

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ЦИФРОВЫЕ ИНДУСТРИАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»**

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОТЧЕТ

**О ВНЕДРЕНИИ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА
В СПУТНИКОСТРОЕНИИ**

Москва

2025

Оглавление

1. Введение	4
1.1. Обзор отрасли спутникостроения.....	4
1.2. Актуальность внедрения ИИ в спутникостроении	5
1.3. Ключевые направления применения ИИ в спутникостроении	6
1.3.1. ИИ в проектировании и формировании производственных линий	6
1.3.2. ИИ на борту спутников.....	6
1.3.3. ИИ при обработке данных со спутников	7
1.4. Классификация ИИ-технологий по функциональному назначению	8
2. Анализ отрасли спутникостроения.....	9
2.1. Отраслевой обзор: сущность, структура и историческая динамика	9
2.2. Ключевые игроки и продуктовые линейки на глобальном и российском рынках.....	12
2.3. Позиции Российской Федерации в мировой отрасли и влияние внешнеполитического контекста	13
3. Зарубежный опыт внедрения технологий ИИ в спутникостроении.....	15
3.1. Страны-лидеры по производству и использованию технологий ИИ в спутникостроении	15
3.2. Обзор зарубежной нормативной базы.....	17
3.3. Действующие зарубежные практики	18
4. Опыт внедрения технологий ИИ в спутникостроении в Российской Федерации	21
4.1. Обзор нормативной базы Российской Федерации.....	21
4.2. Отечественные лидеры внедрения технологий ИИ в спутникостроении	22
4.3. Цифровые и ИИ-решения для повышения производительности труда на предприятиях отрасли.....	23

4.4. Анализ кадрового потенциала отрасли	24
5. Барьеры внедрения технологий ИИ в спутникостроении.....	26
5.1. Барьеры нормативно-правового характера.....	26
5.2. Барьеры технологического характера	27
5.3. Барьеры экономического характера	28
5.4. Результаты опроса предприятий отрасли в РФ об опыте внедрения технологий ИИ	29
6. Оценка экономической эффективности внедрения ИИ.....	32
6.1. Анализ структуры затрат на разработку, внедрение и эксплуатацию ИИ-систем	32
6.2. Анализ потенциальных экономических эффектов от внедрения ИИ.....	33
7. Рекомендации по внедрению и развитию ИИ-технологий в спутникостроении	35
7.1. Рекомендации для государства.....	35
7.2. Рекомендации для промышленных предприятий	36
7.3. Рекомендации для компаний-разработчиков	36
8. Заключение.....	38
8.1. Ключевые выводы	38
8.2. Прогноз развития отрасли до 2030 года.....	38
Список использованных источников.....	40

1. Введение

Современная отрасль спутникостроения находится на пороге фундаментальной трансформации, обусловленной тремя взаимосвязанными трендами: массовым развертыванием орбитальных группировок, коммерциализацией космической деятельности и стремительным ростом объемов данных. Традиционные подходы к проектированию, производству и эксплуатации космических аппаратов уже не справляются с вызовами новой космической гонки, где скорость, эффективность и автономность становятся ключевыми факторами конкурентоспособности. В этих условиях технологии искусственного интеллекта (ИИ) перестают быть просто инструментом оптимизации и превращаются в стратегическую необходимость, определяющую будущее всего космического сектора. Их внедрение позволяет перейти от штучного, затратного производства к гибкому, «конвейерному» созданию интеллектуальных космических систем, способных функционировать в условиях переполненной орбитальной среды и обеспечивать потребности цифровой экономики.

1.1. Обзор отрасли спутникостроения

Отрасль спутникостроения переживает активное развитие, движимое, в первую очередь, проектами мега-созвездий. Согласно обновленным прогнозам аналитической компании McKinsey, к 2030 году на орбите Земли может находиться до 27 000 действующих спутников [1]. Объемы запусков уже сегодня достигают 3500-4500 аппаратов в год, что соответствует прогнозируемым на конец десятилетия показателям. Этот рост обусловлен спросом на глобальный широкополосный интернет, услуги связи, мониторинг Земли и данные для интернета вещей (IoT). В ответ на эти вызовы ведущие космические державы и частные компании разрабатывают амбициозные национальные программы. Например, в Российской Федерации в рамках национального проекта «Развитие многоспутниковой орбитальной группировки» поставлена задача создать к 2030 году государственную орбитальную группировку численностью порядка 650 космических аппаратов [2]. Параллельно реализуются планы по полному покрытию территории страны, включая Арктику, стабильной спутниковой связью, что потребует значительного увеличения

числа аппаратов на различных орбитах [3]. Однако такое увеличение масштабов ставит новые сложные задачи, которые невозможно решить старыми методами: традиционные циклы проектирования и производства слишком длительны, управление тысячами спутников становится неподъемной задачей для операторов-людей, а терабайты данных, ежедневно генерируемые группировками, не могут быть оперативно и глубоко проанализированы классическими методами. Это открывает широкие возможности для внедрения интеллектуальных технологий, способных кардинально изменить парадигму всей отрасли.

1.2. Актуальность внедрения ИИ в спутникостроении

Актуальность интеграции технологий ИИ в спутникостроение продиктована необходимостью преодоления указанных выше системных ограничений. В условиях, когда человеческий фактор и рутинные операции становятся главным препятствием в жизненном цикле космического аппарата, ИИ предлагает решения, которые не просто улучшают, а революционизируют процессы. Во-первых, это вопрос экономической эффективности. Сокращение сроков проектирования, оптимизация расхода топлива и ресурса аппарата, минимизация брака на производстве и, что критически важно, снижение риска потери дорогостоящего актива благодаря предиктивному обслуживанию – все это напрямую влияет на себестоимость услуг и конкурентоспособность компаний. Во-вторых, это требование оперативности и автономности. Крупные группировки, такие как Starlink или планируемая «Сфера», физически не могут управляться в ручном режиме [4]. Только алгоритмы ИИ способны обеспечивать автономное маневрирование для избежания столкновений с космическим мусором и другими спутниками, оперативно перераспределять задачи внутри группировки исходя из изменяющейся обстановки и приоритетов. В-третьих, это проблема ценности данных. Спутники становятся ключевым источником больших данных для мониторинга климата, сельского хозяйства, логистики и безопасности. ИИ позволяет превращать эти данные в готовые аналитические продукты, создавая новую, высокомаржинальную ценность для конечных потребителей. Наконец, на первый план выходят аспекты национальной безопасности и технологического суверенитета. Как отмечают эксперты, возможности ИИ

революционизировали космические миссии, но одновременно вводят новые риски в области кибербезопасности, поскольку противники также могут использовать эти технологии для проведения атак на космическую инфраструктуру. Таким образом, развитие собственных компетенций в области ИИ для космоса становится вопросом не только экономики, но и национальной безопасности.

1.3. Ключевые направления применения ИИ в спутникостроении

Применение технологий ИИ в спутникостроении носит комплексный характер и охватывает все этапы жизненного цикла космического аппарата – от чертежной доски до завершения миссии.

1.3.1. ИИ в проектировании и формировании производственных линий

На этапе проектирования и производства технологии ИИ, в частности генеративное проектирование, позволяют алгоритмам создавать тысячи оптимальных вариантов конструкций, узлов и систем в рамках заданных инженером ограничений. Это не только сокращает время цикла проектирования, но и приводит к созданию нетривиальных, более эффективных решений, которые были бы неочевидны для человека. Другим ключевым инструментом становится создание и использование цифровых двойников – виртуальных копий физических спутников, которые в последствии обучаются на данных телеметрии с реальных аппаратов. Цифровой двойник позволяет проводить виртуальные испытания, прогнозировать отказы и оптимизировать режимы работы, что значительно повышает надежность и продлевает срок активного существования. На самих производственных линиях компьютерное зрение на основе глубокого обучения обеспечивает беспрецедентный контроль качества сборки, а предиктивная аналитика предсказывает необходимость обслуживания оборудования, минимизируя простои.

1.3.2. ИИ на борту спутников

Наиболее революционные изменения приносит ИИ непосредственно на борт космических аппаратов, наделяя их способностью к интеллектуальной автономии. Это включает в себя:

- *Автономную навигацию и контроль:* Использование звездных датчиков и камер с алгоритмами компьютерного зрения для самостоятельной коррекции орбиты и уклонения от столкновений.
- *Интеллектуальное планирование миссий:* Спутник самостоятельно принимает решения о том, какие участки Земли снимать в первую очередь, анализируя погодные условия, облачность, приоритеты заказчика и состояние своих подсистем.
- *Самодиагностику и восстановление:* Бортовая нейросеть в реальном времени анализирует телеметрию, выявляет аномалии и прогнозирует потенциальные сбои, предпринимая упреждающие меры по переключению на резервные системы до возникновения критической ситуации.
- *Обработку данных на конечном устройстве (Edge AI):* Предварительная обработка и сегментация изображений непосредственно на борту. Это позволяет передавать на Землю только релевантную, уже готовую к использованию информацию (например, координаты лесных пожаров, обнаруженные суда или участки вырубки).

1.3.3. ИИ при обработке данных со спутников

Именно в этой области ИИ уже сегодня демонстрирует наиболее зрелые и коммерчески успешные результаты. Алгоритмы машинного и глубокого обучения применяются для:

- *Автоматического анализа изображений Земли:* Детектирование и классификация объектов, мониторинг изменений (урбанизация, состояние сельхозугодий, вырубка лесов), оценка последствий природных катастроф.
- *Создания синтетических данных:* Генерация изображений высокого разрешения на основе данных низкого качества или заполнение «пробелов», вызванных облачностью.
- *Прогнозирования:* Построение предиктивных моделей для сельского хозяйства (прогноз урожая), экологии (мониторинг изменения климата) и логистики (отслеживание судов).

1.4. Классификация ИИ-технологий по функциональному назначению

Многообразие задач в спутникостроении определяет и широкий спектр используемых технологий ИИ, которые можно классифицировать по их функциональному назначению:

- *Машинное обучение (ML)*: используется для прогнозного анализа телеметрии, классификации данных и выявления скрытых закономерностей в больших массивах информации.
- *Глубокое обучение (Deep Learning)*: являются основой для компьютерного зрения в анализе спутниковых снимков, обработки естественного языка в системах управления и сложных системах распознавания образов.
- *Эволюционные алгоритмы и методы оптимизации*: находят применение в генеративном проектировании, а также для решения сложных задач планирования орбитальных миссий и управления группировками.

Интеграция технологий ИИ в спутникостроение – это не просто технологический прогресс, а смена технологического уклада. Она ведет к созданию принципиально новых классов космических систем: автономных, самообучающихся, способных к коллективному взаимодействию и генерации знаний в реальном времени. Успех в этой области будет определять не только лидерство на коммерческом рынке космических услуг, но и стратегические позиции государств, что делает развитие отечественных технологий искусственного интеллекта для космоса задачей первостепенной важности.

2. Анализ отрасли спутникостроения

2.1. Отраслевой обзор: сущность, структура и историческая динамика

Спутникостроение представляет собой высокотехнологичную отрасль промышленности, охватывающую полный жизненный цикл создания космических аппаратов (КА) – от научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР) и проектирования до производства, испытаний, запуска и управления на орбите. В узком смысле это производство самих аппаратов, в широком – создание целевой полезной нагрузки (например, аппаратуры связи, дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), научных приборов), а также наземных систем управления и приема данных. Исторически отрасль прошла несколько этапов развития. В эпоху космической гонки между СССР и США (1950–1980-е годы) доминировало уникальное, «штучное» производство дорогостоящих аппаратов, в первую очередь, решавших задачи в интересах национальной безопасности. Каждый спутник был уникальным инженерным изделием, создававшимся годами.

С 1990-х по 2010-е годы наступила эра стандартизации и коммерциализации. Появление стандартных спутниковых платформ (таких как «Экспресс» в России [5]) позволило сократить сроки и стоимость разработки, сделав акцент на надежности и долговечности аппаратов на геостационарной орбите (ГСО), круговой орбите, расположенной над экватором Земли (0° широты), на которой искусственный спутник обращается вокруг планеты с угловой скоростью, равной угловой скорости вращения Земли вокруг оси. Однако настоящая революция началась в последнее десятилетие, с переходом к парадигме мега-созвездий на низкой околоземной орбите (НОО) – космическая орбита вокруг Земли, имеющая высоту над поверхностью планеты в диапазоне от 160 км (период обращения около 88 минут) до 2000 км (период около 127 минут). Драйвером стала коммерциализация космических услуг, в первую очередь – глобального широкополосного интернета, что потребовало развертывания не единиц или десятков, а тысяч однотипных аппаратов. Это привело к смене производственной модели: на смену уникальному производству пришло конвейерное, заимствующее принципы автомобильной промышленности. Современное спутникостроение характеризуется использованием

технологий цифрового проектирования и ориентацией на массовость и стоимость одного аппарата, а не только на его исключительные характеристики.

Классификация спутников осуществляется по нескольким ключевым параметрам.

По массе:

- пикоспутники (менее 1 кг);
- наноспутники (1–10 кг);
- микроспутники (10–100 кг);
- миниспутники (100–500 кг);
- малые (500–1000 кг);
- большие (свыше 1000 кг).

По типу орбиты:

По высоте орбиты:

- низкая околоземная орбита (НОО / LEO): 160 – 2000 км. (МКС, спутники дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), спутники связи);
- средняя околоземная орбита (СОО / МЕО): 2000 – 35786 км. (Спутники навигационных систем);
- Геостационарная орбита (ГСО / GEO): ~35 786 км над экватором. (Телекоммуникационные спутники, спутники телевидения, метеорологические спутники).

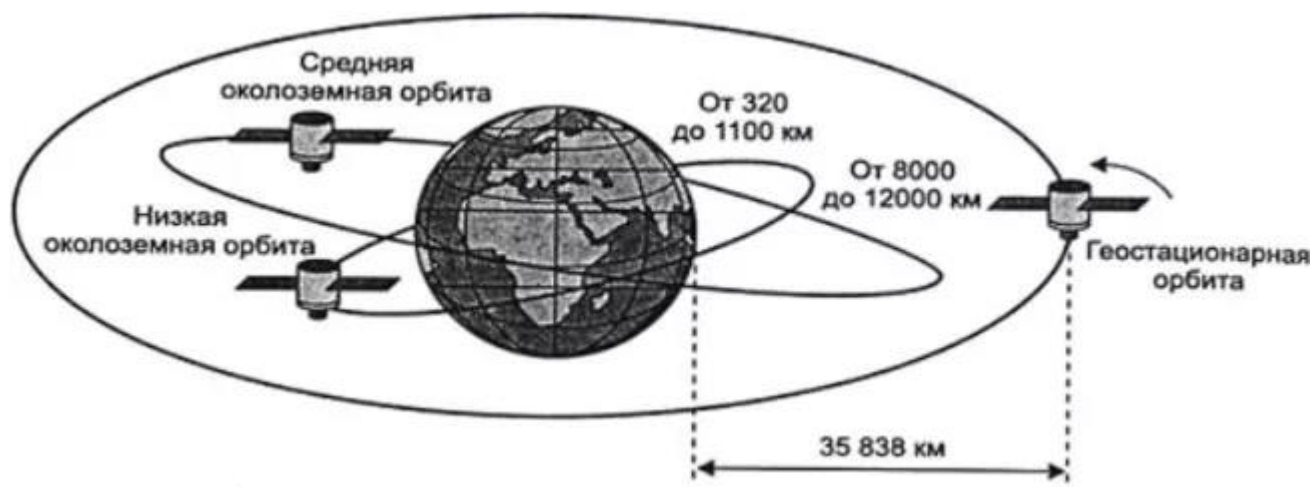


Рисунок 1. Типы орбит спутников Земли

По целевому назначению доминируют четыре сегмента:

- связь (телевещание, фиксированная и мобильная связь, широкополосный доступ);
- навигация (GPS, ГЛОНАСС, Galileo, BeiDou);
- дистанционное зондирование Земли (оптико-электронная и радиолокационная съемка для метеорологии, мониторинга природных ресурсов, ЧС и оборонных задач);
- научные исследования.

В сегменте дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) спутники классифицируются по типу полезной нагрузки, что определяет их возможности и области применения:

- Оптические спутники осуществляют съемку в видимом и инфракрасном диапазонах. Они обеспечивают высокое пространственное разрешение и детализацию, но их работа зависит от освещенности и погодных условий (облачность, ночное время). Примеры: российские аппараты серий «Ресурс-П», «Канопус-В», «Электро-Л»;

- Радиолокационные спутники (РЛА) используют собственное излучение в радиодиапазоне для получения изображения земной поверхности. Их ключевое преимущество - всепогодность и независимость от времени суток, что позволяет вести мониторинг в условиях облачности, тумана и ночью. Примеры: разрабатываемые в России аппараты «Смотр-Р», «Обзор-Р»;

- Гиперспектральные спутники проводят съемку в множестве узких спектральных интервалов, позволяя идентифицировать материалы и вещества на поверхности по их спектральным подписям, что незаменимо для геологоразведки и экологического мониторинга. Примеры: российские HyperView-1G, Colibri-S.

Именно сближение этих сегментов и рост объема данных формируют новый технологический уклад, в котором спутник становится не просто источником информации, а элементом распределенной интеллектуальной сети.

2.2. Ключевые игроки и продуктовые линейки на глобальном и российском рынках

Мировой рынок спутникостроения сегодня представляет собой динамичную арену с четким разделением на лидеров, нишевых игроков и активно развивающихся новых стран. Среди коммерческих компаний-лидеров безусловным новатором является американская SpaceX, которая производит спутники Starlink.

Другие ведущие американские компании, такие как Planet Labs и Capella Space, демонстрируют нишевый, но высокотехнологичный подход. Planet Labs с ее группировкой Dove и SkySat сделала ставку на ежедневный мониторинг всей поверхности Земли, превращая сырые снимки в поток аналитических данных. Capella Space является пионером в области коммерческой радиолокационной съемки, предоставляющей всепогодные и круглосуточные данные. Традиционные гиганты, такие как Lockheed Martin и Northrop Grumman, остаются ключевыми подрядчиками для правительства США, создавая сложные и дорогие аппараты для нужд NASA. В Европе мощный потенциал сконцентрирован в концернах Airbus Defence and Space и Thales Alenia Space, которые являются мировыми лидерами в производстве телекоммуникационных спутников для ГСО, а также научных космических аппаратов для миссий ESA.

Российская отрасль спутникостроения имеет ярко выраженную государственно-ориентированную структуру с госкорпорацией «Роскосмос» в роли головного интегратора, заказчика и координатора. Ключевые производственные активы сгруппированы в рамках профильных холдингов. АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнёва» является флагманом по созданию спутников связи и навигации, отвечая за разработку и производство аппаратов космической системы «Глонасс», а также телекоммуникационных спутников серии «Экспресс». Ракетно-космическая корпорация «Энергия» им. С.П. Королёва традиционно специализируется на пилотируемой программе и транспортных кораблях, но также разрабатывает специализированные спутники ДЗЗ. АО «Российские космические системы» выступает основным разработчиком

и производителем сложной бортовой и наземной аппаратуры, систем связи и целевой полезной нагрузки для всех типов КА.

Что касается продуктовых линеек, то в сегменте связи помимо аппаратов «Экспресс» развивается новая линейка в рамках проекта «Сфера». В навигации продолжают совершенствоваться спутники «Глонасс». В сегменте ДЗЗ ключевыми продуктами являются гидрометеорологические спутники серии «Электро-Л» (на ГСО) и «Метеор-М» (на СОО), а также аппараты для детального наблюдения «Ресурс-П» и «Канопус-В». Характерной чертой российского портфеля продуктов остается относительно длительный цикл разработки и ориентация на средние и тяжелые классы аппаратов, в то время как мировой тренд смещается в сторону более легких и массовых платформ.

2.3. Позиции Российской Федерации в мировой отрасли и влияние внешнеполитического контекста

Позиции Российской Федерации в мировом спутникостроении носят двойственный характер. С одной стороны, страна сохраняет статус одной из немногих «полноцикловых» космических держав, обладающих компетенциями для самостоятельного создания, запуска и эксплуатации космических аппаратов практически любого назначения. Россия обладает уникальным опытом и сохраняет сильные позиции в таких нишах, как создание ракетных двигателей и обеспечение пилотируемой программы. Наследие советской инженерной школы до сих пор обеспечивает высокую надежность отдельных систем и конструкторские заделы.

С другой стороны, в количественном и коммерческом выражении доля России на мировом рынке неуклонно сокращается и сегодня оценивается в единицы процентов. Основные конкуренты наращивают орбитальные группировки темпами, на порядок превышающими российские. Если глобальные лидеры ежегодно выводят на орбиту тысячи новых аппаратов, то российская программа ограничивается десятками. Ключевыми системными проблемами, сдерживающими развитие, являются сильная зависимость от импортной компонентной базы (особенной высокотехнологичной электроники), устаревшая производственная инфраструктура,

длительные циклы создания новых моделей и слабая интеграция в глобальные коммерческие цепочки.

Кардинально изменил ситуацию внешнеполитический контекст и введение масштабных санкционных ограничений. Запреты на поставку электронных компонентов двойного и военного назначения поставили под угрозу реализацию практически всех перспективных программ, включая проект «Сфера». Это заставило в ускоренном режиме активизировать программу импортозамещения. Однако создание конкурентоспособной, надежной и сертифицированной для использования в космосе отечественной элементной базы является крайне сложной и капиталоемкой задачей, решение которой займет многие годы. В краткосрочной перспективе отрасль столкнулась с риском увеличения сроков разработки и снижения технических характеристик новых спутников.

Таким образом, будущее российского спутникостроения в значительной степени зависит от способности выстраивать новые, устойчивые международные альянсы в изменившейся геополитической реальности.

3. Зарубежный опыт внедрения технологий ИИ в спутникостроении

Мировой опыт внедрения технологий искусственного интеллекта в спутникостроении демонстрирует стремительный переход от теоретических исследований и единичных экспериментов к их планомерной интеграции в критически важные цепочки создания стоимости. Лидерство в этой области стало вопросом не только технологического превосходства, но и экономической безопасности, геополитического влияния и будущего контроля над ближнем космосом. Анализ международной практики позволяет выявить не только очевидные успехи, но и формирующиеся экосистемы, где тесное взаимодействие между частными корпорациями, государственными институтами создает синергетический эффект, ускоряющий технологический прорыв.

3.1. Страны-лидеры по производству и использованию технологий ИИ в спутникостроении

Картина мирового лидерства в области ИИ для космоса характеризуется ярко выраженной биполярностью, где доминируют Соединенные Штаты Америки и Китай, в то время как Европейский Союз и ряд других стран стремятся сохранить свою технологическую суверенность и занять нишевые позиции.

Соединенные Штаты Америки демонстрируют наиболее зрелую и диверсифицированную экосистему, где лидерство достигается за счет мощнейшей частной инициативы, поддерживаемой государственными заказами и инвестициями. Аналитический отчет AI Index 2025 Стэнфордского университета фиксирует абсолютное лидерство США в области частных инвестиций в ИИ, которые в 2024 году достигли отметки в \$109,1 млрд, что в 12 раз превышает аналогичный показатель Китая [6]. Это финансовое превосходство напрямую транслируется в космическую отрасль. Ярчайшим примером является компания SpaceX, которая использует сложные алгоритмы ИИ для полного жизненного цикла своей группировки Starlink, насчитывающей тысячи аппаратов. Речь идет не просто об автоматизации, а о создании интеллектуальной системы, способной в реальном времени управлять орбитальным движением тысяч спутников, оптимизировать трафик связи, прогнозировать и избегать столкновений с космическим мусором

с минимальным вмешательством человека. Другой флагман американской космической программы, NASA, активно развивает проекты автономных космических аппаратов, где ИИ используется для самостоятельного анализа научных данных и принятия решений о приоритетности их передачи на Землю, что радикально повышает эффективность миссий. Такие компании, как Planet Labs и Capella Space, сделали ИИ ядром своего бизнеса, предлагая на рынок не просто спутниковые снимки, а готовые аналитические продукты – информацию об изменениях инфраструктуры, перемещении судов, состоянии посевов [7].

Китай, несмотря на отставание в объеме частных инвестиций (\$9,3 млрд в 2024 году), демонстрирует скоординированный государственный подход [6]. Пекин компенсирует разрыв за счет централизации ресурсов и четкого стратегического планирования. Китай является абсолютным лидером по количеству регистрируемых патентов в области ИИ, на его долю приходится 69,7% от общемирового числа. Это свидетельствует о целенаправленной политике по созданию собственного защищенного набора технологий. В спутникостроении это выражается в активном внедрении ИИ в программы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и связи, при этом многие проекты имеют двойное, гражданское и военное, назначение. В условиях экспортных ограничений со стороны США на поставки высокопроизводительных чипов, Китай активно развивает собственное производство полупроводников и оптимизирует алгоритмы для работы на доступных аппаратных платформах. К концу 2024 года разрыв в производительности между американскими и китайскими ИИ-моделями был практически сведен к нулю, что говорит о чрезвычайной эффективности выбранной стратегии [6].

Ключевую роль играет Европейское космическое агентство (ESA), которое активно внедряет искусственный интеллект (ИИ) в процессы проектирования, конструирования и производства космических аппаратов, а также в управление космическими системами и миссиями и обработку космических данных. Европейские компании активно работают в нишевых, но высокотехнологичных сегментах, например, создавая ИИ для прецизионной обработки данных с радарных

спутников или для мониторинга климатических изменений. Инвестиции в ИИ для обороны в Европе существенно ниже, чем в США, что отражает разные стратегические приоритеты.

3.2. Обзор зарубежной нормативной базы

Нормативно-правовое регулирование применения ИИ в космической деятельности находится на начальной стадии формирования и сильно отстает от темпов технологического развития. Однако первые шаги уже предпринимаются, и они задают вектор для будущих международных стандартов.

В Европейском Союзе наблюдается наиболее продвинутый и комплексный подход. Принятие «Акта об искусственном интеллекте» (AI Act) закладывает основу для регулирования всех высокорисковых систем ИИ, к которым, безусловно, можно отнести и системы управления космическими аппаратами. Закон вводит концепцию «управления доверием, рисками и безопасностью систем ИИ», которая, по оценкам аналитиков Gartner, является одной из ключевых технологий, находящихся на «пике завышенных ожиданий» в 2025 году [8]. Для спутникостроения это будет означать необходимость прохождения строгих процедур сертификации, обеспечивающих прозрачность, надежность и кибербезопасность алгоритмов, особенно тех, что функционируют в автономном режиме. Параллельно ужесточается регулирование в смежных областях, таких как борьба с дезинформацией, включая запрет на создание дипфейков без маркировки, что косвенно влияет и на использование спутниковых данных [9].

Соединенные Штаты пока действуют более фрагментировано. На федеральном уровне отсутствует единый закон, аналогичный европейскому, однако регуляторная активность на уровне штатов резко возросла: если в 2016 году был принят всего один закон, связанный с ИИ, то к 2025 году их число достигло 131 [6]. Особое внимание уделяется вопросам национальной безопасности. Администрация США ужесточила экспортный контроль над передовыми ИИ-чипами и софтом, целенаправленно ограничивая возможности Китая в этой области. Кроме того, 24 штата ввели запреты на использование дипфейков в политических целях, что формирует правовое поле для манипуляций с геопространственной информацией. Министерство обороны

США, являясь крупнейшим заказчиком, начинает разрабатывать собственные ведомственные стандарты для внедрения ИИ в системы военного назначения, включая спутниковые.

Китай также активно формирует свое регуляторное поле, делая акцент на государственном контроле и безопасности. Принятые законы напрямую запрещают создание дипфейков реальных людей без их согласия, а также устанавливают жесткие требования к компаниям, работающим с ИИ [9]. Государство стремится не отстать в технологической гонке, но при этом сохранить абсолютный контроль над развитием и применением этих технологий, что в ближайшей перспективе может привести к национализации ключевых исследований в области ИИ.

Таким образом, общемировой тренд заключается в осознании необходимости регулирования, при этом доминируют два подхода: европейский, нацеленный на снижение рисков для граждан, и американо-китайский, фокусирующийся на вопросах национальной безопасности и технологического доминирования.

3.3. Действующие зарубежные практики

Практическое внедрение ИИ в спутникостроении уже перешло из стадии экспериментов в стадию создания коммерчески успешных и стратегически важных продуктов и сервисов. Ключевые практики можно разделить на три крупных блока.

1. Автономные группировки и оперативное управление. Ярчайшим примером является компания SpaceX. Ее группировка Starlink управляется не как совокупность отдельных аппаратов, а как единый распределенный организм [10]. Алгоритмы ИИ в реальном времени обрабатывают телеметрию с тысяч спутников, прогнозируют их орбитальную эволюцию, автоматически планируют и исполняют маневры для избежания столкновений друг с другом и с космическим мусором. Это было бы невозможно при ручном управлении ввиду огромного количества объектов. Такая автономия не только обеспечивает безопасность, но и радикально снижает операционные расходы, позволяя масштабировать группировки до десятков тысяч единиц.

2. Обработка данных на конечном устройстве (Edge AI) и интеллектуальное планирование миссий. Компания Capella Space, оператор радиолокационных спутников, внедряет ИИ непосредственно на борт своих аппаратов [11]. Вместо того, чтобы передавать на Землю гигабайты сырых радарных данных, спутник с помощью бортового ИИ самостоятельно анализирует снимок, выделяет значимые изменения (например, появление нового судна в заданном районе или деформацию грунта) и передает уже готовую информацию – координаты и тип объекта. Это позволяет в сотни раз сократить объем передаваемых данных и получить результат в режиме, близком к реальному времени. Аналогично, спутники ДЗЗ начинают использовать ИИ для самостоятельного планирования съемки: алгоритм анализирует прогноз облачности, приоритеты заказчиков и энергообеспеченность аппарата, принимая решение, какой участок Земли снять в данный момент времени для максимизации коммерческой отдачи.

3. Генеративное проектирование и создание цифровых двойников. В области проектирования и производства ИИ открывает путь к созданию оптимальных и нетривиальных конструкций. Технологии генеративного проектирования позволяют инженерам задать целевые параметры (масса, прочность, тепловой режим, стоимость), после чего алгоритм перебирает тысячи возможных вариантов компоновки, предлагая решения, которые часто превосходят по эффективности, разработанные человеком. Параллельно создаются цифровые двойники как всего спутника, так и его ключевых систем. Эта виртуальная копия непрерывно обучается на телеметрии с реального аппарата, что позволяет с высочайшей точностью моделировать его поведение, прогнозировать выход из строя компонентов и оптимизировать режимы эксплуатации, тем самым продлевая срок активного существования.

Подводя итог, зарубежный опыт демонстрирует, что успех в области внедрения ИИ в спутникостроение определяется не отдельными прорывами, а созданием целостных экосистем, где государственная стратегия, финансовые ресурсы, передовые исследования образуют цикл инноваций. Страны-лидеры уже перешли от решения точечных задач к построению интеллектуальных и автономных

космических инфраструктур, что задает новый, исключительно высокий стандарт конкуренции на мировом рынке.

4. Опыт внедрения технологий ИИ в спутникостроении в Российской Федерации

В отличие от стран-лидеров, где внедрение технологий искусственного интеллекта в спутникостроении движется стремительными темпами благодаря синергии государственных амбиций и частной инициативы, опыт Российской Федерации демонстрирует комплексный, но пока еще фрагментированный подход, характеризующийся наличием значительного научно-технического задела, системными вызовами и формирующейся экосистемой. Российская стратегия делает акцент на импортозамещении и технологическом суверенитете, что определяет уникальные траектории развития и набор преодолеваемых барьеров.

4.1. Обзор нормативной базы Российской Федерации

Основу нормативной базы для развития искусственного интеллекта в Российской Федерации, включая его применение в высокотехнологичных отраслях, таких как спутникостроение, составляют несколько ключевых стратегических документов. Фундаментальным из них является «Национальная стратегия развития искусственного интеллекта на период до 2030 года», утвержденная Указом Президента Российской Федерации от 10 октября 2019 г. № 490 «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации». Кроме того, рамочные условия для развития отрасли в целом задает Федеральный закон от 20 августа 1993 г. № 5663-1 «О космической деятельности», который определяет основные принципы государственной политики, регулирует вопросы лицензирования и организации космической деятельности. В рамках стратегического планирования следует также упомянуть национальный проект технологического лидерства «Развитие космической деятельности Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года», в рамках которого реализуется федеральный проект, направленный на развитие спутниковой связи и дистанционного зондирования Земли. Это создает программный контекст и определяет приоритеты для финансирования и внедрения новых технологий, включая ИИ.

Однако, применительно конкретно к интеграции ИИ в жизненный цикл космических аппаратов, отсутствует специализированная отраслевая дорожная карта, детализирующая шаги по интеграции ИИ в жизненный цикл космических аппаратов. Общие рамки задаются Государственной программой «Космическая деятельность России», но она не содержит конкретных показателей по внедрению интеллектуальных систем. Тем не менее, в 2025 году ожидается «кратное ускорение внедрения ИИ в отраслях» в целом, что создает благоприятный контекст и для космической сферы. Позитивным сигналом стало закрепление тарифов на обработку медицинских изображений с применением ИИ, что демонстрирует готовность регулятора создавать экономические стимулы для использования подобных технологий, и этот опыт потенциально может быть транслирован на обработку спутниковых данных [12]. Ключевым вызовом остается необходимость разработки ведомственных стандартов и методик сертификации систем с ИИ для их использования в критически важной космической технике, где требования к надежности исключительно высоки.

4.2. Отечественные лидеры внедрения технологий ИИ в спутникостроении

Ландшафт лидеров в области внедрения ИИ в спутникостроении в России формируется вокруг госкорпораций с привлечением институтов и частных компаний. С точки зрения целевого назначения спутников, ключевые игроки могут быть структурированы следующим образом.

В сегменте спутников связи и навигации:

– Госкорпорация «Роскосмос» выступает основным интегратором и заказчиком.

В рамках разработки новых спутниковых систем, таких как «Сфера», заявляется о планах по созданию интеллектуальной группировки аппаратов, способных к автономному взаимодействию и перераспределению задач;

– АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнёва» (ИСС) является флагманом по созданию спутников связи и навигации, отвечая за аппараты системы «Глонасс» и телекоммуникационные

спутники серии «Экспресс». Предприятие ведет работы по внедрению интеллектуальных систем управления и обработки телеметрии.

В сегменте спутников дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ):

– Для оптико-электронных систем ключевыми разработчиками являются АО «Российские космические системы» (РКС) и Ракетно-космическая корпорация «Энергия». РКС работает над созданием технологий интеллектуальной бортовой аппаратуры и проектом «цифрового двойника» космического аппарата, что актуально для таких спутников, как «Ресурс-П» и «Канопус-В»;

Научные организации и частный сектор:

– Академические и научные институты, такие как НИУ ВШЭ, вносят значительный вклад в фундаментальные и прикладные исследования, работая над применением ИИ для управления малыми космическими аппаратами и анализа данных ДЗЗ;

– Частные компании фокусируются на коммерциализации технологий, используя алгоритмы машинного обучения и компьютерного зрения для автоматического анализа спутниковых снимков, предлагая рынку сервисы по мониторингу.

Несмотря на наличие отдельных успешных проектов, общей чертой является их «точечный» характер. Российскому спутникостроению еще предстоит пройти путь от разрозненных пилотных внедрений к созданию сквозных, интегрированных в производственные цепочки интеллектуальных систем, подобных тем, что используются в группировках Starlink или спутниках Planet Labs.

4.3. Цифровые и ИИ-решения для повышения производительности труда на предприятиях отрасли

Внедрение цифровых и ИИ-решений на предприятиях российской космической отрасли находится на начальной и неравномерной стадии. Ключевые направления включают:

– *Цифровое проектирование и моделирование.* Внедрение систем CAD/CAE/CAM является уже стандартной практикой на ведущих предприятиях,

таких как РКК «Энергия». Однако переход к генеративному проектированию, где ИИ самостоятельно предлагает оптимальные варианты конструкций, пока носит экспериментальный характер и не стал массовой практикой.

– *Системы управления жизненным циклом изделия (PLM)*. Крупные холдинги «Роскосмоса» активно внедряют PLM-системы для управления данными и процессами на всех этапах создания продукции. Следующим логичным шагом является интеграция в эти системы предиктивных ИИ-алгоритмов для анализа данных и прогнозирования рисков.

– *Цифровые двойники*. Как уже упоминалось, эта технология является одним из приоритетов для РКС и других ведущих организаций. Создание цифровых двойников позволяет перейти к проактивному обслуживанию, предсказывая отказы бортовой аппаратуры и заблаговременно планируя корректирующие действия, что напрямую повышает надежность и снижает эксплуатационные расходы.

– *Предиктивная аналитика и машинное зрение в производстве*. На производственных линиях начинают внедряться системы технического зрения для контроля качества сборки и монтажа компонентов. Предиктивная аналитика для обслуживания станков и оборудования также находится в зоне внимания, однако масштабы ее применения пока уступают зарубежным аналогам.

4.4. Анализ кадрового потенциала отрасли

Кадровый вопрос является одним из самых острых для успешной цифровой трансформации российского спутникостроения. Отрасль испытывает острейший дефицит специалистов, находящихся на стыке космического машиностроения, разработки программного обеспечения и математического моделирования.

Осознавая эту проблему, государство и ведущие вузы предпринимают шаги по исправлению ситуации. Ярким примером является всероссийский конкурс исследовательских и проектных работ школьников «Спутникостроение и геоинформационные технологии: Terra Notum», проводимый НИУ ВШЭ [15]. Этот проект позволяет выявлять и готовить будущие таланты еще со школьной скамьи, погружая их в реальные задачи, такие как управление спутниками, прием телеметрии и анализ данных ДЗЗ с применением ИИ. Ведущие технические

университеты страны – МГТУ им. Н.Э. Баумана, МАИ, МФТИ – открывают магистерские программы и специализации, связанные с применением ИИ в космической технике.

Тем не менее, классическое инженерное образование зачастую не успевает за стремительным развитием ИТ-сферы. Как следствие, наблюдается «утечка мозгов» лучших выпускников в чисто ИТ-сектор, предлагающий более высокие зарплаты и динамичную среду. Для удержания талантов в космической отрасли необходимы не только образовательные инициативы, но и создание внутри отрасли инновационной культуры, гибких моделей управления. Положительную роль может сыграть растущий интерес к образованию в сфере ИИ и формированию новых специальностей, сочетающих знания в области конкретной предметной области и компьютерных наук, что отмечается, в том числе, и в здравоохранении.

Подводя итог, можно констатировать, что российское спутникостроение обладает значительным, хотя и не до конца реализованным потенциалом для интеграции технологий ИИ. Стратегический курс на технологический суверенитет и импортозамещение задает жесткие рамки, но одновременно и стимулирует развитие собственных компетенций. Успех будет зависеть от способности государства и бизнеса консолидировать усилия, преодолеть фрагментарность подходов, создать привлекательные условия для высококвалифицированных кадров и сформировать целостную экосистему, в которой прорывные разработки будут быстро находить путь от лабораторий и опытных стендов до серийных космических аппаратов и коммерческих сервисов.

5. Барьеры внедрения технологий ИИ в спутникостроении

Несмотря на очевидный потенциал и растущее давление конкуренции, массовое внедрение технологий искусственного интеллекта в спутникостроении сталкивается с комплексом взаимосвязанных барьеров. Эти препятствия носят системный характер и коренятся в нормативно-правовой, технологической и экономической плоскостях. Их преодоление требует не точечных мер, а целостной государственной и корпоративной политики, направленной на трансформацию самой парадигмы создания и эксплуатации космической техники. Анализ этих барьеров позволяет не только диагностировать текущее состояние отрасли, но и выработать адресные рекомендации для его преодоления, минимизируя риски и максимизируя отдачу от инвестиций в интеллектуализацию спутниковых систем.

5.1. Барьеры нормативно-правового характера

Правовое поле, регулирующее применение ИИ в высокорисковых отраслях, таких как спутникостроение, находится в стадии становления, что создает значительную неопределенность для разработчиков и заказчиков.

Во-первых, отсутствует устоявшаяся система сертификации и валидации систем ИИ для применения в космической технике. Регулирующие органы, такие как Роскосмос и другие профильные ведомства, не имеют утвержденных методик, позволяющих доказать, что автономная ИИ-система примет безопасное решение в любой, в том числе и нештатной, ситуации. Это приводит к консервативному подходу: разработчикам проще отказаться от сложных алгоритмов в пользу простых, но проверенных решений, чтобы избежать рисков невыполнения условий госконтракта или, что хуже, потери дорогостоящего аппарата.

Во-вторых, существует правовой вакуум в вопросах ответственности за решения, принятые автономными системами. Действующий Федеральный закон от 20 августа 1993 года № 5663-1 «О космической деятельности» (статья 30) устанавливает принцип ответственности Российской Федерации за ущерб, причиненный космическим объектом. Однако данная норма была разработана для эпохи полностью управляемых с Земли аппаратов и не учитывает специфику автономных ИИ-систем. В случае инцидента на орбите - столкновения,

несанкционированного маневра - крайне сложно определить, кто несет ответственность: разработчик алгоритма, производитель спутника, оператор группировки или владелец данных, на которых обучалась модель. Непроработанность этих вопросов сдерживает страховые компании от адекватной оценки рисков и формирования страховых продуктов, что, в свою очередь, делает инвестиции в подобные проекты более рискованными.

В-третьих, сохраняются барьеры, связанные с использованием данных. Несмотря на изменения в законе о персональных данных, остаются сложности с получением и использованием больших массивов информации для обучения моделей, особенно когда речь идет о данных двойного назначения или информации, полученной от государственных органов (например, картографические данные высокого разрешения). Процедуры межведомственного взаимодействия и предоставления таких данных для исследовательских и коммерческих целей остаются бюрократически сложными и длительными. Как следствие, отечественные ИИ-модели для анализа снимков ДЗЗ часто испытывают нехватку данных по сравнению с зарубежными аналогами, которые обучаются на миллионах изображений, ежедневно собираемых группировками.

5.2. Барьеры технологического характера

Технологические вызовы являются, пожалуй, наиболее фундаментальными, поскольку их преодоление требует не только финансовых вливаний, но и времени на проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР).

Ключевой проблемой является отсутствие надежной и производительной отечественной элементной базы, устойчивой к воздействию космической радиации. Большинство современных алгоритмов глубокого обучения требуют для своей работы высокопроизводительных графических процессоров или специализированных тензорных процессоров. Российская промышленность в условиях санкционного давления сталкивается с острой нехваткой таких компонентов, а доступные аналоги, не обладают достаточной производительностью для работы сложных нейросетей в реальном времени и, что критически важно,

не имеют полноценной радиационно-стойкой версии. Разработка и освоение серийного производства таких специализированных чипов – задача стратегического уровня, решение которой может занять годы.

Вторая группа проблем связана с программным обеспечением и алгоритмической частью. Это, прежде всего, знаменитая проблема «черного ящика»: сложность, а зачастую и невозможность интерпретации решений, принимаемых глубокой нейронной сетью. В земных применениях, таких как рекомендательные системы, это допустимо, но в космосе, где цена ошибки исчисляется миллиардами рублей, неспособность объяснить логику системы делает ее непригодной для использования в критически важных функциях. Кроме того, существуют вызовы, связанные с энергопотреблением. Даже при наличии подходящего процессора его работа потребует значительных энергетических ресурсов, которые на борту спутника всегда ограничены. Это создает инженерный конфликт между интеллектуальными возможностями аппарата и его способностью их обеспечить.

Третья технологическая проблема – это обеспечение кибербезопасности ИИ-систем. Чем сложнее и автономнее система, тем больше в ней потенциальных уязвимостей. Атаки на ИИ носят специфический характер: это может быть фальсификация тренировочных данных, намеренное введение модели в заблуждение с помощью специально созданных воздействий или манипуляция с ее работой после развертывания. Защита от таких угроз требует разработки новых методов безопасного машинного обучения, что добавляет еще один слой сложности.

5.3. Барьеры экономического характера

Экономические соображения зачастую являются решающим фактором при принятии решения о внедрении новых технологий, и в случае с ИИ они создают мощный сдерживающий эффект.

1. Высокие капитальные затраты (CAPEX) на начальном этапе.

Внедрение ИИ требует инвестиций в несколько направлений одновременно: закупка или разработка вычислительного оборудования, создание и разметка датасетов, зарплаты высококвалифицированных и дефицитных специалистов,

приобретение лицензий на специализированное ПО. Для многих предприятий отрасли, работающих в рамках жесткой сметной дисциплины государственных контрактов, выделение таких средств представляется затруднительным. Эффект от внедрения, как правило, проявляется в среднесрочной перспективе, в то время как затраты требуются здесь и сейчас.

2. Длительный срок окупаемости инвестиций (ROI) и неочевидность прямого экономического эффекта. Руководитель предприятия, отвечающий за финансовые показатели, может скептически относиться к проектам, прямой экономический эффект от которых сложно просчитать.

Сокращение операционных затрат за счет автономного управления или повышение эффективности анализа данных – это потенциальная, а не гарантированная экономия. В условиях, когда основной заказчик – государство, а система оценки эффективности зачастую основана на выполнении формальных показателей (сроки запуска, количество аппаратов на орбите), а не на итоговой экономической эффективности, стимулы для рискованных инвестиций в ИИ снижаются.

3. Нехватка венчурного финансирования. В отличие от США, где существует развитая экосистема венчурных фондов, готовых инвестировать в высокорисковые космические проекты, в России такой рынок находится в стадии становления. Банки и традиционные инвесторы считают космический сектор слишком рискованным и специфичным. В результате перспективные стартапы, предлагающие инновационные ИИ-решения для спутникостроения, сталкиваются с проблемой финансирования на стадии роста, когда пилотный проект успешен, но для выхода на серийное производство или коммерциализацию сервиса требуются значительные средства.

5.4. Результаты опроса предприятий отрасли в РФ об опыте внедрения технологий ИИ

Проведенный выборочный опрос российских предприятий ракетно-космической отрасли, проведенный с целью сбора эмпирических данных о реальной практике внедрения технологий искусственного интеллекта, подтвердил наличие

системных барьеров, выявленных в ходе анализа, и позволил конкретизировать их применительно к отечественному контексту. Данные опроса наглядно демонстрируют, что отрасль находится на самой начальной, «пилотной» стадии цифровой трансформации, а распространение ИИ-решений носит фрагментарный и точечный характер, сталкиваясь с комплексом взаимосвязанных трудностей.

Результаты анкетирования позволяют выделить два основных сценария, характерных для современных российских предприятий спутникостроения. Первый сценарий, представленный ведущим научно-производственным центром АО «Корпорация «ВНИИЭМ», иллюстрирует попытку активного, но ограниченного внедрения. Предприятие применяет технологии искусственного интеллекта на этапе проектирования, используя такие направления, как компьютерное зрение и системы интеллектуальной поддержки принятия решений. При этом важно отметить, что разработка ведется силами самой корпорации, что свидетельствует о наличии внутреннего потенциала и понимания стратегической важности данных технологий. Однако даже в этом случае внедрение сталкивается с мощным сопротивлением, которое респондент конкретизирует в виде пяти ключевых барьеров: высокая стоимость внедрения и поддержки решения, острая нехватка квалифицированных кадров, недостаточное качество или объем данных для обучения моделей, сопротивление персонала организационным изменениям и, что особенно значимо, отсутствие ясных нормативных и стандартизирующих требований. Этот набор проблем в точности соответствует барьерам экономического, кадрового и нормативно-правового характера, описанным в предыдущих разделах, и показывает, как они проявляются на практике, сдерживая даже инициативы крупных государственных корпораций.

Второй сценарий, продемонстрированный ответом ООО «Газпром СПКА», представляет собой иную, но не менее распространенную реальность. Предприятие открыто констатирует, что технологии искусственного интеллекта в его деятельности не используются в принципе, и на текущий момент не видит в них необходимости. Эта позиция является ярким индикатором более глубоких системных проблем. Она может быть обусловлена несколькими факторами: ориентацией

на традиционные, консервативные производственные процессы, отсутствием внутреннего заказчика на интеллектуализацию, а также пониманием тех высоких барьеров (стоимость, кадры, нормативное регулирование), которые делают попытку внедрения экономически нецелесообразной или чрезмерно рискованной для предприятия среднего размера.

Сводя результаты опроса в единую аналитическую картину, можно сделать несколько фундаментальных выводов. Во-первых, подтверждается тезис о том, что основным сдерживающим фактором является не отсутствие технологических компетенций как таковых, а комплекс экономических и организационных проблем. Высокая стоимость внедрения, упомянутая респондентом, напрямую перекликается с анализом структуры затрат (CAPEX и OPEX), где требуются значительные первоначальные инвестиции в оборудование, ПО и кадры. Во-вторых, кадровый вопрос предстает не просто как общий дефицит специалистов на рынке, но и как внутреннее сопротивление персонала, что указывает на необходимость глубокой организационной трансформации и программ переобучения внутри предприятий.

Таким образом, опрос наглядно демонстрирует, что переход российского спутникостроения к широкому использованию искусственного интеллекта сдерживается не «техническими» барьерами в узком смысле, а недостаточной зрелостью всей экосистемы. Для преодоления этой ситуации необходимы скоординированные действия, направленные на снижение финансовой нагрузки на предприятия через целевое финансирование, реализация масштабных программ подготовки и переподготовки кадров, а также активная работа регулятора по формированию понятных и практико-ориентированных стандартов, которые снимут правовые риски и зададут четкий вектор для технологического развития. Без решения этих системных вопросов даже самые передовые пилотные проекты рискуют остаться единичными случаями, не способными изменить общую траекторию развития отрасли.

6. Оценка экономической эффективности внедрения ИИ

Внедрение технологий искусственного интеллекта в спутникостроении является не только технологическим, но и глубоко экономическим решением, требующим тщательного анализа инвестиционной привлекательности и потенциальной отдачи. В условиях глобальной конкуренции и перехода к многоспутниковым группировкам, экономическая эффективность становится ключевым аргументом в пользу ускоренной цифровой трансформации отрасли.

6.1. Анализ структуры затрат на разработку, внедрение и эксплуатацию ИИ-систем

Затраты на внедрение ИИ в спутникостроении носят капиталоемкий и многоуровневый характер. Их можно структурировать на три основные группы: первоначальные инвестиции (CAPEX), операционные расходы (OPEX) и скрытые затраты.

Капитальные затраты (CAPEX) включают в себя единовременные инвестиции, необходимые для запуска проекта. Во-первых, это затраты на аппаратное обеспечение. Для наземной обработки данных требуется развертывание или аренда высокопроизводительных вычислительных мощностей. Как отмечается в отчете AI Index 2025, скорость ИИ-чипов растет на 43% в год, а их энергоэффективность повышается на 40% ежегодно, однако сами передовые чипы остаются дорогостоящим активом [6]. Для бортового ИИ ключевой статьей расходов является разработка или закупка радиационно-стойких, надежных и при этом достаточно производительных процессоров, способных работать в условиях космоса. Во-вторых, значительные средства требуются на создание и разметку датасетов. Для обучения моделей распознавания объектов на снимках, прогнозирования сбоев или автономной навигации необходимы огромные объемы размеченной информации, сбор и подготовка которой требуют привлечения экспертов и значительных временных ресурсов. В-третьих, к CAPEX относятся затраты на разработку и приобретение программного обеспечения, включая лицензии на фреймворки машинного обучения

и платформы для разработки, а также интеграцию новых ИИ-решений с существующими системами предприятия.

Операционные расходы (ОРЕХ) – это постоянные затраты на поддержание жизненного цикла ИИ-системы. Наиболее существенной статьёй здесь является энергопотребление. Как тренировка сложных нейросетей на Земле, так и работа бортовых вычислителей в космосе требуют значительных энергетических ресурсов. Компании осознают эту проблему: например, Microsoft инвестировала \$1,6 млрд в ядерную энергетику для питания своих ИИ-центров обработки данных [6]. Другой важной составляющей ОРЕХ является обслуживание и постоянное дообучение моделей. ИИ-модели не являются статичными продуктами, они требуют регулярного обновления и валидации на новых данных, чтобы их прогнозы оставались точными, а решения – релевантными. Это влечет за собой затраты на штат сотрудников. Наконец, сюда относятся расходы на мониторинг и кибербезопасность, поскольку сложные ИИ-системы становятся потенциальной мишенью для атак, а их некорректная работа может привести к катастрофическим последствиям.

Скрытые или сопутствующие затраты часто упускаются из виду при первоначальном планировании, но могут серьезно повлиять на общую экономику проекта. К ним относятся затраты на организационные изменения и переподготовку персонала. Внедрение ИИ меняет бизнес-процессы и требует от сотрудников новых компетенций, что влечет расходы на обучение и адаптацию. Кроме того, существуют затраты, связанные с регулированием и сертификацией. Особенно в космической отрасли, где требования к надежности крайне высоки, процесс доказательства безопасности и предсказуемости ИИ-системы для сертифицирующих органов может быть длительным и дорогостоящим.

6.2. Анализ потенциальных экономических эффектов от внедрения ИИ

Экономические выгоды от внедрения ИИ носят многогранный характер и проявляются как в виде прямой экономии средств, так и в виде создания новых источников дохода и стратегических преимуществ.

Прямая экономия средств достигается за счет оптимизации ключевых статей расходов. Одним из самых значительных эффектов является сокращение затрат

на связь. Технологии обработки данных на конечном устройстве (Edge AI) позволяют анализировать информацию непосредственно на спутнике и передавать на Землю уже готовые результаты или критически важные данные. Как отмечается в анализе, такой подход «экономит ресурсы, снижает нагрузку на каналы связи и ускоряет все процессы» [16]. Для крупной группировки это может означать многократное снижение потребной пропускной способности и, как следствие, снижение затрат на аренду каналов связи или строительство наземной инфраструктуры.

Другой важный источник экономии – оптимизация производства и сокращение сроков проектирования. Использование генеративного дизайна и цифровых двойников позволяет находить более эффективные и легкие конструкции, сокращать количество итераций и натурных испытаний, что напрямую снижает стоимость и ускоряет вывод аппарата на рынок. Наконец, предиктивное обслуживание позволяет перейти от планово-предупредительных ремонтов к ремонтам по фактическому состоянию, прогнозируя отказы бортовой аппаратуры. Это увеличивает срок активного существования спутника, снижает риск его потери и минимизирует затраты на резервирование.

Стратегические и косвенные эффекты сложно измерить в денежном выражении, но их ценность для предприятия может быть огромной. Повышение автономности и надежности группировки снижает операционные риски и затраты на наземное управление. Как отмечают эксперты, для России с ее масштабами спутниковая связь с элементами ИИ обеспечит «полное покрытие мобильной связью» в удаленных регионах, что имеет огромное социально-экономическое значение [17]. Ускорение вывода продукции на рынок за счет автоматизации проектирования и испытаний позволяет компании захватывать рыночные ниши и опережать конкурентов. В конечном счете, инвестиции в ИИ становятся инвестициями в технологический суверенитет и долгосрочную конкурентоспособность на мировом рынке, который, по прогнозам, к 2030 году может вырасти до \$1,8 трлн [18].

7. Рекомендации по внедрению и развитию ИИ-технологий в спутникостроении

Успешная интеграция искусственного интеллекта в спутникостроение требует скоординированных действий всех участников экосистемы: государства, промышленных предприятий и компаний-разработчиков. Преодоление выявленных барьеров и реализация экономического потенциала ИИ невозможна без выработки четкой дорожной карты, сочетающей стратегическое видение с практическими шагами. Представленные ниже рекомендации носят комплексный характер и направлены на формирование в России конкурентоспособного, технологически суверенного и экономически эффективного сектора интеллектуального спутникостроения, способного не только догнать мировых лидеров, но и занять перспективные рыночные ниши.

7.1. Рекомендации для государства

Государство выступает ключевым драйвером трансформации, формируя стратегические рамки, финансовые стимулы и регулирующую среду для ускоренного внедрения прорывных технологий.

Необходимо создать детализированный стратегический документ, конкретизирующий положения Национальной стратегии развития ИИ применительно к космической отрасли. Карта должна включать четкие количественные показатели до 2030 года: доля спутниковых платформ с элементами бортового ИИ, степень автоматизации управления группировками, объем коммерческой выручки от сервисов на основе ИИ-анализа данных ДЗЗ.

Целесообразно учредить фонд, софинансируемый государством и частными инвесторами, для поддержки стартапов и инициатив промышленных предприятий. Фонд может предоставлять гранты на докоммерческие НИОКР и венчурные инвестиции на стадии масштабирования наиболее перспективных проектов. Одновременно следует рассмотреть механизмы налоговых льгот для предприятий, инвестирующих в собственные разработки и внедрение ИИ, по аналогии с льготами для IT-сектора.

Следует расширить практику создания передовых инженерных школ в ведущих вузах (МГТУ им. Баумана, МАИ, МФТИ, НИУ ВШЭ) с узкой специализацией на «Космическом Data Science» и «ИИ для систем управления». Программа должна включать не только образовательный компонент, но и создание на базе предприятий современных исследовательских лабораторий, где студенты и аспиранты будут работать над реальными отраслевыми задачами.

7.2. Рекомендации для промышленных предприятий

Предприятиям ракетно-космической промышленности необходимо перейти к активной тактике поэтапной цифровой трансформации, рассматривая ИИ как инструмент повышения своей конкурентоспособности.

Вместо попыток немедленной комплексной трансформации целесообразно выбрать 2-3 направления, где ИИ может дать измеримый эффект. Первоочередными кандидатами являются: предиктивная аналитика отказов космических аппаратов, автоматический визуальный контроль качества сборки с помощью компьютерного зрения и оптимизация маршрутизации данных в наземной инфраструктуре.

Вместо того чтобы только пытаться переманить дорогих специалистов с рынка, предприятия должны запустить внутренние программы. Инженеров-конструкторов, специалистов по телеметрии следует обучать основам работы с данными и принципам машинного обучения. Это позволит вырастить собственных экспертов, глубоко понимающих предметную область и способных эффективно работать с ИИ-инструментами.

7.3. Рекомендации для компаний-разработчиков

Российским компаниям, специализирующимся на создании ИИ-решений, для успеха в высококонкурентной и требовательной космической отрасли необходимо выработать специализированную продуктовую и рыночную стратегию.

Учитывая жесткие ограничения по массе, энергопотреблению и вычислительным ресурсам на борту спутника, разработчикам следует концентрироваться на оптимизации нейросетевых архитектур и использовании методов, позволяющих достичь максимальной точности при минимальных аппаратных затратах.

На начальном этапе российским разработчикам стоит сосредоточиться на решении специфических задач, где они имеют экспертизу или которые особенно актуальны для внутреннего рынка. Это могут быть ИИ-алгоритмы для мониторинга арктических территорий, детектирования незаконных рубок в труднодоступных таежных регионах, анализа состояния критической инфраструктуры или специализированные решения для гиперспектральной съемки. Заняв прочные позиции в этих нишах, компания сможет масштабироваться на смежные рынки.

Реализация предложенного комплекса мер создаст в России целостную экосистему, где государственные институты задают стратегию и стимулы, промышленные предприятия являются драйверами внедрения и источниками данных, а компании-разработчики поставляют прорывные технологии и сервисы. Такой подход позволит не только импортозаместить критически важные технологии, но и сформировать экспортный потенциал для российских интеллектуальных спутниковых систем и аналитических платформ.

8. Заключение

8.1. Ключевые выводы

Проведенный анализ однозначно свидетельствует о том, что технологии искусственного интеллекта превратились в ключевой фактор конкурентоспособности и развития спутникостроения. Их внедрение затрагивает все этапы жизненного цикла космического аппарата – от генеративного проектирования и создания цифровых двойников до автономного управления на орбите и интеллектуального анализа собираемых данных. Мировой опыт, в первую очередь США и Китая, демонстрирует, что лидерство в этой области обеспечивает не только технологическое превосходство, но и долгосрочные экономические и геополитические преимущества, связанные с контролем над космическим пространством и данными дистанционного зондирования Земли.

Для Российской Федерации интеграция ИИ в спутникостроение является стратегическим императивом, необходимым для сохранения позиций в условиях новой космической гонки. Несмотря на наличие значительного научно-технического задела и отдельных успешных проектов, отрасль в целом сталкивается с комплексом системных барьеров. К ним относятся фрагментированная нормативная база, острая нехватка кадров, технологические ограничения, в особенности в области элементной базы, и недостаток целевого финансирования. Результаты экспертного опроса подтверждают, что большинство предприятий находятся на начальной, пилотной стадии внедрения, а основными сдерживающими факторами они называют дефицит финансирования и кадров.

8.2. Прогноз развития отрасли до 2030 года

Развитие применения ИИ в спутникостроении до 2030 года будет характеризоваться движением от точечной автоматизации к созданию комплексных автономных систем. Этот процесс можно разделить на два ключевых этапа.

Первый этап станет периодом активного преодоления барьеров и формирования технологического фундамента. В России и мире получит широкое распространение ИИ для анализа данных ДЗЗ и предиктивного анализа телеметрии. Станет стандартом использование цифровых двойников на этапе проектирования

и испытаний. Ожидается появление первых серийных российских спутников с элементами бортовой автономии, в первую очередь для решения задач навигации и простейшего планирования съемки. Нормативная база начнет адаптироваться: появятся первые отраслевые стандарты и методики сертификации некритичных ИИ-систем.

Второй этап ознаменуется переходом к новой парадигме – созданию «когнитивных группировок». Увеличение вычислительной мощности бортовых процессоров и развитие алгоритмов коллективного интеллекта позволит управлять группировками как единым организмом. Спутники смогут самостоятельно распределять задачи, обмениваться данными между собой по межспутниковым каналам связи и принимать согласованные решения в реальном времени, например, для отслеживания быстроразвивающихся природных явлений или перераспределения ресурсов для мониторинга кризисных регионов. Обработка данных полностью сместится на борт, а на Землю будет передаваться только готовая аналитическая информация.

К 2030 году спутник перестанет быть просто платформой для инструментов, превратившись в интеллектуальный узел распределенной космической вычислительной сети. Конкуренция сместится с качества аппаратной части к интеллектуальности программного обеспечения и ценности предоставляемых сервисов на основе данных. Те страны и компании, которые смогут уже сегодня сделать стратегическую ставку на развитие и внедрение ИИ, обеспечат себе не только технологический суверенитет, но и лидирующие позиции в формирующейся многотриллионной экономике, основанной на данных из космоса.

Список использованных источников

1. Прогноз: 27 000 спутников на орбите к 2030 году. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.gazprom-spacesystems.ru/ru/informations/analytics/19392/>;
2. Государственная космическая группировка РФ к 2030 году должна составить 650 аппаратов. [Электронный ресурс]. – URL: <https://tass.ru/kosmos/22990125>
3. Мантуров сообщил о планах покрыть всю территорию РФ спутниковой связью к 2030 г. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.interfax.ru/russia/1030098>;
4. Россия запускает "Сферу" — 600 спутников переписишут правила глобального интернета. [Электронный ресурс]. – URL: <https://dzen.ru/a/aA81IM0DSRxcMxnp>;
5. История создания, развития и эволюции российских систем спутниковой связи: от первых открытий до современных технологий. [Электронный ресурс]. – URL: <https://forumtech.ru/novosti-v-sfere-telekommunikacij/tpost/vd8g016cv1-istoriya-sozdaniya-razvitiya-i-evolyutsi>;
6. Искусственный интеллект в 2025 году: что происходит на самом деле и куда мы идем. [Электронный ресурс]. – URL: <https://habr.com/ru/articles/902602/>;
7. Искусственный интеллект меняет индустрию спутниковой съемки. [Электронный ресурс]. – URL: <https://tenchat.ru/media/2386194-iskusstvenniy-intellekt-menyayet-industriyu-sputnikovoy-syemki>;
8. Gartner определила, какие технологии ИИ находятся на пике в 2025 году. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.itweek.ru/ai/article/detail.php?ID=232936>;
9. 10 тенденций ИИ в 2025 году, к которым все должны быть готовы уже сегодня. [Электронный ресурс]. – URL: <https://allsee.team/10-tendencij-ii-v-2025-godu-k-kotorym-vse-dolzhen-byt-gotovy-uzhe-segodnya>;
10. Группировка Starlink — система орбитального перехвата принципиально нового типа. [Электронный ресурс]. – URL: <https://naked-science.ru/article/tech/starlink-perehvat>;
11. Capella Space Introduces Artificial Intelligence for SAR Imaging. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.spacevoyaging.com/news/2024/05/08/capella-space-introduces-artificial-intelligence-for-sar-imaging/>;

12. Эксперты спрогнозировали кратное ускорение внедрения ИИ в отраслях в 2025 году. [Электронный ресурс]. – URL: <https://iz.ru/1823381/2025-01-16/eksperty-sprognozirovali-kratnoe-uskorenie-vnedreniia-ii-v-otrasliakh-v-2025-godu>;
13. Как в России развивается космический проект «Сфера». [Электронный ресурс]. – URL: <https://rg.ru/2024/01/02/kak-v-rossii-razvivaetsia-kosmicheskij-proekt-sfera.html>;
14. ИИ в космосе, часть 4: Какие проекты развивают космические агентства крупнейших стран мира. [Электронный ресурс]. – URL: <https://maxpolyakov.com/ru/ii-v-kosmose-chast-4-kakie-proekty-razvivayut-kosmicheskie-agentstva-krupneishikh-stran-mira/>;
15. Спутникостроение и геоинформационные технологии: Terra Notum. [Электронный ресурс]. – URL: <https://olymp.hse.ru/projects/sputnik>;
16. Космос превращается в вычислительную инфраструктуру с ИИ. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.it-world.ru/it-news/5051whljwxc88wwc4s8koc4c808o4o0.html>;
17. МТС планирует запустить спутниковую связь к 2030 году. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.vedomosti.ru/technologies/trendsrub/news/2025/08/15/1131941-mts-planiruet-zapustit-sputnikovuyu-svyaz>;
18. Рынок ИИ может вырасти на 820% к 2030 году. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.computerra.ru/294165/rynok-ii-mozhet-vyrasti-na-820-k-2030-godu/>.