

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ЦЕНТР ПРИКЛАДНОГО РАЗВИТИЯ
ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА»

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОТЧЕТ

О ВНЕДРЕНИИ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА
В СФЕРЕ РОБОТОТЕХНИКИ

Москва
2025 г.

Оглавление

Введение	3
1.1. Ключевые области применения роботизированных систем.....	5
1.2. Классификация роботизированных платформ по функциональному назначению	13
1.3. Виды программного обеспечения в робототехнике	16
1.4. Энергопотребление и автономность	18
2. Зарубежный опыт внедрения технологий ИИ в сфере робототехники	21
2.1. Обзор зарубежной нормативной базы.....	24
2.2. Действующие зарубежные практики	31
2.3. Зарубежные стартапы (перспективные решения).....	38
3. Опыт внедрения технологий ИИ в сфере робототехники в Российской Федерации	42
3.1. Обзор нормативной базы Российской Федерации.....	42
3.2. Отечественные лидеры внедрения технологий ИИ в сфере робототехники....	46
4. Барьеры внедрения технологий ИИ в сферу робототехники	47
4.1. Барьеры нормативно–правового характера.....	47
4.2. Барьеры технологического характера	48
5. Рекомендации по внедрению технологий ИИ в робототехнику	50
5.1. Для государства.....	50
5.2. Для промышленных предприятий.....	51
5.3. Для компаний–разработчиков	52
Заключение.....	53
Список использованных источников	54

Введение

Современный этап технологического развития характеризуется активным внедрением искусственного интеллекта (далее – ИИ) в различные сферы человеческой деятельности, среди которых особое место занимает робототехника. Интеграция ИИ в роботизированные системы позволяет значительно расширить их функциональные возможности, повысить автономность и адаптивность, а также обеспечить эффективное выполнение задач в сложных и динамически изменяющихся условиях. Например, автономные дроны, управляемые нейросетевыми алгоритмами, уже сегодня решают задачи мониторинга инфраструктуры, а хирургические роботы с компьютерным зрением совершают высокоточные операции, минимизируя человеческие ошибки.

Актуальность данного исследования обусловлена стремительным ростом спроса на интеллектуальные робототехнические решения в промышленности, медицине, логистике, сельском хозяйстве и других отраслях. Пандемия COVID-19 дополнительно ускорила этот процесс, подчеркнув необходимость бесконтактных технологий и автоматизации рутинных процессов. Развитие алгоритмов машинного обучения, компьютерного зрения и нейросетевых технологий открывает новые перспективы для создания роботов, способных к самообучению, принятию решений в реальном времени и взаимодействию с окружающей средой без постоянного контроля со стороны человека. Однако масштабное внедрение таких систем сопряжено с вызовами, включая вопросы кибербезопасности и необходимость адаптации законодательной базы.

Целью данного аналитического исследования является комплексный анализ процессов внедрения технологий ИИ в робототехнику, направленный на формирование методологической базы для стратегического развития отрасли. В рамках работы проводится систематизация теоретических основ, включая ключевые области применения роботизированных систем (промышленность, медицина, логистика, сельское хозяйство), классификацию платформ по функциональному назначению и уровню автономности, анализ видов программного обеспечения, а также оценку энергопотребления и методов повышения

автономности. Особое внимание уделяется сравнительному анализу зарубежного опыта: изучаются практики стран-лидеров, их нормативная база, действующие решения и перспективные стартапы, что позволяет выявить глобальные тренды. Параллельно исследуется российский контекст – анализируется отечественная нормативная база, достижения компаний-лидеров и барьеры внедрения, включая нормативно-правовые ограничения и технологические вызовы. На основе полученных данных формулируются практические рекомендации для государства, промышленных предприятий и разработчиков.

1.1. Ключевые области применения роботизированных систем

Роботизированные системы находят применение в самых разнообразных сферах, трансформируя традиционные процессы и создавая новые возможности для автоматизации [1].

Промышленность и производство

Промышленная робототехника стала одним из наиболее технологически развитых направлений, где роботы, усиленные ИИ, выполняют задачи, требующие высочайшей точности и скорости – от сборки микрочипов до покраски кузовов автомобилей. Современные системы оснащаются машинным зрением, которое анализирует изображения с камер в режиме реального времени, обнаруживая микротрещины, отклонения в размерах деталей или неравномерное нанесение покрытий. Например, на конвейерах алгоритмы ИИ идентифицируют дефекты размером до 0,05 мм, которые не способен заметить человеческий глаз, сокращая долю брака на 15–25%. Предиктивная аналитика, интегрированная в производственные линии, прогнозирует износ оборудования, предлагая оптимальное время для техобслуживания, что предотвращает простои и экономит миллионы долларов в год.

В автомобилестроении роботы с ИИ монтируют узлы, варят кузова и наносят лакокрасочные покрытия, адаптируясь к изменениям в дизайне без перенастройки всего конвейера. На заводах, таких как Tesla, роботизированные манипуляторы устанавливают батареи и электронные компоненты с точностью до микрона, сокращая цикл сборки на 20–30%. В электронной промышленности роботы собирают смартфоны, паяя микросхемы под контролем ИИ, который корректирует температурные режимы и давление в режиме реального времени, минимизируя риск перегрева.

Гибкость ИИ позволяет роботам переключаться между задачами: один и тот же манипулятор может обрабатывать металл, а через час – упаковывать хрупкие товары, анализируя их форму и вес. В пищевой отрасли роботы с датчиками гигиены сортируют продукты, удаляя испорченные плоды, а в фармацевтике фасуют таблетки, сверяя каждую с эталоном по цвету и размеру.

Ключевым трендом является интеграция роботов в «умные» заводы, где они обмениваются данными с IoT-сенсорами и ERP-системами, автоматически корректируя планы выпуска продукции при изменении спроса. Например, при резком росте заказов ИИ перераспределяет ресурсы между цехами, оптимизируя загрузку линий без участия человека.

Медицина и реабилитация

В медицинской сфере роботизированные системы используются для проведения хирургических операций, диагностики, ухода за пациентами и реабилитации. ИИ-алгоритмы помогают анализировать медицинские изображения, прогнозировать развитие заболеваний и персонализировать лечение.

В современной медицине роботизированные технологии совершают прорыв, трансформируя хирургию, диагностику, уход за пациентами и реабилитацию. Например, роботизированные хирургические системы, такие как «Да Винчи», позволяют проводить малоинвазивные операции через микроразрезы с точностью до 0,1 мм, что снижает кровопотерю, риск инфекций и сокращает восстановительный период в 2–3 раза. В России этот комплекс активно применяется в ведущих клиниках, включая НМИЦ им. В.А. Алмазова, для операций на сердце, органах малого таза и онкологических вмешательствах. Хирург управляет роботом через консоль, а 3D-визуализация и «тремор-фильтрация» исключают дрожание рук, обеспечивая ювелирную точность [2].

ИИ-алгоритмы стали ключевым инструментом диагностики. Системы анализируют рентгеновские снимки, МРТ и КТ, обнаруживая опухоли, переломы или признаки инсульта на ранних стадиях с точностью до 97% (по данным исследований Nature Medicine). Прогностические модели, обученные на больших данных, предсказывают риски развития заболеваний: от сердечной недостаточности до болезни Альцгеймера, учитывая генетику, образ жизни и историю болезней пациента.

В уходе за пациентами роботы-ассистенты, такие как PARO (терапевтический робот-тюлень) или TUG (автономная тележка для транспортировки медикаментов), разгружают медперсонал. PARO снижает тревожность у пожилых пациентов

с деменцией через тактильное и звуковое взаимодействие, а TUG доставляет лекарства по отделениям, избегая столкновений с людьми и оборудованием. В Японии робот Robear помогает поднимать лежащих больных, уменьшая физическую нагрузку на медсестер.

Реабилитационные роботы, такие как экзоскелеты EksoNR или ReWalk, возвращают мобильность пациентам после инсультов и травм позвоночника. Они адаптируются под индивидуальные параметры пользователя, корректируя нагрузку в реальном времени, а встроенные сенсоры отслеживают прогресс, передавая данные врачам. Для детей с ДЦП роботизированные тренажеры Lokomat учат правильной ходьбе через игровые интерфейсы, превращая терапию в увлекательный процесс.

Персонализация лечения – ещё одно преимущество ИИ. Алгоритмы анализируют геномные данные и результаты биопсии, подбирая таргетные препараты для онкобольных. В кардиологии платформы HeartFlow создают 3D-модели сосудов пациента на основе КТ, прогнозируя эффективность стентирования или шунтирования.

В Российской Федерации, помимо «Да Винчи», развиваются собственные проекты: например, робот-хирург «Спутник» для эндоскопических операций, разработанный в Сколково.

Логистика и складское хозяйство

Автономные мобильные роботы (AMR) и дроны стали неотъемлемой частью современных логистических систем, революционизируя процессы транспортировки грузов, инвентаризации и управления складскими пространствами. Оснащенные ИИ, эти технологии демонстрируют высочайший уровень автономности и эффективности. Например, AMR способны самостоятельно перемещать паллеты, коробки и тяжелое оборудование как внутри складов, так и между производственными зонами, оптимизируя грузопоток и сокращая время доставки. Дроны, в свою очередь, используются для быстрого сканирования высоких стеллажей и труднодоступных зон, автоматически обновляя данные инвентаризации в режиме

реального времени, что минимизирует человеческие ошибки и экономит сотни рабочих часов.

Ключевая роль в этом процессе принадлежит ИИ-алгоритмам, которые анализируют большие объемы данных от лидаров, камер и сенсоров, чтобы строить динамические маршруты с учетом текущей загруженности, расстояния и приоритетов задач. Машинное обучение позволяет системам прогнозировать изменения в среде – например, адаптироваться к внезапному появлению людей, перемещению оборудования или ремонтным работам, перестраивая пути без остановки операций. Технологии компьютерного зрения и SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) обеспечивают точное позиционирование и распознавание препятствий даже в условиях ограниченной видимости.

Интеграция с облачными платформами и системами управления складом (WMS) позволяет AMR и дронам работать в единой экосистеме, синхронизируя задачи и обмениваясь данными. Это особенно важно в условиях e-commerce, где скорость обработки заказов и точность их исполнения критичны. Например, компании вроде Amazon и Alibaba уже сообщают о снижении операционных затрат на 40% и ускорении выполнения заказов в 2–3 раза благодаря таким решениям.

Данные технологии обеспечивают масштабируемость: в отличие от статичных конвейерных систем, роботы легко перенастраиваются под новые задачи или сезонные нагрузки, а их работа может быть усилена «роевым интеллектом», когда десятки устройств координируются для решения сложных задач. Внедрение AMR и дронов также повышает безопасность, сокращая риск травм на производстве и освобождая персонал для более креативных и стратегических функций. Таким образом, сочетание автономности, адаптивности и интеграции с ИИ делает эти технологии драйвером Industry 4.0, трансформируя не только логистику, но и смежные отрасли – от розничной торговли до авиастроения.

Сельское хозяйство

Современное сельское хозяйство переживает технологический прорыв благодаря внедрению агроботов, оснащенных компьютерным зрением и ИИ. Эти автономные системы кардинально меняют подход к выращиванию культур, обеспечивая повышение продуктивности на 20–35% при одновременном сокращении расхода воды, удобрений и пестицидов на 30–50%. Агроботы, такие как автономные дроны и наземные платформы, сканируют поля с помощью мультиспектральных камер, лидаров и гиперспектральных сенсоров, собирая данные о влажности почвы, уровне азота, температуре и состоянии каждого растения. Компьютерное зрение идентифицирует ранние признаки болезней, дефицит питательных веществ или стресс от засухи, часто за недели до того, как проблемы станут заметны человеческому глазу. Например, компания Blue River Technology использует систему See & Spray, которая различает сорняки и культурные растения с точностью до 95%, минимизируя гербицидную нагрузку. ИИ-алгоритмы на основе нейросетей обрабатывают терабайты изображений, создавая карты здоровья посевов в режиме реального времени.

Роботизированные системы заменяют «слепое» распыление химикатов точечным воздействием. Умные опрыскиватели на базе ИИ, такие как Agrobotelli Robotti, рассчитывают дозировку удобрений для каждого квадратного метра поля, учитывая данные спутников, почвенные пробы и прогноз погоды, что предотвращает перенасыщение нитратами и снижает загрязнение грунтовых вод. Для небольших хозяйств роботы вроде Tertill уничтожают сорняки механически или локальным нанесением гербицидов, сокращая их использование на 90%. В сборе урожая роботы-комбайны, такие как Harvest CROO Robotics для клубники или Abundant Robotics для яблок, используют 3D-картографирование для определения спелости плодов по цвету, размеру и текстуре, а роботизированные манипуляторы с мягкими захватами аккуратно снимают урожай, как это делают дроны Tevel Aerobotics Technologies, решая проблему нехватки сезонных рабочих.

В борьбе с вредителями дроны-разведчики, например DJI Agras, обнаруживают очаги с помощью тепловизоров и выпускают хищных насекомых вместо химикатов,

а ИИ-платформы прогнозируют вспышки болезней, анализируя исторические данные, влажность и миграционные паттерны насекомых. Внедрение агроботов ведет к сокращению затрат, так как автоматизация снижает зависимость от ручного труда, который составляет до 40% себестоимости продукции в странах ЕС, и экономии ресурсов: точное земледелие уменьшает расход воды на 50–70%.

Агроботы интегрируются с IoT-сенсорами, спутниками и облачными платформами, создавая «цифровых двойников» полей. Это позволяет фермерам тестировать сценарии в виртуальной среде и автоматизировать принятие решений. Японская компания Kubota использует полностью автономные тракторы для обработки рисовых полей, увеличив урожайность на 25%, а американская Bowery Farming добилась урожайности в 100 раз выше на вертикальных фермах с роботами-агрономами при 95% экономии воды.

Сервисная и бытовая робототехника

Роботы-уборщики, курьеры, гиды и персональные ассистенты всё активнее входят в повседневную жизнь, меняя привычные подходы к быту, обслуживанию и коммуникациям благодаря интеграции ИИ. Автономные роботы-уборщики, создают карты помещений, обхода препятствий и адаптации к разным покрытиям. Они анализируют уровень загрязнения, оптимизируют маршруты уборки и даже распознают пятна, применяя точечную очистку с помощью компьютерного зрения.

Роботы-курьеры, оснащенные датчиками движения и системами машинного обучения, стали частью городской инфраструктуры: доставляют еду, посылки и медикаменты, маневрируя среди пешеходов и преодолевая лестницы. В офисах и гостиницах автономные платформы транспортируют документы, напитки или предметы первой необходимости, синхронизируясь с системами управления через облачные интерфейсы.

Социальные роботы-гиды работают в музеях, аэропортах и торговых центрах, распознавая эмоции и лица посетителей. Они предоставляют информацию на разных языках, адаптируя стиль общения под аудиторию: помогают туристам построить маршрут, подсказывают акции в магазинах или сопровождают пожилых людей,

напоминая о важных задачах. Некоторые модели способны анализировать интонацию голоса и контекст запросов, используя технологии обработки естественного языка.

Персональные ассистенты сочетают мобильность с интеграцией в умный дом: патрулируют помещения в отсутствие хозяев, управляют бытовой техникой через голосовые команды и учатся привычкам пользователей. Например, они могут автоматически заказывать продукты, включать кофеварку по утрам или предупреждать о неисправностях, таких как протечки воды.

Ключевая роль ИИ заключается в точном распознавании речи, объектов и эмоций. Алгоритмы обрабатывают голосовые команды даже в шумной обстановке, а компьютерное зрение позволяет идентифицировать тысячи предметов – от бытовых мелочей до специфических жестов. Технологии эмоционального анализа помогают роботам реагировать на настроение пользователей, подстраиваясь под их запросы.

Военная и спасательная робототехника

В зонах повышенного риска (от полей сражений до эпицентров стихийных бедствий) роботы становятся незаменимыми помощниками, выполняя задачи, где присутствие человека смертельно опасно или физически невозможно. На поле боя автономные беспилотники, такие как разведывательные квадрокоптеры, сканируют территорию с помощью тепловизоров и радаров, передавая данные о расположении противника в режиме реального времени. Наземные роботы-разведчики, оснащенные камерами 360-градусов и датчиками химического анализа, обнаруживают мины, скрытые боеприпасы или следы токсичных веществ, минимизируя потери среди военнослужащих. Например, роботы-саперы с манипуляторами и рентгеновскими сканерами обезвреживают взрывные устройства, работая в радиусе действия снайперов или под обстрелом.

В спасательных операциях, таких как землетрясения или промышленные аварии, роботы-платформы с гусеничным или змееподобным дизайном проникают под завалы, используя эхолокацию и микрофоны для обнаружения выживших. Некоторые модели, например, способны аккуратно извлекать пострадавших из-под обломков с помощью механических «рук», избегая дополнительных травм. Подводные роботы с сонарами и манипуляторами ищут пропавших в условиях

нулевой видимости, а беспилотные летательные аппараты доставляют медикаменты и продукты в зоны, отрезанные наводнениями или лавинами.

Автономные системы в этой сфере часто полагаются на ИИ для адаптации к непредсказуемым условиям. Алгоритмы машинного обучения анализируют данные с лидаров и гироскопов, позволяя роботам строить маршруты в разрушенных зданиях или на минных полях, избегая препятствий. Компьютерное зрение распознает объекты даже сквозь дым, пыль или мутную воду, а нейросети прогнозируют обрушения конструкций, предупреждая спасателей об опасности. Например, во время тушения лесных пожаров роботы-танки с огнестойкими корпусами прокладывают коридоры для эвакуации, анализируя направление ветра и температуру пламени.

Интеграция ИИ также оптимизирует логистику: роботы-грузовики с автопилотом доставляют боеприпасы и гуманитарную помощь по сложным маршрутам, а дроны-курьеры с ИИ-навигацией сбрасывают грузы с точностью до метра. В медицинской эвакуации автономные амфибийные платформы транспортируют раненых, стабилизируя их состояние с помощью встроенных дефибрилляторов и систем мониторинга жизненных показателей.

Таким образом, военная и спасательная робототехника, усиленная ИИ, не только спасает жизни, но и переопределяет стратегии работы в критических условиях. От автономных систем разведки до роботов-медиков – эти технологии становятся основой для безопасного и эффективного ответа на вызовы там, где каждая секунда на счету.

1.2. Классификация роботизированных платформ по функциональному назначению

Робототехнические системы классифицируются по множеству критериев, что позволяет структурировать их разнообразие и определить оптимальные сферы применения. Основными параметрами для классификации являются степень автономности, тип мобильности и функциональная специализация.

По степени автономности

Автономность – ключевой параметр, определяющий уровень независимости работа от человеческого контроля.

– управляемые оператором (телеуправляемые) – требуют постоянного контроля человека через интерфейсы (джойстики, пульта, VR-шлемы).

Примеры: хирургические роботы (например, «Да Винчи»), военные дроны-разведчики (например, «Маркер» — военный многофункциональный робототехнический комплекс), подводные аппараты для ремонта нефтепроводов.

– полуавтономные – способны выполнять базовые задачи самостоятельно (навигация, сбор данных), но критически важные решения принимаются человеком.

Примеры: сельскохозяйственные роботы для прополки (FarmWise), сервисные роботы (например, «Промобот»), роботы-курьеры в ограниченных зонах (Starship Technologies), промышленные манипуляторы с ИИ-коррекцией движений.

– полностью автономные – работают без вмешательства человека, используя ИИ для анализа данных, прогнозирования и адаптации к изменениям среды.

Примеры: беспилотные автомобили уровня L4-L5 (Waymo), роботы-уборщики (iRobot Roomba), автономные дроны для инспекции ЛЭП (Skydio).

По типу мобильности

Конструкция и способ перемещения робота определяют его применимость в разных средах.

– стационарные: закреплены на одном месте, выполняют задачи в фиксированной зоне.

Примеры: промышленные манипуляторы (KUKA, ABB YuMi), 3D-принтеры, роботы для сортировки посылок на складах.

– колесные/гусеничные: используют колеса или гусеницы для перемещения по ровным и сложным поверхностям.

Примеры: логистические роботы (Amazon Proteus), военные машины (Уран-9), марсоходы (Perseverance).

– шагающие и гуманоидные: имитируют биомеханику живых существ для преодоления препятствий.

Примеры: четвероногий Spot от Boston Dynamics, гуманоид Atlas, робот-собака Unitree Go1.

– летающие: дроны и БПЛА для задач в воздушном пространстве.

Примеры: картографические дроны (DJI Mavic), грузовые БПЛА (Zipline), дроны для тушения пожаров.

– подводные/надводные: работают в водной среде, включая океаны, реки и канализационные системы.

Примеры: автономные подводные аппараты (Bluefin-21), роботы для чистки аквариумов (iRobot Verro), плавучие дроны для сбора мусора (Clearbot).

– гибридные: комбинируют несколько типов мобильности. *Например, робот RoboBee (летает и плавает) или ANYmal (ходит и ездит на колесах).*

По функциональной специализации

- промышленные;
- медицинские;
- сервисные;
- исследовательские;
- военные и спасательные;
- сельскохозяйственные;
- образовательные и развлекательные.

Дополнительные критерии классификации

Для узкоспециализированного анализа также используют:

- среду применения: космическая, подземная, экстремальные температуры;
- энергоэффективность: солнечные, аккумуляторные, гибридные;

– степень взаимодействия с человеком: коллаборативные (COBOT), изолированные.

Классификация помогает выбирать оптимальные платформы под конкретные задачи, прогнозировать развитие технологий, а также унифицировать стандарты безопасности и проектирования.

Таким образом, многоуровневая классификация отражает не только текущее состояние робототехники, но и её динамику, открывая пути для создания междисциплинарных решений – от роботов-фермеров до автономных городов.

1.3. Виды программного обеспечения в робототехнике

Программное обеспечение промышленных роботов – это различные средства программирования, необходимые для настройки и взаимодействия с робототехническими системами. ПО включает различные объекты данных и списки инструкций (потoki программ), предназначенные для выполнения роботами манипуляций с объектами и предметами в реальной рабочей среде. При этом программы и данные размещаются в разных «отсеках» памяти контроллеров промышленных роботов.

В зависимости от того, для каких целей будет использовано ПО, оно подразделяется на средства [3]:

- технического обслуживания, позволяющие поддерживать роботов в наилучшем рабочем состоянии с помощью инструментов устранения неполадок, технического обслуживания и калибровки;
- визуализации и мониторинга автоматизированных промышленных роботов, отображающие состояние устройств и уровни их работоспособности и производительности;
- моделирования и симуляции работы технических комплексов. Эти инструменты и средства автономного программирования помогают разрабатывать и отлаживать решения роботизации до их внедрения;
- разработки дополнительного ПО. С помощью этих средств создаются и настраиваются индивидуальные приложения для управления роботами;
- программного управления контроллерами, предназначенные для программирования роботов непосредственно через логические контроллеры с использованием существующих периферийных средств;
- прикладного программного обеспечения - в виде интерфейсов к внешним компонентам или устройствам, предназначенных для включения конкретных действий роботов.

Также программное обеспечение для роботов можно разделить на две категории:

1. Контролирующее и управляющее ПО, включающее в себя графические интерфейсы для работы с телеуправляемыми системами, ПО для взаимодействия с автономно действующими роботами по схеме point-n-click и для формирования схем эксплуатации мобильных промышленных роботов;

2. ПО для задач, которое включает в себя простые интерфейсы с возможностью перетаскивания и настройки маршрутов перемещения и специализированные программы, созданные для развертывания конкретных приложений.

Разработка программного обеспечения для автоматизированных промышленных роботов должна осуществляться с соблюдением требований и концепций безопасности. Разнообразие ПО позволяет создавать гибкие и масштабируемые робототехнические решения.

1.4. Энергопотребление и автономность

Одной из ключевых проблем современной робототехники является обеспечение длительной автономной работы, особенно для мобильных систем, функционирующих в удаленных или экстремальных условиях – от глубоководных исследований до марсианских миссий. Большинство роботов зависят от электричества, но традиционные источники питания сталкиваются с ограничениями по емкости, весу и скорости подзарядки.

Источники энергии

Аккумуляторы

Литий-ионные батареи остаются основным выбором благодаря высокой энергоемкости (до 300 Вт·ч/кг) и относительной компактности. Они используются в потребительских роботах (например, iRobot Roomba), дронах (например, DJI Mavic, Zala Aero (концерн «Калашников»)) и промышленных манипуляторах (например, Cognitive Pilot).

Твердотельные батареи – прорывное направление: они не содержат жидкого электролита, что повышает безопасность и позволяет увеличить плотность энергии до 500 Вт·ч/кг¹. Компания QuantumScape уже тестирует такие батареи для робомобилей, обещая сокращение времени зарядки до 15 минут.

Гибридные системы сочетают аккумуляторы с суперконденсаторами, которые обеспечивают пиковую мощность для энергозатратных задач (прыжки робота Atlas от Boston Dynamics).

Топливные элементы

Водородные топливные элементы рассматриваются как перспектива для роботов, требующих длительной автономии. Например, подводный аппарат BlueROV2 с водородным элементом работает до 48 часов против 6 часов у литий-ионного аналога.

¹ Ватт-час на килограмм (Вт·ч/кг) — это единица измерения удельной энергии, обычно используемая для измерения плотности энергии в батареях и конденсаторах. Чтобы перевести эту величину в единицы СИ, нужно значение, выраженное в Вт·ч/кг, умножить на 3600.

Метаноловые элементы (как в роботе Aeolus от Toshiba) генерируют энергию через химические реакции, подходя для дронов, патрулирующих труднодоступные зоны.

Солнечные панели и беспроводная зарядка

Солнечные батареи критичны для космических миссий: марсоход Perseverance использует их в сочетании с радиоизотопными термоэлектрическими генераторами (RTG). На Земле сельскохозяйственные роботы (Agribotix) заряжаются от солнца в полевых условиях.

Беспроводная зарядка через индукционные станции (стандарт Qi) внедряется в складских роботах Amazon Hercules, которые автоматически подзаряжаются при возвращении на базу.

Для продления автономности инженеры комбинируют аппаратные и программные решения:

Энергоэффективные процессоры: нейроморфные чипы (Intel Loihi, IBM TrueNorth) имитируют работу нейронов, снижая энергопотребление в 100–1000 раз по сравнению с классическими CPU при выполнении задач ИИ, в свою очередь ARM-архитектура (чипы NVIDIA Jetson) доминирует в мобильной робототехнике благодаря балансу мощности и энергоэффективности.

Ещё одним важным фактором является динамическое управление питанием, роботы способны отключать неиспользуемые сенсоры (лидары, камеры) в режиме ожидания. Например, дрон Skydio X2 деактивирует 4K-камеру при переходе в навигационный режим, а исследовательский робот HEXAPOD NASA отключает двигатели при сборе данных, экономя до 40% заряда.

Искусственный интеллект трансформирует управление энергоресурсами, прогнозная аналитика на основе машинного обучения предсказывает расход энергии для конкретных задач. Например, алгоритм DeepMind в Google Data Centers сократил энергопотребление на 30%, и аналогичные модели внедряются в робототехнику.

Несмотря на прогресс, сохраняются проблемы, одной из них является ограничение объемов батарей, при этом даже твердотельные аккумуляторы

не решают проблему веса, к примеру, батарея для гуманоидного робота Tesla Optimus занимает 30% его массы.

При температурах ниже -50°C (Антарктида) или выше $+120^{\circ}\text{C}$ (промышленные печи) эффективность существующих источников падает.

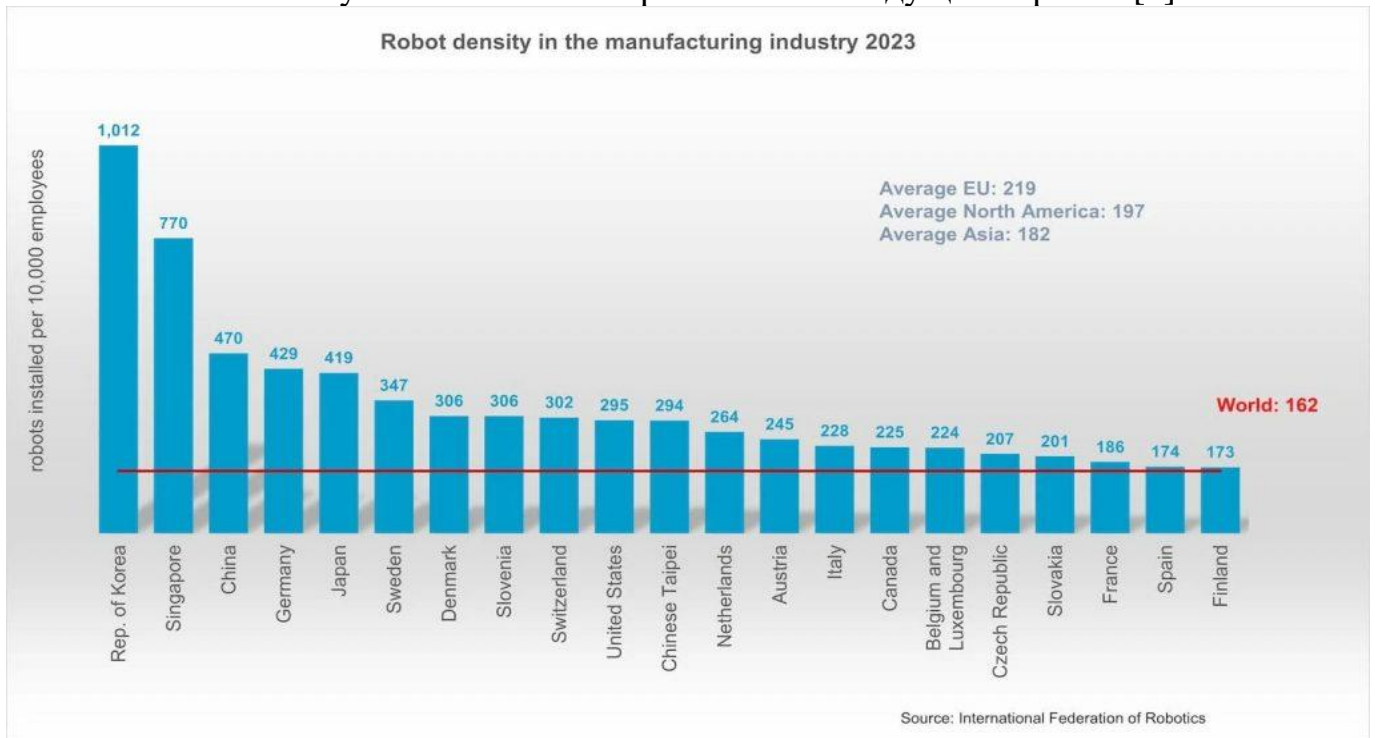
К 2030 году ожидается прорыв в микроволновой беспроводной передаче энергии (проект COBRA DARPA для зарядки дронов в полете) и биотопливных элементах, генерирующих энергию из органики. Уже сегодня робот Row-bot Кембриджского университета очищает водоемы, питаясь от бактерий в воде.

2. Зарубежный опыт внедрения технологий ИИ в сфере робототехники

Внедрение ИИ в робототехнику является глобальным трендом, и разные страны демонстрируют различные подходы к его развитию. В данной главе рассматриваются лидеры в производстве и использовании роботов, нормативная база, действующие практики и перспективные стартапы, формирующие будущее отрасли.

Страны–лидеры по производству и использованию роботов

Рисунок 1. Плотность роботов в 20 ведущих странах [4].



Республика Корея занимает лидирующую позицию в мировой роботизации, демонстрируя беспрецедентную плотность использования промышленных роботов – 1 012 единиц на 10 000 работников, согласно отчету Международной федерации робототехники (IFR) за 2024 год. Этот показатель стал результатом многолетней государственной политики, направленной на преодоление демографического кризиса и повышение конкурентоспособности ключевых отраслей, таких как автомобилестроение и электроника. Крупнейшие корпорации, включая Hyundai Robotics, LG Electronics и Samsung, не только автоматизируют свои производственные линии, но и развивают инновационные направления – от медицинских роботов, таких как хирургические системы и экзоскелеты, до интеграции роботов в инфраструктуру «умных» городов. Например, роботы–гиды LG в аэропорту Инчхон уже стали символом технологического прогресса страны,

а проект K–Humanoid Alliance объединяет ведущие компании и университеты для создания гуманоидных роботов мирового уровня к 2030 году [5].

Сингапур, занимающий второе место с плотностью 770 роботов на 10 000 работников, фокусируется на автоматизации высокотехнологичных секторов, таких как микроэлектроника и фармацевтика. Хотя детали его стратегии менее освещены в открытых источниках, страна сохраняет статус глобального технологического хаба, привлекая инвестиции в роботизированные логистические системы и ИИ–платформы для управления городской инфраструктурой.

Китай, третий в рейтинге (470 роботов на 10 000 работников), демонстрирует наиболее динамичный рост благодаря государственной программе «Made in China 2025». Страна контролирует более 40% мирового рынка промышленных роботов, делая ставку на компании DJI (лидер в производстве дронов), UBTECH Robotics (гуманоидные роботы) и Siasun (автоматизация тяжелой промышленности). Всего за год Китай поднялся с пятого на третье место, удвоив темпы внедрения роботов в автомобильном и электронном секторах [6].

Германия, занимающая четвертую позицию (429 роботов), остается европейским лидером в области промышленной робототехники. Компании KUKA и Festo задают стандарты для collaborative robots (cobots), которые работают бок о бок с людьми на сборочных линиях, сочетая точность машин с гибкостью человеческого труда. Немецкие инженеры также активно внедряют ИИ–алгоритмы для предиктивного обслуживания оборудования, что снижает простои на 15–20%.

Япония, замыкающая пятерку (419 роботов), сохраняет статус пионера в разработке сервисной робототехники. Бренды FANUC и Yaskawa доминируют в промышленном сегменте, а SoftBank Robotics популяризирует социальных роботов, таких как Pepper. Особое внимание уделяется Human–Robot Interaction (HRI): на конференции HRI 2019 в Республике Корея японские исследователи представили кейсы использования роботов–компаньонов для пожилых и реабилитационных экзоскелетов 811. В условиях стареющего населения Япония видит в роботах решение для ухода за 30% граждан старше 65 лет, что стимулирует инвестиции в медицинские и бытовые роботизированные системы.

Эти страны, несмотря на различия в подходах, объединены общей тенденцией: роботизация перестает быть инструментом экономии затрат и становится ключевым элементом национальных стратегий, направленных на преодоление глобальных вызовов – от демографических кризисов до экологических угроз.

2.1. Обзор зарубежной нормативной базы

Регулирование робототехники и ИИ варьируется в зависимости от страны:

Республика Корея

В этой стране еще в 2008 году был принят один из первых мировых законов «О развитии и распространении умных роботов» («Intelligent robots development and distribution promotion»). По существу, этот закон является одновременно и концепцией правового регулирования, объединяя в себе, таким образом, оба уровня регулирования – и первый, концептуальный, и собственно правовой, за счет принятия предметных норм. Например, закон предусматривает создание специализированного института по развитию робототехники и определяет меры государственной поддержки производителей робототехники. Одновременно с этим, закон содержит конкретные уголовно–правовые нормы, а также нормы, разграничивающие компетенцию и ответственность конкретных государственных органов и местных властей в связи с реализацией административной и правовой реформы.

Республика Корея делает ставку на проекты национального масштаба, объединяющие бизнес, науку и государство. В апреле 2025 года стартовал проект «K–Humanoid Alliance», направленный на превращение страны в мирового лидера в области гуманоидных роботов к 2030 году. В рамках инициативы создан консорциум из 40 организаций, включая компании AeiROBOT, Rainbow Robotics и ведущие университеты, такие как KAIST. Государство выделило около 150 млн долларов на НИОКР, а к 2028 году планируется разработать роботов с 50 суставами, грузоподъемностью 20 кг и скоростью движения 2,5 м/с [7].

Ключевой аспект корейского регулирования – стандартизация взаимодействия ИИ и робототехники. Министерство торговли, промышленности и энергетики Республики Корея акцентирует внимание на этике данных и безопасности автономных систем.

Сингапур

Сингапур, несмотря на отсутствие природных ресурсов и ограниченную территорию, стал мировым образцом в области ответственного внедрения робототехники и ИИ. Основой его успеха является строгая нормативная база, построенная на принципах объяснимости, прозрачности, справедливости и гуманизма, которые закреплены в национальных стратегиях, таких как Национальная стратегия ИИ (NAIS 2.0) и Smart Nation Initiative. Эти документы требуют, чтобы интеллектуальные системы проектировались и использовались исключительно для улучшения качества жизни людей, минимизируя риски и исключая дискриминацию.

Этико-правовые принципами являются:

Объяснимость

Алгоритмы ИИ обязаны предоставлять понятные человеку обоснования своих решений. Например, в медицине система Blade, анализирующая клетки крови, не только ставит диагноз с точностью 91,4%, но и визуализирует ключевые параметры анализа, позволяя врачам проверять логику алгоритма. В случае роботов-патрулей Xavier, используемых для контроля общественного порядка, их действия всегда сопровождаются аудиообъяснениями на нескольких языках.

Прозрачность

Все данные, используемые для обучения ИИ, проходят аудит на репрезентативность. Например, проект SG100K, направленный на секвенирование (процесс определения последовательности нуклеотидов в молекулах ДНК или РНК) геномов 100 000 жителей, включает пропорциональное представительство этнических групп (китайцы, малайцы, индийцы), чтобы исключить предвзятость в медицинских прогнозах.

Справедливость

В 2023 году Сингапур ввел обязательную сертификацию ИИ-систем в критических сферах (здравоохранение, финансы, правосудие). Например, роботы-рекрутеры, такие как TalentGuard, обязаны демонстрировать отсутствие дискриминации по возрасту, полу или расе при подборе кандидатов.

Гуманизм

Роботы проектируются как помощники, а не замена человека. В рамках программы Robotics for Aging Society роботы ElliQ и Mabu помогают пожилым людям оставаться самостоятельными: напоминают о приеме лекарств, проводят телемедицинские консультации и даже имитируют эмоциональную поддержку через диалоговый ИИ.

На международном уровне Сингапур также заключил соглашения с другими странами для укрепления и развития исследований и сотрудничества в области ИИ. В октябре 2023 года Сингапур и США предприняли усилия по углублению сотрудничества в области ИИ, сделав свои структуры управления ИИ совместимыми (сопоставив AI Verify Сингапура с Системой управления рисками ИИ NIST США), создав двустороннюю Группу управления ИИ и взяв на себя обязательство расширить обмена и программы для углубления исследований и технического сотрудничества в области ИИ. С тех пор Сингапур продолжает согласовывать структуру тестирования управления ИИ с другими странами, сопоставляя Систему проверки AI с недавно запущенным стандартом ISO/IEC 42001:2023, чтобы компании могли на практике продемонстрировать соответствие стандарту ISO без обременительных затрат.

Регулирование подразумевает гуманистический подход: необходимо разрабатывать и внедрять интеллектуальные системы, которые не наносят вреда и способствуют улучшению жизни людей и общества. Строгая нормативная база Сингапура обеспечивает безопасность и этичное использование робототехники.

В рамках плана Research, Innovation and Enterprise 2025 выделено \$25 млрд, включая гранты для стартапов в области ИИ и робототехники.

Китай

В Китае концепция развития робототехники состоит из целого ряда документов, к которым можно отнести Глобальную государственную программу развития «Made in China 2025». При этом в Китае нет закона о роботах или единой оформленной концепции развития законодательства. Более того, в большинстве политик и руководств задача проведения правовой реформы либо отсутствует, либо находится на втором плане. Также, программа «Made in China 2025» стимулирует

локализацию производства роботов: к 2025 году в провинции Гуандун работает 160 000 робототехнических компаний, что составляет 19% от общего числа в стране.

Важным шагом стало открытие в Шанхае учебного центра для гуманоидных роботов Kylin, где к 2027 году планируется обучать 1000 андроидов одновременно. Центр собирает 10 млн единиц данных о физических параметрах роботов, что необходимо для совершенствования алгоритмов машинного обучения.

Для сервисных роботов, особенно в медицине, логистике и сфере услуг, действуют правила по защите персональных данных, соответствующие Закону КНР о кибербезопасности (2017) и Закону о защите персональной информации (2021), которые запрещают несанкционированный сбор биометрических данных и обязывают компании внедрять алгоритмическую прозрачность. Этические аспекты регулируются «Спецификациями этики ИИ нового поколения» (2021), где подчеркивается принцип подконтрольности человеку, запрет на автономное принятие решений в критических сферах (судопроизводство, здравоохранение) и необходимость предотвращения дискриминации алгоритмов. Отдельное внимание уделяется социальным роботам: в 2023 году введены рекомендации по их использованию в образовании и уходе за пожилыми, ограничивающие замену человеческого взаимодействия в эмоционально значимых ситуациях. Для беспилотного транспорта и дронов действуют региональные пилотные зоны (например, в Шэньчжэне и Пекине), где тестируются правовые модели страхования ответственности, идентификации владельца и реакции на аварии. Однако сохраняются пробелы: отсутствует единый закон о робототехнике, а регулирование фрагментировано между отраслевыми нормативами. Китай также участвует в формировании международных стандартов через ISO и IEEE, продвигая свои технологические решения как эталонные. Ключевой вызов — баланс между жестким контролем, необходимым для стабильности государства, и гибкостью, стимулирующей прорывные разработки. Эксперты прогнозируют, что к 2025 году будет принят комплексный закон о роботизированных системах, унифицирующий их статус, ответственность за действия и интеграцию в инфраструктуру «умных городов».

Германия

Германия, как часть Европейского Союза, руководствуется Актом об искусственном интеллекте (EU AI Act. (2024). *Regulation on Artificial Intelligence.*) – первым в мире законом, классифицирующим ИИ–системы по уровню риска. Для робототехники это означает запрет на использование социальных рейтингов и массового распознавания лиц, а также обязательную сертификацию высокорисковых систем, таких как хирургические роботы.

Основу регулирования составляют как общеевропейские директивы, так и национальные инициативы, такие как стратегия Industrie 4.0, направленная на цифровизацию промышленности, и Hightech-Strategie, акцентирующая роль робототехники в решении социальных и экологических задач. В рамках ЕС Германия активно участвует в разработке регуляторных рамок, включая Общий регламент по защите данных (GDPR), который строго ограничивает сбор и обработку персональной информации сервисными роботами, и Директиву о машинах (2006/42/EC), устанавливающую требования к безопасности промышленных роботов, включая необходимость сертификации, наличие аварийных систем и защиту от кибератак. Также применяются стандарты ISO 10218 и ISO/TS 15066, адаптированные Немецким институтом стандартизации (DIN), которые регулируют силу взаимодействия, скорость движения и зоны безопасности при совместной работе с человеком. В медицинской робототехнике, например, в хирургических системах, действуют дополнительные требования Закона о медицинских изделиях (MPG) и стандарты DIN EN ISO 13485, гарантирующие точность, надежность и возможность аудита алгоритмов. Для беспилотного транспорта в 2021 году принят Закон об автономном вождении, разрешающий тестирование на дорогах общего пользования при условии наличия дистанционного контроля и страхования гражданской ответственности. Социальные роботы, такие как компаньоны для пожилых, подпадают под действие Закона о защите потребителей и рекомендаций по предотвращению манипулятивного поведения, исключая замену человеческого общения в уязвимых группах. Однако остаются пробелы: отсутствует единый закон о робототехнике, а вопросы ответственности за действия автономных

систем регулируются через Гражданский кодекс (BGB) и прецедентное право, что создает неопределенность в случаях киберинцидентов или алгоритмических ошибок.

Япония

Япония, являясь мировым лидером в разработке и внедрении робототехники, формирует нормативно-правовую базу, сочетающую поддержку инноваций с обеспечением безопасности и этических стандартов. Основу регулирования составляют стратегии «Общество 5.0» и «Революция роботов» (Robot Revolution Initiative), направленные на интеграцию роботов в повседневную жизнь, здравоохранение, промышленность и уход за пожилыми людьми. Национальные стандарты разрабатываются при участии Министерства экономики, торговли и промышленности (METI) и японской организации по стандартизации (JIS), адаптируют международные нормы ISO,

Этические аспекты закреплены в «Руководящих принципах для роботов следующего поколения» (2007) и «Социальных принципах человеко-ориентированного ИИ» (2019), где акцентируется приоритет безопасности, прозрачности алгоритмов и запрет на использование роботов в целях манипуляции или ущемления прав человека. Для социальных роботов, таких как терапевтический PARO или помощники для пожилых, действуют рекомендации Министерства здравоохранения, запрещающие замену человеческого взаимодействия в эмоционально значимых сценариях и обязывающие обеспечивать конфиденциальность данных. В сфере автономного транспорта Япония одной из первых ввела поправки к Закону о дорожном движении (2019), разрешающие тестирование беспилотных автомобилей и устанавливающие правила страхования ответственности.

Персональные данные, собираемые роботами, защищаются Законом о защите персональной информации (APPI), который требует явного согласия пользователей и ограничивает передачу данных третьим лицам. Однако в отличие от ЕС, японское законодательство менее строго регулирует алгоритмическую прозрачность, делая упор на саморегулирование компаний. Например, производители сервисных роботов

часто следуют «мягким» стандартам, таким как «Руководство по этичному ИИ», вместо жестких предписаний.

Ключевые пробелы включают отсутствие единого закона о робототехнике и неоднозначность в определении правового статуса автономных систем. Вопросы ответственности за действия роботов решаются через Гражданский кодекс Японии, где владелец или производитель могут нести ответственность в случае неисправности, но прецеденты с ИИ-ошибками остаются спорными. Для роботов-компаньонов и эмоциональных ИИ нет четких правил предотвращения формирования психологической зависимости, что вызывает дискуссии среди экспертов.

Япония активно участвует в разработке глобальных стандартов через ISO и IEC, продвигая свои технологии в области робототехники для ухода и промышленности. Ожидается, что к 2026 году будут ужесточены требования к кибербезопасности роботизированных систем и внедрены нормы для дронов, используемых в логистике мегаполисов.

2.2. Действующие зарубежные практики

Промышленность и производство

1. Предиктивная аналитика и цифровые двойники

FANUC – международная корпорация, основанная в Японии. Компания является производителем оборудования для автоматизации производства и обладает опытом установки в разных странах более 4.4 млн контроллеров ЧПУ и 680 000 роботов. В Японии FANUC стала первой компанией, которая построила и эксплуатирует автоматическое предприятие со станками с ЧПУ и роботами. Компания FANUC предлагает ассортимент роботов в мире, включающий более 100 моделей.

FANUC внедряет ИИ–алгоритмы для прогнозирования поломок промышленных роботов. Системы анализируют данные с датчиков вибрации, температуры и нагрузки, сокращая время простоя на 30%. В Германии компания Siemens использует цифровых двойников для моделирования производственных линий. Виртуальные копии позволяют тестировать изменения в реальном времени, оптимизируя энергопотребление и снижая затраты на перенастройку оборудования [8].

2. Коллаборативные роботы (коботы)

Коллаборативный робот – робот созданный для совместной работы с человеком, спроектированный так, чтобы не подвергать опасности находящегося рядом работника.

Компания Universal Robots (Дания) производит роботизированные манипуляторы – современный инструмент, который может использоваться персоналом любого уровня для повышения производительности, снижения травматизма и улучшения дисциплины. Используя роботизированные манипуляторы Universal Robots, можно автоматизировать и оптимизировать повторяющиеся или потенциально опасные процессы, так что сотрудники смогут заняться другими задачами, требующими творческого подхода. Эти роботы оснащены датчиками безопасности и ИИ–алгоритмами, предотвращающими столкновения. Например,

на заводах BMW они выполняют 80% операций по покраске, сокращая ошибки на 25% [9].

3. Контроль качества с машинным зрением

Компьютерное зрение интенсивно используется в повседневных отраслях, таких как логистика, производство и автомобилестроение. Оно помогает рационально распознавать и классифицировать объекты, что оптимизирует управление и играет базовую роль в разработке безопасного беспилотного транспорта.

Компания Tesla (США) применяет ИИ–системы на базе NVIDIA для визуального контроля качества на своих заводах. Алгоритмы анализируют изображения с камер в режиме реального времени, выявляя микродефекты батарей с точностью 99.8%.

Также, Tesla использует роботов на своих производственных линиях для сборки автомобилей. Эти роботы работают в тандеме с системами ИИ, которые помогают оптимизировать производственные процессы и обеспечивать высокое качество продукции.

Rapid Robotics (США) предлагает аренду промышленных роботов по подписке. Это позволяет малым предприятиям сократить капитальные затраты и внедрить автоматизацию без рисков.

Компания разработала Rapid Machine Operator (RMO) – готовое к использованию роботизированное решение для производственных линий. Система объединяет стандартное оборудование с запатентованными технологиями компьютерного зрения и искусственного интеллекта.

RMO не требует системного интегратора, программирования, дополнительного оборудования или предыдущих знаний в области робототехники. Управление осуществляется через удобный сенсорный экран, что позволяет легко обучать, обновлять и перепрограммировать робота. А также, решение помогает компаниям автоматизировать производственные процессы, значительно снизить затраты на труд и увеличить производительность.

В 2021 году Rapid Robotics предлагала следующую модель подписки: в первый год – 3 750 долларов в месяц за одного робота, после этого – 2 100 долларов в месяц, включая поддержку и обслуживание [10].

Медицина и реабилитация

Искусственный интеллект всё больше незаменим в здравоохранении, где помогает медицинским работникам улучшать качество обслуживания и снижать рабочую нагрузку. Эти технологии обеспечивают точное и объективное лечение, поддерживая врачей во всевозможных областях.

1. Хирургические роботы

Робот хирург Da Vinci Surgical System представляет собой революционное достижение в области минимально инвазивной хирургии (MIS), обеспечивая повышенную точность, ловкость и контроль за пределами возможностей традиционной лапароскопии. Разработанная компанией Intuitive Surgical, роботизированная хирургическая система Da Vinci позволяет выполнять сложные процедуры с большей точностью и меньшим травмированием пациента. С момента одобрения FDA (Управление по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов в США) в 2000 году робот хирург Da Vinci стал неотъемлемым инструментом во многих хирургических специальностях, улучшая клинические результаты и переопределяя стандарты лечения. Не менее 10 миллионов операций уже выполнено с помощью da Vinci. Da Vinci Surgical System остается лидером в малоинвазивной хирургии.

В 2024 году система была дополнена ИИ-ассистентом, который анализирует данные о ходе операции и предупреждает хирурга о рисках в режиме реального времени. Например, в клиниках Mayo Clinic это снизило послеоперационные осложнения на 18% [11].

2. Терапевтические роботы

PARO — терапевтический робот японской разработки, выполненный в форме детёныша гренландского тюленя, предназначенный для эмоциональной поддержки пациентов в медицинских и геронтологических учреждениях. Его конструкция сочетает биоинспирированный дизайн с технологиями ИИ: встроенные тактильные и аудиосенсоры позволяют роботу распознавать прикосновения, голосовые команды и изменения освещения, адаптивно реагируя движениями хвоста, морганием глаз, звуками, напоминающими вокализацию тюленя, а также имитацией базовых эмоций

(радость, удивление, раздражение). Программное обеспечение PARO обеспечивает персонализацию взаимодействия — робот «запоминает» часто используемые слова и действия пользователя, корректируя свои реакции, а синхронизация с циркадными ритмами позволяет ему сохранять активность днём и переходить в «спящий режим» ночью. В отличие от животных, применяемых в анималотерапии, робот исключает риски аллергических реакций и инфекций, демонстрирует стабильные поведенческие паттерны и доступен для взаимодействия в любое время. Клинические наблюдения подтверждают, что использование PARO способствует снижению уровня стресса, активизации когнитивных функций и улучшению эмоционального фона у пациентов с возрастными нейродегенеративными заболеваниями, последствиями инсультов или длительной госпитализации, что делает его перспективным инструментом в реабилитационной и паллиативной медицине [12].

3. Реабилитационные экзоскелеты

Американская компания Ekso Bionics, производящая одни из самых современных экзоскелетов, выпустила новое устройство для нейрореабилитации, которое получило название EksoNR. Экзоскелет EksoNR помогает пациентам с травмами позвоночника восстанавливать двигательные функции. Система использует ИИ для адаптации нагрузки в зависимости от прогресса пациента, сокращая срок реабилитации на 40%.

Оптимизированное программное обеспечение SmartAssist позволяет EksoNR иметь более плавный и естественный ход ходьбы при переходе от одного шага к другому. SmartAssist также обеспечивает симметрию походки и обратную связь по позе и позволяет терапевтам отслеживать прогресс пациента с помощью обновленного облачного аналитического решения EksoPulse. В настоящее время EksoPulse использует реабилитационные данные для получения подробных показателей и графиков для терапевтов и администраторов с целью мониторинга прогресса и результатов лечения пациентов [13].

Логистика и складское хозяйство

1. Автономные мобильные роботы

Компания Amazon Robotics (США) насчитывает более 750 тысяч промышленных роботов, которые переносят и сортируют посылки на своих складах. Роботы используют алгоритмы SLAM (Simultaneous Localization and Mapping –одновременная локализация и построение карты) для построения маршрутов и избегания препятствий. Технологии, такие как роботизированные руки Sparrow и Robin, помогают быстро перемещать миллионы товаров, что позволяет компании ускорять доставку и повышать прибыльность. По оценкам Morgan Stanley, эта автоматизация может сэкономить Amazon до 10 миллиардов долларов в год к 2030 году. В 2024 году система сократила время доставки товаров на 35%.

Также, Amazon активно разрабатывает свои собственные роботы, производя их на своих заводах в Массачусетсе. Это не только создает рабочие места, но и демонстрирует, что высокотехнологичное производство возможно в США [14].

Стартап из Китая Geek + разработал автономных мобильных логистических роботов с искусственным интеллектом (ИИ). Они самостоятельно перемещаются по складу, ориентируясь по QR–кодам на полу. Точность идентификации достигает 99.9%, что позволило сократить ошибки в учете на 60%.

С помощью ИИ роботы–логисты могут принимать собственные решения, в том числе выбирать кратчайший путь к нужному месту. Алгоритмы их действий постоянно анализируются и корректируются, поэтому электронные кладовщики с каждым днем становятся умнее и эффективнее.

В отличие от людей, интеллектуальные роботы могут работать круглосуточно и без выходных. Они сортируют товары, собирают заказы, выполняют оптимизацию складов и умеют делать возврат. Сейчас у Geek + работает 15 тыс. роботов более чем в 30 странах [15].

2. Оптимизация цепочек поставок

Компания DHL (Германия) внедрила ИИ–платформу Resilience360. Resilience360 –облачная платформа, которая помогает компаниям управлять рисками, связанными с цепочками поставок. Она позволяет отслеживать стихийные бедствия,

кражи грузов, геополитические события и другие факторы, способные нарушить работу логистических цепочек. Алгоритмы перераспределяют грузы между складами в режиме реального времени, снижая логистические издержки на 22%.

Resilience360 анализирует данные в режиме реального времени и использует алгоритмы для прогнозирования рисков, которые могут повлиять на цепочку поставок. Более того, платформа помогает определить вероятность рисков и их потенциальное воздействие. Например, когда политическая нестабильность угрожала нарушить поставки из важного региона, Resilience360 помогла разработать альтернативные маршруты и найти новых поставщиков [16].

Сельское хозяйство

1. Автономная техника

John Deere (США) выпустила тракторы с ИИ–системой See & Spray. Компьютерное зрение распознает сорняки и точно вносит гербициды, сокращая расход химикатов на 90%. Принцип работы: камеры сканируют поле на скорости 20 км/ч, ИИ распознаёт сорняки за 0,2 секунды, после чего точно распыляет гербициды. Благодаря этому расход гербицидов снизился на 77%, урожайность выросла на 20%, затраты фермеров сократились на 30%.

В 2023 году John Deere представила новую версию –See & Spray Ultimate, которая распознаёт 500 видов растений, работает ночью и интегрируется с дронами для анализа состояния почвы.

По информации на 2024 год, 70% крупных фермерских хозяйств США используют ИИ–технологии John Deere [17].

2. Роботы для сбора урожая

Израильская компания Tevel Aerobotics разработала автономные дроны, предназначенные для сбора фруктов в садах. Согласно информации от израильского стартапа Tevel Aerobotics, наблюдается значительный дефицит рабочей силы для сбора урожая фруктов на плантациях. В связи с этим компания разработала альтернативу, представляющую собой автономные летающие беспилотники, способные выполнять работу вместо людей. С помощью встроенных камер и алгоритмов искусственного интеллекта дроны могут распознавать отдельные

фрукты и другие объекты. ИИ–алгоритмы оценивают зрелость плодов и аккуратно срезают их, увеличивая урожайность на 25%. Беспилотники также способны избегать препятствий на своем пути к выбранному фрукту.

Для сбора фруктов дроны используют роботизированные манипуляторы. С использованием специальных алгоритмов стабилизации, они собирают плоды и отправляют их в кузов колесной платформы. В отличие от обычных работников, эти устройства способны собирать фрукты даже ночью, пока у них хватает заряда аккумуляторов платформы [18].

Сервисная робототехника

1. Роботы–курьеры

Starship Technologies –основанная эстонцами компания, выпускающая беспилотные роботизированные наземные транспортные средства (роботов–доставщиков). По данным компании Starship, ее роботы уже совершили свыше 4 млн доставок в автономном режиме, пройдя 10 млн км. Машины используют ИИ для навигации по тротуарам и избегания пешеходов. В 2024 году они выполнили 5 млн доставок, сократив выбросы CO₂ на 15%.

По данным на октябрь 2024 года, парк роботов Starship Technologies насчитывает более 2000 машин, которые выполнили 7 миллионов доставок, преодолели более 8,5 миллиона километров и совершили 150 тысяч ежедневных пересечений дорог [19].

2. Социальные роботы

София (Sophia) – человекоподобный робот в виде женщины (гиноид), разработанный гонконгской компанией Hanson Robotics. Она была спроектирована таким образом, чтобы учиться и адаптироваться к поведению людей, а также работать с людьми. С Софией проводилось множество встреч по всему миру. В октябре 2017 года она стала подданной Саудовской Аравии и первым роботом, получившим гражданство какой–либо страны.

Робот–гуманоид София оснащена ИИ с функциями обработки визуальной информации и технологией распознавания лиц. Также, участвует в конференциях

и общается с пациентами больниц. ИИ-модель распознает эмоции и адаптирует ответы, что особенно востребовано в терапии аутизма [20].

3. Роботы-бариста

В Японии сеть кафе Henna Café (в переводе с японского – «Странное кафе») использует роботов Sawyer (Rethink Robotics) для приготовления кофе. Робот сканирует QR-код в чеке из торгового автомата и приступает к приготовлению напитка. Сначала бариста Сойер насыпает и мелет зерна, потом прессует их, варит эспрессо и наливает его через одноразовый фильтр, а затем добавляет разные ингредиенты.

Сойер – единственный бариста в Henna на Café на цокольном этаже здания Моды в Сибуя. Он делает несколько разных манипуляций, прежде чем подать вам ароматный напиток: взбивает молоко для капучино, меняет посуду, перемещается в пределах своей зоны. Робот может выполнять одновременно до пяти заказов и параллельно развлекать посетителей кафе отображением эмодзи на своем прямоугольном лице-экране. ИИ-система запоминает предпочтения клиентов и предлагает персонализированные рецепты, увеличивая продажи на 30%.

2.3. Зарубежные стартапы (перспективные решения)

Figure AI (США) – человекоподобные роботы для логистики и производства

Figure AI, основанная в 2022 году в Калифорнии, разрабатывает человекоподобных роботов Figure 01, предназначенных для автоматизации задач, требующих человеческой ловкости и когнитивных навыков. Робот высотой 1,7 метра и весом 60 кг оснащен 24 степенями свободы, что позволяет ему манипулировать объектами весом до 20 кг.

Ключевые особенности:

- биомеханический дизайн, суставы имитируют человеческие, включая пятипалые руки с тактильными сенсорами, способные захватывать хрупкие предметы (например, электронику) и инструменты (дрели, отвертки);

– мультимодальный ИИ, система сочетает компьютерное зрение (камеры 4K с ИК-подсветкой), LiDAR для 3D-картографирования и NLP для понимания голосовых команд. Figure 01 может получить инструкцию: «Переставь коробки со стеллажа А на В, проверяя целостность этикеток», и выполнить задачу, адаптируясь к изменению расположения объектов;

– обучение в симуляторе, робот обучается в виртуальной среде Unity ML-Agents, где моделируются тысячи сценариев — от работы на конвейере Tesla до сортировки посылок в Amazon. Это сокращает время обучения с месяцев до дней.

Figure AI сотрудничает с BMW для внедрения роботов на заводах в Южной Каролине, где они заменяют людей на опасных участках (например, сварка кузовов).

1X Technologies (Норвегия) – Андроиды с ИИ для сервисных задач

Норвежский стартап 1X (ранее Halodi Robotics) фокусируется на создании андроидов EVE и NEO, которые взаимодействуют с людьми в реальном мире.

EVE – мобильный робот для охраны, логистики и обслуживания. Оснащен колесной базой Omnidirectional и манипуляторами с силовой моментным контролем, что позволяет аккуратно открывать двери или переносить стаканы, не проливая жидкости.

NEO – бипедальный гуманоид для домашнего использования. Его ИИ-платформа Synapse распознает эмоции через анализ голоса (партнерство с Beyond Verbal) и адаптирует поведение. Например, если пожилой человек проявляет признаки тревоги, NEO предложит вызвать родственника или включить расслабляющую музыку. Аккумуляторы на 2 кВт·ч обеспечивают 8 часов работы, а модуль беспроводной зарядки WiBotic восполняет заряд за 1 час. В больнице Осло EVE доставляет образцы крови между лабораториями, сократив время обработки на 30%.

Agility Robotics (США) – Робот Digit для доставки грузов

Agility Robotics, стартап из Орегона, создал Digit – бипедального робота, способного переносить грузы до 18 кг в радиусе 24 км.

Ноги с пружинными суставами копируют движения птиц, что позволяет Digit ходить по лестницам, приседать и сохранять баланс при толчках. Датчики силы

в ступнях анализируют тип поверхности (лед, гравий, ковер). Digit синхронизируется с автономными грузовиками Ford E-Transit. При прибытии фургона робот автоматически выгружает посылки и относит их к порогу, используя геолокацию из приложения получателя. Облачная платформа управляет тысячами роботов, оптимизируя маршруты в режиме реального времени. Например, во время снегопада в Чикаго система перенаправила Digits на расчищенные тротуары, избежав 200 часов простоя.

Rapid Robotics (США) – «Роботы как услуга» для малого бизнеса

Rapid Robotics предлагает подписку на роботов Rapid Machine Operator (RMO) – компактных манипуляторов с ИИ, которые внедряются за 24 часа:

RMO обучается через демонстрацию: работник показывает задачу, а робот повторяет ее, используя алгоритмы имитационного обучения.

Замена инструментов занимает 5 минут: сегодня робот штампует детали на ЧПУ, завтра – сортирует печенье на конвейере. Таким образом, пекарня в Колорадо автоматизировала упаковку кексов, увеличив выпуск на 40%., а мастерская в Огайо использует RMO для сварки рам велосипедов, сократив брак с 8% до 0,5%.

Exotec (Франция) – Складские роботы с ИИ-навигацией

Французская компания Exotec разработала систему Skupod – роботов, которые перемещаются по складу в 3D-пространстве: Роботы ездят по полу, поднимаются по стеллажам на высоту до 10 м и переносят коробки весом до 30 кг. Скорость – 4 м/с.

Система Skupicker прогнозирует спрос, размещая популярные товары ближе к зоне отгрузки. Например, перед Black Friday роботы заранее переместили 5000 единиц электроники на нижние уровни.

На складах Uniqlo в Осаке Skupod обрабатывают 40 000 заказов в день, сократив время комплектации с 10 минут до 90 секунд.

Зарубежный опыт показывает, что внедрение ИИ в робототехнику ускоряется благодаря государственной поддержке, инвестициям в разработку и гибкому регулированию. Лидеры (Китай, США, Япония, ЕС) делают ставку на автономные системы и сервисную робототехнику. Перспективные стартапы развивают новые

формы взаимодействия человека и машины, что открывает путь к массовой роботизации в ближайшие годы.

3. Опыт внедрения технологий ИИ в сфере робототехники в Российской Федерации

3.1. Обзор нормативной базы Российской Федерации

Российская Федерация, стремясь к технологическому суверенитету, формирует комплексную систему регулирования ИИ и робототехники, объединяющую законодательные инициативы, стратегические программы, этические нормы и международное сотрудничество.

Основой этой системы стала Национальная стратегия развития искусственного интеллекта до 2030 года, утверждённая указом президента Российской Федерации «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации» в 2019 году. К 2030 году 80% работников должны обладать компетенциями в области ИИ, а объём инвестиций в разработку и внедрение технологий — превысить 850 млрд рублей. Для сравнения: в 2025 году на федеральный проект «Искусственный интеллект» выделено 7,7 млрд рублей, а к 2027 году суммарные расходы должны достигнуть 26,49 млрд рублей. Особое внимание уделяется созданию «национально ориентированных» систем ИИ, таких как доверенная платформа для обмена данными в медицине и промышленности с бюджетом 17,74 млрд рублей до 2030 года.

Минпромторгом России ведется ряд работ по развитию робототехники. Реализуются меры по поддержке стартапов и малых предприятий, занимающихся разработкой и производством роботизированных систем. Реализуются субсидии и гранты на разработку новых технологий в области робототехники, что позволяет компаниям снижать финансовые риски при внедрении инноваций. Так, в рамках федерального проекта по развитию робототехники и станкостроения планируется направить до 300 млрд руб. на развитие данной отрасли до 2030 г. Меры поддержки, реализованные в предыдущем году, позволили увеличить производство станкоинструментальной продукции и робототехники на 50 и 60% соответственно.

Эти меры направлены на укрепление позиций России в глобальной индустрии робототехники и способствуют созданию условий для инновационного роста в стране.

Параллельно реализуется нацпроект «Экономика данных и цифровая трансформация государства», который фокусируется на цифровизации госуправления и поддержке отечественных технологий. В рамках проекта разрабатываются стандарты для промышленной робототехники, включая адаптированные версии международных норм безопасности коботов (ISO 10218 и ISO/TS 15066), а также создаётся инфраструктура для тестирования автономного транспорта и медицинских роботов. Например, к 2024 году в России функционировало 500 региональных ИТ-систем с элементами ИИ, однако большинство из них требуют модернизации для соответствия требованиям кибербезопасности и совместимости с федеральными платформами.

Важным инструментом ускорения инноваций стали экспериментальные правовые режимы (ЭПР), или «регуляторные песочницы». С 2024 года в России действует 16 таких режимов, 13 из которых связаны с тестированием беспилотных технологий. Например, на трассе М-11 «Нева» компании отрабатывают логистику с использованием высокоавтоматизированных транспортных средств (ВАТС), временно освобождаясь от части нормативных ограничений. В марте 2025 года Минтранс продлил до 2026 года эксперимент по автоматизации льготных авиаперевозок, интегрировав систему Росавиации с федеральным реестром данных о населении для оптимизации маршрутов и снижения затрат. Эти инициативы не только ускоряют внедрение технологий, но и формируют правовую базу для будущего регулирования, позволяя корректировать законодательство на основе реального опыта.

Этические аспекты регулирования закреплены в Кодексе этики ИИ, разработанном при участии Альянса по ИИ. Документ запрещает использование технологий для манипуляции общественным мнением, дискриминации по социальным признакам и нарушения приватности. В 2024 году Минцифры России начало разработку правил применения ИИ в чувствительных сферах: образовании, медицине и безопасности. Например, сбор данных о несовершеннолетних в школах теперь требует строгого обезличивания, а системы видеонаблюдения с распознаванием лиц могут использоваться только при наличии явного согласия

граждан. Дополнительно, Концепция регулирования ИИ и робототехники до 2024 года (ввела требования к «доверенным ИИ-системам», которые проходят обязательное тестирование в трёх пилотных регионах — Москве, Татарстане и Новосибирской области. Цель — минимизация рисков кибератак, алгоритмических ошибок и злоупотреблений, таких как автоматическое принятие решений в судопроизводстве или здравоохранении без контроля человека.

С 2024 года компании обязаны страховать риски, связанные с использованием ИИ-систем. Например, при авариях беспилотного транспорта или ошибках медицинских роботов ущерб компенсируется через страховые механизмы. Поправки в КоАП ужесточили наказание за воспрепятствование проверкам: для юридических лиц штрафы выросли до 500 тыс. рублей, а за повторные нарушения — до 1 млн рублей. С 30 мая 2025 года введены «оборотные штрафы» за утечку персональных данных: для компаний — до 400 тыс. рублей, для граждан — до 200 тыс. рублей. Эти меры направлены на повышение ответственности разработчиков и операторов, особенно в условиях роста числа киберинцидентов — в 2024 году их количество в России увеличилось на 37% по сравнению с предыдущим годом.

Поддержка исследований и кадрового потенциала включает как образовательные инициативы, так и финансирование НИОКР. Университет 2035 и Сколтех расширили программы по машинному обучению и компьютерному зрению, увеличив количество бюджетных мест на 30%. В 2025 году запущен проект «ИИ-Академия», цель которого — переподготовка 50 тыс. специалистов в год по направлениям анализа данных, робототехники и кибербезопасности. Финансирование исследований осуществляется через Фонд развития промышленности и «Сколково»: стартапы Cognitive Pilot (автономная сельхозтехника) и «ЭкзоАтлет» (реабилитационные экзоскелеты) получили гранты на сумму свыше 2 млрд рублей.

Несмотря на прогресс, сохраняются системные вызовы. Дефицит кадров: по оценкам TAdviser, в 2025 году лишь 15% специалистов по ИИ имеют опыт внедрения технологий в реальный бизнес. Импортозависимость: санкции ограничивают доступ к передовым чипам и промышленным роботам, что замедляет

роботизацию в manufacturing — доля отечественных роботов на заводах не превышает 12%. Фрагментация данных: отсутствие унифицированных дата-сетов в промышленности затрудняет обучение моделей машинного обучения — только 8% предприятий используют стандартизированные форматы данных.

Таким образом, российская нормативная экосистема для ИИ и робототехники демонстрирует динамичное развитие, сочетающее амбициозные планы с прагматичными регуляторными решениями. Однако успех будет зависеть от преодоления системных барьеров — от кадрового голода до технологических ограничений, — а также от способности адаптировать международный опыт к национальным реалиям.

3.2. Отечественные лидеры внедрения технологий ИИ в сфере робототехники

Российская робототехника, несмотря на глобальные вызовы и санкционное давление, демонстрирует значительные успехи в интеграции искусственного интеллекта. Ключевые достижения сосредоточены в промышленности, медицине, сельском хозяйстве и логистике, где отечественные компании и научные центры активно разрабатывают решения, конкурентоспособные на международном уровне. Эти проекты реализуются благодаря сочетанию государственной поддержки, инновационного потенциала разработчиков и растущего спроса со стороны бизнеса.

На сегодняшний день на производственных линиях используется около 12 тыс. роботов, что составляет лишь 0,3% мирового парка. Однако до 2030 года Россия планирует войти в топ-25 стран по плотности роботизации — на каждые 10 тыс. работников должно приходиться 100 роботов это предусмотрено Указом Президента Российской Федерации «О национальных целях развития». Сейчас этот показатель на уровне 19 роботов на 10 тыс. сотрудников.

Лидером в области промышленной автоматизации является компания ЦКБ «Дейтон» (входит в ГК «Элемент»), разработавшая роботов-инспекторов с ИИ для контроля качества микросхем. Эти системы способны выявлять дефекты размером до 3 микрон, что превосходит возможности человеческого зрения. Роботы используют алгоритмы машинного обучения, обученные на 6 тыс. изображений, и адаптируются к новым типам устройств. Например, конвейерные установки автоматически сортируют чипы на годные, дефектные и бракованные, сокращая время проверки на 40% [21].

Еще одним заметным игроком выступает «РОБОПРО», специализирующаяся на коллаборативных роботах (коботах). Их решения применяются в медицине, пищевой промышленности и даже в роботах-бариста. Компания самостоятельно разрабатывает электронику, ПО и двигатели, избегая зависимости от импортных компонентов. По словам технического директора, коботы обеспечивают гибкость производственных процессов, например, на заводах «Камаз», где они сократили процент брака при сборке двигателей на 27% [22].

В медицинском сегменте выделяется компания «Андроидная техника», создавшая реабилитационные экзоскелеты «ЭкзоАтлет». Эти устройства адаптируются к прогрессу пациента, сокращая срок восстановления после травм на 30–40%. Экзоскелеты уже используются в клиниках Москвы и Санкт-Петербурга, демонстрируя потенциал российской робототехники в социально значимых сферах [23].

Cognitive Pilot (подразделение Сбера) стала первопроходцем в области автономной сельхозтехники. Их ИИ-системы для тракторов анализируют состояние почвы, прогнозируют урожайность и оптимизируют маршруты, повышая эффективность агропредприятий на 15–20%. Например, алгоритмы машинного зрения позволяют тракторам избегать столкновений с препятствиями, а предиктивная аналитика сокращает расход удобрений на 25%.

В логистике выделяется «Промобот», чьи автономные мобильные роботы (AMR) используются на складах «СберЛогистики». Эти системы интегрированы с WMS-платформами и способны строить оптимальные маршруты, избегая столкновений. По данным компании, внедрение AMR сократило время обработки грузов на 35%.

4. Барьеры внедрения технологий ИИ в сферу робототехники

Внедрение искусственного интеллекта в робототехнику, несмотря на очевидные преимущества, сталкивается с комплексом барьеров, которые замедляют развитие отрасли и ограничивают её потенциал. Эти препятствия носят как нормативно–правовой, так и технологический характер, а их преодоление требует системных изменений на уровне государственного регулирования, научных исследований и промышленного внедрения.

4.1. Барьеры нормативно–правового характера

Одной из ключевых проблем является отсутствие единой законодательной базы, регулирующей разработку и использование ИИ в робототехнике. В России до сих пор не принят федеральный закон «Об искусственном интеллекте», который мог бы определить правовой статус автономных систем, стандарты их безопасности

и этические принципы применения, что создает правовую неопределенность. В отличие от ЕС, где действует AI Act (2024) с классификацией систем по уровню риска, в Российской Федерации подобные нормы находятся на стадии обсуждения, что тормозит внедрение даже успешных пилотных проектов.

Еще одним препятствием становятся сложные процедуры сертификации. Действующие стандарты не учитывают специфику самообучающихся алгоритмов. Например, сертификация хирургического робота с ИИ-ассистентом требует прохождения тех же этапов, что и для традиционного оборудования, хотя его функционал принципиально иной. Это приводит к задержкам вывода продуктов на рынок на 12–18 месяцев, что критично в условиях быстро меняющихся технологий.

Ограничения на сбор и использование данных также замедляют развитие ИИ-решений. Федеральный закон от 27 июля 2006 г. №152-ФЗ «О персональных данных» и Федеральный закон от 26 июня 2017 г. №187-ФЗ «О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации» жестко регулируют обработку информации, что усложняет обучение нейросетей. Например, разработчики систем машинного зрения для розничной торговли не могут анализировать видеозаписи покупателей без их явного согласия, что снижает точность алгоритмов распознавания. Для сравнения: в Китае подобные ограничения минимальны, что позволяет компаниям быстро наращивать дата-сети и улучшать модели.

4.2. Барьеры технологического характера

Технологические ограничения связаны как с объективными сложностями разработки, так и с недостатком инфраструктуры. Аппаратная зависимость остается критической проблемой: 85% компонентов для робототехники, включая процессоры, лидары и гироскопы, импортируется. Отечественные аналоги уступают зарубежным аналогам в производительности, что ограничивает возможности создания сложных систем. Например, дроны с российскими процессорами не способны обрабатывать данные машинного зрения в реальном времени, что снижает их применимость в логистике.

Энергоэффективность – еще один вызов. ИИ–алгоритмы, особенно глубокое обучение, требуют значительных вычислительных ресурсов, что увеличивает энергопотребление мобильных роботов на 40–60%. Попытки оптимизации через квантовые вычисления или нейроморфные чипы находятся на ранних стадиях НИОКР и не готовы к массовому внедрению. Это особенно актуально для автономных систем, где время работы от батареи напрямую влияет на функциональность.

Дефицит качественных данных для обучения ИИ–моделей – серьезное препятствие. В России отсутствуют крупные открытые дата–сеты, необходимые для тренировки алгоритмов в таких областях, как автономное вождение или сельское хозяйство. Например, для разработки системы управления трактором требуется информация о состоянии почвы, погоде и урожайности за несколько лет, но сбор таких данных осложнен законодательными ограничениями и нехваткой инфраструктуры.

Интеграция с устаревшим оборудованием также замедляет внедрение. Многие промышленные предприятия используют станки без IoT–датчиков, что делает невозможным подключение к системам предиктивной аналитики. Модернизация требует значительных инвестиций: по оценкам, переход завода среднего размера на «умное» производство обходится в 200–500 млн рублей, что недоступно для 70% компаний.

Кадровый дефицит –отдельная проблема. Только 15% выпускников технических вузов обладают навыками работы с ИИ и робототехникой, а миграция специалистов в 2022–2024 гг. сократила количество опытных инженеров на 20%. Компании вынуждены тратить до 6 месяцев на переподготовку сотрудников, что увеличивает сроки разработки и внедрения.

Высокая стоимость внедрения ИИ–решений остается ключевым препятствием для малого и среднего бизнеса. Например, внедрение коллаборативных роботов на производственной линии требует не только закупки оборудования (5–10 млн рублей за единицу), но и переобучения персонала, модернизации IT–инфраструктуры

и проведения регулярного техобслуживания. Для многих предприятий эти затраты неподъемны без государственных субсидий.

Неготовность бизнеса к изменениям также играет роль. Руководство компаний зачастую скептически относится к автономным системам, опасаясь снижения контроля над процессами. Например, лишь 12% промышленных предприятий внедрили цифровых двойников, хотя их использование могло бы сократить время перенастройки линий на 35%.

5. Рекомендации по внедрению технологий ИИ в робототехнику

Внедрение искусственного интеллекта в робототехнику требует системного подхода, учитывающего специфику российского рынка, текущие технологические вызовы и глобальные тренды. На основе анализа международного и отечественного опыта, а также выявленных барьеров, сформулированы рекомендации для трёх ключевых групп участников процесса: государства, промышленных предприятий и компаний–разработчиков.

5.1. Для государства

Государство играет ключевую роль в создании правовых, финансовых и инфраструктурных условий для развития интеллектуальной робототехники. Первоочередной задачей является совершенствование нормативно–правовой базы. Необходимо рассмотреть возможность принятия закона «Об искусственном интеллекте», который определит правовой статус ИИ–систем, стандарты их безопасности и этические принципы использования.

Важным шагом станет расширение экспериментальных правовых режимов (ЭПР). Например, в 2024 году на базе инновационного центра «Сколково» успешно тестировались автономные роботы–курьеры в условиях городской среды. Такой подход позволяет компаниям апробировать технологии без риска штрафных санкций. Для масштабирования этой практики требуется создать сеть полигонов в регионах, оснащенных 5G–сетями и датчиками IoT, что позволит отрабатывать сценарии для промышленности, сельского хозяйства и логистики.

Финансовая поддержка должна быть направлена на стимулирование спроса и НИОКР. Целесообразно расширить программу субсидий в рамках нацпроекта «Экономика данных», включив в нее компенсации до 50% затрат на закупку отечественных роботов для малого и среднего бизнеса. Параллельно предлагается рассмотреть целесообразность учреждения венчурного фонда, который будет специализироваться на содействии развития передовых разработок в области ИИ.

Кадровая политика требует интеграции образовательных программ по ИИ и робототехнике на всех уровнях. Вузам необходимо увеличить количество бюджетных мест по направлению «Искусственный интеллект», а также внедрить программы двойных дипломов с промышленными предприятиями. Пилотный проект Университета 2035 и «Яндекса» по подготовке специалистов Data Science показал, что такие инициативы повышают уровень трудоустройства выпускников на 40% [24].

Для снижения импортозависимости критически важно развивать производство ключевых компонентов. Дополнительные налоговые льготы для предприятий, использующих отечественные комплектующие, ускорят переход на локализованные решения.

5.2. Для промышленных предприятий

Промышленные компании должны сосредоточиться на поэтапной цифровизации и интеграции ИИ-решений в существующие процессы. Первым шагом может стать внедрение коллаборативных роботов (коботов) на участках, где требуется высокая точность. Например, на заводах «Камаз» коботы Universal Robots сократили процент брака при сборке двигателей на 27% за счет устранения «человеческого фактора». Для минимизации рисков рекомендуется начинать с пилотных зон, где роботы выполняют ограниченный набор операций, постепенно расширяя их функционал.

Цифровые двойники становятся незаменимым инструментом для оптимизации производства. Платформы позволяют создавать виртуальные копии цехов, тестировать изменения в режиме реального времени и прогнозировать нагрузку

на оборудование. Ключевым элементом успеха является интеграция с отечественными ИИ–платформами.

Безопасность данных – ещё один критический аспект. Предприятиям необходимо внедрять стандарты КИИ (критической информационной инфраструктуры) и проводить регулярный аудит систем. Обучение сотрудников основам кибергигиены снизит риски утечек.

5.3. Для компаний–разработчиков

Разработчикам следует концентрироваться на создании робототехнических систем для узких отраслевых задач, таких как автоматизация сложных производственных процессов, сельскохозяйственные работы или реабилитационная медицина. Это позволит глубже интегрироваться в специфику отрасли, предлагая решения с высокой добавленной стоимостью, и избежать конкуренции с универсальными зарубежными аналогами.

Критически важно снижать зависимость от импортных комплектующих за счет использования отечественных процессоров, сенсоров и программного обеспечения. Интеграция открытых платформ и участие в разработке российских стандартов помогут создать экосистему совместимых решений, что повысит устойчивость продуктов к внешним ограничениям.

Для мобильных и автономных роботов необходимо оптимизировать энергопотребление ИИ–моделей.

Модель «робот как услуга» (RaaS) делает технологии доступными для малого и среднего бизнеса. Предложение аренды роботов по подписке или оплаты за результат (например, за выполненную операцию) снижает первоначальные затраты клиентов и ускоряет внедрение решений.

Партнёрство с университетами и НИИ позволит получить доступ к передовым исследованиям и кадрам. Совместные проекты, такие как разработка нейросетей для автономных систем или новых материалов для робототехники, ускорят коммерциализацию технологий.

Заключение

Внедрение технологий искусственного интеллекта в робототехнику стало одним из ключевых драйверов современной технологической трансформации. Интеграция ИИ не только расширяет функциональность роботов, но и создает принципиально новые возможности для автоматизации, повышая точность, скорость и адаптивность систем в условиях динамичной среды. Однако реализация этого потенциала сопряжена с комплексом вызовов, требующих системного подхода как на глобальном, так и на национальном уровне.

Мировой опыт показывает, что лидеры в области робототехники – Китай, США, Япония и страны ЕС – делают ставку на автономные системы, коллаборативных роботов и сервисные решения. Их успех базируется на государственной поддержке НИОКР, на гибкой нормативной базе и тесном взаимодействии науки с промышленностью.

В России развитие интеллектуальной робототехники носит фрагментированный характер, но демонстрирует отдельные прорывы.

Развитие робототехники до 2030 года может быть представлено двумя сценариями. Инерционный сценарий, при сохранении текущих темпов, оставит Россию в группе стран с низкой плотностью роботизации (менее 50 роботов на 10 тыс. работников). Инновационный сценарий, реализуемый через предложенные меры, позволит войти в топ–25 мировых лидеров (145 роботов на 10 тыс. работников), создать 100+ стартапов и сократить импортозависимость до 30%. Ключевым условием успеха станет синергия между образованием, наукой и промышленностью.

В заключение, робототехника с ИИ – не просто инструмент автоматизации, но основа для перехода к экономике знаний, где технологии усиливают человеческий потенциал. Для России это шанс не только сократить отставание, но и занять лидирующие позиции в стратегических нишах. Однако достижение этих целей требует не только инвестиций, но и смены парадигмы мышления – от догоняющей модернизации к опережающему развитию.

Список использованных источников

1. Роботизация в промышленности: перспективы, возможности и вызовы. [Электронный ресурс]. URL: <https://apni.ru/article/8202-robotizatsiya-v-promishlennosti-perspektivi?ysclid=ma3qqym83895498235>.
2. Сеченовский университет. [Электронный ресурс]. URL: <https://sechenov-clinic.ru/news/roboticheskiy-khirurgicheskiy-kompleks-davinci/>.
3. Высшая школа бизнеса. [Электронный ресурс]. URL: <https://hsbi.hse.ru/articles/programmnoe-obespechenie-robotov/>.
4. Международная федерация робототехники. [Электронный ресурс]. URL: <https://ifr.org>.
5. Южная Корея заняла лидирующее положение в мире по плотности роботов на рабочем месте. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.cta.ru/news/cta/180844.html>.
6. Китай обошел Германию и Японию по внедрению роботов. [Электронный ресурс]. URL: <https://hightech.plus/2025/01/22/kitai-oboshel-germaniyu-i-yaponiyu-po-vnedreniyu-robotov>.
7. Правительство Кореи окажет поддержку разработке гуманоидных роботов. [Электронный ресурс]. URL: <https://russian.korea.net/NewsFocus/Sci-Tech/view?articleId=269705>.
8. TAdviser. Government. Business. Technology. [Электронный ресурс]. URL: [https://www.tadviser.ru/index.php/Компания:Fanuc_Russia_\(Фанук\)](https://www.tadviser.ru/index.php/Компания:Fanuc_Russia_(Фанук)).
9. TAdviser. Government. Business. Technology. [Электронный ресурс]. URL: https://www.tadviser.ru/index.php/Компания:Universal_Robots.
10. Forbes. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.forbes.com/sites/amyfeldman/2021/04/06/the-2100-a-month-factory-robot-rapid-robotics-pushes-to-automate-small-manufacturers-helped-by-12-million-in-new-funding>.
11. Искусственный интеллект в робототехнике. Умные роботы для умных решений. [Электронный ресурс]. URL: <https://supereyes.ru/articles/arduino-i->

robototekhnika/iskusstvennyy-intellekt-v-robototekhnike/?srsltid=AfmBOoph69-93r_PrylzlunZmjxamZAm-bPVVsGS-VEBS0gpQwYCyuRi.

12. Паро (робот). [Электронный ресурс].
URL: https://ru.ruwiki.ru/wiki/Паро_%28робот%29.
13. Реабилитационный экзокостюм EksoNR компании Ekso Bionics. [Электронный ресурс]. URL: <https://evercare.ru/EksoNR?ysclid=mamwji1jb50481663>.
14. Глава Amazon Robotics рассказал о ИИ, рабочих местах на складах и человеческом опыте. [Электронный ресурс].
URL: <https://www.appercase.ru/news/49109/>.
15. Китайский стартап выпустил роботов-кладовщиков, которые передвигаются по QR-кодам. [Электронный ресурс].
URL: <https://news.rambler.ru/scitech/46634855-kitayskiy-startap-vypustil-robotov-kladovschikov-kotorye-peredvigayutsya-po-qr-kodam-novosti-1-16-06-2021/?ysclid=mamx0g607626975757>.
16. DHL launches Resilience360 – a new risk management solution to give businesses the competitive edge in logistics. [Электронный ресурс].
URL: <https://www.automotiveworld.com/news-releases/dhl-launches-resilience360-new-risk-management-solution-give-businesses-competitive-edge-logistics/>.
17. Умные тракторы: ИИ вырастил урожай на 20%. [Электронный ресурс].
URL: <https://dzen.ru/a/ZsTIqYmLyFuDcuGe>.
18. ИИ снова в деле. Tevel Aerobotics представляет прорывное решение: автономные дроны для эффективного сбора фруктов. [Электронный ресурс].
URL: <https://vc.ru/id1530119/742019-ii-snova-v-deletevel-aerobotics-predstavlyayet-proryvnoe-reshenie-avtonomnye-drony-dlya-effektivnogo-sbora-fruktoy>.
19. Tallinn-based Starship Technologies raises €83.6 million to make the robot delivery take over the streets. [Электронный ресурс].
URL: <https://www.eu-startups.com/2024/02/tallinn-based-starship-technologies-raises-e83-6-million-to-make-the-robot-delivery-take-over-the-streets/>.

20. Зачем создали робота-гуманоида Софию и угрожает ли она человечеству. [Электронный ресурс]. URL: <https://lifehacker.ru/sophia/>.
21. В России созданы роботы с ИИ, способные проверять качество выпускаемых чипов. [Электронный ресурс]. URL: https://www.cnews.ru/news/top/2025-05-07_v_rossii_roboty_s_ii_budut.
22. Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики». [Электронный ресурс]. URL: <https://issek.hse.ru/news/1016053897.html>
23. TAdviser. Government. Business. Technology. [Электронный ресурс]. URL: [https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Искусственный_интеллект_\(рынок_России\)](https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Искусственный_интеллект_(рынок_России)).
24. Завершен отбор вузов для подготовки ИИ-специалистов в рамках нацпроекта «Экономика данных». [Электронный ресурс]. URL: <https://news.tek.fm/news/325494>.