

Александр Кальченко

СТРАТЕГИЧЕСКИЙ АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР

Кубсаты в российской космической политике: экономика, суверенитет и орбитальные ресурсы

Расширенная и систематизированная версия

По итогам обсуждений и дискуссий о будущем космической экономики



Москва, 2026

От автора

Представленный обзор посвящён одной из наиболее актуальных тем современной космической политики – роли массового серийного производства аппаратов формата CubeSat и их развёртывания на сверхнизких околоземных орбитах в решении задач экономического развития и защиты национального орбитально-частотного суверенитета. В обзоре последовательно связываются три измерения, которые на практике нередко рассматриваются отдельно: юнит-экономика малых аппаратов, регуляторная логика Международного союза электросвязи и политико-стратегический контекст, включая возможности площадки БРИКС.

Акцент сделан на удельной стоимости одного аппарата как на центральном параметре, без радикального снижения которого промышленное развёртывание группировок либо не достигает необходимого масштаба, либо требует непропорциональных затрат. Анализ рычагов снижения себестоимости – стандартизация, серийность, перераспределение нерекуррентных затрат, изменение требований к единичной надёжности в пользу системной, институциональные меры – изложен связно и без избыточного углубления в технические детали. Не менее важно, что сверхнизкие орбиты рассматриваются не как изолированная «мода», а как элемент экономической и суверенной логики: естественная утилизация, упрощение полезных нагрузок и возможность плотного орбитального присутствия в относительно менее насыщенном слое.

Отдельного внимания заслуживает регуляторный блок. В нем корректно показано, что принцип first-come, first-served, в существенной степени действующий в непланируемых полосах, делает скорость развёртывания и наличие работающих систем фактором переговорной позиции национальной администрации. Раздел о процедурах МСЭ (этапы предварительной публикации, координации, регистрации, требование ввода в эксплуатацию) даёт практическую рамку, а не абстрактные рассуждения о «суверенитете».

Политико-стратегическая часть обзора связывает внутреннюю повестку Национального проекта «Космос» с международным измерением. Акцент на потребностях университетской науки стран БРИКС как на канале формирования спроса, подготовки кадров и совместного технологического развития является вполне реалистичным и соответствует логике научной и экономической дипломатии. Совместные проекты на стандартизированных платформах действительно могут одновременно загружать отечественные производственные мощности и снижать барьеры входа для партнёров.

Важным и своевременным представляется включение в анализ информационного и кадрово-коммерческого барьера – дефицита открытых отраслевых данных, специализированных изданий и бизнес-подготовки по коммерциализации сервисов на базе малых спутников. Этот аспект часто остаётся в тени технологических и регуляторных ограничений, хотя именно он замедляет переход от демонстрационных миссий к устойчивым рыночным моделям. Дорожная карта, группирующая меры по горизонтам

(Fast Track и пилотный спрос; приоритетные НИОКР и правила РИД; формирование экосистемы), придаёт обзору прикладной характер.

В целом обзор представляет собой связную аналитическую рамку, в которой экономика серийного производства, орбитально-частотный суверенитет и международная кооперация рассматриваются как единая система. Материал может быть полезен для органов государственной власти, отраслевых организаций и экспертного сообщества при подготовке решений, связанных с развитием сегмента малых космических аппаратов и реализацией приоритетов Национального проекта «Космос».

Рецензируемый обзор рекомендуется к использованию в качестве аналитического материала при обсуждении мер по развитию серийного производства аппаратов формата CubeSat, адаптации регуляторных процедур и расширению международной кооперации в формате БРИКС.

Александр Кальченко

Генеральный директор Агентства по сетевым, информационным и коммуникационным технологиям, кандидат технических наук

Содержание

Введение

Глава 1. Экономика массового производства кубсатов

- 1.1. Системные экономические ограничения и место удельной себестоимости
- 1.2. Основные рычаги снижения удельной себестоимости
- 1.3. От экспериментальных платформ к индустриальному конвейеру
- 1.4. Экономика сверхнизких орбит
- 1.5. Модели коммерциализации и спрос
- 1.6. Практические подходы к снижению удельной стоимости

Глава 2. Орбитально-частотный ресурс и защита национального суверенитета

- 2.1. Угроза монополизации околоземного пространства
- 2.2. Принцип орбитального присутствия
- 2.3. Радиочастотный потенциал и устойчивость
- 2.4. Регуляторные детали процедур МСЭ

Глава 3. Политико-стратегическое измерение

- 3.1. Роль массовых группировок в Нацпроекте «Космос»
- 3.2. Площадка БРИКС и потребности университетской науки
- 3.3. Синтез национального и международного измерений

Глава 4. Системные барьеры и дорожная карта

- 4.1. Нормативно-правовые и административные барьеры
- 4.2. Технологические и инфраструктурные ограничения
- 4.3. Дефицит информации, изданий и бизнес-подготовки
- 4.4. Дорожная карта рекомендаций

Заключение

Термины и сокращения

В настоящем обзоре используются следующие основные термины и сокращения.

Сокращения

Сокращение	Расшифровка
API	Advance Publication Information – предварительная публикация информации о заявке в МСЭ
B2B	Business-to-Business – модель взаимодействия «бизнес для бизнеса»
B2G	Business-to-Government – модель взаимодействия «бизнес для государства»
BIU	Bringing Into Use – ввод в эксплуатацию (требование МСЭ к фактическому использованию частот)
COTS	Commercial Off-The-Shelf – готовые коммерческие (серийные) комплектующие
CR/C	Coordination Request / Coordination – запрос на координацию / координация в процедурах МСЭ
DaaS	Data-as-a-Service – предоставление данных как сервиса (подписка на поток данных)
DFMA	Design for Manufacturing and Assembly – проектирование с учётом требований производства и сборки
ITU / МСЭ	International Telecommunication Union / Международный союз электросвязи
LEO	Low Earth Orbit – низкая околоземная орбита (как правило, 160–2000 км)
MIFR	Master International Frequency Register – Международный справочный регистр частот МСЭ
NGSO	Non-Geostationary Satellite Orbit – негеостационарная спутниковая орбита
NRE	Non-Recurring Engineering – нерекуррентные (однократные) затраты на разработку и квалификацию
TCO	Total Cost of Ownership – совокупная стоимость владения
VLEO	Very Low Earth Orbit – сверхнизкая околоземная орбита (ориентировочно 200–350/450 км)
ГЧП	Государственно-частное партнёрство
КА	Космический аппарат

МКА	Малый космический аппарат
РИД	Результаты интеллектуальной деятельности
ЭКБ	Электронно-компонентная база

Основные термины

Термин	Определение / пояснение в контексте обзора
CubeSat (кубсат)	Стандартизированный малый космический аппарат; базовая единица 1U – куб со стороной 10 см. Распространённые форматы: 1U, 3U, 6U, 12U, 16U.
Аппарат формата CubeSat	Космический аппарат, выполненный в соответствии со стандартом CubeSat (предпочтительная формулировка вместо «кубсатный аппарат»).
Группировка малых спутников	Многоспутниковая система на базе аппаратов малого класса (в т.ч. формата CubeSat), функционирующая как единый информационный или сервисный контур.
Сверхнизкая орбита (VLEO)	Околоземная орбита высотой ориентировочно 200–350 км (в широком понимании – до ~450 км), характеризующаяся сильным атмосферным торможением и возможностью естественной утилизации аппаратов.
Принцип орбитального присутствия	Стратегия физического и частотного заполнения определённых орбитальных слоёв и диапазонов национальными (или контролируемыми национальными операторами) группировками с целью закрепления фактического и юридического приоритета.
Удельная стоимость (unit cost)	Себестоимость одного аппарата; ключевой параметр экономики серийных группировок.
Нерекуррентные затраты (NRE)	Однократные затраты на разработку, квалификацию, оснастку и подготовку производства, распределяемые на серию аппаратов.
Рекуррентные затраты	Переменные (повторяющиеся) затраты на изготовление каждого следующего экземпляра аппарата.
Кривая обучения	Снижение удельных затрат по мере роста кумулятивного объёма производства за счёт накопления опыта и отладки процессов.
Data-as-a-Service (DaaS)	Модель предоставления космических данных и сервисов по подписке, а не разовой продажей отдельных снимков или пакетов.

First-come, first-served	Принцип «первым пришёл – первым занял», характерный для значительной части процедур координации и регистрации частот в непланируемых полосах МСЭ.
Системная (групповая) надёжность	Надёжность группировки в целом, достигаемая в том числе за счёт резервирования и возможности быстрой замены отдельных аппаратов, в отличие от максимизации надёжности каждого единичного аппарата.
Rideshare	Попутный (совместный) запуск нескольких полезных нагрузок на одной ракете-носителе с распределением стоимости выведения.
Fast Track	Упрощённый (ускоренный) режим согласования частот, сертификации или выдачи разрешений для стандартизированных малых аппаратов.
Heritage / modularity	Использование уже отработанных (летавших) решений и модульный принцип построения платформ с целью снижения NRE и рисков.

Введение

Мировая космическая индустрия переживает структурную трансформацию. Эпоха единичных тяжёлых космических аппаратов с длительными циклами разработки и высокой стоимостью единичного отказа уступает место модели серийного производства и развёртывания многоспутниковых группировок малого класса. В центре этой трансформации находится формат CubeSat – стандартизированная платформа, прошедшая путь от учебно-экспериментального инструмента до коммерческого и оборонного актива. По данным Nanosats Database, к июлю 2026 года накопительное число запущенных аппаратов формата CubeSat превысило 3 165. Независимые каталоги Jonathan's Space Report фиксируют сопоставимые порядки (свыше 3 200). Эти цифры отражают не просто количественный рост, а качественное изменение экономики доступа к орбите: удельная стоимость одного аппарата и стоимость единицы производимых им данных становятся решающими параметрами, от которых зависит сама возможность промышленного развёртывания группировок.

Параллельно происходит переосмысление орбитальных высот. Сверхнизкие околоземные орбиты (Very Low Earth Orbit, VLEO – в широком определении примерно 200–450 км, в узком 200–350 км) приобретают стратегическое значение. Близость к поверхности Земли упрощает требования к оптическим и радиочастотным полезным нагрузкам, а атмосферное торможение обеспечивает естественную утилизацию объектов, снижая долгосрочные риски космического мусора. В то же время мега-группировки иностранных операторов активно закрепляют орбитально-частотный ресурс. К сентябрю 2026 года группировка Starlink компании SpaceX насчитывала, по данным публичных каталогов KeepTrack и Jonathan McDowell, порядка 11 100–11 150 аппаратов в орбите; накопительное число запущенных превысило 12 900. Операционные высоты группировки смещаются в диапазон примерно 330–490 км. Совокупное число активных космических аппаратов, по оценкам на основе CelesTrak и отраслевых сводок, находится в пределах 15–17 тысяч. Процедуры Международного союза электросвязи для значительной части спектра в существенной степени опираются на принцип first-come, first-served: сроки подачи заявок и фактическое развёртывание создают устойчивые преимущества для тех, кто действует раньше и масштабнее. Для государств, не обладающих сопоставимыми по масштабу коммерческими системами, возникает риск постепенной утраты свободы манёвра в орбитальном пространстве.

Для Российской Федерации данный контекст формирует двойной вызов и двойную возможность. С одной стороны, санкционные ограничения и необходимость ускоренной квалификации суверенной электронно-компонентной базы повышают ценность коротких циклов разработки и серийности. С другой – риск монополизации орбитально-частотного пространства требует инструментов физического и юридического присутствия. Национальный проект «Космос» (утверждён в 2025 году, старт реализации – 2026 год) задаёт институциональную рамку: по открытым оценкам, совокупное финансирование составляет порядка 4,4–5+ трлн рублей до 2036 года (бюджетные и внебюджетные источники). Центральная гипотеза настоящего обзора состоит в том, что массовое

серийное производство кубсатов и их ускоренное развёртывание на сверхнизких орбитах способно одновременно решать задачи формирования коммерчески привлекательного внутреннего рынка космических данных и сервисов и защиты национального орбитально-частотного суверенитета. Синергия этих двух задач – экономическая отдача и суверенитет – определяет структуру и логику всего последующего изложения.

Обзор построен вокруг четырёх взаимосвязанных блоков. Первый посвящён экономике массового производства: почему удельная стоимость одного аппарата является центральным параметром, какие рычаги её снижения существуют (стандартизация, серийность, снижение рекуррентных и нерекуррентных затрат, изменение требований к единичной надёжности, институциональные меры) и какую роль играют сверхнизкие орбиты. Ориентировочные диапазоны стоимости миссий CubeSat (по открытым рыночным оценкам 2025–2026 гг.) составляют от 0,15–0,6 млн долларов для простых 1U–3U аппаратов до 2–5+ млн долларов для более сложных 6U–12U+ конфигураций – при существенном разбросе в зависимости от полезной нагрузки, квалификации и условий запуска. Здесь же рассматриваются модели коммерциализации – от государственного якорного спроса до Data-as-a-Service – и условия, при которых кубсатные группировки становятся экономически рациональными в российских реалиях.

Второй блок анализирует орбитально-частотный ресурс и инструменты защиты суверенитета. Масштаб угрозы монополизации иллюстрируется динамикой ведущих мега-группировок (рост Starlink с порядка 1,5–2 тысяч аппаратов в начале 2020-х до более чем 11 тысяч к осени 2026 года); принцип орбитального присутствия на VLEO раскрывается как практический ответ; регуляторные детали процедур МСЭ (этапы Advance Publication Information – координация – регистрация в Master International Frequency Register, требование ввода в эксплуатацию, логика электромагнитной совместимости) показывают, почему скорость развёртывания и наличие работающих систем критичны для переговорной позиции национальной администрации. Читатель, интересующийся геополитикой космоса и международным регулированием спектра, найдёт здесь связный анализ, опирающийся на открытые данные и логику Radio Regulations.

Третий блок выводит анализ в политико-стратегическое измерение. Национальный проект «Космос» с заявленным финансированием порядка 4,4–5+ трлн рублей до 2036 года задаёт институциональную рамку и возможности интеграции кубсатных решений как элемента гибкой инфраструктуры и полигона квалификации элементной базы. Особое внимание уделяется площадке БРИКС и потребностям университетской науки стран объединения – как каналу формирования спроса, подготовки кадров и совместного технологического развития. В России уже работают образовательные и запусковые треки: программа «УниверСат» Госкорпорации «Роскосмос» обеспечила вывод десятков университетских кубсатов (к началу 2026 года группировка насчитывала порядка 25 аппаратов); проект Space-π и федеральный проект «Кадры для космоса» расширяют вовлечение вузов. Совместные группировки и сервисы на стандартизированных

платформах рассматриваются не только как экономический, но и как дипломатический инструмент.

Четвёртый блок выявляет системные барьеры и формулирует дорожную карту. Наряду с нормативно-правовыми и технологическими ограничениями (процедуры, ориентированные на тяжёлые аппараты; дефицит двигательных установок для VLEO; «узкое горлышко» пусков) анализируется часто недооцениваемый информационный и кадрово-коммерческий барьер: дефицит открытых отраслевых данных, специализированных изданий производственно-технической и коммерческой направленности, практически полное отсутствие бизнес-тренингов и акселераторов по коммерциализации кубсатовских сервисов. Международная практика (ежегодные доклады NASA State-of-the-Art of Small Spacecraft Technology, Journal of Small Satellites, тренинги ESA Academy, программы CSLI и KiboCUBE) и российские образовательные треки сопоставляются, чтобы показать, какие элементы инфраструктуры знаний уже работают, а каких не хватает. Дорожная карта группирует меры по горизонтам – от Fast Track и пилотного спроса (1–2 года) до приоритетных НИОКР и институционализации отраслевых обзоров (3–5 лет) и формирования устойчивой экосистемы (5–10 лет) – и завершается итоговыми тезисами для руководства отрасли.

Методология обзора носит междисциплинарный характер и объединяет системно-экономический анализ (жизненный цикл, совокупная стоимость владения, юнит-экономика), пространственно-частотный и геополитический анализ (плотность орбит, принцип присутствия, регламенты МСЭ) и сравнительно-нормативный анализ (международная практика регулирования малых спутников и российская нормативно-правовая база). Эмпирическая база включает открытые каталоги орбит и запусков (Nanosats Database – более 3 165 CubeSat к июлю 2026 г.; Jonathan's Space Report; CelesTrak; KeepTrack – данные по Starlink на сентябрь 2026 г.), рыночные и технологические обзоры, документы МСЭ, открытые материалы Государственной корпорации «Роскосмос» и публикации, посвящённые Национальному проекту «Космос» и программам поддержки университетских аппаратов.

Обзор не претендует на исчерпывающий охват всех аспектов тематики малых спутников. Его цель – дать связную аналитическую рамку, в которой экономика серийного производства, орбитально-частотный суверенитет, международная кооперация и институциональные барьеры рассматриваются как единая система, и предложить практические направления действий. Читателю, заинтересованному в снижении удельной стоимости, в защите орбитального ресурса, в использовании площадки БРИКС или в устранении регуляторных и информационных барьеров, последующие главы дают развёрнутый материал для самостоятельной оценки и для подготовки решений.

Глава 1. Экономика массового производства кубсатов: построение нового рыночного базиса

Снижение удельной себестоимости изделия является одним из центральных вопросов космической экономики, хотя и не единственным и не всегда главным. Вопрос себестоимости критически важен потому, что исторически космическая техника была штучной и экстремально дорогой. Высокая удельная стоимость ограничивала спрос, делала почти все проекты государственными и блокировала появление массовых рынков. Себестоимость напрямую влияет на целый ряд других экономических параметров: срок окупаемости, требуемый объём капитала, устойчивость к рискам, возможность частного финансирования, а также скорость итераций и обучения. Значительные по численности орбитальные спутниковые группировки экономически возможны только при радикальном падении цены одного аппарата и стоимости его выведения.

Приоритеты значимости себестоимости сильно зависят от сегмента и стадии развития рынка. В сегменте орбитальных спутниковых группировок большой численности и массовых сервисов себестоимость производства и стоимость запуска являются практически решающими. В сегменте научных, пилотируемых и уникальных исследовательских аппаратов на первый план выходят надёжность, сроки, риски и финансирование, а не минимизация цены одного изделия. Для стартапов на ранней стадии часто важнее скорость выхода на рынок и доступ к капиталу, чем идеально выверенная себестоимость. Таким образом, удельная себестоимость (unit cost) в космической экономике – не просто объект бухгалтерского учёта, а важная часть юнит-экономики и рыночная метрика, которая критически влияет на возможность присутствия на том или ином рынке.

При этом снижение себестоимости изделия – необходимое, но не достаточное условие развития космической экономики как базиса. Оно особенно критично там, где экономика строится на объёме производства. В то же время даже идеально дешёвый спутник не решит проблем дорогого запуска, недоступности капитала, отсутствия платёжеспособного спроса или регуляторных барьеров. Поэтому в профессиональной постановке задачи unit cost необходимо рассматривать в связке со стоимостью разработки, выведения, стоимостью капитала, размером доступного рынка, а также с длительностью и скоростью жизненного цикла «разработка – производство – эксплуатация – монетизация».

Экономическая целесообразность массового развёртывания группировок малых космических аппаратов формата CubeSat определяется не отдельными техническими преимуществами платформы, а системным изменением структуры затрат и модели предоставления космических услуг. Классическая логика космической деятельности строилась вокруг единичного дорогостоящего аппарата с длительным сроком активного существования. В этой логике главной задачей становилось максимизировать срок службы и надёжность каждого отдельного спутника, поскольку стоимость его изготовления, квалификации и выведения была крайне высока. Новая логика,

формирующаяся вокруг серийных кубсатных группировок, смещает акцент: главным активом становится не отдельный аппарат, а поток услуг, генерируемый обновляемой сетью относительно недорогих стандартизированных платформ. В этой модели критическим параметром оказывается удельная стоимость одного аппарата и стоимость единицы производимых им данных или сервисов.

Именно снижение удельной стоимости одного аппарата делает возможным переход от единичных демонстрационных миссий к промышленному развёртыванию группировок, способных решать прикладные задачи на устойчивой коммерческой или государственно-коммерческой основе. Без такого снижения любые рассуждения о многоспутниковых системах на сверхнизких орбитах остаются теоретическими: группировка из десятков или сотен аппаратов при высокой стоимости единичного экземпляра быстро теряет экономический смысл. Поэтому центральным вопросом настоящей главы является не просто констатация преимуществ формата CubeSat, а анализ механизмов, за счёт которых удельная стоимость может быть снижена до уровня, делающего серийное развёртывание рациональным, и оценка условий, при которых эти механизмы работают в российских реалиях.

1.1. Системные экономические ограничения отрасли и место удельной себестоимости

В списке системных проблем экономики космической деятельности стоимость изготовления изделия, а также расходы, связанные с содержанием эксплуатационной инфраструктуры (запуски, наземный сегмент, эксплуатация группировок), занимают первые строки. Речь идёт о структурных экономических и институциональных ограничениях, которые мешают отрасли работать эффективно и масштабироваться. Оценка весов влияния этих проблем носит экспертный и ориентировочный характер; приведённые ниже значения относятся в первую очередь к коммерческому сегменту орбитальных группировок и массовых сервисов на базе малых аппаратов. В научных и пилотируемых программах веса будут другими.

Таблица 1.1. Системные проблемы космической экономики и их связь с себестоимостью изделия (экспертная оценка для сегмента коммерческих группировок малых аппаратов)

Системная проблема	Важность	Оценка доли	Связь с себестоимостью изделия
Высокая стоимость запуска	Очень высокая	22–25 %	Часто сопоставима или выше стоимости аппарата
Высокая стоимость вхождения и риск капитала	Очень высокая	18–22 %	Снижение unit cost и NRE уменьшает потребность в капитале
Высокая себестоимость изделия и малые серии	Высокая	18–22 %	Прямо определяет unit cost
Неопределённость спроса / создание рынка	Высокая	12–15 %	Низкая себестоимость расширяет потенциальный рынок

Узкая и хрупкая цепочка поставок	Высокая	8–12 %	Влияет на рекуррентные затраты и риски
Регуляторные и институциональные барьеры	Средняя–высокая	6–9 %	Косвенно повышает транзакционные издержки
Страхование, ответственность, космический мусор	Средняя	4–6 %	Растёт с масштабом группировок
Кадры и организационные модели	Средняя	4–6 %	Влияют на производительность и NRE

Примечание: доли приблизительные, в сумме дают ~100 %. Они отражают относительный «вес» проблемы в совокупных экономических ограничениях сегмента, а не точную бухгалтерскую структуру затрат одного аппарата.

Из таблицы видно, что стоимость запуска и стоимость капитала занимают первые строки – они ограничивают саму возможность масштабирования даже в том случае, если unit cost уже снижен. В отличие от них, снижение себестоимости изделия – это непосредственно та первоочередная задача, которую должны и могут решать субъекты космической деятельности: производители платформ, интеграторы, операторы группировок. Именно поэтому в рамках настоящей главы акцент делается на механизмах снижения удельной стоимости аппарата, при понимании того, что полный экономический эффект достигается только в связке с решением вопросов запуска, капитала и спроса.

1.2. Основные рычаги снижения удельной себестоимости

В космической экономике обычно выделяют два наиболее мощных рычага снижения себестоимости одного изделия – снижение нерекуррентных затрат (NRE – non-recurring engineering: разработка, квалификация, оснастка, инфраструктура) и увеличение серии (амортизация этих затрат на большее число аппаратов). Наряду с ними существуют и другие, не менее эффективные способы.

Снижение рекуррентных (переменных) затрат на одно изделие

Это самостоятельное и очень значимое направление. К нему относятся: переход на более дешёвую элементную базу (COTS, промышленный или автомобильный класс вместо радиационно-стойкого space-grade); упрощение конструкции и снижение трудоёмкости сборки (проектирование с учётом требований производства и сборки – DFMA); автоматизация производства и испытаний; оптимизация цепочки поставок и закупка комплектующих крупными партиями; использование кривой обучения (даже при одной и той же серии себестоимость последующих изделий падает по мере накопления опыта). Каждый из этих рычагов может давать существенное снижение переменной части себестоимости; в сочетании они способны уменьшить рекуррентную составляющую в несколько раз.

Снижение и распределение нерекуррентных затрат

Нерекуррентные затраты можно не просто сокращать, а умнее организовывать. Максимальное заимствование уже существующих решений, модулей и платформ (heritage, modularity) позволяет не разрабатывать заново то, что уже отработано. Создание общих платформ, на которых строится несколько разных продуктов, распределяет NRE сразу на несколько программ. Применение цифрового проектирования, цифровых двойников и виртуальных испытаний сокращает количество реальных дорогих натуральных тестов. Более короткие и итеративные циклы разработки уменьшают затраты на переделки и длительное содержание команды. Наконец, организационные меры – вертикальная интеграция, долгосрочные контракты, снижение транзакционных издержек – дополнительно уменьшают эффективную величину NRE.

Изменение требований к надёжности и квалификации

В традиционном подходе каждое изделие стремятся сделать максимально надёжным. В серийном подходе, особенно при больших объёмах, часто идут по другому пути: допускают более высокий риск отказа отдельного аппарата и компенсируют это резервированием на уровне группировки и возможностью быстрого восполнения. За счёт этого резко сокращаются объём и стоимость квалификационных испытаний на один аппарат. Для кубсатных группировок на VLEO, где естественная утилизация и относительно низкая стоимость замены уже заложены в модель, такой подход особенно естественен: системная (групповая) надёжность становится важнее единичной.

Институциональные и организационные способы

Вертикальная интеграция уменьшает посреднические наценки и транзакционные издержки. Долгосрочные контракты с поставщиками и заказчиками позволяют лучше планировать загрузку и снижать риски. Снижение стоимости капитала (более дешёвое финансирование) уменьшает нагрузку от того, что большие NRE долго «висят» до начала отдачи. Все эти факторы не меняют физическую стоимость комплектующих, но существенно влияют на итоговую удельную себестоимость, которую несёт оператор или производитель.

Таким образом, основные пути снижения себестоимости единицы изделия включают: увеличение серии (амортизация NRE); снижение нерекуррентных затрат или распределение их на большее число программ; снижение рекуррентных затрат на одно изделие; ослабление требований к единичной надёжности в обмен на системную (групповую) надёжность; улучшение организации разработки и производства (модульность, цифровизация, автоматизация, вертикальная интеграция). На практике почти всегда стремятся использовать комбинацию этих подходов, а не один изолированный способ.

1.3. От экспериментальных платформ к промышленному конвейеру: почему удельная стоимость имеет решающее значение

Формат CubeSat возник в конце 1990-х годов как ответ на вполне конкретную проблему: высокую стоимость и длительные сроки создания даже относительно небольших космических аппаратов, что делало космические эксперименты практически недоступными для университетов и небольших исследовательских групп. Стандартизация габаритов (базовая единица 1U – куб со стороной 10 см), механических интерфейсов и, постепенно, электрических и информационных стыков позволила резко снизить порог входа. Аппарат перестал проектироваться «с нуля» под каждую миссию; появилась возможность использовать готовые конструктивные решения, стандартные деплойеры и отработанные процедуры интеграции. Это был первый, ещё преимущественно образовательный, шаг к снижению удельной стоимости.

По мере миниатюризации элементной базы – оптики, радиочастотных модулей, бортовых вычислителей, систем электропитания и ориентации – размерный ряд расширился. Платформы 3U, 6U, 12U и 16U сделали возможным размещение полезных нагрузок, ранее доступных лишь аппаратам среднего класса. Параллельно сформировался рынок готовых служебных шин: коммерческие производители предложили стандартизированные платформы с гарантированными характеристиками по питанию, ориентации, связи и термическому режиму. Разработчик полезной нагрузки получил возможность сосредоточиться на своей задаче, не создавая служебные системы с нуля. Это второй важный механизм снижения удельной стоимости – разделение труда и специализация.

Третий механизм связан с выводением. Появление регулярных rideshare-миссий (в частности, программ типа Transporter) позволило распределять стоимость запуска ракеты-носителя между десятками полезных нагрузок. Удельная стоимость выведения килограмма на низкую околоземную орбиту для малых аппаратов существенно снизилась по сравнению с моделью выделенного запуска. Даже с учётом того, что rideshare ограничивает гибкость выбора орбиты и сроков, для серийных группировок, которым важна регулярность и предсказуемость затрат, этот инструмент оказался критически важным.

Совокупность этих механизмов – стандартизация, появление рынка шин, rideshare и рост числа запусков – привела к тому, что накопительное число выведенных аппаратов формата CubeSat, по данным Nanosats Database, к июлю 2026 года превысило 3 165. 3U-платформы остаются наиболее массовыми. Количественный рост сам по себе не гарантирует снижения удельной стоимости для конкретного национального оператора или производителя, но он создаёт необходимую рыночную и технологическую среду, в которой такое снижение становится возможным.

Почему именно удельная стоимость одного аппарата является ключевым параметром? Потому что экономика группировки принципиально отличается от экономики единичного аппарата. В модели единичного спутника допустима высокая стоимость, если она

окупается длительным сроком службы и высокой ценностью производимых данных. В модели группировки, особенно обновляемой, стоимость каждого отдельного аппарата входит в расчёт многократно: при первоначальном развёртывании, при восполнении потерь, при модернизации. Если удельная стоимость остаётся высокой, группировка либо не разворачивается в необходимом масштабе, либо требует непропорционально больших капитальных затрат, либо вынуждена сокращать число аппаратов в ущерб плотности покрытия и частоте их обновления на орбите. Снижение удельной стоимости – не желательное улучшение, а условие существования самой модели серийных группировок.

С точки зрения совокупной стоимости владения (Total Cost of Ownership, TCO) серийные кубсатовские платформы демонстрируют качественно иную структуру затрат. В классической модели значительная доля приходится на разработку, квалификацию, длительную эксплуатацию и, в конце срока, на манёвр увода с орбиты. В модели серийных кубсатов, особенно на сверхнизких орбитах, доля затрат на увод может быть минимальной благодаря естественному атмосферному торможению, а более короткий срок жизни отдельного аппарата компенсируется низкой стоимостью его замены. Экономика смещается от максимизации срока службы единицы к оптимизации потока услуг, производимых сетью. Именно поэтому вопросы стандартизации, серийности производства, доступа к недорогому выведению и упрощения полезных нагрузок оказываются тесно связанными: они все работают на снижение удельной стоимости аппарата и, через неё, на снижение стоимости единицы данных.

Таблица 1.2. Ориентировочные диапазоны стоимости элементов миссии CubeSat (открытые рыночные оценки 2025–2026 гг.)

Элемент затрат	1U–3U	3U–6U	6U–12U+
Разработка и служебная шина	\$50–300 тыс.	\$200–800 тыс.	\$0,5–2+ млн
Запуск (rideshare, ориентир)	\$50–300 тыс.	\$150–500 тыс.	\$0,3–1+ млн
Испытания и интеграция	\$20–80 тыс.	\$50–150 тыс.	\$0,1–0,5 млн
Ориентир полной миссии (1-й год)	\$0,15–0,6 млн	\$0,5–2,5 млн	\$2–5+ млн

Примечание: диапазоны составлены по открытым отраслевым оценкам. Фактическая стоимость существенно зависит от сложности полезной нагрузки, требований к квалификации и условий конкретного запуска.

Из таблицы видно, что даже в рамках одного формата разброс стоимости велик. Это отражает не только различия в полезных нагрузках, но и степень серийности и стандартизации. Аппарат, собранный на основе готовой коммерческой шины с минимальной доработкой, оказывается существенно дешевле аппарата, проектируемого практически с нуля под уникальные требования. Отсюда следует важный практический вывод: снижение удельной стоимости достигается не столько «удешевлением всего

поряд», сколько переходом к модели, в которой повторно используются уже отработанные решения, а уникальная часть (полезная нагрузка) минимизируется по объёму и сложности до уровня, необходимого для решения конкретной задачи.

1.4. Экономика сверхнизких орбит как фактор снижения удельной стоимости

Сверхнизкие околоземные орбиты (VLEO, в узком понимании 200–350 км, в более широком – до примерно 450 км) вносят в экономику группировок дополнительные механизмы снижения затрат. Первый и наиболее очевидный – упрощение полезных нагрузок. Сокращение дистанции до поверхности Земли позволяет достигать требуемого пространственного разрешения или отношения сигнал/шум при меньшей апертуре оптики, меньшей мощности радиолокационного передатчика и, соответственно, меньшей массе и энергопотреблении. Меньшая масса полезной нагрузки снижает требования к служебным системам (питание, ориентация, терморегулирование), что в свою очередь уменьшает массу и стоимость всего аппарата. Таким образом, работа на VLEO создаёт «каскад» удешевления: от нагрузки – к платформе – к запуску.

Второй механизм связан с выводением. При попутном запуске на ракетах-носителях среднего и лёгкого классов более низкие целевые орбиты позволяют эффективнее использовать располагаемый запас характеристической скорости. Для оператора группировки это может означать либо снижение удельной стоимости выведения, либо возможность вывести большую массу полезной нагрузки при тех же затратах на запуск. В условиях серийных миссий, когда запуски повторяются, даже относительно небольшое снижение удельной стоимости выведения даёт заметный эффект на совокупных затратах.

Третий механизм – естественная утилизация. Атмосферное торможение на высотах 200–350 км обеспечивает относительно быстрый сход аппарата с орбиты после окончания активного существования. Это устраняет или существенно снижает необходимость в манёвре увода, который для классических аппаратов на более высоких орбитах требует либо запаса топлива, либо отдельной двигательной операции в конце срока службы. С финансовой точки зрения отсутствие (или минимизация) затрат на гарантированный увод улучшает показатели совокупной стоимости владения группировкой. С регуляторной и экологической точек зрения, естественная утилизация снижает долгосрочные риски накопления космического мусора.

Платой за эти преимущества является необходимость компенсации атмосферного торможения в течение срока активного существования. Без двигательной установки срок жизни аппарата на 200–300 км может составлять дни или недели (в зависимости от баллистического коэффициента, ориентации и уровня солнечной активности). Поэтому наличие компактных, достаточно эффективных и относительно недорогих двигательных установок – электрореактивных, аэродинамических или комбинированных – становится не дополнительным улучшением, а необходимым условием экономической модели длительной работы на VLEO. Если двигательная установка оказывается слишком дорогой, тяжёлой или недостаточно надёжной, преимущества VLEO по упрощению

нагрузок и естественной утилизации могут быть перекрыты ростом стоимости и сложности платформы.

Таким образом, экономика VLEO работает на снижение удельной стоимости аппарата только в том случае, если технологический контур (двигательные установки, материалы, устойчивые к воздействию атомарного кислорода, алгоритмы поддержания орбиты) развит достаточно для того, чтобы преимущества режима не были съедены дополнительными затратами на компенсацию торможения. Это важный вывод для политики: инвестиции в двигательные системы для малых аппаратов на VLEO являются не узкотехническим направлением, а элементом стратегии снижения удельной стоимости группировок в целом.

1.5. Модели коммерциализации, спрос и роль снижения удельной стоимости в российских условиях

Даже при низкой удельной стоимости аппарата группировка не станет экономически устойчивой без спроса на производимые ею данные и сервисы. В российских условиях наиболее очевидные сегменты спроса включают дистанционное зондирование Земли (в том числе задачи, требующие высокой периодичности наблюдения), мониторинг Северного морского пути, экологический и агромониторинг, системы автоматической идентификации судов (АИС/VDES), а также приложения Интернета вещей и межмашинного взаимодействия. Эти сегменты характеризуются наличием как государственных, так и потенциальных коммерческих потребителей, однако степень зрелости рыночных механизмов и готовности платить за регулярный поток данных различается.

На начальном этапе доминирует государственный сегмент (B2G). Государство выступает и заказчиком данных, и, в ряде случаев, соинвестором инфраструктуры. Это создаёт якорный спрос, без которого частным операторам трудно выйти на устойчивую модель. Одновременно растёт интерес коммерческих потребителей (B2B) – в агропромышленном комплексе, логистике, страховании, управлении природными ресурсами. Переход от преобладания B2G к более сбалансированной структуре спроса возможен только при условии, что стоимость единицы данных будет достаточно низкой, а интерфейсы потребления – достаточно удобными. Здесь вновь проявляется критическая роль удельной стоимости аппарата: она напрямую влияет на стоимость единицы данных при заданной плотности группировки и заданном качестве обработки.

Модель предоставления данных как сервиса (Data-as-a-Service, DaaS) в этом контексте оказывается предпочтительнее разовой продажи снимков или телеметрических пакетов. Подписка на регулярный поток обработанной информации снижает транзакционные издержки для потребителя, повышает предсказуемость доходов для оператора и облегчает интеграцию космических данных в существующие информационные системы. Для того чтобы DaaS работал, оператор должен быть способен поддерживать группировку в актуальном состоянии – то есть регулярно восполнять и обновлять аппараты. Это снова

возвращает к вопросу удельной стоимости: чем она ниже, тем реалистичнее модель постоянного обновления сети.

Механизмы государственно-частного партнёрства и офсетных контрактов могут ускорить формирование рынка. Государство, выступая якорным заказчиком и, при необходимости, соинвестором, снижает риски частных инициатив. Офсетные схемы, увязывающие доступ к государственным заказам с обязательствами по локализации производства или передаче технологий, способны стимулировать развитие отечественной производственной базы. Однако эффективность этих механизмов зависит от предсказуемости правил – в том числе правил передачи прав на результаты интеллектуальной деятельности и распределения прав на данные. Неопределённость в этих вопросах повышает транзакционные издержки и может свести на нет преимущества, достигнутые снижением технической стоимости аппарата.

Национальный проект «Космос», утверждённый в 2025 году и рассчитанный на период с 2026 года, задаёт институциональную рамку. По открытым оценкам, совокупное финансирование составляет порядка 4,4–5+ трлн рублей до 2036 года (бюджетные и внебюджетные источники). В составе проекта – развитие спутниковых группировок связи и наблюдения, суверенный доступ в космос, навигация, наука и кадры. Кубсатные решения могут встраиваться в эту рамку как элемент гибкой, относительно быстро обновляемой инфраструктуры. Для этого, однако, необходима явная артикуляция задачи снижения удельной стоимости малых аппаратов как одного из приоритетов технологической и промышленной политики в рамках проекта.

1.6. Практические подходы к снижению удельной стоимости одного аппарата

На основании проведённого анализа можно выделить несколько взаимосвязанных подходов, которые в совокупности способны обеспечить снижение удельной стоимости кубсатных аппаратов до уровня, делающего серийное развёртывание группировок экономически рациональным.

Первый подход заключается в максимальной стандартизации и повторном использовании отработанных решений. Чем выше доля готовых, уже квалифицированных узлов и платформ в составе аппарата, тем ниже удельные затраты на разработку и испытания. Это предполагает развитие отечественного рынка стандартизированных служебных шин и элементной базы, а также готовность заказчиков (включая государственные) принимать решения, основанные на серийных платформах, а не на уникальных разработках «с нуля» под каждый проект.

Второй подход включает серийность производства и конвейерную логику. Единичное изготовление всегда дороже серийного. Переход к партиям хотя бы в несколько десятков аппаратов позволяет распределить невозвратные затраты и отладить технологические процессы. Для этого необходимы устойчивый спрос (якорный заказ) и производственные мощности, ориентированные не на единичные изделия, а на повторяемый выпуск.

Третий подход – использование преимуществ VLEO для упрощения полезных нагрузок. Проектирование нагрузок с явным расчётом на работу на 200–350 км позволяет снижать массу, энергопотребление и сложность, что каскадно уменьшает стоимость платформы. Этот подход работает только в связке с развитием двигательных установок, способных обеспечивать требуемый срок существования.

Четвёртый подход предусматривает снижение стоимости и повышение регулярности выведения. Даже при недорогой платформе высокая и непредсказуемая стоимость запуска разрушает экономику группировки. Необходимы адаптация процедур попутного выведения под нужды операторов малых аппаратов и развитие сегмента лёгких и микро-носителей, способных обеспечивать регулярный доступ к орбите.

Пятый подход в ослаблении требований к единичной надёжности в обмен на системную (групповую) надёжность. Допущение более высокого риска отказа отдельного аппарата при компенсации резервированием на уровне группировки и возможностью быстрого восполнения позволяет резко сократить объём и стоимость квалификационных испытаний на один аппарат. Для кубсатных группировок на VLEO этот подход особенно естественен.

Шестой подход – институциональный: упрощение процедур и формирование якорного спроса. Регуляторные барьеры, растягивающие сроки и увеличивающие транзакционные издержки, напрямую повышают удельную стоимость. Введение режимов «быстрого трека» для стандартизированных кубсатов, прозрачные правила передачи прав на РИД и гарантированный спрос на данные в модели DaaS создают условия, при которых технические меры по снижению стоимости могут дать полный эффект.

Эти подходы не являются взаимоисключающими. Напротив, они усиливают друг друга. Стандартизация облегчает серийность; серийность и VLEO-оптимизация снижают стоимость платформы; доступное выведение и якорный спрос делают возможным регулярное обновление группировки; упрощение процедур снижает нетехническую составляющую затрат. Политика, направленная на снижение удельной стоимости одного аппарата, должна поэтому носить комплексный характер и охватывать технологический, производственный, пусковой и регуляторный контуры одновременно.

В заключение главы следует подчеркнуть: снижение удельной стоимости кубсатного аппарата – не частная инженерная задача, а центральное условие превращения формата CubeSat из инструмента единичных экспериментов и демонстраций в основу промышленно разворачиваемых группировок, способных решать задачи и экономического развития, и орбитально-частотного суверенитета. Без решения этой задачи любые сценарии массового присутствия на VLEO останутся декларативными. С решением – появляется практическая возможность строить обновляемые сети, стоимость которых допускает и коммерческую окупаемость, и устойчивое государственное использование.

Глава 2. Орбитально-частотный ресурс и защита национального суверенитета

Орбитально-частотный ресурс относится к числу стратегически ограниченных активов. В отличие от большинства природных ресурсов, он не подлежит накоплению, перемещению или возобновлению в привычном смысле. Его использование регулируется сложной системой международных процедур, в центре которых находится Международный союз электросвязи (МСЭ). Ключевая особенность этих процедур для значительной части спектра состоит в том, что права и приоритеты в существенной степени формируются через механизм, который принято описывать формулой «first-come, first-served» – «первым пришёл – первым занял». На практике это означает, что сроки подачи заявок, начало координации и фактическое развёртывание систем создают устойчивые преимущества для тех операторов и администраций, которые действуют раньше и масштабнее.

В условиях стремительного роста числа аппаратов на низких околоземных орбитах этот механизм приобретает новое содержание. Мега-группировки, разворачиваемые крупными коммерческими игроками, не просто занимают отдельные орбитальные позиции и частотные каналы – они формируют плотность присутствия, которая меняет условия входа для всех последующих участников. Для государства, не обладающего сопоставимыми по масштабу коммерческими группировками, возникает риск постепенной утраты свободы манёвра в орбитально-частотном пространстве. Именно поэтому вопрос о способах защиты национального суверенитета в этой сфере перестаёт быть абстрактно-правовым и приобретает характер практической политики.

Настоящая глава посвящена четырём взаимосвязанным вопросам. Во-первых, каков реальный масштаб и характер угрозы монополизации околоземного пространства. Во-вторых, каким образом принцип плотного орбитального присутствия может служить инструментом защиты национальных интересов и какие сценарии его реализации существуют. В-третьих, какое значение имеют радиочастотные аспекты и межспутниковая связность для устойчивости суверенных систем. В-четвёртых, каковы ключевые регуляторные детали процедур МСЭ, определяющие практические возможности закрепления орбитально-частотного ресурса. Анализ опирается на открытые данные о составе и динамике крупных группировок, на логику процедур МСЭ и на сравнительные характеристики различных орбитальных режимов.

2.1. Угроза монополизации околоземного пространства: масштаб и механизмы

По состоянию на сентябрь 2026 года крупнейшая коммерческая группировка – Starlink компании SpaceX – насчитывала, по данным публичных каталогов отслеживания (KeepTrack, Jonathan McDowell), порядка 11 100–11 150 аппаратов, находящихся в орбите. Накопительное число запущенных спутников этой системы превысило 12 900. Операционные высоты группировки в соответствии с опубликованными планами и filings смещаются в диапазон примерно 330–490 км. Параллельно развиваются проекты Amazon Kuiper и ряд национальных и коммерческих инициатив КНР. Совокупное число активных

космических аппаратов, оцениваемое по данным CelesTrak и отраслевым сводкам, находится в пределах 15–17 тысяч. Эти цифры важны не сами по себе, а как показатель скорости и масштаба, с которыми отдельные операторы способны заполнять орбитальное пространство.

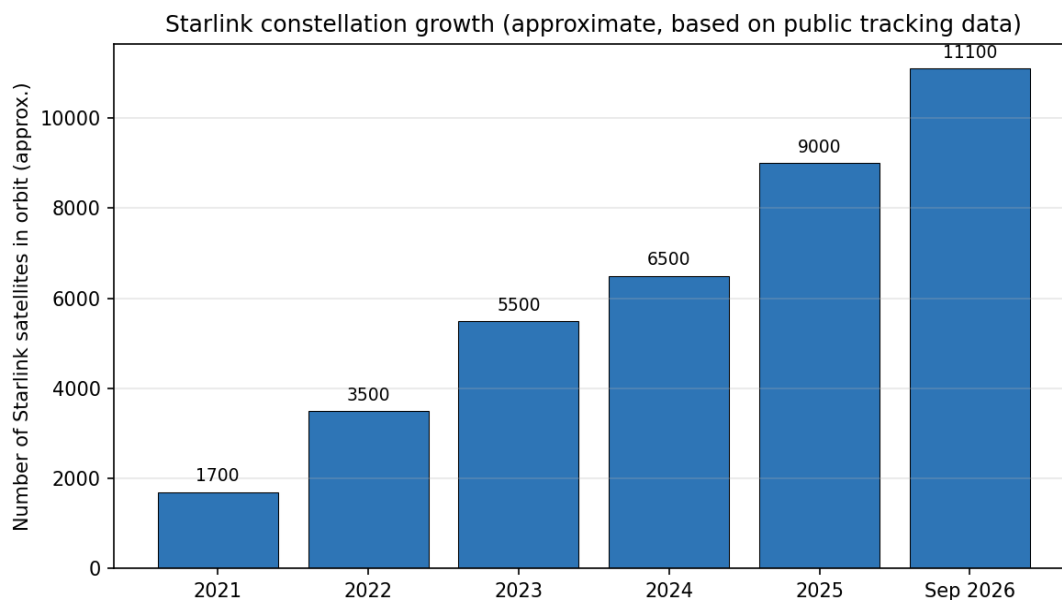


Рисунок 2.1. Приближённый рост числа аппаратов Starlink в орбите (на основе публичных данных отслеживания)

Механизм закрепления ресурса в рамках МСЭ для непланируемых полос в значительной степени опирается на хронологию. Администрация, подавшая заявку раньше и начавшая координацию, получает преимущество в переговорах с последующими заявителями. Успешная координация и последующая регистрация в Master International Frequency Register создают международно признанный статус, который последующие системы обязаны учитывать. При этом сам факт массового физического присутствия аппаратов на орбите усиливает переговорную позицию: чем плотнее сеть, тем сложнее новым участникам доказать возможность бесконфликтной работы в тех же диапазонах и на близких высотах без существенных ограничений.

На традиционных высотах низких околоземных орбит (особенно в диапазоне 500–1200 км) уже наблюдается устойчивый рост плотности. Это порождает два практических следствия. Первое – сокращение «запаса» относительно свободных и безопасных орбитальных слоёв, пригодных для устойчивой эксплуатации без постоянного маневрирования. Второе – усложнение электромагнитной обстановки в ключевых радиочастотных диапазонах (Ku, Ka, а также перспективных V-диапазонах). Для оператора, выходящего на рынок позже, оба фактора означают рост издержек координации, необходимость дополнительных технических ограничений по мощности и

диаграммам направленности, а в предельном случае – риск отказа в эффективном доступе к ресурсу.

Геополитическое измерение угрозы выходит за рамки чисто технического. Зависимость критических государственных и коммерческих сервисов (связь, передача данных, дистанционное зондирование, навигационное усиление) от иностранных коммерческих группировок создаёт потенциальную уязвимость. В условиях обострения международной обстановки или введения ограничительных мер доступ к таким сервисам может быть поставлен под вопрос. Даже без прямого отключения сама возможность такого развития событий влияет на расчёт рисков и на степень стратегической автономии. Именно поэтому вопрос орбитально-частотного присутствия приобретает характер элемента национального суверенитета.

Таблица 2.1. Масштаб отдельных группировок и общая орбитальная обстановка (открытые данные, сентябрь 2026)

Показатель	Оценка	Источник
Starlink – аппараты на орбите	~11 100–11 150	KeepTrack / McDowell
Starlink – запущено всего	~12 900+	KeepTrack / McDowell
Планируемые операционные высоты Starlink	~330–490 км	Публичные filings / SpaceX
CubeSat – накопительно запущено	> 3 165	Nanosats Database (июль 2026)
Активные КА (порядковая оценка)	15–17 тыс.	CelesTrak / отраслевые сводки

Примечание: цифры округлены. Между различными каталогами возможны незначительные расхождения, обусловленные методикой учёта.

Для понимания масштаба угрозы важно учитывать не только абсолютные числа, но и динамику. За последние несколько лет число аппаратов Starlink выросло с порядка полутора тысяч до более чем одиннадцати тысяч. Подобная скорость развёртывания создаёт прецедент: коммерческий оператор способен в сжатые сроки сформировать плотность присутствия, сопоставимую с совокупным вкладом многих государственных программ. В этих условиях стратегия «подождать и посмотреть» для национальных администраций, не обладающих сопоставимыми возможностями, фактически означает согласие на закрепление преимуществ за первыми игроками.

2.2. Принцип орбитального присутствия как инструмент защиты суверенитета

Ответом на описанную динамику может служить принцип орбитального присутствия (Principle of Orbital Presence). Под ним понимается сознательная стратегия физического и частотного заполнения определённых орбитальных слоёв и радиочастотных диапазонов национальными или контролируруемыми национальными операторами группировками. Такое присутствие решает две задачи одновременно. Во-первых, оно создаёт фактическую плотность, которая усложняет последующее бесконфликтное

развёртывание конкурирующих систем в тех же слоях. Во-вторых, оно подкрепляет юридическую позицию при координации в рамках МСЭ: наличие работающих сетей и зарегистрированных присвоений усиливает аргументацию национальной администрации.

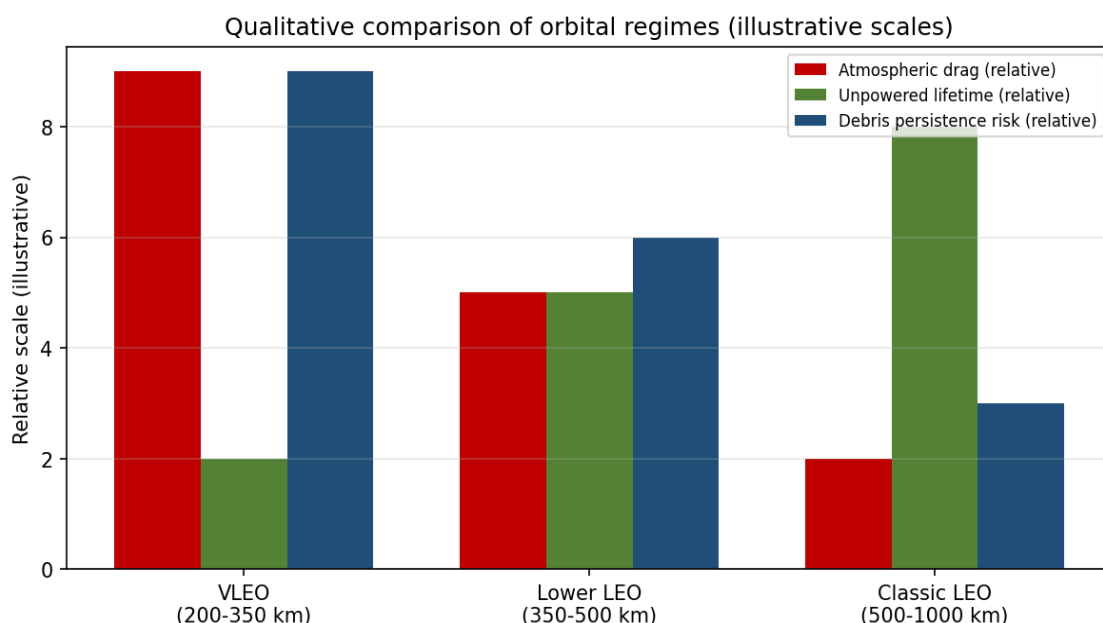


Рисунок 2.2. Качественное сравнение орбитальных режимов (иллюстративные относительные шкалы)

Сверхнизкие околоземные орбиты (VLEO) в этом контексте приобретают особое значение. В отличие от высот 500–1200 км, где плотность уже высока, диапазон 200–350 км (и шире – до ~450 км) остаётся относительно менее насыщенным. Атмосферное торможение, с одной стороны, создаёт технические сложности (необходимость компенсации торможения), с другой – обеспечивает естественную «очистку» орбиты от нефункционирующих объектов. Это делает VLEO одновременно более требовательным к двигательным установкам и более привлекательным с точки зрения долгосрочной устойчивости орбитальной среды. Для стратегии присутствия VLEO может рассматриваться как пространство, где своевременное и плотное развёртывание даёт максимальный эффект при относительно умеренных затратах на отдельные аппараты.

Таблица 2.2. Сравнение орбитальных режимов с точки зрения факторов, значимых для стратегии присутствия

Параметр	LEO 500–1200 км	VLEO 200–350 км
Текущая плотность заселения	Высокая / растущая	Пока относительно ниже
Атмосферное торможение	Слабое / умеренное	Сильное
Естественная утилизация	Ограничена	Преимущественно естественная
Роль ДУ для срока службы	Станция + увод с орбиты	Критична для всего срока

Потенциал для «застолбления» ресурса	Ограничен высокой плотностью	Выше при своевременном входе
--------------------------------------	------------------------------	------------------------------

Источник: качественный анализ на основе физических принципов и открытых обзоров VLEO.

Сценарии реализации принципа присутствия

На практике принцип орбитального присутствия может реализовываться в нескольких сценариях, различающихся по масштабу, капиталоемкости и технологическим требованиям.

Сценарий симметричного наращивания предполагает развёртывание группировок, сопоставимых по числу аппаратов и по занимаемым высотам/диапазонам с ведущими зарубежными системами. Такой подход обеспечивает прямое парирование присутствия конкурентов, но требует значительных финансовых ресурсов, развитой серийной производственной базы и устойчивого доступа к регулярному выведению. В условиях ресурсных и санкционных ограничений этот сценарий представляется наименее реалистичным в чистом виде.

Сценарий асимметричного присутствия на VLEO опирается на использование специфических преимуществ сверхнизких орбит: естественную утилизацию, возможность упрощения полезных нагрузок, относительно низкую стоимость отдельных аппаратов и высокую обновляемость сети. Группировка строится как плотная, относительно недорогая и регулярно обновляемая система, оптимизированная именно под VLEO. Капиталоемкость ниже, чем при симметричном наращивании, однако критической становится технологическая готовность по двигательным установкам, способным обеспечивать длительное баллистическое существование, и наличие регулярного пускового контура.

Комбинированный сценарий сочетает ограниченное, но устойчивое присутствие на отдельных классических высотах LEO (для решения задач, требующих более длительного срока существования отдельных аппаратов) с приоритетным и более плотным освоением VLEO. Такой подход позволяет диверсифицировать риски и использовать преимущества обоих режимов. Он представляется наиболее гибким и реалистичным для российских условий, поскольку не требует немедленного достижения паритета по общему числу аппаратов, но создаёт точки присутствия в ключевых слоях.

Выбор между сценариями определяется не только технологическими возможностями, но и скоростью регуляторной адаптации. Даже наиболее рациональный с технико-экономической точки зрения сценарий теряет эффективность, если процедуры согласования частот, сертификации и получения разрешений на запуск остаются ориентированными на логику единичных тяжёлых аппаратов и растягивают сроки на годы. В этом смысле орбитально-частотный суверенитет оказывается жёстко связан с институциональной готовностью к серийному развёртыванию малых аппаратов.

Для российских условий асимметричный и комбинированный сценарии представляются более реалистичными с учётом ресурсных и санкционных ограничений. Их эффективность зависит от скорости регуляторной адаптации и технологической готовности по двигательным установкам. Своевременное освоение VLEO позволяет перехватить инициативу на этапе, когда конкуренция в этом слое ещё не достигла критического уровня, характерного для классических высот LEO.

2.3. Радиочастотный потенциал и устойчивость суверенных систем

Физическое присутствие аппаратов на орбите необходимо, но недостаточно для обеспечения суверенитета. Не менее важным является радиочастотный аспект – способность национальных систем сохранять работоспособность в условиях возрастающей плотности использования спектра и возможного внешнего радиоэлектронного воздействия, а также закреплять приоритет частотных присвоений.

В сверхплотных сетях особую роль приобретает межспутниковая связь. Радио- и особенно лазерные межспутниковые каналы снижают зависимость группировки от наземной инфраструктуры, повышают её живучесть и позволяют строить более сложные и устойчивые топологии передачи данных. Лазерные линии связи, помимо высокой пропускной способности, обладают повышенной устойчивостью к ряду видов радиоэлектронного противодействия. Для систем, предназначенных для решения государственных задач в условиях возможных внешних ограничений, наличие таких каналов создаёт дополнительный запас прочности.

Важным преимуществом кубсатовских платформ в этом контексте является короткий жизненный цикл и возможность быстрой замены. В отличие от тяжёлых аппаратов, рассчитанных на десять и более лет работы, кубсатные сети могут обновляться с частотой, соизмеримой с изменением помеховой обстановки и появлением новых угроз. Это позволяет оперативнее адаптировать частотные планы, алгоритмы связи и даже архитектуру полезных нагрузок. Обновляемость сети становится самостоятельным фактором устойчивости.

Защита орбитально-частотного суверенитета не сводится исключительно к обязательному физическому присутствию аппаратов. Не менее важным является обеспечение помехоустойчивости и приоритета частотных присвоений. В условиях возрастающей плотности использования спектра способность группировки сохранять работоспособность при внешнем радиоэлектронном воздействии становится критическим параметром. Кубсатовские платформы благодаря относительно короткому жизненному циклу и возможности быстрой замены позволяют оперативнее адаптировать частотные планы и алгоритмы связи.

2.4. Регуляторные детали процедур МСЭ и практические следствия для национальных администраций

Международный союз электросвязи (МСЭ) является специализированным учреждением ООН, отвечающим за глобальную координацию использования радиочастотного спектра

и орбитальных ресурсов. Основные нормы содержатся в Регламенте радиосвязи (Radio Regulations), который имеет силу международного договора и обязателен для администраций государств-членов. Для спутниковых систем ключевое значение имеют процедуры подачи заявок, координации и регистрации в Master International Frequency Register (MIFR).

В рамках Регламента радиосвязи различают планируемые и непланируемые полосы. В планируемых полосах (например, для определённых служб фиксированной спутниковой связи в отдельных диапазонах) распределение орбитальных позиций и частот осуществляется на основе априорных планов, что в большей степени уравнивает возможности администраций. В непланируемых полосах, к которым относится значительная часть спектра, используемого современными мега-группировками на низких околоземных орбитах, действует логика, близкая к принципу first-come, first-served. Администрация, первой подавшая полную информацию (API – Advance Publication Information, затем CR/C – Coordination Request / Coordination) и начавшая координацию, получает приоритет при рассмотрении последующих заявок.

Процедура для негеостационарных спутниковых систем (NGSO) включает несколько этапов. Сначала публикуется предварительная информация (API). Затем подаётся запрос на координацию с детальными техническими параметрами. После успешной координации с затронутыми администрациями и системами заявка может быть внесена в MIFR. Регистрация в MIFR придаёт частотному присвоению международный статус защиты: последующие системы обязаны учитывать его при своей координации. Сроки имеют критическое значение: просрочка этапов может привести к утрате приоритета или исключению заявки.

Особое значение для мега-группировок имеет требование «ввода в эксплуатацию» (bringing into use, BIU). Для сохранения прав на заявленный ресурс администрация должна подтвердить фактическое развёртывание и использование частот в установленные сроки. Для крупных NGSO-систем это стимулирует быстрое физическое развёртывание: чем раньше и в большем объёме аппараты выведены и начали работать, тем устойчивее позиция администрации в рамках процедур МСЭ. Именно поэтому масштабное и быстрое развёртывание, характерное для ведущих коммерческих операторов, имеет не только технический и коммерческий, но и регуляторный смысл.

Для национальных администраций, не обладающих сопоставимыми коммерческими группировками, это создаёт практические следствия. Во-первых, задержка с подачей заявок и началом координации напрямую ослабляет переговорную позицию. Во-вторых, отсутствие фактического присутствия аппаратов на орбите затрудняет обоснование необходимости защиты заявленных параметров. В-третьих, даже при наличии заявок, если они не подкреплены работающими системами, их статус в координационных переговорах оказывается слабее. Принцип орбитального присутствия в этом контексте приобретает дополнительное регуляторное измерение: физическое развёртывание кубсатных группировок на VLEO и в других перспективных слоях не только создаёт

фактическую плотность, но и укрепляет юридическую позицию национальной администрации в рамках процедур МСЭ.

Отдельного внимания заслуживает вопрос электромагнитной совместимости. При координации администрация новой системы должна продемонстрировать, что её работа не создаёт недопустимых помех уже зарегистрированным или находящимся в координации системам. В условиях высокой плотности это часто приводит к необходимости введения ограничений по мощности, диаграммам направленности, углу места и другим параметрам. Для поздних участников такие ограничения могут существенно снижать эффективность системы. Своевременное закрепление собственных присвоений снижает вероятность того, что национальные системы окажутся в положении «догоняющих», вынужденных адаптироваться к уже установленным ограничениям.

Россия как государство-член МСЭ имеет полноценные права на подачу заявок, участие в координации и регистрацию присвоений. Реализация этих прав, однако, зависит от внутренней готовности: наличия согласованных технических параметров систем, готовности операторов к быстрому развёртыванию, а также от координации между ведомствами, отвечающими за частотную политику, космическую деятельность и международное представительство. Упрощение внутренних процедур согласования частот для стандартизированных кубсатов и ускорение цикла «заявка – координация – развёртывание» напрямую влияют на эффективность использования инструментов МСЭ.

Таким образом, регуляторная рамка МСЭ не создаёт непреодолимых барьеров для национальных администраций, но она ставит премию за скорость, масштаб и фактическое присутствие. Кубсатовские группировки на сверхнизких орбитах, благодаря относительно низкой стоимости отдельных аппаратов и возможности быстрого обновления, хорошо соответствуют этой логике. Их развёртывание может одновременно решать задачи экономического развития, технологической квалификации и укрепления орбитально-частотного суверенитета в рамках действующих международных процедур.

Орбитально-частотный суверенитет в эпоху мега-группировок достигается не отдельным технологическим решением, а сочетанием четырёх элементов: своевременного физического присутствия на перспективных орбитах (прежде всего на VLEO), закрепления частотных приоритетов через процедуры МСЭ, построения сетей, устойчивых к внешнему воздействию за счёт межспутниковой связности и высокой частоте обновления аппаратов на орбитальных позициях, а также внутренней институциональной готовности к быстрому циклу «заявка – координация – развёртывание». Кубсатовские группировки на сверхнизких орбитах представляют собой один из наиболее реалистичных инструментов реализации этого сочетания в российских условиях. Их эффективность напрямую зависит от согласованности технологической политики (двигательные установки, серийное производство), регуляторной адаптации (упрощение процедур) и внешнеполитической линии (использование компетенций в международных форматах).

Переход от констатации угрозы к практической политике требует ответа на вопрос о барьерах, которые препятствуют реализации описанных сценариев, и о конкретных шагах по их преодолению. Этому посвящена четвёртая глава обзора.

Глава 3. Политико-стратегическое измерение: интеграция в государственную политику и международные альянсы

Экономические и орбитально-частотные преимущества массовых группировок кубсатов реализуются в полной мере лишь при их встраивании в более широкий политико-стратегический контекст. Для России это означает использование кубсатных систем как инструмента достижения целей Национального проекта «Космос» и повышения устойчивости отечественной космической инфраструктуры, а также превращение компетенций в области малых аппаратов в ресурс международной научной и экономической дипломатии. Особое значение в этом измерении приобретает площадка БРИКС и потребности университетской науки стран объединения – как канал формирования спроса, подготовки кадров и совместного технологического развития.

Настоящая глава рассматривает два взаимосвязанных направления. Первое – роль массовых группировок кубсатов в достижении целей Национального проекта «Космос» и в преодолении технологического барьера, связанного с электронно-компонентной базой. Второе – международный вектор: возможности использования площадки БРИКС, ЕАЭС и взаимодействия со странами Глобального Юга, с акцентом на университетскую науку как драйвер кооперации и на формирование совместных группировок и сервисов как инструмент научной и экономической дипломатии.

3.1. Роль массовых группировок кубсатов в достижении целей Национального проекта «Космос»

Национальный проект «Космос» (утверждён в 2025 году, старт реализации – 2026 год) задаёт рамку государственной политики в космической сфере на период до 2036 года. По открытым оценкам, совокупное финансирование составляет порядка 4,4–5+ трлн рублей (бюджетные и внебюджетные источники). В составе проекта – развитие спутниковых группировок связи и наблюдения, суверенный доступ в космос, навигация, наука и кадры. Кубсатные решения вписываются в эту логику как элемент гибкой и относительно быстро обновляемой инфраструктуры.

В отличие от тяжёлых аппаратов с длительным циклом разработки и высокой стоимостью единичного отказа, кубсатовские сети допускают постепенное наращивание возможностей и оперативную замену отдельных элементов. Это повышает устойчивость инфраструктуры к внешним шокам – как технологическим, так и санкционным. Гибкость проявляется и в возможности быстрой адаптации к изменяющимся приоритетам государственной политики: потребности в мониторинге отдельных регионов, контроле транспортных коридоров или обеспечении связи в удалённых районах могут быть

оперативно удовлетворены за счёт перенацеливания существующих аппаратов или ускоренного запуска дополнительных.

Особое значение имеет роль серийных малых аппаратов в преодолении технологического барьера, связанного с электронно-компонентной базой и приборостроением. Традиционный путь квалификации отечественной ЭКБ для космического применения занимает годы. Развёртывание кубсатовских группировок создаёт возможность ускоренной «космической квалификации» в реальных условиях орбитального полёта. Аппараты малого класса позволяют отрабатывать новые компоненты, программные решения и полезные нагрузки в сжатые сроки, накапливая статистику отказов и подтверждая надёжность. Таким образом, группировки выполняют не только прикладную, но и технологическую функцию – служат полигоном для ускоренного развития суверенной элементной базы.

Интеграция кубсатовских решений в Нацпроект требует явной артикуляции задачи снижения удельной стоимости малых аппаратов и упрощения регуляторных процедур как приоритетов. Без этого инициативы, связанные с использованием кубсатов, рискуют остаться на периферии федеральных программ, ориентированных на более традиционные форматы. При последовательном включении в логику проекта серийные группировки могут стать одним из наиболее реалистичных инструментов одновременного решения задач экономического развития, технологической квалификации и орбитально-частотного присутствия.

С точки зрения кадровой политики Нацпроекта кубсатные программы также играют важную роль. Университетские и студенческие миссии, выполняемые на стандартизированных платформах, формируют практический опыт проектирования, интеграции, испытаний и эксплуатации. Это сокращает разрыв между академической подготовкой и требованиями отрасли. Совместные миссии с университетами стран БРИКС дополнительно расширяют эту функцию: российские студенты и молодые специалисты получают опыт международного сотрудничества, а партнёры – доступ к отработанным процедурам и инфраструктуре.

3.2. Площадка БРИКС как инструмент космической экономики и космической политики

Международное измерение тематики использования кубсатов открывает возможности для укрепления позиций России в рамках объединений БРИКС и Евразийского экономического союза. Совместные группировки малых аппаратов и сервисы на их основе могут выполнять функцию инструмента научной и экономической дипломатии. Участие в таких проектах позволяет странам-партнёрам получать доступ к космическим данным и технологиям без необходимости создания полной национальной космической индустрии, а России – закреплять роль технологического и организационного лидера.

БРИКС в расширенном составе (включая новых членов) объединяет страны с существенно различающимся уровнем развития космических компетенций, но со

схожими потребностями: в мониторинге природных ресурсов и сельского хозяйства, в обеспечении связи на обширных и удалённых территориях, в экологическом контроле, в подготовке кадров. Формат малых аппаратов и стандартизированных платформ особенно хорошо подходит для удовлетворения этих потребностей: относительно низкий порог входа, короткие циклы разработки и возможность адаптации полезных нагрузок под региональные задачи.

В отличие от крупных межгосударственных космических программ, требующих многолетних согласований и значительных политических инвестиций, кубсатные проекты допускают более гибкие форматы. Возможны двусторонние соглашения между университетами, участие частных компаний, поэтапное наращивание от образовательных демонстраторов к прикладным группировкам. Это снижает транзакционные издержки и позволяет быстрее переходить от деклараций к практическим результатам. Для российской стороны такая гибкость означает возможность выстраивать портфель проектов разного масштаба и разной степени вовлечённости государства.

Потребности университетской науки стран БРИКС как драйвер кооперации

Университетская наука стран БРИКС представляет собой один из наиболее перспективных каналов для развития совместных инициатив в сфере использования кубсатов. Во многих странах объединения университеты уже имеют опыт создания и запуска малых аппаратов (образовательные и технологические демонстраторы), но сталкиваются с ограничениями по доступу к регулярному выведению, к отработанным служебным платформам, к системам обработки данных и к устойчивому финансированию серийных программ. Россия, обладая производственной базой, опытом запусков и компетенциями в области платформ и полезных нагрузок, может выступать поставщиком решений «под ключ» и партнёром по совместным миссиям.

Потребности университетской науки в этом контексте включают несколько взаимосвязанных элементов. Во-первых, доступ к стандартизированным служебным шинам и интерфейсам, позволяющим сосредоточиться на полезной нагрузке, а не на создании служебных систем с нуля. Во-вторых, возможность интеграции собственных полезных нагрузок в совместные миссии и получение полётных данных. В-третьих, участие в совместных орбитальных экспериментах, направленных на отработку приборов, алгоритмов и методов обработки. В-четвёртых, доступ к данным и аналитическим сервисам, формируемым группировками. В-пятых, подготовка кадров через совместные образовательные и исследовательские программы, стажировки и обмен.

Удовлетворение этих потребностей через совместные кубсатовские проекты создаёт несколько эффектов одновременно. Во-первых, формируется устойчивый спрос на российские платформы, услуги по интеграции и запуску, а также на аналитические сервисы. Это расширяет рынок за пределы внутреннего государственного заказа и создаёт дополнительную загрузку производственных мощностей. Во-вторых, накапливается статистика полётов и квалификации отечественной ЭКБ в международных миссиях, что ускоряет технологическое развитие. В-третьих, укрепляются научно-технические связи,

которые выходят за рамки разовых проектов и создают основу для долгосрочной кооперации в рамках БРИКС и за его пределами.

Практическим направлением здесь выступает поставка решений «под ключ»: стандартизированных платформ, услуг по подготовке и проведению запусков, аналитических сервисов обработки данных. Для университетов и небольших исследовательских центров стран БРИКС такие пакетные предложения снижают барьеры входа и позволяют сосредоточиться на прикладных задачах и полезных нагрузках. При этом сохраняется возможность адаптации решений под региональные задачи – от мониторинга сельского хозяйства и водных ресурсов до контроля транспортных потоков и экологического состояния. Для российской стороны это означает не только экспорт продукции и услуг, но и формирование экосистемы, в которой партнёры становятся долгосрочными пользователями и совместными разработчиками.

Таблица 3.1. Потенциальные направления кооперации в формате БРИКС на базе кубсатных платформ

Направление	Потребность стран-партнёров	Возможный вклад России
Образовательные и технологические демонстраторы	Доступ к орбите, платформам, данным	Стандартные шины, интеграция, запуск, обработка
Мониторинг АПК и природных ресурсов	Регулярные данные, аналитика	Группировки ДЗЗ, DaaS, совместные миссии
Связь и IoT на удалённых территориях	Покрытие, низкая стоимость терминалов	Платформы, частоты, сервисы
Подготовка кадров	Совместные программы, стажировки	Университетские миссии, обмен
Квалификация ЭКБ и приборов	Доступ к полётной статистике	Совместные полёты, полигон

Источник: качественный анализ потребностей и компетенций на основе открытых данных о космических программах стран БРИКС и логики кубсатных платформ.

Совместные группировки и сервисы как инструмент дипломатии

Совместные кубсатные группировки и сервисы на их основе могут выполнять функцию инструмента научной и экономической дипломатии. В отличие от крупных межгосударственных программ с длительными циклами согласования и высокой политической чувствительностью, проекты на базе малых аппаратов допускают более гибкие форматы: двусторонние и многосторонние соглашения, участие университетов и частных компаний, поэтапное наращивание. Это снижает транзакционные издержки и позволяет быстрее переходить от деклараций к практическим результатам.

Участие в международных кубсатовских инициативах укрепляет и переговорные позиции России в вопросах регулирования орбитально-частотного ресурса. Наличие работающих

совместных группировок и подтверждённых компетенций повышает вес аргументов при обсуждении правил использования спектра и орбит на площадках МСЭ и в других международных форматах. Кроме того, совместные проекты создают каналы влияния на формирование технического и нормативного ландшафта в странах-партнёрах, что в долгосрочной перспективе способствует совместимости стандартов и упрощению дальнейшей кооперации.

Для стран Глобального Юга, заинтересованных в развитии собственного космического потенциала, но ограниченных в ресурсах, пакетные предложения на базе кубсатных платформ снижают барьеры входа и создают основу для долгосрочного сотрудничества. При этом Россия сохраняет возможность выступать не только поставщиком техники, но и организатором экосистемы: от подготовки кадров и совместных исследований до интеграции данных в региональные информационные системы. Такой подход соответствует логике «мягкой силы» и одновременно решает задачи загрузки отечественной производственной базы и накопления полётной статистики.

Важным условием устойчивости международной кооперации является предсказуемость правил передачи прав на результаты интеллектуальной деятельности и распределения прав на данные. Неопределённость в этих вопросах повышает риски для всех участников и может сдерживать вовлечение университетов и частных компаний. Прозрачные и согласованные рамки в рамках БРИКС или двусторонних соглашений снижают эти риски и облегчают масштабирование успешных пилотных проектов.

3.3. Синтез национального и международного измерений

Национальный проект «Космос» и международная кооперация в формате БРИКС не являются альтернативными треками – они взаимно усиливают друг друга. Внутренний спрос и государственное финансирование создают якорный рынок и позволяют отрабатывать технологии и снижать удельную стоимость. Международный спрос со стороны университетов и государственных программ стран БРИКС расширяет рынок, обеспечивает дополнительную загрузку производственных мощностей и создаёт каналы научной дипломатии. Совместные миссии одновременно служат полигоном квалификации отечественной ЭКБ и инструментом укрепления связей.

Критическим условием реализации этого синтеза остаётся институциональная готовность: упрощение процедур для стандартизированных малых аппаратов, прозрачные правила передачи прав на результаты интеллектуальной деятельности в международных проектах, механизмы поддержки участия университетов и частных компаний. Без этих элементов даже наличие технологического задела и политического интереса партнёров не гарантирует устойчивого потока проектов.

С точки зрения космической политики использование площадки БРИКС и потребностей университетской науки стран объединения позволяет решать несколько задач одновременно. Во-первых, расширяется рынок для отечественных платформ и сервисов, что способствует снижению удельной стоимости за счёт серийности. Во-вторых,

укрепляются научно-технические и политические связи, повышающие вес России в международных форматах. В-третьих, создаётся дополнительный канал квалификации технологий и кадров. В-четвёртых, формируется образ России как поставщика доступных и адаптируемых космических решений для стран с ограниченными ресурсами – образ, который работает и на экономику, и на мягкую силу.

Таким образом, политико-стратегическое измерение кубсатных группировок связывает внутренние задачи технологического развития и орбитально-частотного суверенитета с внешними возможностями научной и экономической дипломатии. Площадка БРИКС и потребности университетской науки стран объединения представляют собой один из наиболее реалистичных и быстро реализуемых каналов для превращения компетенций в области малых аппаратов в устойчивый ресурс российской космической политики. Реализация этого потенциала зависит от согласованности действий в рамках Нацпроекта «Космос», регуляторной адаптации и целенаправленной работы с университетами и ведомствами стран-партнёров.

Глава 4. Системные барьеры и дорожная карта их преодоления

Реализация потенциала массовых группировок кубсатов на сверхнизких орбитах упирается в ряд системных ограничений. Эти ограничения носят не столько чисто технологический, сколько институциональный, инфраструктурный, информационный и организационный характер: существующие процедуры, нормы и производственные цепочки во многом сохраняют логику, сформированную в эпоху штучных тяжёлых аппаратов, а дефицит открытых отраслевых данных и специализированной подготовки кадров дополнительно замедляет формирование рынка. Без целенаправленного преодоления этих барьеров даже наличие технологического задела и политического интереса не гарантирует перехода от единичных демонстрационных миссий к промышленному развёртыванию группировок.

Настоящая глава структурирована следующим образом. В первом разделе рассматриваются нормативно-правовые и административные барьеры. Во втором – технологические и инфраструктурные ограничения. В третьем – дефицит публичной и отраслевой информации, отсутствие специализированных изданий и бизнес-подготовки. В четвёртом разделе формулируется дорожная карта рекомендаций по горизонтам с учётом всех выявленных барьеров.

4.1. Нормативно-правовые и административные барьеры

Одним из наиболее ощутимых препятствий остаётся сохранение процедур сертификации, лицензирования и согласования, ориентированных на логику государственного оборонного заказа и тяжёлых космических аппаратов. Для малых аппаратов с коротким жизненным циклом такие процедуры создают непропорционально высокие транзакционные издержки и растягивают сроки. Сравнение с международной практикой (упрощённые режимы в ряде юрисдикций ЕС, адаптация подходов FCC к малым аппаратам и группировкам, образовательные треки в программах NASA, ESA, JAXA)

показывает, что регуляторная нагрузка может и должна быть соразмерна классу аппарата и риску.

Отдельный блок проблем связан с передачей прав на результаты интеллектуальной деятельности и механизмами ГЧП: неопределённость в распределении прав на данные, ПО и конструктивные решения повышает риски частных и международных участников. Длительный внутренний цикл согласования частот дополнительно разрушает экономику серийных программ. Введение режимов Fast Track для стандартизированных кубсатов, прозрачных правил РИД и типовых рамок для проектов БРИКС – прямые меры снижения этих барьеров.

4.2. Технологические и инфраструктурные ограничения

Ключевым технологическим ограничением для VLEO остаётся обеспечение баллистического существования: без компактных и относительно недорогих двигательных установок экономические преимущества сверхнизких орбит не реализуются. «Узкое горлышко» пусковой инфраструктуры (зависимость rideshare от расписания основных миссий, ограниченность отечественного контура лёгких/микроносителей) снижает регулярность и предсказуемость выведения. Квалификация элементной базы (в том числе COTS) требует накопления полётной статистики; кубсатные и совместные университетские миссии могут служить полигоном, но нуждаются в согласованных программах сбора и анализа данных.

4.3. Дефицит публичной и отраслевой информации, специализированных изданий и бизнес-подготовки

Отдельный, часто недооцениваемый системный барьер – дефицит открытой, структурированной и регулярно обновляемой информации о сегменте кубсатов и малых аппаратов, а также практически полное отсутствие специализированных бизнес-тренингов и акселераторов коммерческой направленности. Этот барьер проявляется в двух измерениях: производственно-техническом и коммерческом.

В производственно-техническом измерении открытые источники данных о запусках, составе группировок и статусе миссий существуют (Nanosats Database, Jonathan's Space Report / GCAT, CelesTrak, KeepTrack, каталоги UCS), однако они носят преимущественно учётный характер и не заменяют отраслевых обзоров технологий, отказов, стоимости и лучших практик проектирования. Специализированные рецензируемые издания, ориентированные именно на малые спутники, немногочисленны. Среди них выделяется Journal of Small Satellites (JoSS) – одно из немногих peer-reviewed изданий, изначально созданных для тематики small satellites. NASA ежегодно публикует открытый доклад State-of-the-Art of Small Spacecraft Technology, суммирующий доступные на рынке подсистемы и тенденции. Конференции (в частности, AIAA/USU Conference on Small Satellites) остаются важным каналом обмена, но их материалы не всегда систематизируются в доступные отраслевые базы. В результате инженеры и руководители проектов вынуждены собирать информацию из разрозненных источников, что повышает транзакционные издержки и замедляет обучение.

В коммерческом измерении дефицит ещё более выражен. Открытых регулярных обзоров юнит-экономики кубсатных миссий, структуры затрат, моделей ценообразования на данные и сервисы, практики ГЧП и офсетных схем крайне мало. Рыночные отчёты коммерческих аналитических агентств (оценки объёма рынка CubeSat, прогнозы CAGR) существуют, но часто носят закрытый или дорогостоящий характер и не заменяют открытой отраслевой дискуссии. Специализированные бизнес-тренинги и акселераторы, ориентированные именно на коммерциализацию малых спутниковых систем и сервисов (а не на общие темы New Space или стартапов), практически отсутствуют как в международной, так и в российской практике. Это затрудняет формирование компетенций у менеджеров, инвесторов и представителей заказчиков и замедляет переход от технологических демонстраторов к устойчивым бизнес-моделям.

Международная практика: что уже делается

В ряде стран и международных организаций сформированы элементы инфраструктуры знаний и подготовки, которые частично закрывают описанный дефицит. NASA Small Spacecraft Systems Virtual Institute и ежегодный доклад State-of-the-Art of Small Spacecraft Technology обеспечивают открытый обзор доступных технологий и подсистем. Journal of Small Satellites создаёт площадку для рецензируемых публикаций. ESA Academy проводит CubeSat Hands-On Training Week – практические тренинги для университетских команд. Программы NASA CubeSat Launch Initiative (CSLI), ESA Fly Your Satellite!, JAXA/UNOOSA KiboCUBE сочетают доступ к запуску с методической поддержкой и обменом опытом. AIAA и коммерческие поставщики (например, SSTL) предлагают курсы по системной инженерии и сборке малых аппаратов. Университетские STEM-программы (Irvine CubeSat STEM Program и аналоги) вовлекают школьников и студентов в полный цикл создания аппарата. Эти инициативы в основном образовательные и технологические; коммерческая составляющая (юнит-экономика, продажи данных, привлечение капитала) представлена слабее, но инфраструктура обмена техническими знаниями и подготовки кадров существенно развитее, чем в сегменте, ориентированном исключительно на внутренний рынок.

В России сформированы важные образовательные и запусковые треки. Программа «УниверСат» Госкорпорации «Роскосмос» обеспечила вывод десятков университетских кубсатов и создание сквозных цепочек «аппарат – данные – сервис» в интересах отдельных ведомств. Проект Space-π (Фонд содействия инновациям при поддержке Роскосмоса) вовлекает школьников и студентов в создание наноспутников. Федеральный проект «Кадры для космоса» предусматривает гранты вузам на разработку и запуск студенческих аппаратов, а также образовательные программы по проектированию малых КА (примеры – курсы в ТУСУРе, ЮУрГУ и других вузах). Эти инициативы закрывают часть кадрового и демонстрационного контура. Вместе с тем специализированные отраслевые издания коммерческой и производственно-экономической направленности, регулярные открытые обзоры юнит-экономики и бизнес-акселераторы, ориентированные на коммерциализацию кубсатных сервисов, практически отсутствуют. Дефицит

информации и бизнес-подготовки остаётся структурным ограничением для перехода от образовательных и технологических миссий к промышленному сегменту.

Таблица 4.3. Сравнение элементов инфраструктуры знаний и подготовки (международная практика и Россия)

Элемент	Международная практика (примеры)	Россия (состояние)
Открытые технологические обзоры	NASA SOTA Small Spacecraft (ежегодно)	Разрозненные источники; нет аналога
Рецензируемые издания (smallsat)	Journal of Small Satellites (JoSS)	Ограниченно; в основном общие журналы
Практические тренинги (hands-on)	ESA Academy, AIAA, SSTL, KiboCUBE	УниверСат, Space-π, курсы вузов
Программы доступа к запуску + mentorship	CSLI (NASA), FYS (ESA), KiboCUBE	УниверСат, гранты «Кадры для космоса»
Бизнес-акселераторы / коммерческие тренинги	Слабо представлены даже на Западе	Практически отсутствуют
Открытая юнит-экономика и market data	Частично (рыночные отчёты, платные)	Крайне ограничена

Источники: NASA SOTA reports (nasa.gov); Journal of Small Satellites; ESA Academy; программы CSLI, FYS, KiboCUBE; открытые материалы Роскосмоса по «УниверСат» и Space-π; федеральный проект «Кадры для космоса» (2025–2026).

Дефицит информации и бизнес-подготовки имеет прямые последствия для дорожной карты. Без регулярных открытых обзоров технологий, отказов и стоимости затрудняется обучение и снижение удельной стоимости. Без коммерческих тренингов и акселераторов замедляется формирование компетенций у менеджеров и инвесторов, необходимых для моделей DaaS и ГЧП. Поэтому меры по созданию элементов инфраструктуры знаний (отраслевые обзоры, площадки обмена, пилотные бизнес-программы) должны быть включены в краткосрочный и среднесрочный горизонты наряду с регуляторными и технологическими мерами.

4.4. Дорожная карта рекомендаций (с учётом информационного и кадрового барьера)

Рекомендации группируются по горизонтам. В краткосрочный горизонт дополнительно включены меры по запуску элементов инфраструктуры знаний и пилотных бизнес-программ.

Краткосрочный горизонт (1–2 года)

- Ввести процедуры Fast Track для стандартизированных кубсатов и пилотный механизм гарантированного спроса на данные (DaaS) по приоритетным направлениям.

- Запустить программу льготного страхования и пилотные совместные университетские миссии в формате БРИКС.
- Инициировать регулярный открытый отраслевой обзор технологий и практик малых аппаратов (аналог NASA SOTA) и пилотную площадку обмена данными об отказах и стоимости.
- Запустить пилотный бизнес-тренинг / акселератор по коммерциализации кубсатовских сервисов (юнит-экономика, DaaS, ГЧП) для менеджеров, представителей заказчиков и стартапов.

Среднесрочный горизонт (3–5 лет)

- Приоритизировать НИОКР по двигательным установкам для VLEO и развитие пускового контура для малых аппаратов.
- Утвердить прозрачные правила РИД в ГЧП и международных проектах; обеспечить серийное производство стандартизированных шин.
- Институционализировать отраслевой обзор и бизнес-программы (регулярный выпуск, интеграция в подготовку кадров Нацпроекта «Космос»).

Долгосрочный горизонт (5–10 лет)

- Сформировать устойчивую экосистему операторов и производителей, интегрированную с Нацпроектом «Космос».
- Использовать компетенции для международной кооперации (БРИКС) и постоянного орбитального присутствия; обеспечить экспорт платформ и сервисов.

Таблица 4.4. Сводка дорожной карты (обновлённая)

Горизонт	Приоритетные меры	Ожидаемый эффект
1–2 года	Fast Track; DaaS-пилот; страхование; БРИКС-пилоты; отраслевой обзор; бизнес-тренинг	Сроки; спрос; знания; коммерческие компетенции
3–5 лет	ДУ VLEO; пуски; РИД; серийные шины; институционализация обзоров	Модель VLEO; серия; снижение рисков; кадры
5–10 лет	Экосистема; кооперация БРИКС; постоянное присутствие	Рынок; суверенитет; экспорт

Источник: синтез анализа барьеров (разделы 4.1–4.3) и логики предыдущих глав.

Реализация дорожной карты не требует создания параллельной отрасли. Она предполагает целевую адаптацию институтов и приоритетов к логике серийного производства, короткого жизненного цикла, плотного орбитального присутствия и открытого обмена знаниями. Критическими условиями успеха остаются согласованность ведомств, финансирование технологических bottleneck'ов, якорный спрос на данные и политическая поддержка международной кооперации. Меры по устранению информационного и кадрово-коммерческого дефицита повышают отдачу от всех остальных направлений: без

знаний и компетенций регуляторные и технологические инвестиции дают меньший эффект.

Заключение

Проведённый анализ показывает, что массовое серийное производство и развёртывание многоспутниковых группировок кубсатов на сверхнизких орбитах представляет собой не частное технологическое решение, а системный инструмент, способный одновременно решать задачи экономического развития и защиты национального орбитально-частотного суверенитета. Синергетический эффект концепции заключается в объединении этих двух измерений: то, что укрепляет экономическую устойчивость группировок (серийность, относительно низкая удельная стоимость, естественная утилизация на VLEO, модели Data-as-a-Service), одновременно усиливает способность фиксировать национальный приоритет в орбитальном пространстве и закреплять частотные присвоения в рамках процедур Международного союза электросвязи.

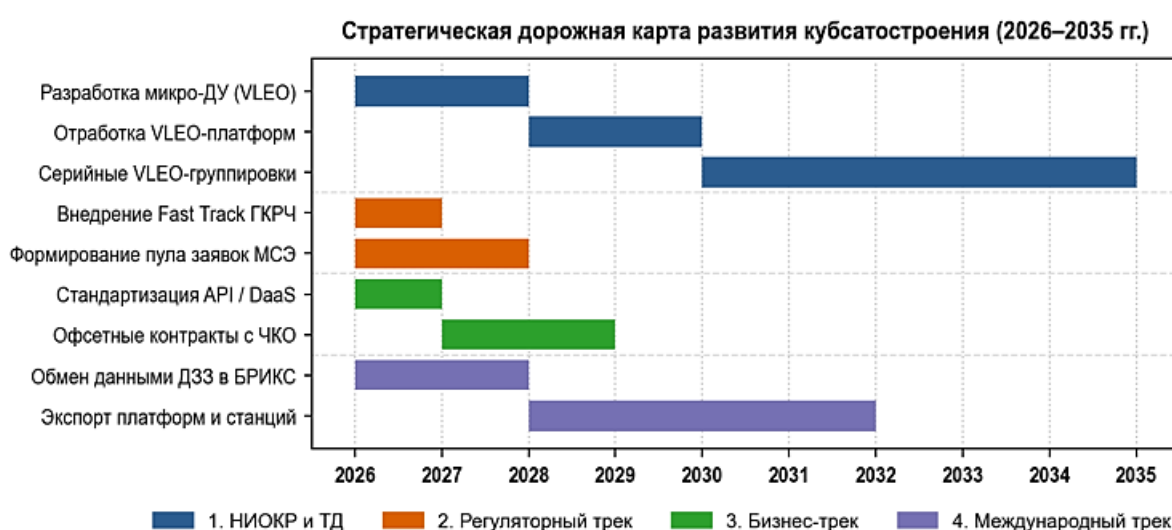
Экономическая логика, изложенная в первой главе, демонстрирует переход от штучного производства к конвейерному и от максимизации срока службы отдельного аппарата к оптимизации потока услуг обновляемой группировки. Удельная стоимость одного аппарата оказывается центральным параметром: без её радикального снижения группировки либо не разворачиваются в необходимом масштабе, либо требуют непропорциональных капитальных затрат. Рычаги снижения себестоимости – стандартизация и повторное использование отработанных решений, серийность, снижение рекуррентных затрат (в том числе переход на более доступную элементную базу), распределение нереккуррентных затрат, ослабление требований к единичной надёжности в пользу системной, а также институциональные меры – действуют в совокупности. Сверхнизкие орбиты усиливают этот эффект за счёт упрощения полезных нагрузок и естественной утилизации, но только при условии решения технологического bottleneck'а двигательных установок.

Орбитально-частотное измерение, рассмотренное во второй главе, показывает, что стратегия first-come, first-served, реализуемая ведущими зарубежными операторами мега-группировок, формирует реальные риски монополизации ресурса. Принцип плотного орбитального присутствия на VLEO выступает практическим ответом: своевременное физическое и частотное заполнение относительно менее насыщенного слоя создаёт и фактические, и юридические основания приоритета. Регуляторные детали процедур МСЭ (этапы API – координация – регистрация в MIFR, требование ввода в эксплуатацию, логика электромагнитной совместимости) делают скорость развёртывания и наличие работающих систем критическими факторами переговорной позиции национальной администрации. Кубсатовские группировки благодаря относительно низкой стоимости отдельных аппаратов и высокой обновляемости хорошо соответствуют этой логике.

Политико-стратегический контекст, раскрытый в третьей главе, связывает внутренние задачи технологического развития с внешними возможностями научной и экономической

дипломатии. Национальный проект «Космос» задаёт институциональную рамку и якорный спрос; серийные малые аппараты вписываются в него как элемент гибкой инфраструктуры и полигон ускоренной квалификации отечественной элементной базы. Площадка БРИКС и потребности университетской науки стран объединения представляют собой один из наиболее реалистичных каналов расширения рынка, накопления полётной статистики и укрепления научно-технических связей. Совместные группировки и сервисы на базе стандартизированных платформ снижают барьеры входа для партнёров и одновременно загружают отечественные производственные мощности, создавая образ России как поставщика доступных и адаптируемых космических решений.

Реализация потенциала сдерживается системными барьерами, проанализированными в четвёртой главе. Нормативно-правовые и административные ограничения (процедуры, ориентированные на тяжёлые аппараты, неопределённость в правах на РИД, длительный цикл согласования частот) повышают транзакционные издержки и разрушают преимущество скорости. Технологические и инфраструктурные bottleneck'ы (двигательные установки для VLEO, регулярность и стоимость выведения, квалификация ЭКБ) определяют, возможна ли вообще экономическая модель длительной работы на сверхнизких орбитах. Отдельный, часто недооцениваемый барьер – дефицит публичной и отраслевой информации, специализированных изданий производственно-технической и коммерческой направленности, а также практически полное отсутствие бизнес-тренингов и акселераторов, ориентированных на коммерциализацию кубсатных сервисов. Международная практика (ежегодные доклады NASA State-of-the-Art of Small Spacecraft Technology, Journal of Small Satellites, практические тренинги ESA Academy, программы CSLI, Fly Your Satellite!, KiboCUBE) показывает, что элементы инфраструктуры знаний и подготовки могут быть созданы; в России образовательные и запусковые треки («УниверСат», Space-п, «Кадры для космоса») уже работают, но коммерческая и аналитическая составляющая остаётся слабым звеном.



Дорожная карта, сформулированная по итогам анализа, группирует меры по горизонтам. На краткосрочном горизонте (1–2 года) приоритетны процедуры Fast Track, пилотный

гарантированный спрос на данные в модели DaaS, льготное страхование, пилотные совместные миссии в формате БРИКС, запуск регулярного открытого отраслевого обзора технологий и практик малых аппаратов, а также пилотный бизнес-тренинг по коммерциализации кубсатных сервисов. На среднесрочном горизонте (3–5 лет) – приоритетные НИОКР по двигательным установкам для VLEO, развитие пускового контура, утверждение прозрачных правил передачи прав на РИД, серийное производство стандартизированных шин и институционализация отраслевых обзоров и бизнес-программ. На долгосрочном горизонте (5–10 лет) – формирование устойчивой экосистемы операторов и производителей, расширение международной кооперации и обеспечение постоянного орбитального присутствия как элемента суверенитета.

Итоговые тезисы для руководства отрасли и профильных ведомств

- Рассматривать массовые группировки кубсатов на VLEO как один из приоритетных инструментов одновременного решения задач экономической отдачи и орбитально-частотного суверенитета.
- Обеспечить целевую адаптацию процедур сертификации, лицензирования и согласования частот под специфику малых аппаратов, введя режим «быстрого трека» для стандартизированных платформ.
- Сформировать механизмы гарантированного государственного спроса на данные в модели Data-as-a-Service и институт льготного страхования рисков частных операторов.
- Приоритизировать разработку и квалификацию компактных двигательных установок для управляемого существования на сверхнизких орбитах и развитие пускового контура для серийных нужд.
- Использовать компетенции в области кубсатных платформ и сервисов как ресурс международной кооперации в рамках БРИКС, опираясь на потребности университетской науки стран объединения.
- Устранить дефицит отраслевой информации и бизнес-подготовки: инициировать регулярный открытый обзор технологий и практик малых аппаратов и пилотные программы коммерческой подготовки кадров.
- Упростить и сделать прозрачными правила передачи прав на результаты интеллектуальной деятельности в проектах ГЧП и международных инициативах.

Реализация этих тезисов не требует построения параллельной космической отрасли. Она предполагает последовательную переориентацию существующих институтов, процедур и приоритетов на логику серийного производства, короткого жизненного цикла, плотного орбитального присутствия и открытого обмена знаниями. При таком подходе кубсатные группировки на сверхнизких орбитах способны стать одним из наиболее реалистичных и экономически обоснованных инструментов укрепления технологического и орбитального суверенитета России – инструментом, который одновременно работает на внутренний рынок данных и сервисов, на квалификацию отечественной элементной базы и на международную научно-техническую дипломатию.

Об авторе

Кальченко Александр Николаевич

кандидат технических наук, генеральный директор Агентства по сетевым, информационным и коммуникационным технологиям, член Экспертного совета АНО «Космическая экономика и политика»

Александр Николаевич Кальченко – специалист в области космической экономики, организации бизнеса, финансового менеджмента и экспертной оценки проектов. Общий стаж профессиональной деятельности составляет более 50 лет, из них свыше 30 лет – на руководящих должностях.

Образование: Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, факультет вычислительной математики и кибернетики (математика, прикладная математика, 1980 год); Всесоюзная академия внешней торговли, факультет инвестиционного сотрудничества (экономист-международник со знанием иностранного языка, 1990 год.). Кандидат технических наук; диссертационная работа, защищённая в Совете Московского военного института радиоэлектроники Космических войск МО РФ, связана с разработкой метода оценки безопасности точек стояния геостационарных космических объектов.

В профессиональной биографии – руководящие позиции в организациях различного профиля, в том числе: вице-президент по развитию АО «Фармацевтический импорт-экспорт» (бывшее Главное аптечное управление Минздрава СССР); финансовый директор компании «Интернет-холдинг Рамблер» (один из трёх основателей проекта, первый финансовый директор); заместитель генерального директора Особого конструкторского бюро Московского энергетического института ОКБ МЭИ (Роскосмос); заместитель директора Центра дальней космической связи ОКБ МЭИ «Медвежья озёра» (Роскосмос); заведующий кафедрой экономики, права и международного предпринимательства Московского института международного бизнеса при Академии внешней торговли (МИМБ ВАВТ).

В течение 11 лет работал приглашённым экспертом и руководителем группы экспертов Фонда Бортника; подготовлено более 800 экспертных заключений по проектам различной стоимости и уровня сложности (фармацевтика, экономика, космос, разработка программного обеспечения и технологических стеков). Непосредственное участие в реструктуризации ряда компаний фармацевтической отрасли, ОКБ МЭИ и более десяти средних предприятий сферы информационных технологий.

Ключевые компетенции: организация бизнеса и структурирование бизнес-процессов; космическая экономика и менеджмент; управление затратами и финансовый менеджмент; экспертная оценка проектов (включая независимые экспертизы, дью-дилидженс и оценку

стоимости); разработка эконометрических моделей; проектирование и разработка высоконагруженных корпоративных и прикладных программных систем; исследования в области обработки больших массивов данных, в том числе результатов сейсморазведки и дистанционного зондирования Земли.

Сфера профессиональных интересов включает космическую экономику, аналитическую работу по развитию сегмента малых космических аппаратов и формирование практических подходов к снижению удельной стоимости и повышению конкурентоспособности отечественных решений.