to/2025/08/10/445283/bespilotnyj_elektrotraktor_honghu_t70_upravlyaetsya_s_pomoschyu_ii_foto/ (дата обращения: 15.11.2025).
7. Ботвиньев А.И. «Мир дорог» Каковы перспективы ближайшего времени для развития беспилотного транспорта?. [Электронный ресурс]. – URL: [https://motor.ru/thumb/908x0/filters:quality\(75\):no_upscale\(\)/imgs/2022/06/27/10/5468943/585506f56bdec9916d594348af7185fe9f468049.jpg](https://motor.ru/thumb/908x0/filters:quality(75):no_upscale()/imgs/2022/06/27/10/5468943/585506f56bdec9916d594348af7185fe9f468049.jpg) (дата обращения: 15.11.2025).
8. В Канаде впервые вводится в эксплуатацию автоматизированный снегоочиститель. [Электронный ресурс]. – URL:

- <https://vancouverok.com/news/v-kanade-vpervye-vvoditsya-v-ekspluataciyu-avtomatizirovannyj-snegoochistitel/> (дата обращения: 15.11.2025).
9. В России проводят тестирования беспилотных грузовиков. [Электронный ресурс]. – URL: https://yandex.ru/q/article/v_rossii_provodiat_testirovaniia_194bf_ebd/ (дата обращения: 15.11.2025).
 10. ГОСТ Р 70249—2022 Системы искусственного интеллекта на автомобильном транспорте. Высокоавтоматизированные транспортные средства.
 11. Дороги России обзаведутся цифровыми двойниками до конца 2026 года 15 октября 2025 А закон о беспилотном транспорте Минтранс должен разработать в I квартале 2026-го. [Электронный ресурс]. – URL: https://logirus.ru/news/transport/dorogi_rossii_obzavedutsya_tsifrovymi_dvoynikami_do_kontsa_2026_goda.html?utm_medium=email&utm_source=Unisender&utm_campaign=357113774 (дата обращения: 15.11.2025).
 12. Зомарев А., Рожено М. (2020) Как беспилотный транспорт меняет облик наших городов?. Foresight and STI Governance.. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.hse.ru/data/2020/03/20/1567702871/5-%D0%97%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D1%80%D0%B5%D0%B2-70-84.pdf> (дата обращения: 15.11.2025).
 13. Использование электрифицированной и высокоавтоматизированной коммунальной техники: мировые тренды, опыт и потенциал России. [Электронный ресурс]. – URL: <https://autonet.mospolytech.ru/#b7926> (дата обращения: 15.11.2025).
 14. Испытание в аэропорту Чанги использования беспилотного тягача для перевозки багажа с самолётов. [Электронный ресурс]. – URL: https://www.straitstimes.com/singapore/transport/changi-airport-trials-use-of-driverless-tractor-to-fetch-luggage-from-planes?utm_medium=organic&utm_source=yandexsmartcamera (дата обращения: 15.11.2025).
 15. Источник фото: В Москве протестируют автономных роботов для уборки улиц «Пиксель». [Электронный ресурс]. – URL: https://dzen.ru/a/Y9UGi5dM9RGpqaPA?utm_medium=organic&utm_source=yandexsmartcamera (дата обращения: 15.11.2025).

16. Как Россия стала одним из лидеров по внедрению беспилотных грузовиков. [Электронный ресурс]. – URL: <https://trends.rbc.ru/trends/innovation/67e42b5f9a79473c2378e8a9?from=copy> (дата обращения: 15.11.2025).
17. Лидары (LiDAR, Light Detection and Ranging). [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F:%D0%9B%D0%B8%D0%B4%D0%B0%D1%80%D1%8B_\(LiDAR,_Light_Detection_and_Ranging\)](https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F:%D0%9B%D0%B8%D0%B4%D0%B0%D1%80%D1%8B_(LiDAR,_Light_Detection_and_Ranging)) (дата обращения: 15.11.2025).
18. Международный журнал по автомобильным технологиям «International Journal of Automotive Technology». [Электронный ресурс]. – URL: <https://rlst.by/2022/01/11/mezhdunarodnyj-zhurnal-po-avtomobilnym-tehnologiyam-international-journal-of-automotive-technology/> (дата обращения: 15.11.2025).
19. Минтранс определился с ответственностью за ДТП с беспилотниками. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.vedomosti.ru/technology/articles/2025/10/01/1143267-mintrans-opredelilsya-s-otvetstvennostyu> (дата обращения: 15.11.2025).
20. Минтранс определился с ответственностью за ДТП с беспилотниками. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.vedomosti.ru/technology/articles/2025/10/01/1143267-mintrans-opredelilsya-s-otvetstvennostyu> (дата обращения: 15.11.2025).
21. Московский Политех показал беспилотный Smart шаттл на форуме «Армия-2021». [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.audionews.ru/news/612379a59a79475b15aa3f41?from=copy> (дата обращения: 15.11.2025).
22. На трассе М-11 «Нева» запустили движение беспилотных «КамАЗов». [Электронный ресурс]. – URL: <https://m.vz.ru/news/2023/6/14/1216540.html> (дата обращения: 15.11.2025).
23. На улицах Абу-Даби появились роботы-уборщики. [Электронный ресурс]. – URL: <https://russianemirates.family/news/family-news/na-ulitsakh-abu-dabi-poyavilis-roboty-uborshchiki/> (дата обращения: 15.11.2025).
24. Национальный проект «Инфраструктура для жизни». [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.minstroyrf.gov.ru/trades/natsionalnye->

- proekty/natsionalnyy-proekt-infrastruktura-dlya-zhizni/ (дата обращения: 15.11.2025).
25. Принесёт ли автономия будущее грузового транспорта?. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/will-autonomy-usher-in-the-future-of-truck-freight-transportation> (дата обращения: 15.11.2025).
26. Пятое поколение беспилотных автомобилей Waymo разглядит знак STOP за полкилометра. [Электронный ресурс]. – URL: <https://nplus1.ru/news/2020/03/07/waymo-the-fifth> (дата обращения: 15.11.2025).
27. Робототехника в сельском хозяйстве. [Электронный ресурс]. – URL: <https://cognitivepilot.com/cognitive-news/blog/robototekhnika-v-selskom-khozyaystve/> (дата обращения: 15.11.2025).
28. Роботы будут убирать побережье Великих озер в Канаде. [Электронный ресурс]. – URL: <https://hightech.fm/2022/12/27/great-lakes-robots> (дата обращения: 15.11.2025).
29. Роботы–доставщики и беспилотные фуры: как трансформируется логистика. [Электронный ресурс]. – URL: <https://habr.com/ru/companies/sberbank/articles/799941/> (дата обращения: 15.11.2025).
30. Теперь все такси Baidu в Ухане – это беспилотные роботакси.. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.ixbt.com/news/2024/08/22/baidu-1-apollo-go.html> (дата обращения: 15.11.2025).
31. Топ самых технологичных роботов мира. [Электронный ресурс]. – URL: https://dzen.ru/a/YvOu4WVNDAl-2A8K?utm_medium=organic&utm_source=yandexsmartcamera (дата обращения: 15.11.2025).
32. Тренды на рынке транспорта и городской умной мобильности. [Электронный ресурс]. – URL: <https://data.tedo.ru/publications/transport-mobility-rus.pdf> (дата обращения: 15.11.2025).
33. Углубляющийся возрастной разрыв усугубляет кризис нехватки водителей грузовиков: новый отчёт IRU. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.iru.org/ru/novosti-i-spravochnye-materialy/novosti/uglublyayuschiysya-vozrastnoy-razryv-usugublyaet-krizis-nekhvatki-voditeley-gruzovikov-novyy-otchyot-iru> (дата обращения: 15.11.2025).

34. Умный город: как цифровые технологии меняют городскую среду и повседневную жизнь. [Электронный ресурс]. – URL: https://roscongress.org/materials/umnyy-gorod-kak-tsifrovye-tekhnologii-menyayut-gorodskuyu-sredu-i-povsednevnuyu-zhizn/?utm_referrer=https%3A%2F%2Fwww.yandex.ru%2F (дата обращения: 15.11.2025).
35. Уровень зрелости ИТС: как его определяют и зачем?. [Электронный ресурс]. – URL: https://mm94.ru/press/news/2023-12-18_its/ (дата обращения: 15.11.2025).
36. Ухова А.И, Корзников А.М., Карловский А.В. Исследование архитектуры рынка НТИ «Автонет». Аналитический отчет. Московский политехнический университет. <https://elibrary.ru/item.asp?id=80418821> (дата обращения: 15.11.2025).
37. Ухова А.И, Корзников А.М., Карловский А.В. Состояние и перспективы развития российского и международного рынка по направлению национальной технологической инициативы автонет по состоянию на 01.01.2025. Аналитический отчет. Московский политехнический университет. <https://elibrary.ru/item.asp?id=82645341> (дата обращения: 15.11.2025).
38. Федеральный закон № 224-ФЗ «О государственно-частном партнерстве, муниципально-частном партнерстве в Российской Федерации». [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/39948> (дата обращения: 15.11.2025).
39. Федеральный закон от 31.07.2020 г. № 258-ФЗ «Об экспериментальных правовых режимах в сфере цифровых инноваций в Российской Федерации». [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/45796> (дата обращения: 15.11.2025).
40. Что такое себестоимость перевозок?. [Электронный ресурс]. – URL: https://dato-logistics.ru/chto-takoe-sebestoinost-perevozok?fa821dba_redirect=&utm_medium=organic&utm_source=yandexsmartcamera (дата обращения: 15.11.2025).
41. Яков и партнеры: Робот за рулем: перспективы перехода на беспилотные автомобили в России Максим Болотских, Андрей Павлович, Александр Рыжов Москва, 2025. [Электронный ресурс]. – URL: <https://yakovpartners.ru/publications/self-driving->

- cars/?ysclid=mfwh03zblq741170234 (дата обращения: 15.11.2025).
42. Autonomous Snowbot Pro hits the sidewalk. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.gpsworld.com/autonomous-snowbot-pro-hits-the-sidewalk/> (дата обращения: 15.11.2025).
43. Autonomous street sweeper cleans up city streets in Helsinki pilot. [Электронный ресурс]. – URL: <https://newatlas.com/automotive/trombia-free-autonomous-street-sweeper> (дата обращения: 15.11.2025).
44. Future of Autonomous World-Global Forecast to 2035. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/future-of-autonomous-world-135764749.html> (дата обращения: 15.11.2025).
45. Future Outlook of Highway Operations with Implementation of Innovative Technologies Like AV, CV, IoT and Big Data. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.mdpi.com/2305-6290/3/2/15> (дата обращения: 15.11.2025).
46. LiDAR Системы лазерного зрения. Лазерный радар. [Электронный ресурс]. – URL: https://www.cnews.ru/book/LiDAR_-_Light_Detection_and_Ranging_- (дата обращения: 15.11.2025).
47. Netflix-Of-Transportation App Reduces Car Use And Boosts Bike And Bus Use, Finds MaaS Data Crunch. [Электронный ресурс]. – URL: https://www.forbes.com/sites/carltonreid/2019/03/28/netflix-of-transportation-app-reduces-car-use-and-boosts-bike-and-bus-use-finds-maas-data-crunch/?utm_medium=organic&utm_source=yandexsmartcamera (дата обращения: 15.11.2025).
48. Outrider добавляет роботизированные манипуляторы к автономным грузовикам. [Электронный ресурс]. – URL: https://robogeek.ru/promyshlennye-roboty/outrider-dobavlyayet-robotizirovannye-manipulyatory-k-avtonomnym-gruzovikam?utm_medium=organic&utm_source=yandexsmartcamera (дата обращения: 15.11.2025).
49. Outrider привлекла \$65 млн для развития автономных логистических решений. [Электронный ресурс]. – URL: https://siliconangle.com/2020/10/28/truck-automation-logistics-startup-outrider-raises-65m/?utm_medium=organic&utm_source=yandexsmartcamera (дата обращения: 15.11.2025).

50. Prepare For Millions Of Jobs To Disappear Overnight Once Driverless Car And Robot & Drone Technology Perfected. [Электронный ресурс]. – URL: https://www.nowtheendbegins.com/prepare-millions-jobs-disappear-overnight-driverless-car-robot-technology-perfected/?utm_medium=organic&utm_source=yandexsmartcamera (дата обращения: 15.11.2025).
51. Renault EZ-Pod. [Электронный ресурс]. – URL: <https://smallcarsclub.com/catalog/renault/renault-ez-pod/> (дата обращения: 15.11.2025).
52. Robosweeper – беспилотный электрический дорожный уборщик. [Электронный ресурс]. – URL: <https://tenchat.ru/media/3081513-robosweeper--bespilotniy-elektricheskiy-dorozhniy-uborschik> (дата обращения: 15.11.2025).
53. Stell использует для уборки снега робот Lumebot. [Электронный ресурс]. – URL: <https://stell.ee/ru/stell-%D0%B8%D1%81%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D1%8C%D0%B7%D1%83%D0%B5%D1%82-%D0%B4%D0%BB%D1%8F-%D1%83%D0%B1%D0%BE%D1%80%D0%BA%D0%B8-%D1%81%D0%BD%D0%B5%D0%B3%D0%B0-%D1%80%D0%BE%D0%B1%D0%BE%D1%82-lumebot/> (дата обращения: 15.11.2025).
54. The maas in helsinki, the pioneer of a new urban mobility?. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.padam-mobility.com/en/blog/the-maas-in-helsinki-the-forerunner-of-a-new-urban-mobility> (дата обращения: 15.11.2025).
55. Volvo представила автономный карьерный самосвал. [Электронный ресурс]. – URL: <https://nplus1.ru/news/2021/10/15/volvo> (дата обращения: 15.11.2025).

УДК 629.3
ББК 39
И88

Подготовлено ИЦ «Автонет» Московского Политеха

И88 **Исследование тенденций развития сегментов автономных транспортных средств в России и мире:** Аналитический отчет. – Москва: Московский Политех, 2025. – 1 CD-R. – Загл. с титул. экрана. – Текст: электронный.
ISBN 978-5-2760-2966-5.

**УДК 629.3
ББК 39**

*Системные требования: PC-совместимый процессор 1,3 ГГц и выше.
Оперативная память (RAM): 256 Мб. Необходимо на винчестере: 350 Мб.
Операционные системы: Windows, Mac OS. Видеосистема: разрешение экрана 1024x768. Дополнительные программные средства: Adobe Acrobat Reader 9 и выше.*

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕНДЕНЦИЙ РАЗВИТИЯ СЕГМЕНТОВ АВТОНОМНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ В РОССИИ И МИРЕ

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОТЧЕТ

Подписано к использованию 09.12.2025
Объем издания 2,90 Мб. Тираж 15. Заказ № 83/25

Издательство Московского Политеха
107023, Москва, Большая Семеновская, 38
www.mospolytech.ru; e-mail: izdat.mospolytech@yandex.ru

ISBN 978-5-2760-2966-5

© Московский Политех, 2025