АВТОНОМНАЯ НЕКОММЕРЧЕСКАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ
ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР МГТУ ИМ. Н.Э. БАУМАНА»
(АНО ДО «НОЦ МГТУ ИМ. Н.Э. БАУМАНА»)

УТВЕРЖДАЮ
Президент АНО ДО «НОЦ
МГТУ им. Н.Э. Баумана»

_____ /Шах О.А./

«25» июня 2025 г.

ОТЧЁТ О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАКЕТ-НОСИТЕЛЕЙ МАЛОЙ ГРУЗОПОДЪЁМНОСТИ

Москва 2025

Реферат

Отчет 99 с., 1 кн., 45 рис., 18 табл., 7 источн.

АНАЛИЗ РЫНКА, МАЛЫЕ КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ, РАКЕТЫ-НОСИТЕЛИ, МАЛАЯ ГРУЗОПОДЪЁМНОСТЬ, СТАТИСТИЧЕСКИЙ ОБЗОР

В ближайшие годы запланированы к созданию группировки космических аппаратов численностью в сотни и тысячи единиц и массой, большей частью составляющей десятки и сотни килограмм, что кратно меньше грузоподъёмности большинства существующих ракет-носителей. Следовательно, ожидается развитие спроса на услугу их одиночного выведения, стоимость которой сравнительно велика. Поэтому актуальной является задача анализа рыночной ситуации в области ракет-носителей малой грузоподъёмности, способных обеспечить указанное одиночное выведение современных малогабаритных спутников.

В силу сказанного, целью работы был принят анализ технико-экономических перспектив использования ракет-носителей малой грузоподъёмности. Объектами исследования являлись совокупности существующих проектов создания орбитальных группировок малых космических аппаратов и проектов разработки ракет-носителей малой грузоподъёмности, в их взаимодействии. Методика проведения исследования предусматривала статистический анализ основных характеристик указанных проектов, опубликованных в открытых источниках.

Результатом данной работы является обзор рыночной ситуации в сегментах малых спутников и ракет-носителей малой грузоподъёмности, особенности ведения проектов их разработки, финансирования данных проектов, типовые задержки сдачи в эксплуатацию и т.д. Данные результаты обладают предметной новизной, поскольку взаимосвязь указанных данных для двух рыночных сегментов не описана в литературных источниках.

Потенциальными потребителями результата настоящего исследования являются разработчики средств выведения и потребители пусковых услуг.

Определения, обозначения и сокращения

FCC - федеральная комиссия по связи

IoT - Интернет вещей

M2M - межмашинная связь

SAR - радиолокатор с синтезированной апертурой

SPAC - компания по приобретению специального назначения

SSA – программа осведомленности о ситуации в космосе

TLE - двухстрочный формат данных

АИС - автоматическая идентификационная система

ГСО - геостационарная орбита

ДВУ - долгота восходящего узла

ДЗЗ – дистанционное зондирование Земли

ДУ – двигательная установка

ЖРД – жидкостной ракетный двигатель

КА – космический аппарат

МБР – межконтинентальная баллистическая ракета

МКА – малый космический аппарат

МКС - международная космическая станция

МСЭ - международный союз электросвязи

НИОКР – научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы

НИР – научно-исследовательская работа

НОО - низкая околоземная орбита

ПН – полезная нагрузка

РБ –разгонный блок

РН – ракета-носитель

СЛРН – РН сверхлёгкого класса

СПГ – сжиженный природный газ

ССО – солнечно-синхронная орбита

УКВ – ультракоротковолновой

Оглавление

Введение

Запускаемые в последние годы малогабаритные космические аппараты позволяют решать ряд задач, ранее выполнимых только на многотонных орбитальных платформах, в рамках бюджета массы, составляющего сотни, десятки, а иногда и единицы килограмм. Это связано с накоплением научно-технического задела, а также с применением новых технологий. Сложившаяся ситуация приводит к появлению принципиальной возможности экономически оправданного снижения грузоподъёмности РН, позволяя создавать изделия с малой массой полезной нагрузки, при этом имея обоснование для существенно возрастающей удельной стоимости выведения.

В данной работе приведено подробное исследование трех взаимосвязанных вопросов, базирующееся на опубликованных литературных источниках. В первом разделе рассматривается анализ рынка современных космических аппаратов, показывается наличие проектов, в перспективе требующих выведения большого количества малых спутников, и обосновывается их характерная масса, значительно меньшая, чем грузоподъёмность большинства существующих РН.

Во втором разделе на аналогичных принципах, но более подробно, проводится анализ рынка современных РН малой грузоподъёмности, сопровождаемый статистическим анализом существующих проектов различной степени готовности. Проведенный статистический анализ позволил вычленить основных игроков рынка и главные технические и экономические тенденции его развития.

На основе полученной информации в третьем разделе была проанализирована статистика выведения нано- и микро- КА, проведено сравнение использования малых РН с попутным выведением при развёртывании орбитальных группировок, оценены технико-экономические характеристики основных РН малой грузоподъёмности и рассмотрены особенности пусковых кампаний и основные полезные нагрузки РН Electron и китайских РН.

Наконец, в четвертом разделе на основании проработанной информации были сформулированы краткие ответы на вопросы, поставленные в техническом задании. Исходные данные для проведения НИР брались на основании открытых материалов, находящихся в публичном доступе, и не содержат закрытые либо конфиденциальные сведения. Проведение НИР не предусматривало патентных исследований.

1 Анализ рынка МКА и прогноз спроса на услуги малых РН

Спутниковая группировка - несколько одинаковых спутников, выполняющих аналогичные или дополняющие друг друга задачи под общим управлением с общей целью. Обзор показал, что минимальное количество спутников в группировке составляет три, поскольку пары спутников скорее управляются и работают как два одиночных спутника. Исследовались только группировки, анонсированные или запущенные после 2002 года, что позволяет не рассматривать группировки первого поколения Iridium, Globalstar и Orbcomm, а также другие проекты 1990-х годов. Отфильтрованные таким подходом одиночные аппараты не несут значимого эффекта на рынок пусковых услуг.

1.1 Классификация задач МКА

Группировки могут иметь несколько применений. В произвольном порядке:

- Оптическое наблюдение Земли в видимом и ближнем инфракрасном диапазоне - использование пассивных кремниевых датчиков для сбора изображений Земли в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах длин волн. Большинство мультиспектральных приборов имеют от 3 до 20 спектральных каналов.
- Наблюдение в инфракрасном диапазоне подразделяется на коротковолновый, средневолновый и длинноволновый диапазоны, и обозначается как тепловизионное наблюдение. Обычно используется для мониторинга погоды и климата и, например, для обнаружения лесных пожаров.

- Гиперспектральное наблюдение - использование от 20 до сотен узких спектральных диапазонов, что позволяет находить новые применения для идентификации конкретных органических веществ.
- Радар с синтезированной апертурой - излучает коротковолновое излучение и собирает отраженный сигнал для формирования изображения. Синтезированная апертура используется для синтеза длинной антенны путем объединения отраженных сигналов по мере движения спутника по орбите. Радиолокационные спутники, например, в радиодиапазонах X, C или L, видят сквозь облака и не зависят от солнечного освещения.
- Виртуальная или дополненная реальность - спутники ДЗЗ со стерео или 360-градусной камерой для создания 3D-изображений и видео.
- ДЗЗ для съёмки видео с высоким разрешением и, возможно, его передачи в режиме реального времени.
- Мониторинг выбросов - количественное определение местоположения выбросов парниковых газов, например, CO_2 и метана, с использованием космических спектрометров.
- Интернет (широкополосный) - широкополосная высокоскоростная спутниковая связь, обеспечивающая работу в сети в режиме реального времени или услугу обратной передачи данных.
- IoT / M2M - использование спутников для расширения зоны действия IoT (Интернета вещей) и M2M (межмашинной связи). Часто имеют одностороннюю связь с низкой скоростью передачи данных в узкополосном режиме.
- Передача сообщений – пересылка через спутник сообщений, как узкополосных, так и широкополосных, которые не передаются в режиме реального времени, и данные хранятся на спутнике до прохождения наземной станции.
- Прямая сотовая связь - спутниковые средства связи, которые позволяют отправлять и/или получать текстовые сообщения, голосовые

вызовы или даже широкополосные данные в реальном времени с не модифицированных мобильных телефонов.

- Орбитальная ретрансляция данных - предоставление телеметрических и телекоммуникационных услуг другим спутникам. Цель состоит в том, чтобы подключить космические средства к центрам управления полетами в режиме реального времени и увеличить объем передаваемых данных. Может использовать лазерную или радиочастотную связь.
- Квантовое распределение ключей - использует лазерную связь между двумя пользователями для получения общего случайного секретного ключа на расстоянии, который затем используется для шифрования сообщений, отправляемых по стандартному каналу связи. Любой подслушивающий на квантовом канале внесет помехи в систему, находящуюся в состоянии суперпозиции, которые затем могут быть обнаружены пользователями.
- Автоматическая идентификационная система - используется для отслеживания судов и воздушных кораблей вне досягаемости наземных приемников путем прослушивания радиопередач с указанием опознавательных знаков, местоположения, скорости и курса.
- Инспекция на орбите - спутники, предназначенные для маневрирования поблизости от других космических аппаратов для идентификации работы их устройств и неисправностей в случае возникновения проблем.
- Орбитальные вычисления - выделенные орбитальные серверы для обработки данных с других спутников в космосе перед отправкой на землю или обратно на спутники.
- Хранилище данных на орбите - облачная служба хранения данных на борту спутников
- Глобальная навигационная спутниковая система - коммерческие спутниковые навигационные системы. Часто предполагается, что они будут базироваться на НОО для обеспечения более высокой производительности,

гораздо более надежных сигналов, шифрования и трехмерного определения местоположения при использовании бесплатных GPS, Galileo, ГЛОНАСС и BeiDou.

- Мониторинг радиочастотного спектра и геолокация - прослушивание радиоизлучений с помощью космических аппаратов для идентификации и триангуляции источников. Обычным применением являются суда или транспортные средства, на которых не включена АИС.
- Мониторинг погоды - измерение профилей различных параметров атмосферы, например, давления, температуры, влажности и скорости ветра, для прогнозирования погоды и климата. Распространенными технологиями являются GNSS-RO,56 GNSS- R,61 микроволновая радиометрия и другие.
- Беспроводное энергоснабжение - обеспечение спутников дополнительной электроэнергией от других космических аппаратов с использованием микроволновой или лазерной передачи энергии.
- SSA (Space Situational Awareness) - аппаратура космического базирования для обнаружения и мониторинга других спутников и космического мусора. Предназначена для обеспечения более частого последовательного наблюдения объектов. Часто использует инфракрасные телескопы, которые также могут использоваться для наблюдения астероидов.
- Космическая погода - мониторинг воздействия космической погоды на ионосферу и магнитосферу путем измерения концентрации заряженных частиц.

1.2 Классификация форм-факторов

Группировки могут состоять из КА с различными массами и форм-факторами. Официального стандарта для определения массы не существует, поэтому обычно используются следующие термины:

- Фемтоспутники - размеры от 1 до 3 модулей, где 1 модуль - это 5 см x 5 см x 5 см.
- CubeSats (наноспутники) - соответствуют спецификации CubeSat от 0,25U до 16U, где 1U составляет 10 см x 10 см x 11,35 см. Общее

наименование «кубсаты» предназначено для группировок, которые будут использовать CubeSats на основе имеющейся информации, но точный тип не разглашается.

- Микроспутники - от 10 до 100 кг, за исключением больших кубсатов, которые могут весить до 25 кг.
- "Малые спутники" - от 100 кг до 500 кг. Термин часто используется в широком смысле для обозначения любого спутника весом менее 500 кг.
- Спутники - 500 кг и выше.

1.3 Классификация статуса

Категории для указания статуса группировок путем объединения различной общедоступной информации. В некоторых случаях было сделано обоснованное предположение.

- Launched - группировка полностью запущена без каких-либо пополнений из-за предполагаемого длительного срока службы и уже существующих запасных аппаратов на орбите. Подходящий пример - Iridium.
- Launched and replenishing - запущена большая часть и достигнут ожидаемый размер. Новые КА выводятся на орбиту каждые 1-3 года по мере выхода спутников из строя или схода с орбиты. Под это определение подходят Planet и Spire.
- Launches ongoing - развертывание группировки идентичных или схожих спутников активно выполняется. Лучшие примеры - Starlink и OneWeb.
- Prototype launched - запуск одного или нескольких первых спутников, которые служат прототипами.
- Prototype development - ведется активная работа над первым КА. Компания растет и объявила о получении финансирования.
- Early stage / Concept - несколько анонсов и презентаций идеи группировки, но, скорее всего, на этапах начальной разработки, поиска финансирования и завоевания популярности с очень небольшой командой.

- Dormant / Unknown - Ранние признаки замедления или остановки разработки, но в редких случаях их можно объяснить скрытностью или временными сбоями.
- Cancelled - Компания обанкротилась, веб-сайт и каналы социальных сетей молчат более 1-2 лет, нет объявлений о финансировании, команда, похоже, распущена и/или идея так и не вступила в фазу реализации.
- Retired - группировка выведена из активной эксплуатации, но спутники все еще могут находиться на орбите и даже функционировать.

1.4 Классификация орбит

МСЭ и FCC в первую очередь различают негеостационарные и геостационарные орбиты, но подавляющее большинство КА, интересных для РН малой грузоподъёмности, находятся на низких орбитах.

- Очень низкая околоземная орбита - здесь определяется как устойчивые орбиты с высотами в диапазоне 250-350 км. Космический аппарат Earth Observant Stringray будет рассчитан на полет на высоте 250 км от Земли. Ожидается, что Albedo Space будет использовать тот же диапазон орбит. Группировка SpaceX, работающая в V-диапазоне на высоте 336-346 км, также относится сюда.
- Низкая околоземная орбита - расстояние до 2000 км от поверхности Земли, исключая предыдущее определение.
- Средняя околоземная орбита - высоты составляют от 2000 км до 35786 км.
- Геосинхронная околоземная орбита - высота 35786 км.
- Высокоэллиптическая орбита - низкий перигей (1000 км) и высокий апогей (35786 км). Включает геопереходную орбиту, орбиту «Тундры» и орбиту «Молнии».

1.5 Классификация задержек

Сравнение запусков и предстоящих деклараций с заявлениями о частоте запусков и намерениях развертывания. Планы меняются, и не все задержки

следует воспринимать как плохой знак, но, тем не менее, это дает некоторое представление о компании и состоянии отрасли.

- Cancelled - отмененные и бездействующие группировки, в которых больше не ожидается запусков.
- Generally on-time - задержки до 6 месяцев, некоторые из которых могут быть вызваны задержками запуска.
- Partially behind- задержки примерно на 6-12 месяцев.
- Year behind - задержки более чем на 1 год.
- Years behind - задержки более чем на 2-3 года.
- Unknown - публичные объявления не найдены, сравнить не удается.

1.6 Области применения

Многие группировки выполняют различные функции с помощью идентичных или похожих спутников. На рисунке 1 подсчитаны задачи без учёта КА многоцелевого использования, которые учитывались несколько раз. Как видно, IoT/M2M является наиболее популярным приложением, за которым следуют широкополосный Интернет, оперативное наблюдение Земли, ретрансляция орбитальных данных, SAR, гиперспектральное наблюдение Земли, SSA и AIS.

В 2021 году самыми популярными были (в порядке убывания) IoT / M2M, оперативное наблюдение Земли, широкополосный Интернет, SAR и АИС. Они с тех пор и получили наибольшее развитие. За последние 3 года больше всего группировок предложено для прямой сотовой связи, ретрансляции орбитальных данных, гиперспектрального ДЗЗ и SSA.

Рисунок 2 показывает текущую активность и состояние развития коммерческих группировок.

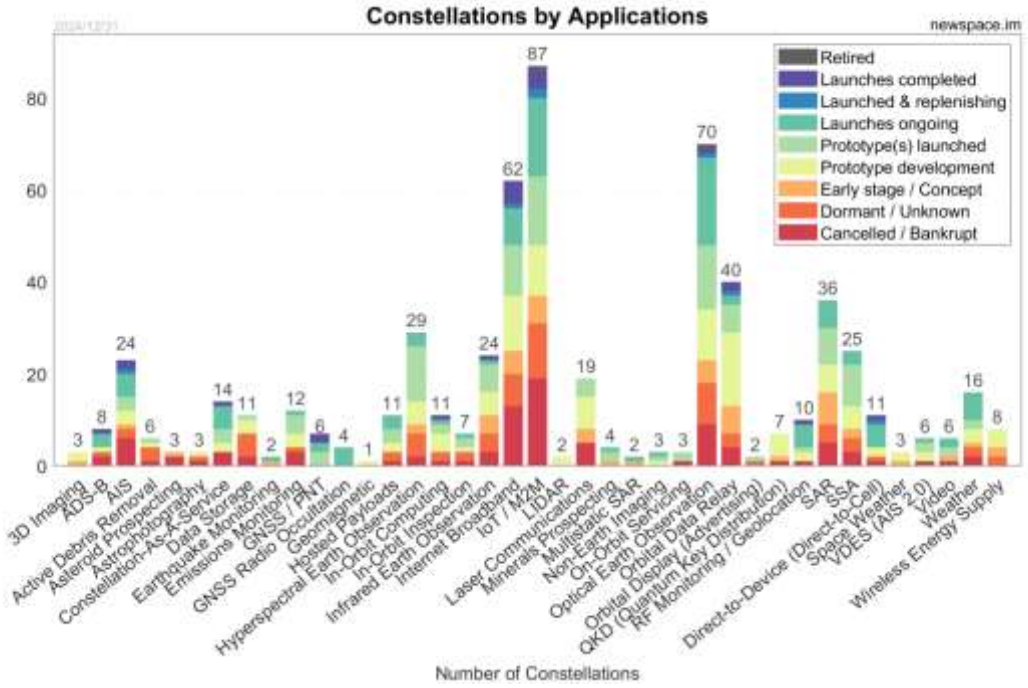

Рисунок 1 – Задачи группировок

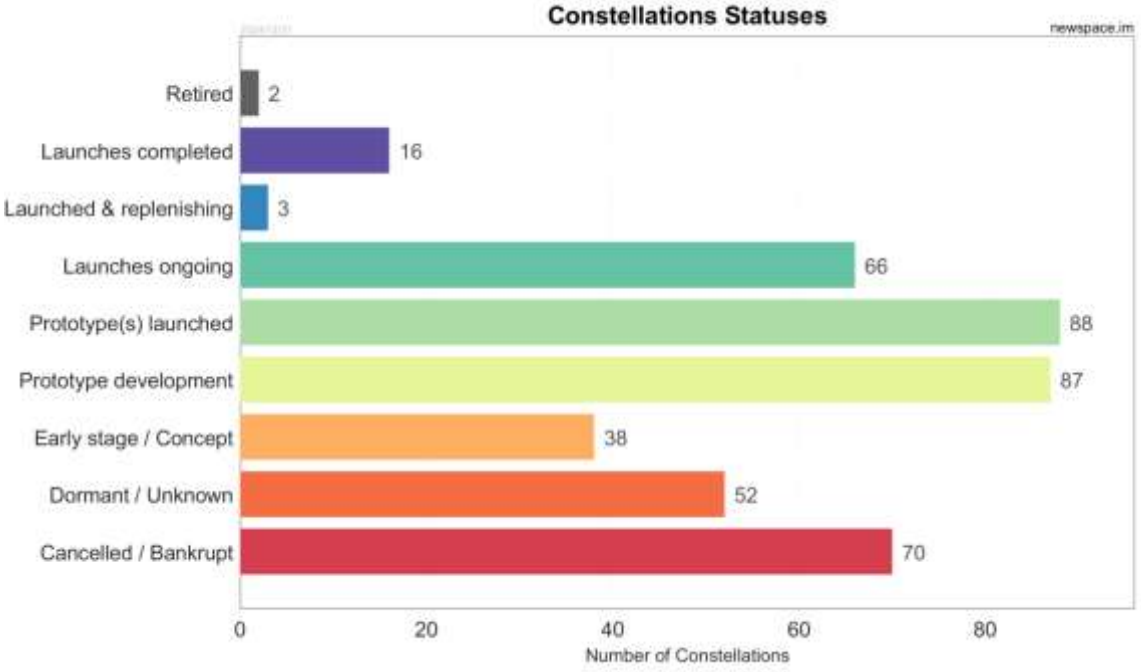

Рисунок 2 - Текущее состояние группировок

1.7 Форм- факторы

Распределение космических аппаратов по размерам наглядно представлено на рисунке 3. Кубсаты - самый популярный сегмент, включая те группировки, которые, вероятно, будут относиться к ним, но конкретный форм-фактор в настоящее время неизвестен. Далее следуют микроспутники и малые спутники.

Среди кубсатов формат 3U был самым популярным в 2021 году, но сейчас это 6U, за ним следуют 3U, 16U и 12U. Swarm, наоборот, снижает размерность, заявив 0,25U. Сейчас начался запуск Apogeo Space в этом формате, и GUMUSH планирует аналогичные массы. Компания Fossa Systems разработала новый малый формат PocketQubes, который можно использовать со средствами развертывания кубсатов, и он медленно расширяет распространение.

Многие организации переходят на более крупные спутники из-за ограничений по объёму, геометрии, мощности и теплу кубсатов и микроспутников. Спутники большего размера обеспечивают более высокую производительность, например, Kepler, Fleet, Unseenlabs, SpaceX.

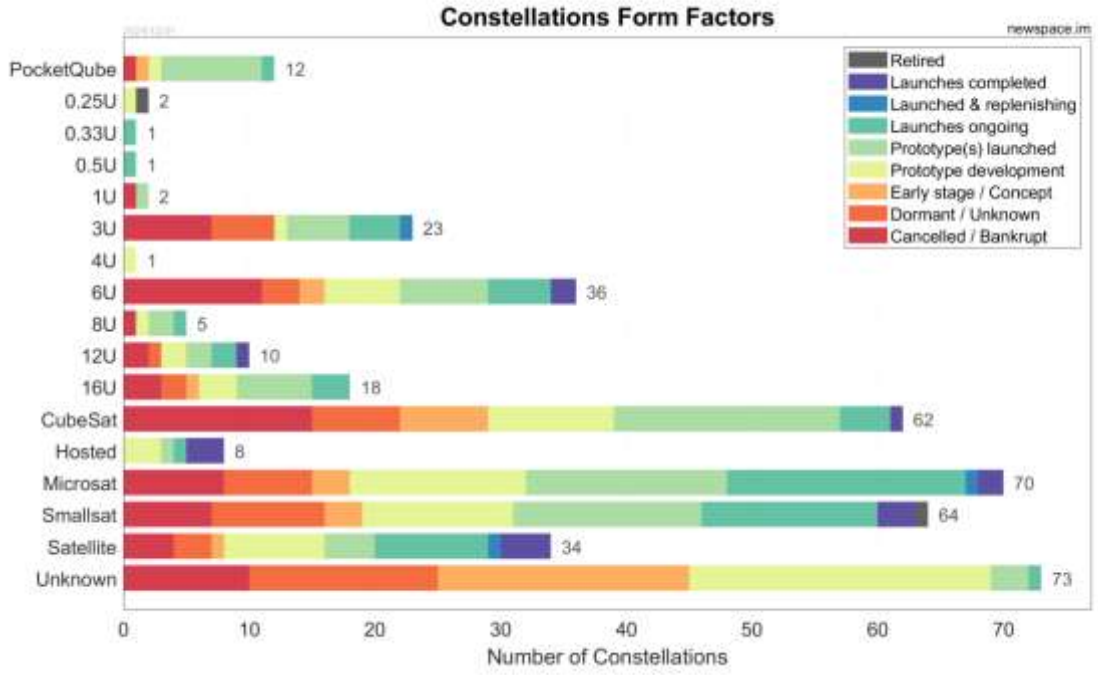

Рисунок 3 - Форм-факторы группировок

1.8 Орбиты

На рисунке 4 группировки разделены по типам орбит. Низкие орбиты, безусловно, наиболее популярны. Было объявлено о группировках для наблюдения Земли с очень высоким разрешением со сверхнизких орбит, но полеты еще не начались. Орбиты средней высоты часто используются для услуг Интернета и ретрансляции космических данных. На ГСО спутники будут использоваться преимущественно для Интернета и съёмки внеземных

объектов. По мере того как новые стартапы ищут ниши, все чаще стали предлагаться орбиты, отличные от НОО.

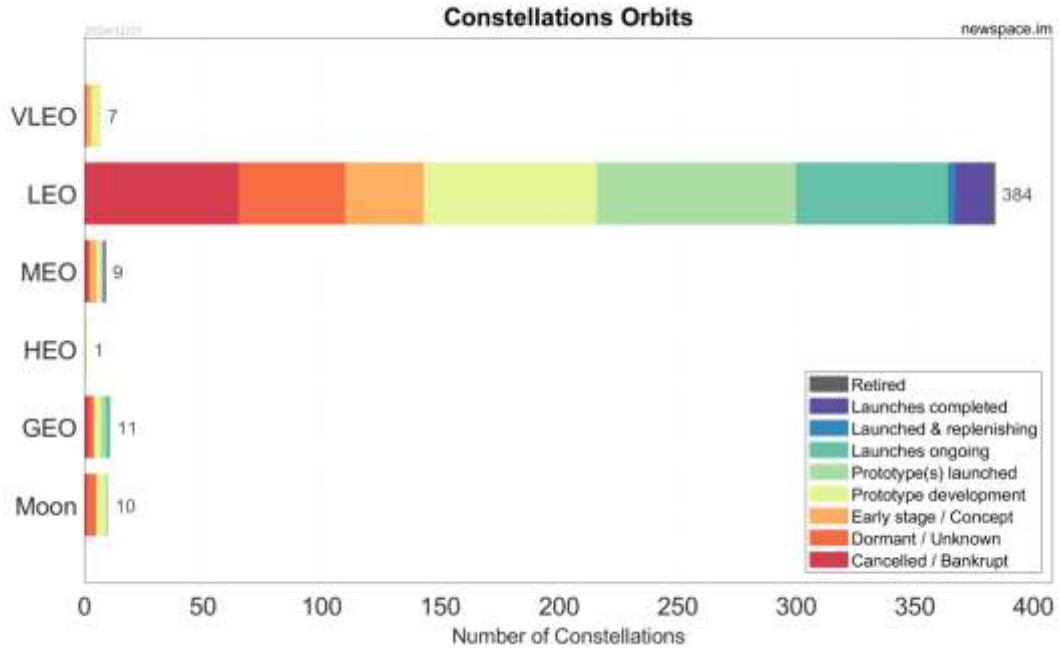

Рисунок 4 - Орбиты группировок

1.9 Задержки и частота запусков

Объявленные сроки и частоты запусков были сопоставлены с текущим статусом пусков на рисунке 5. Большинство компаний не объявляют о своих планах, но отмены очень распространены. Лишь небольшое количество группировок запускаются вовремя и с задержкой менее чем на 6-12 месяцев по сравнению с планами.

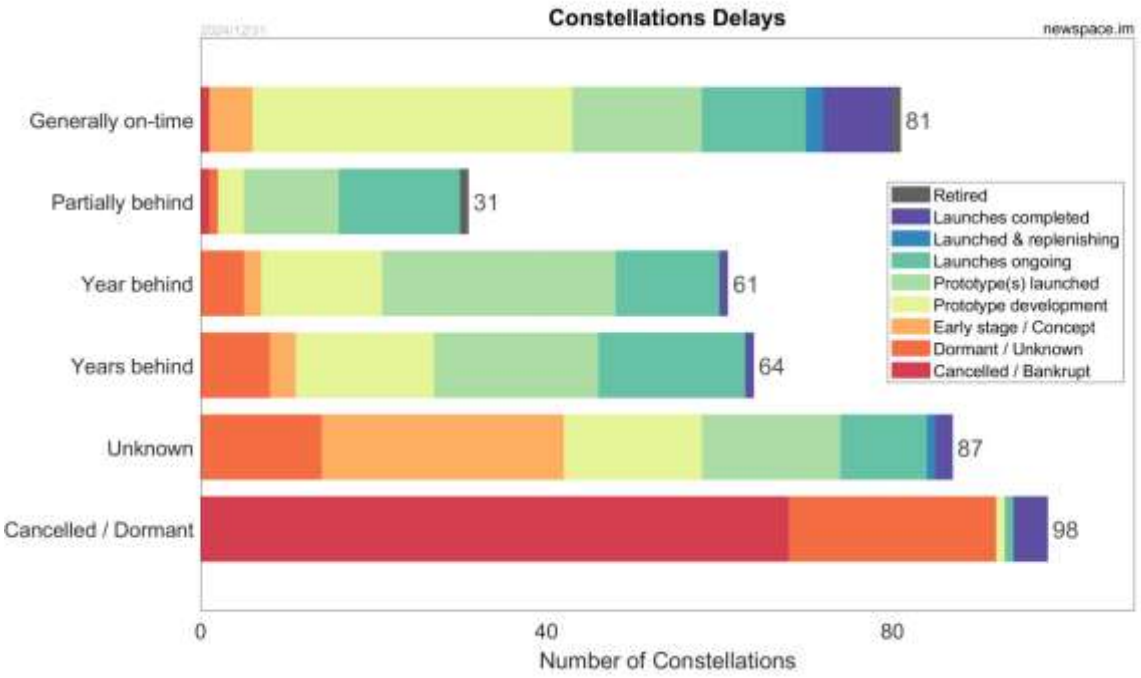

Рисунок 5 - Задержки группировок

1.10 Основанные компании

Даты основания компаний по созданию орбитальных группировок с 2000 года указаны на рисунке 6. После пика 2015 года наблюдается снижение, которое может быть признаком насыщения рынка и ожидания экономических результатов существующих предприятий.

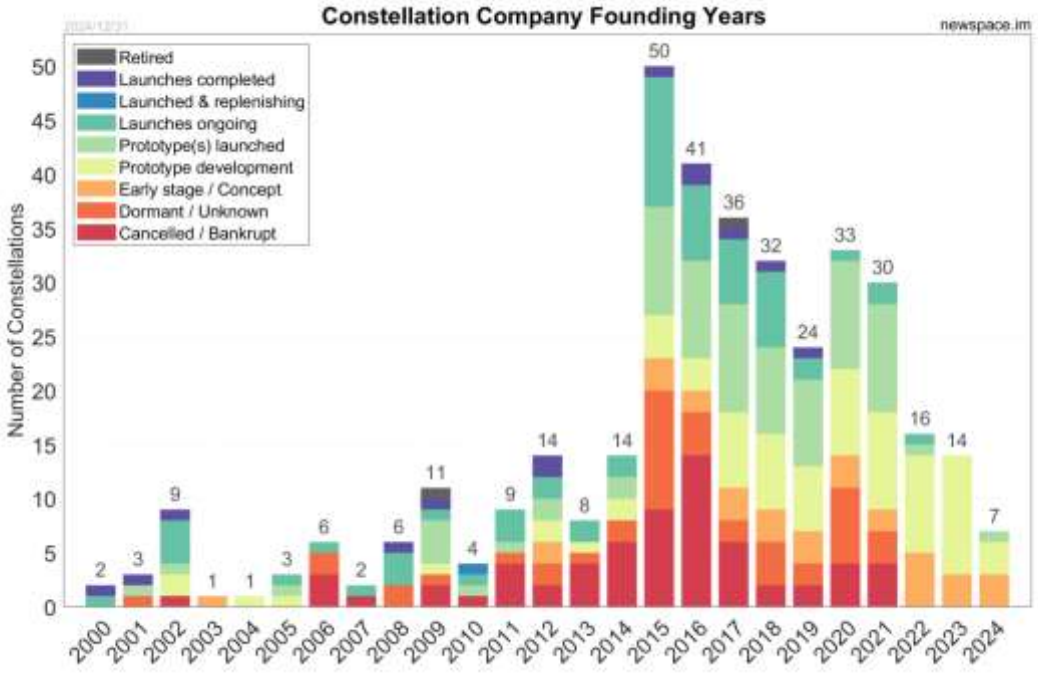

Рисунок 6 - Основанные компании

1.11 Производители спутников

Передача первого или более КА в субподряд производителю спутников не гарантирует заказа на всю группировку. Некоторые разработчики воспользовались услугами нескольких интеграторов, многие позже переключились на создание КА собственными силами. В базе данных перечислены несколько производителей, если заказы действительно распределялись. При этом на рисунке 7 представлен только последний используемый или анонсированный производитель спутников.

Около трети КА строятся собственными силами компаний, почти для стольких же в настоящее время неизвестны подрядчики. Остальное делится между большим количеством производителей. Лишь немногие производители имеют контракты на всю группировку, и лишь небольшое количество группировок были полностью профинансированы. В дальнейшем, вполне вероятно, что большинство группировок не будут завершены.

За лидером NanoAvionics следуют Spire, Terran Orbital, GomSpace и AAC Clyde Space. Однако Spire запускает спутники более регулярно и большими партиями. GomSpace регулярно запускает спутники UnseenLabs, а теперь приступила к разработке микроспутников. SFL регулярно запускает спутники HawkEye 360. Таким образом, количество группировок не должно быть основным показателем.

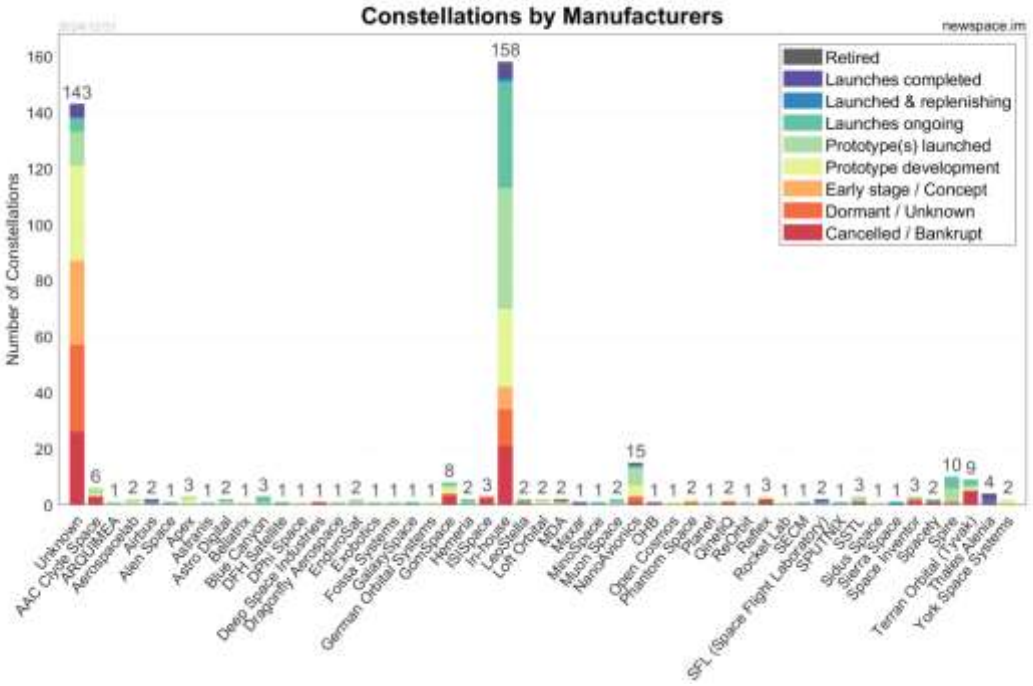

Рисунок 7 – Подрядчики-изготовители спутников

1.12 Финансирование и инвестиции

Суммы финансирования, которые были обнародованы, или предполагаемые внутренние инвестиции, были суммированы на рисунке 8. Несколько десятков компаний располагают значительным финансированием, достаточным для демонстраций и первых небольших партий. Однако не всегда капитал конвертируется в ощутимые результаты или большое количество запущенных спутников. Многие другие организации осуществили значительные инвестиции в зависимости от вида деятельности, но точные суммы объявлены не были. Примерно четверть компаний, вероятно, не получили финансирования, а треть – получила в неизвестном объёме. Наиболее частый размер бюджета – 10-50 млн.долл.

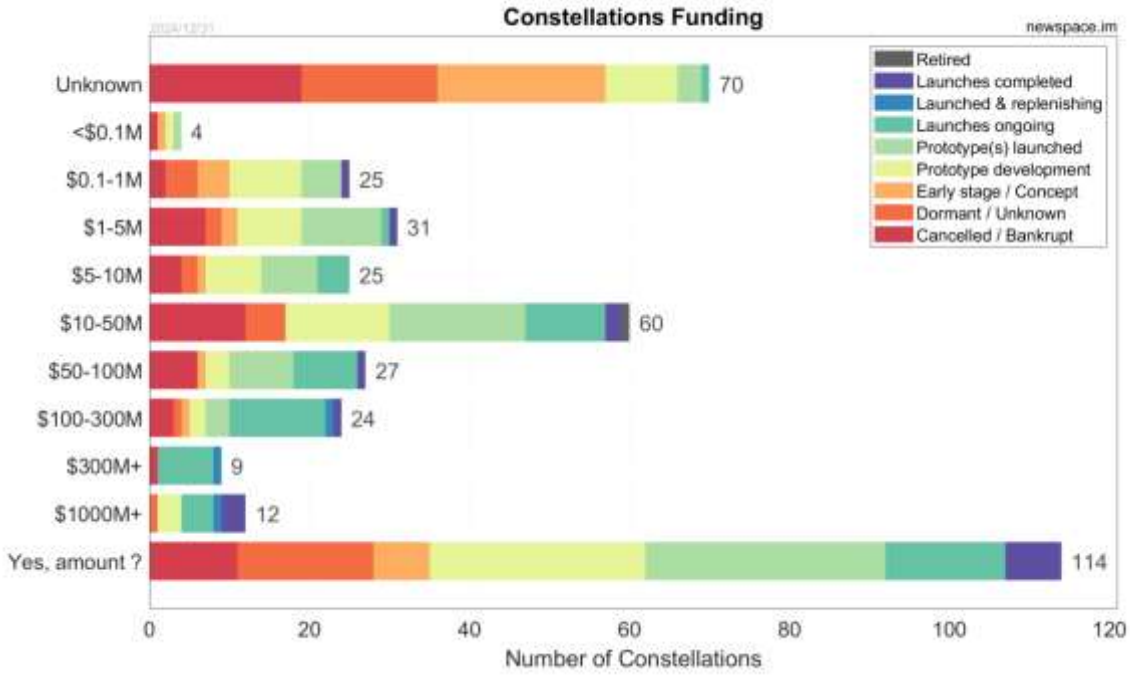

Рисунок 8 - Финансирование группировок

1.13 Первые запуски

Первый запуск - это прототип или первый действующий спутник группировки. Во многих случаях форм-фактор, полезная нагрузка, характеристики или даже задачи прототипа могут сильно отличаться от серийного КА.

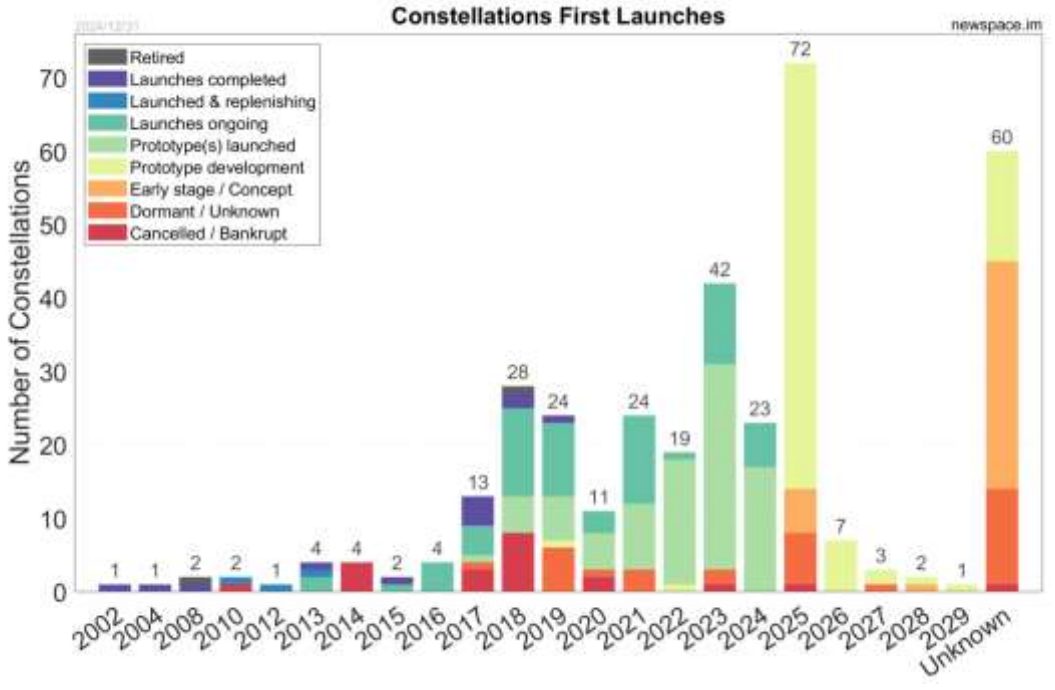

Рисунок 9 - Первые запуски группировок

2023 год стал рекордным. В начале 2025 года на него планировались новые рекорды, но большинство запусков, по традиции, не произойдет. Задержки были очень частыми и, вероятно, будут продолжаться.

1.14 Географическое распределение

Наиболее примечательным случаем, когда штаб-квартира не соответствует местоположению производства, является Spire, спутники которой собираются и тестируются в Глазго, Великобритания.

В целом, США находятся далеко впереди, за ними следуют Китай, Великобритания, Канада и Франция. При этом Россия, Индия и Япония, обладающие собственными РН, не отличаются, например, от Испании, Италии и Австралии. Это, вероятно, отражает сочетание предпринимательской активности и доступности финансирования. Однако даже одна экономически устойчивая компания, способная к развитию, может быть достаточной для страны.

В 2023 году Amini базируется в Кении и собрала 4 млн. долл. на запуск первого спутника ДЗЗ в начале 2025 года. Компания Gemini Space из Нигерии больше не активна. ONDO Space базируется в Монголии. Deep-Sat базируется в Армении и планирует создание группировки наблюдения Земли на сверхнизких орбитах. EOS Orbit базируется в Таиланде и запустила первый IoT CubeSat в 2023 году. Telnet из Туниса запустила 3U CubeSat для Интернета вещей в 2021 году и планировала создание группировки, но в последнее время никаких новостей не было. По сравнению с 2021 годом больше всего в абсолютном выражении выросли США, за ними следуют Китай и Великобритания.

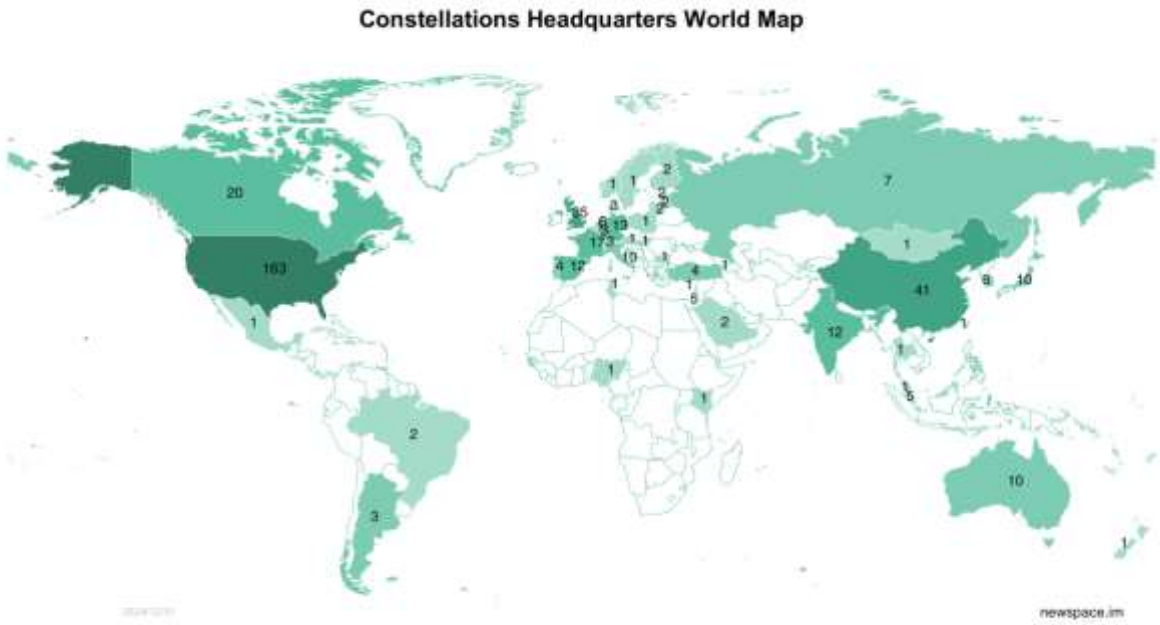

Рисунок 10 –Расположение штаб-квартир спутниковых компаний

1.15. Состояние группировок на начало 2025 года

В этом разделе представлены данные о коммерческих спутниковых группировках, распределены по задачам. Неудачи при запуске включаются в общее количество запусков, поскольку КА были построены, являются доказательством деятельности и дают представление о статусе компании. Количество запущенных спутников также не показывает количество спутников, которые все еще находятся на орбите или в рабочем состоянии.

- Оптическое наблюдение Земли

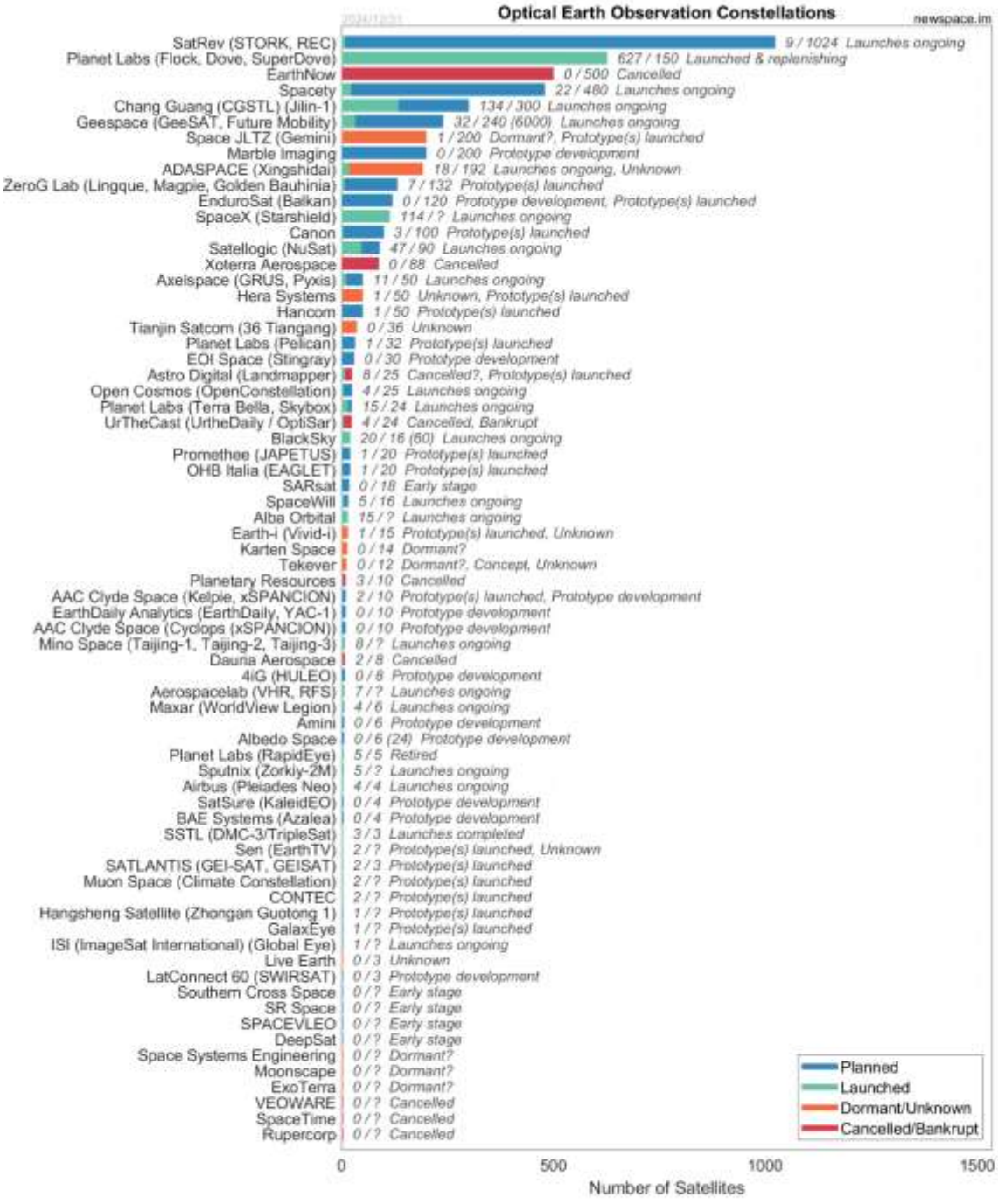

Рисунок 11 – Группировки оптического ДЗЗ

- Инфракрасное наблюдение Земли

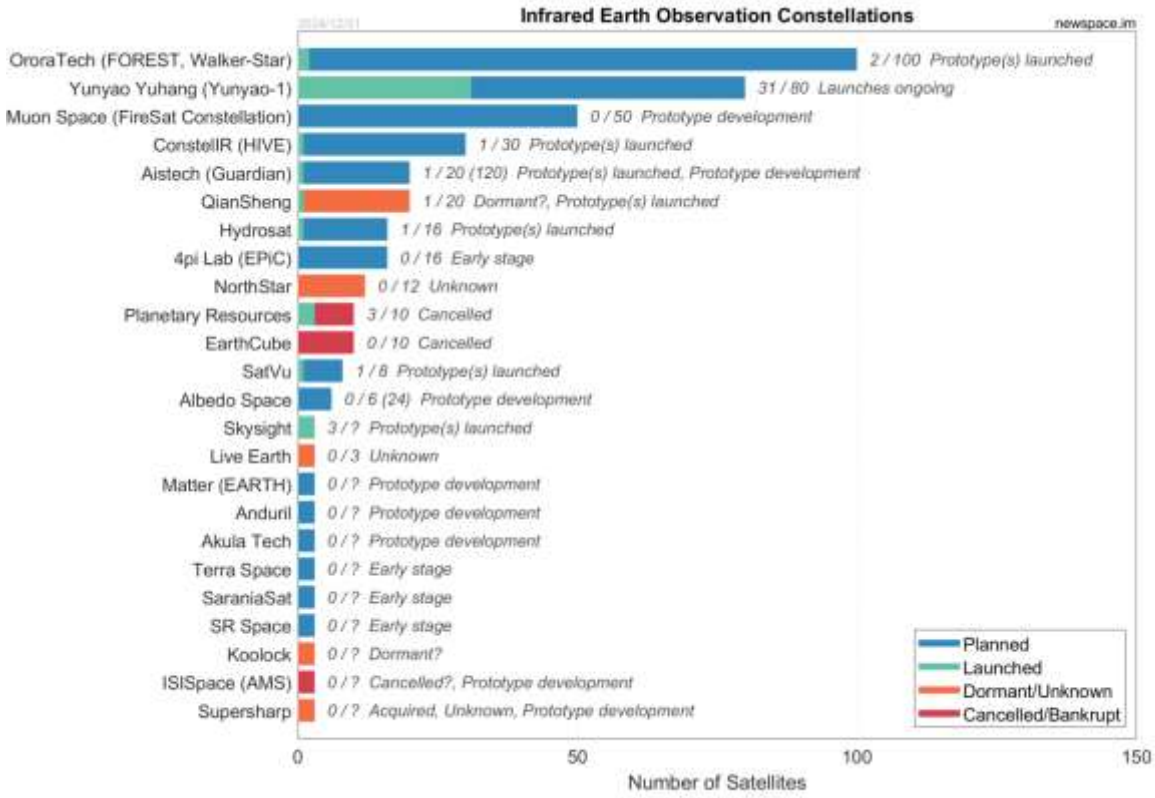

Рисунок 12 – Группировки инфракрасного наблюдения Земли

- Гиперспектральная съёмка

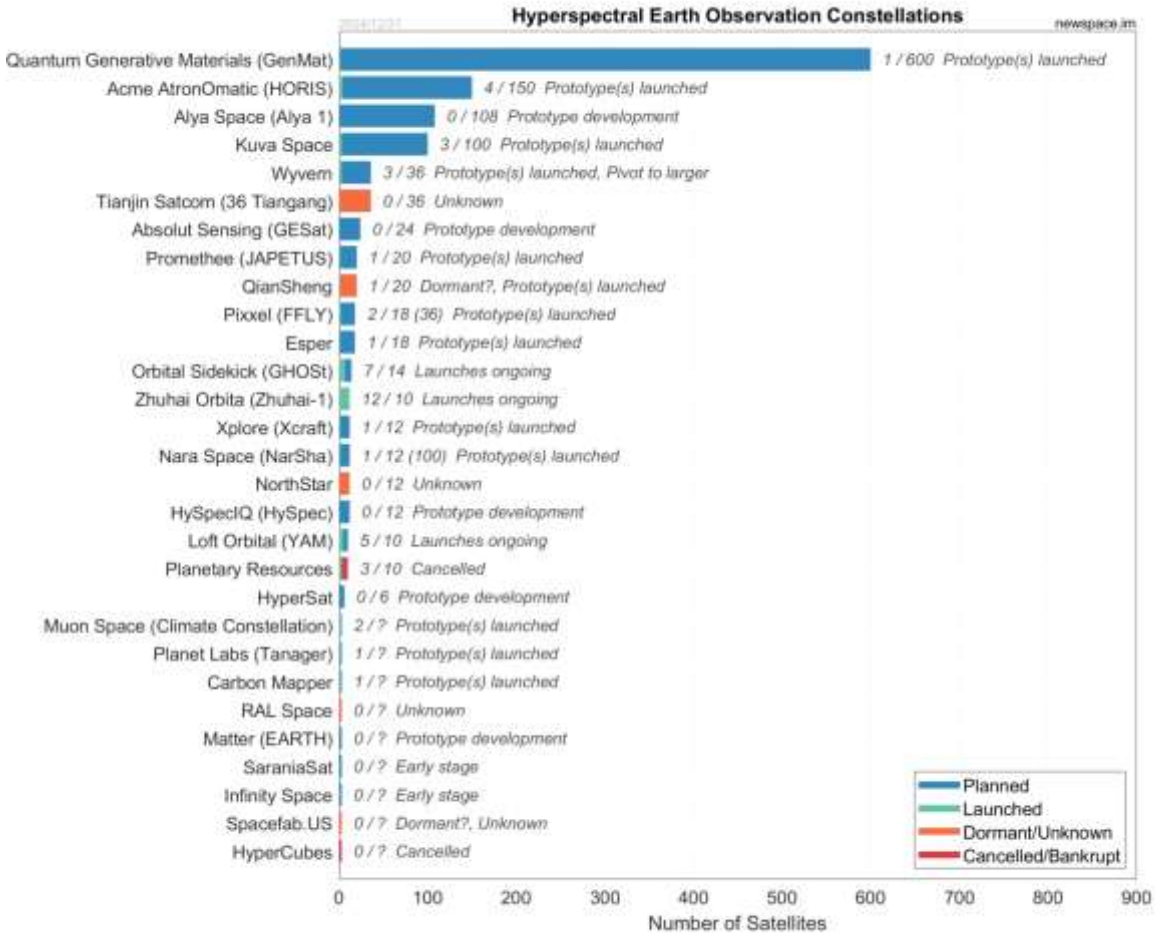

Рисунок 13 – Группировки гиперспектральной съёмки

- Радиолокационная съемка

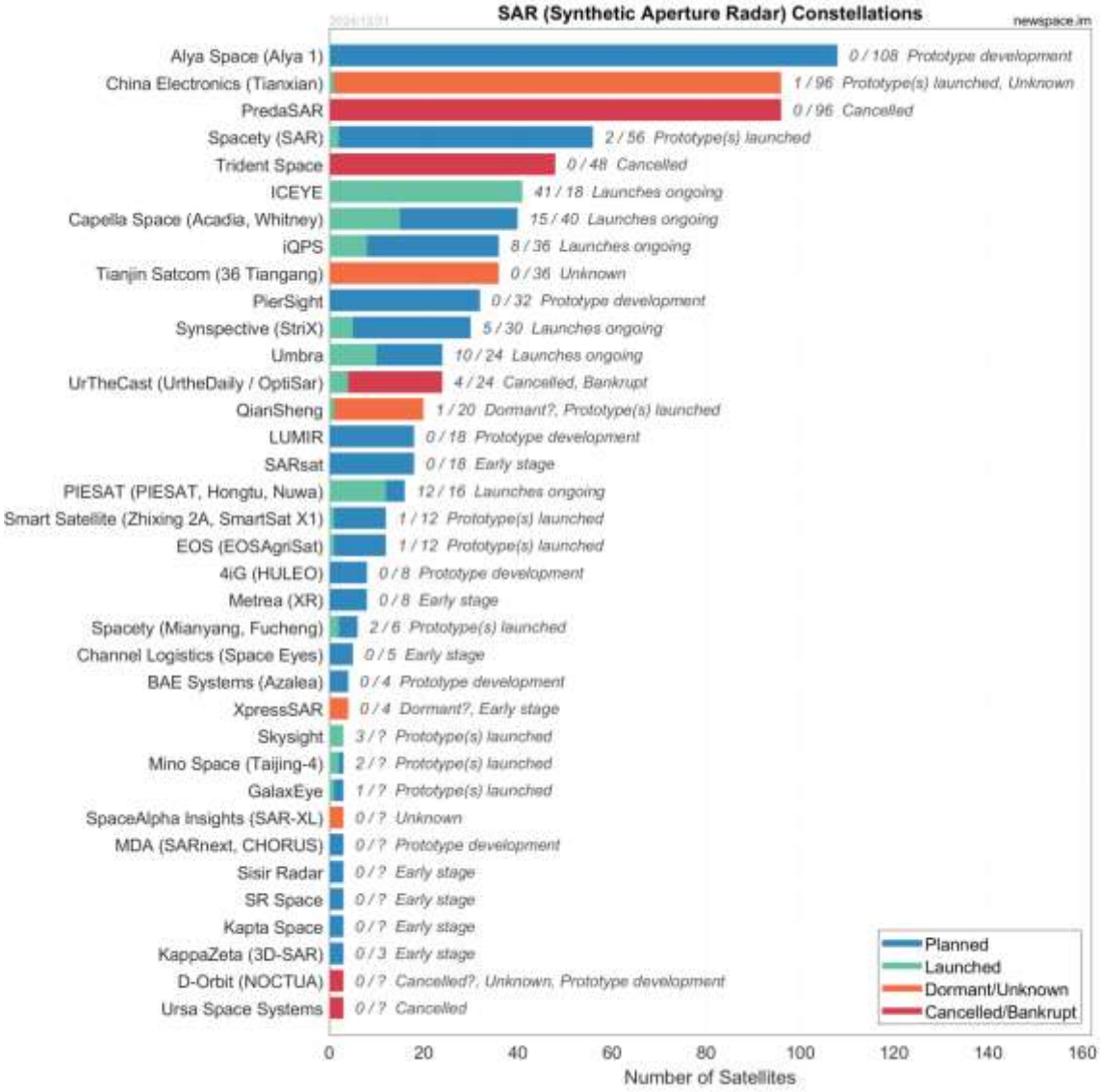

Рисунок 14 – Группировки КА с бортовыми радарами

- Наблюдение за воздушным траффиком

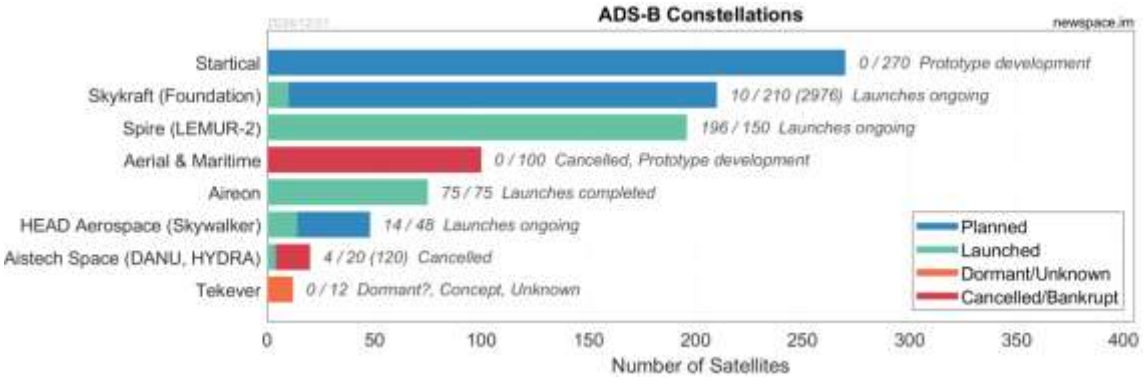

Рисунок 15 – Группировки КА наблюдения за воздушным траффиком

- Группировки УКВ-связи

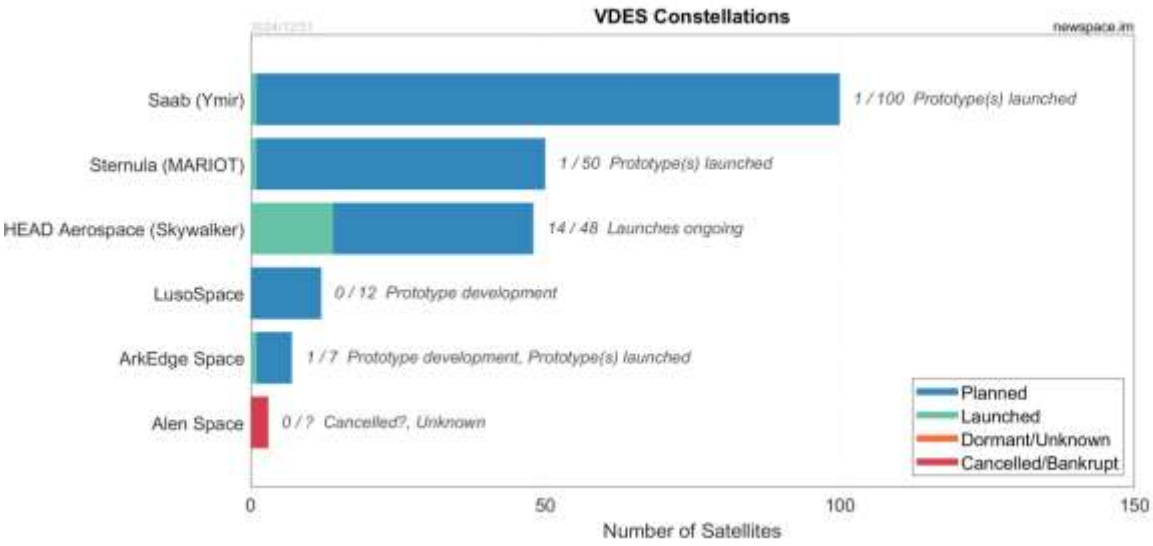

Рисунок 16 – Группировки УКВ-связи

- Мониторинг радиочастотного спектра

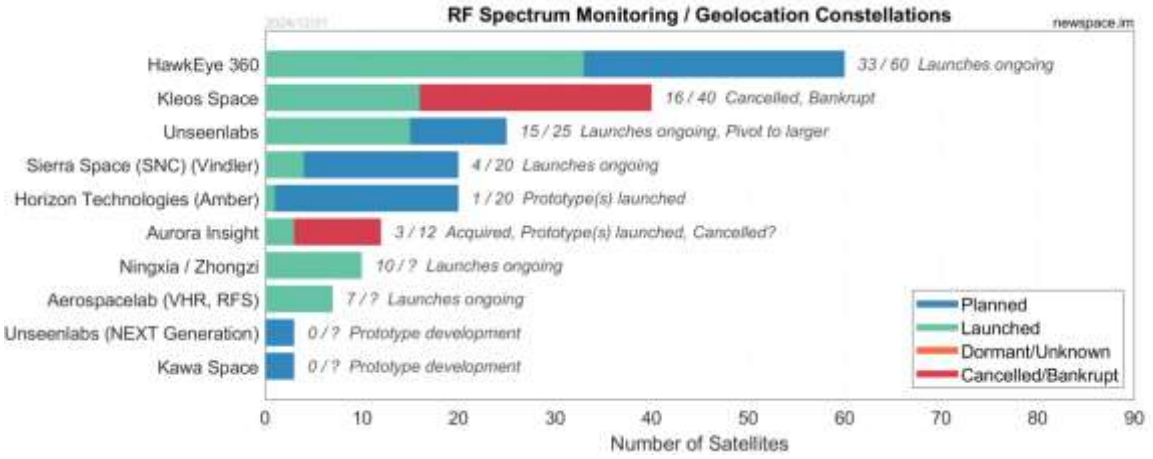

Рисунок 17 – Группировки радиотехнической разведки

- Мониторинг выбросов

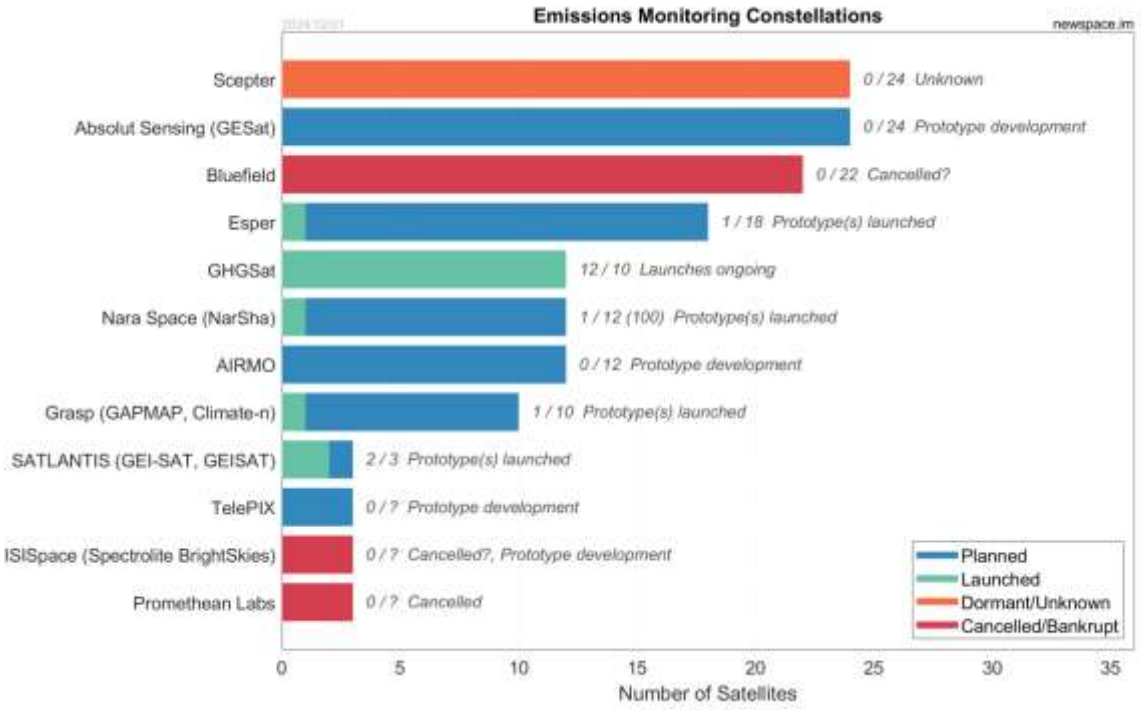

Рисунок 18 - Группировки мониторинга выбросов

- Навигационные группировки

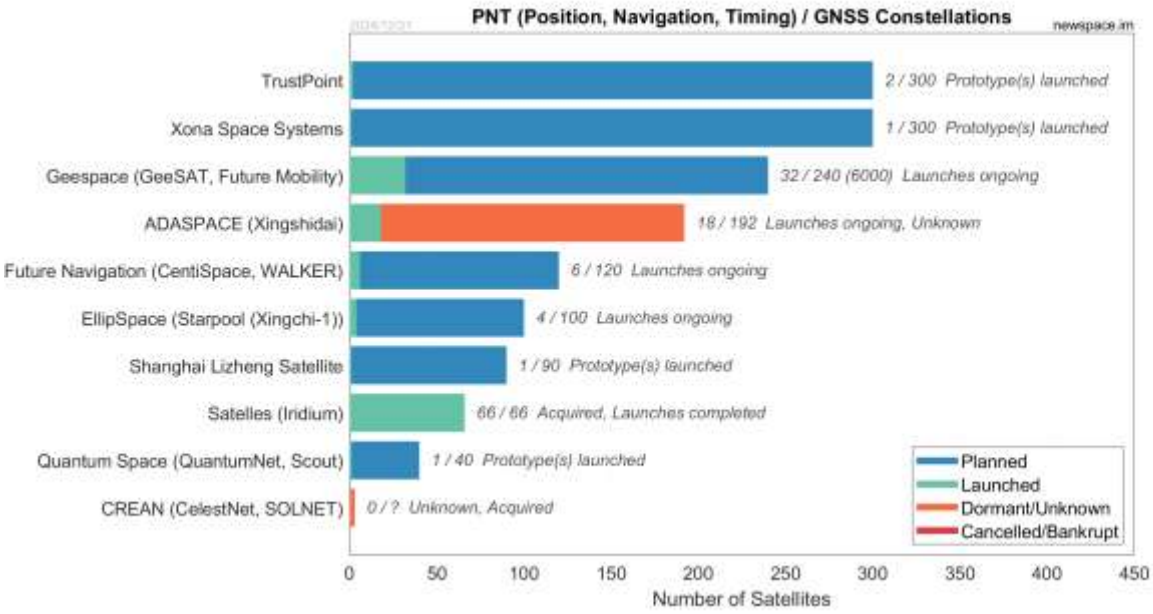

Рисунок 19: Навигационные группировки

- Метеорологические группировки

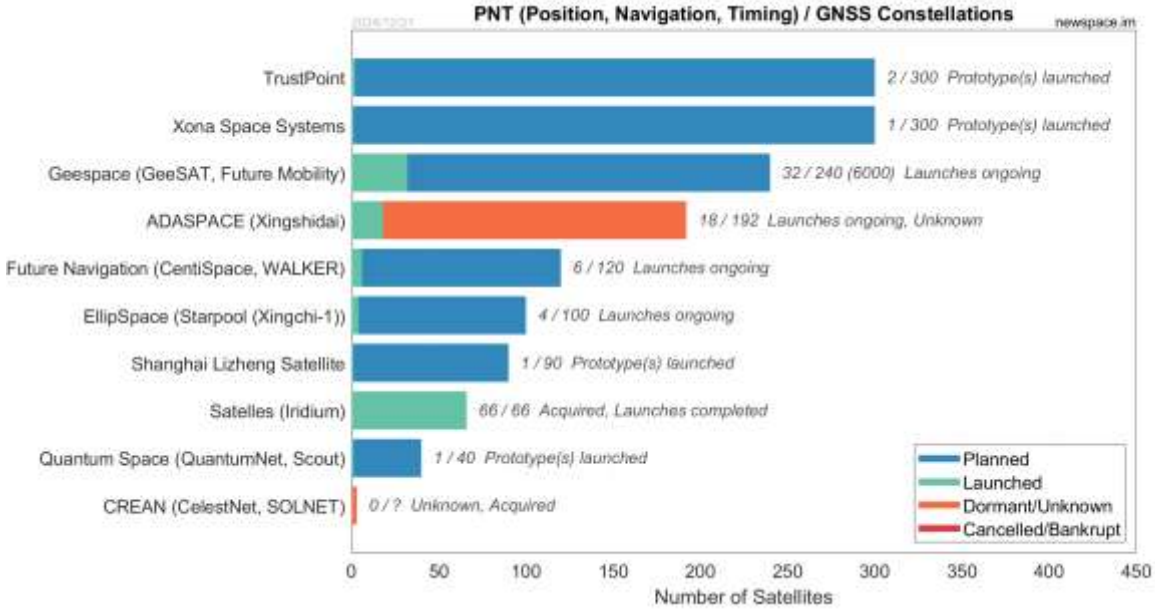

Рисунок 20 - Метеогруппировки

- Ретрансляция орбитальных данных

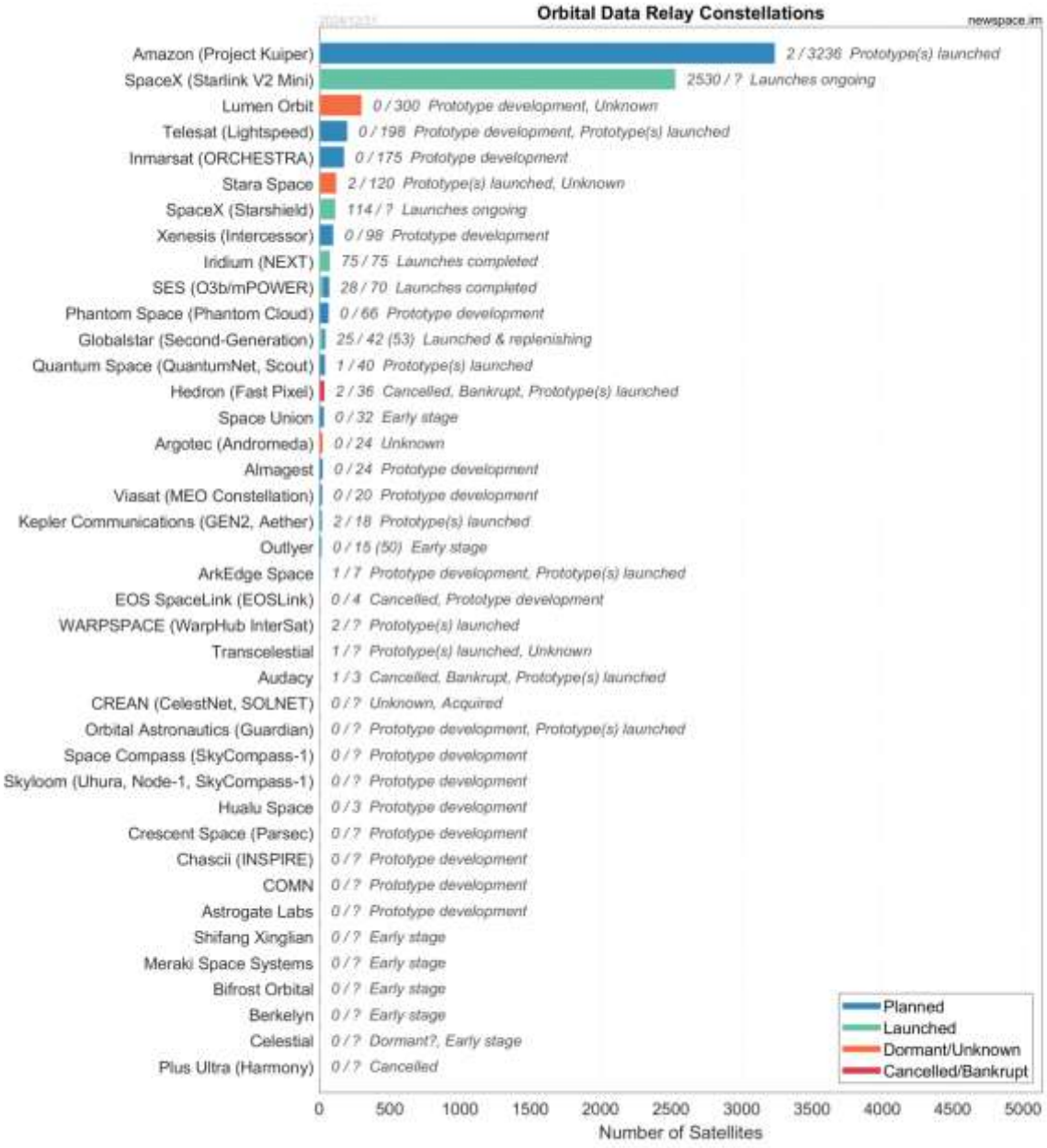

Рисунок 21 – Группировки межспутниковой связи

- Группировки контроля космического пространства

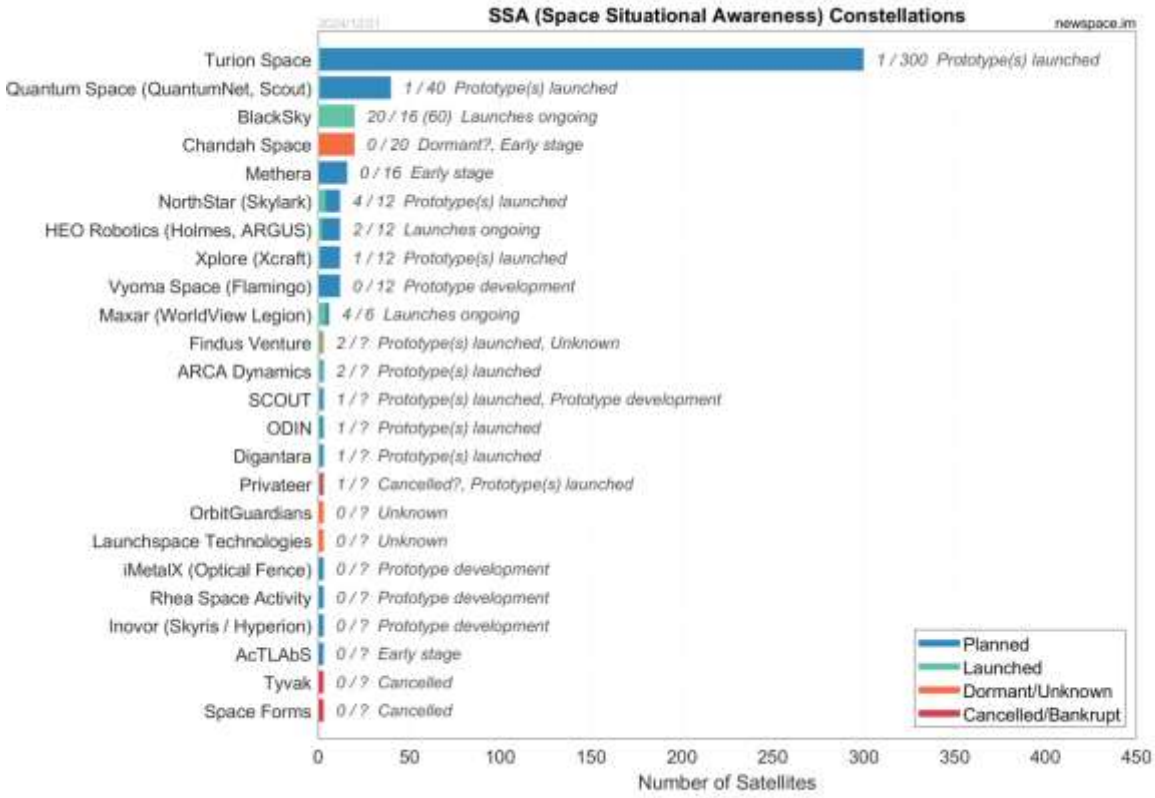

Рисунок 22 – Группировки контроля космического пространства

- Группировки квантового шифрования

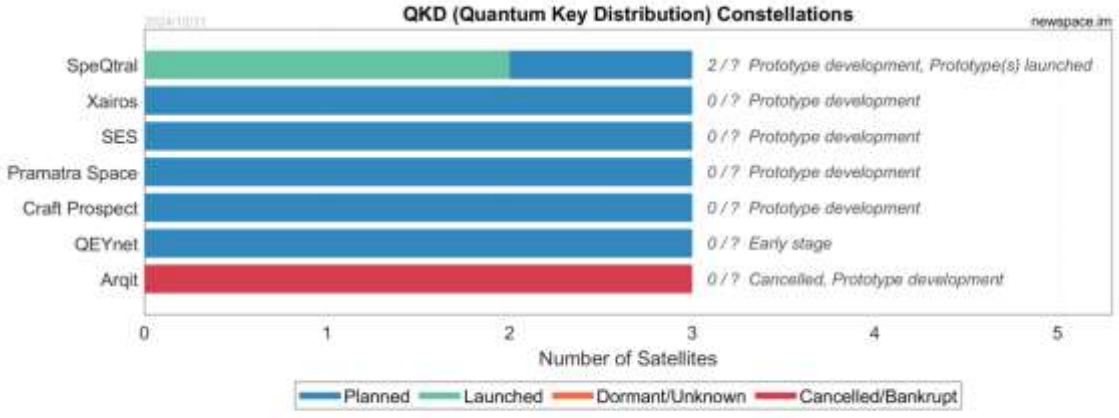

Рисунок 23 – Группировки квантового распределения ключей

- АИС

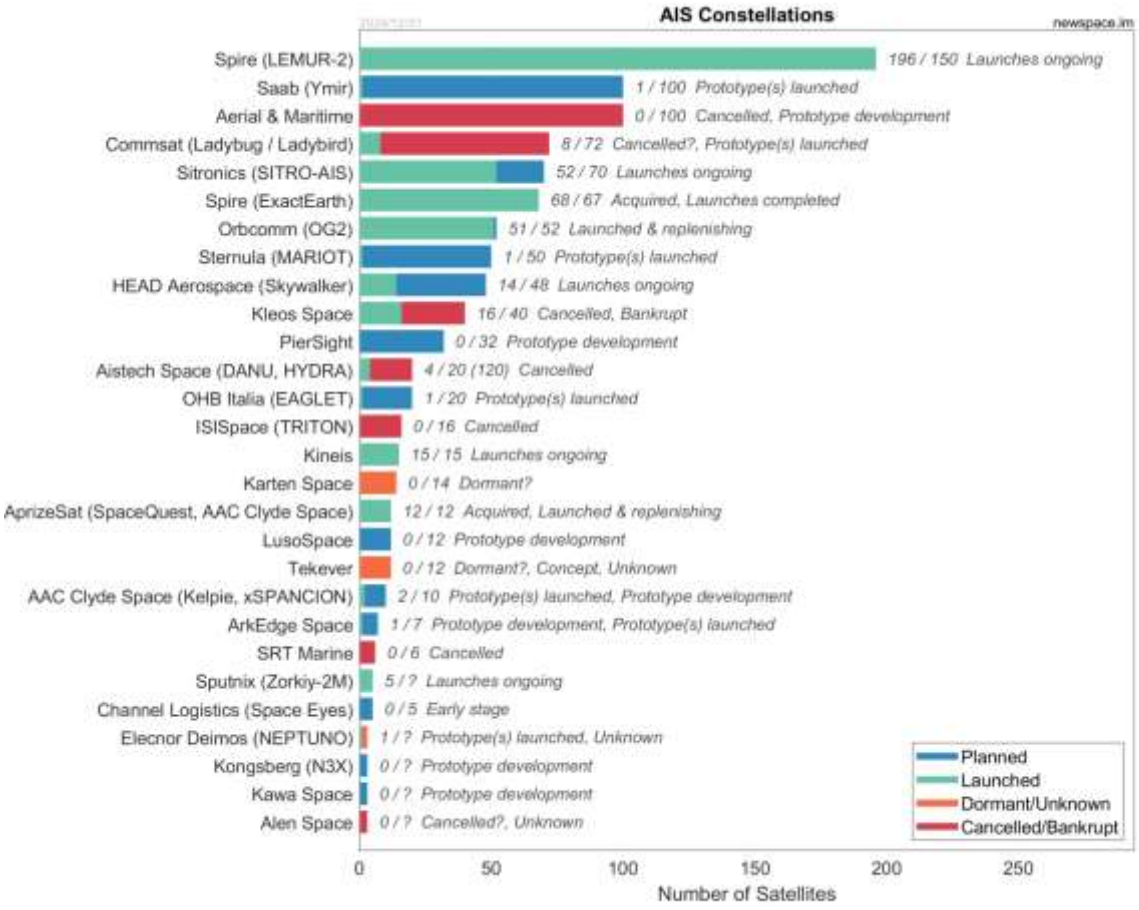

Рисунок 24 – Группировки АИС

- Широкополосный интернет

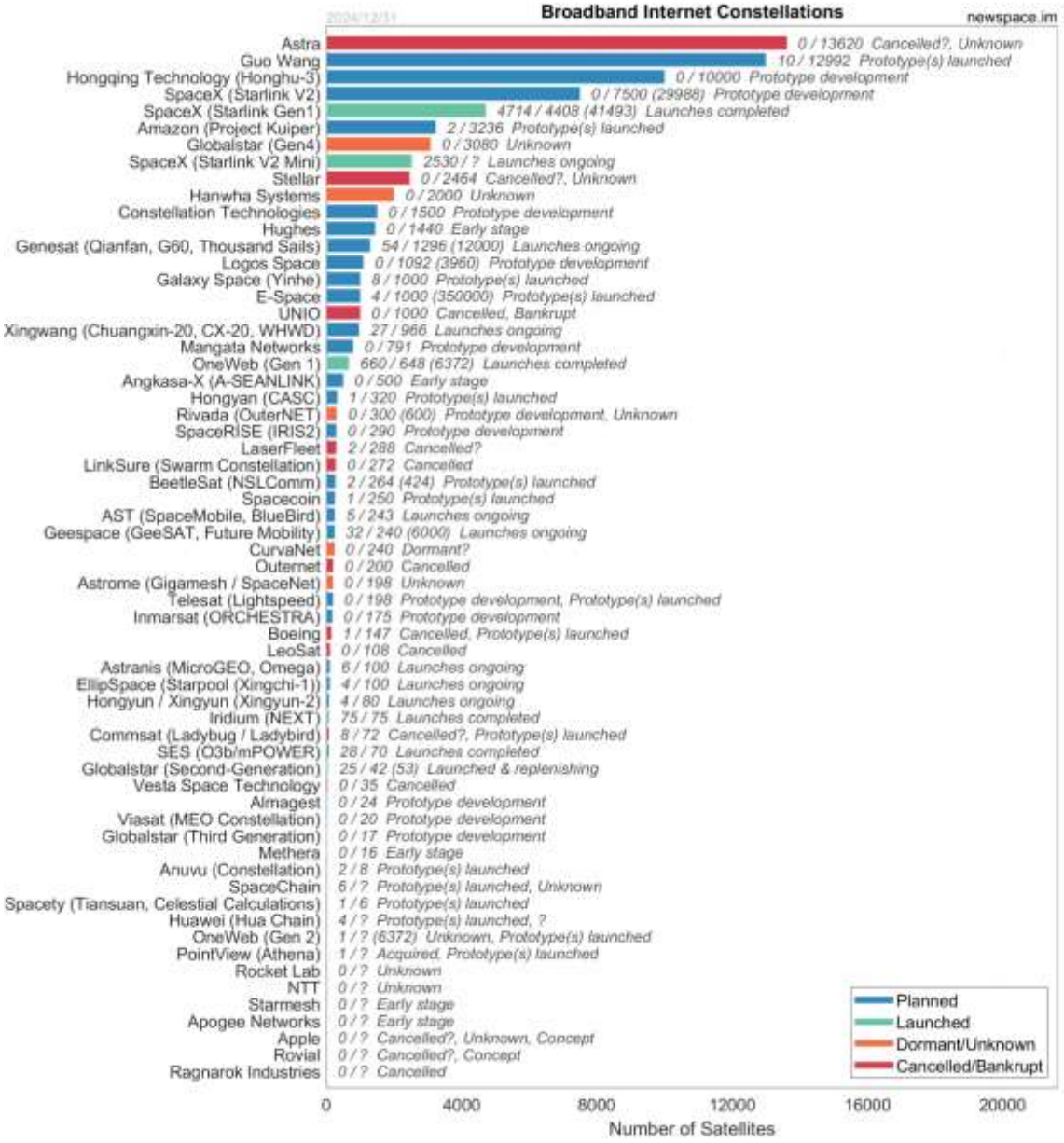

Рисунок 25 - Группировки широкополосного Интернета.

- Применение: Интернет вещей / M2M

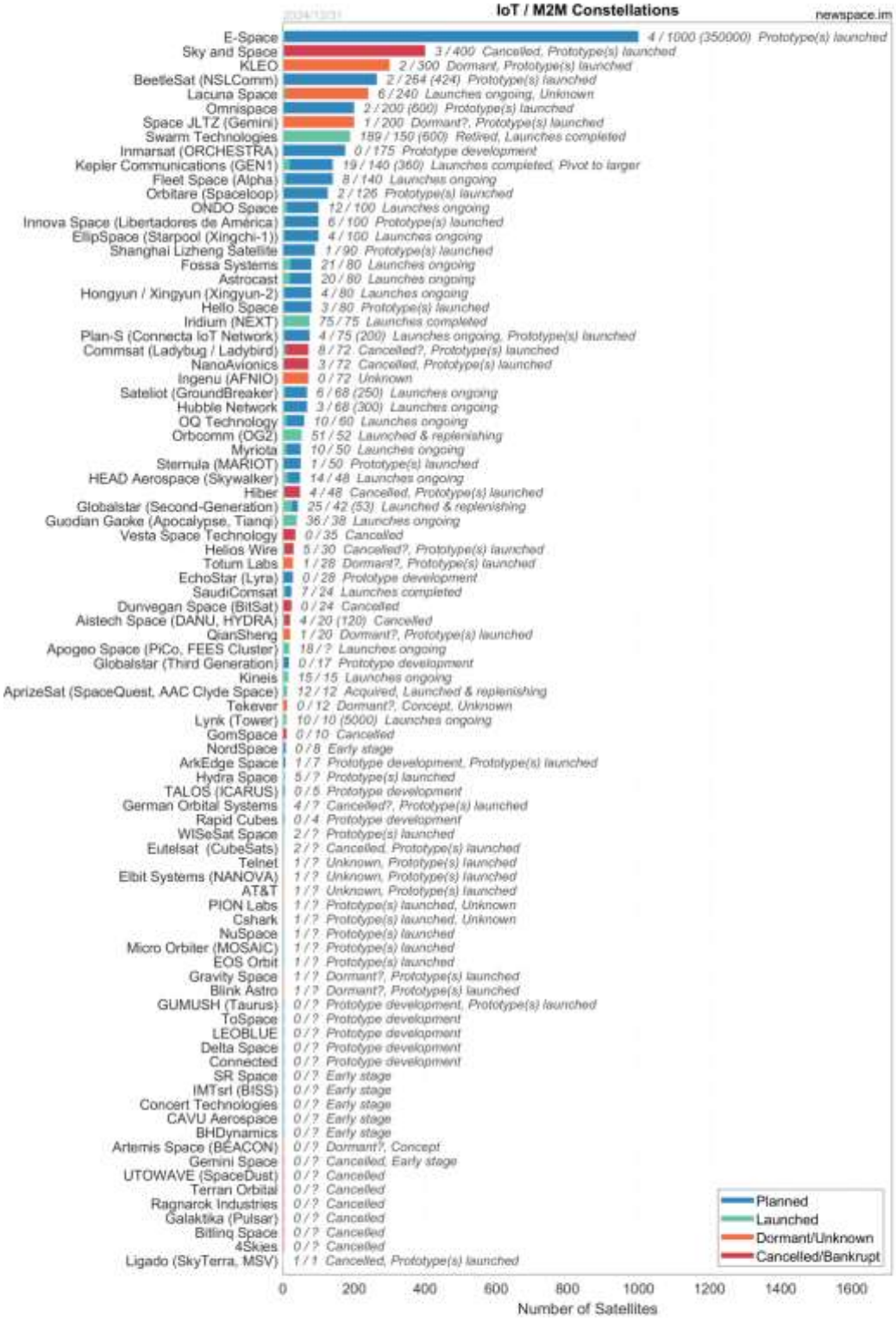

Рисунок 26 - Группировки Интернета вещей/ M2M

- Прямая сотовая связь

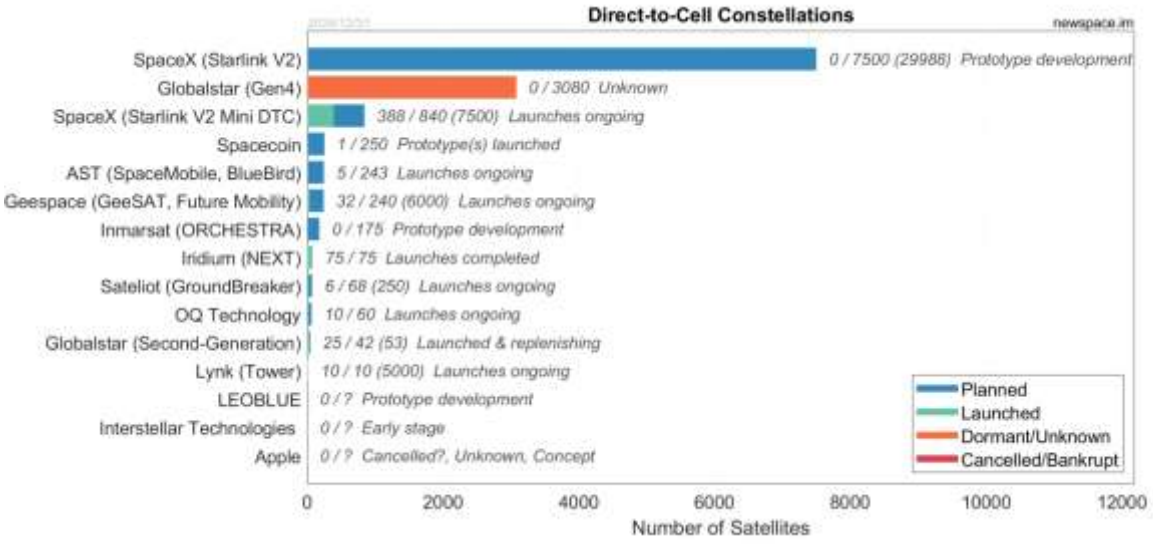

Рисунок 27 – Группировки прямой сотовой связи

1.16. Результаты анализа рынка

Только около 5% группировок полностью выведены, при этом 14% активно запускаются. Однако для большинства из них рост был медленным или с периодами застоя. Приблизительно 21% запустили один или несколько прототипов. Для многих первый запуск произошел уже много лет назад, и дальнейшие шаги неясны. 30% находятся на стадии разработки прототипа. Около 29% имеют статус "отменено" или "неактивно", на самом деле, вероятно, значительно больше, поскольку многие из прототипов и разработок, как ожидается, не будут развиваться.

Группировки широкополосного интернета становятся крупнейшими из запланированных, и уже запустили больше всего космических аппаратов, в первую очередь Starlink, также был развернут OneWeb. Китайские компании запустили первые партии спутников данного назначения.

Следующими по популярности являются системы оптического, радиолокационного и инфракрасного ДЗЗ, а также Интернет вещей. Исторически задачи ДЗЗ и связи пользуются спросом благодаря уже существующим рынкам. АИС является коммерческим рынком с начала 2000-х.

Популярны мониторинг радиочастотного спектра с геолокацией, ретрансляция орбитальных данных и мониторинг выбросов. Кроме того, развивается квантовое распределение ключей и коммерческая навигация.

Мониторинг радиочастотного спектра на базе HawkEye 360 и Unseenlabs работает, но Kleos Space обанкротилась. Специализированные орбитальные ретрансляторы данных еще не были развернуты в полном масштабе, их демонстрации были проведены или запланированы на следующие года, и Starlink вскоре должна выйти на этот рынок с подключаемым устройством Plug-and-Plaser. Были запущены первые ранние демонстрации коммерческих навигационных систем. Контроль космического пространства и инспекция на орбите востребованы, но размер рынка еще предстоит доказать.

Практически все описанные задачи вовлекают многоспутниковые группировки, аппараты которых должны быть распределены по нескольким плоскостям для выполнения заданных функций. При этом масса аппаратов невелика, что уменьшает вес полезных нагрузок, выводимых за один пуск. Одновременно развертывание и поддержание группировок характеризуется значительными задержками и срывами сроков, что не позволяет использовать РН большой грузоподъёмности для кластерных пусков в выделенные плоскости орбит как альтернативу РН малой грузоподъёмности.

2. Анализ рынка малых РН. Основные тренды и текущее состояние

2.1 Основные понятия и определения

РН малой грузоподъёмности в обзорах Эрика Кулу считалась выводящая до 1500 кг на солнечно-синхронную орбиту высотой 700 км. В отечественной литературе сверхлёгкие РН обычно определяются как выводящие до 500 кг (без уточнения целевой орбиты), а лёгкие – до 5000 кг. НАСА определяет лёгкие РН как выводящие менее 2000 кг.

Предпочтительно, чтобы ракеты были или планировались к выходу на коммерческий рынок. Этот критерий исключает, например, небольшие РН из

Израиля (Shavit), Ирана (Safir) и Северной Кореи (Unha), а также, предположительно, отечественный «Рокот-М».

Разные компании публикуют различные значения ПН для ракет. В этом случае предпочтительна ПН на ССО высотой 500 км. Если такие официальные значения найдены не были, то расчет массы ПН на эту орбиту не производился ввиду отсутствия достоверных моделей. Другими словами, характеристики не являются строго сопоставимыми, потому что орбиты могут быть разными. Суборбитальные ракеты-носители не были включены в этот обзор.

Первый запуск должен произойти после 1990 г. Это ограничение распространяется на коммерческие пусковые установки Pegasus и Athena, исключая ранние и часто некоммерческие семейства ракет, такие как Scout (США), Thor-Delta (США), Diamant (Франция), Long March 1 (Китай), M или Mu (Япония), Космос-3М (Россия) и другие.

В большинстве случаев включена только первая запущенная или наиболее известная ракета-носитель из семейства с близкими характеристиками. Другие добавляются, когда первая по времени ракета списывается.

Каждой РН был присвоен один из следующих статусов на основе доступной общедоступной информации, а в некоторых случаях и из-за ее отсутствия.

- Выведенные из эксплуатации (Retired) - РН, которые находились в эксплуатации, но с тех пор были официально сняты с производства, или о дальнейших запусках объявлено не было, или с момента последних новостей прошло много лет.
- В эксплуатации (Operational) - запуски на орбиту были выполнены (успешно или нет), и следующие запуски, вероятно, будут иметь ПН и высокую вероятность достижения орбиты.
- Развитие (Development) - подходящими показателями являются два или более из следующих: компания и проект заметно активны, объявлен год первого запуска, соответствующие обновления в социальных сетях и

новостях, размер команды увеличивается, объявлено о частном финансировании и/или присуждены государственные награды за проекты.

- Концепция (Concept) - стадия идеи или исследования. Этот статус может быть наиболее спорным, но он все же оставляет возможность того, что в будущем начнется активная разработка.
- Бездействие (Dormant) - первый шаг к отмене.
- Отменено (Cancelled) - было объявлено, что проект остановлен, или компания официально обанкротилась и закрылась.

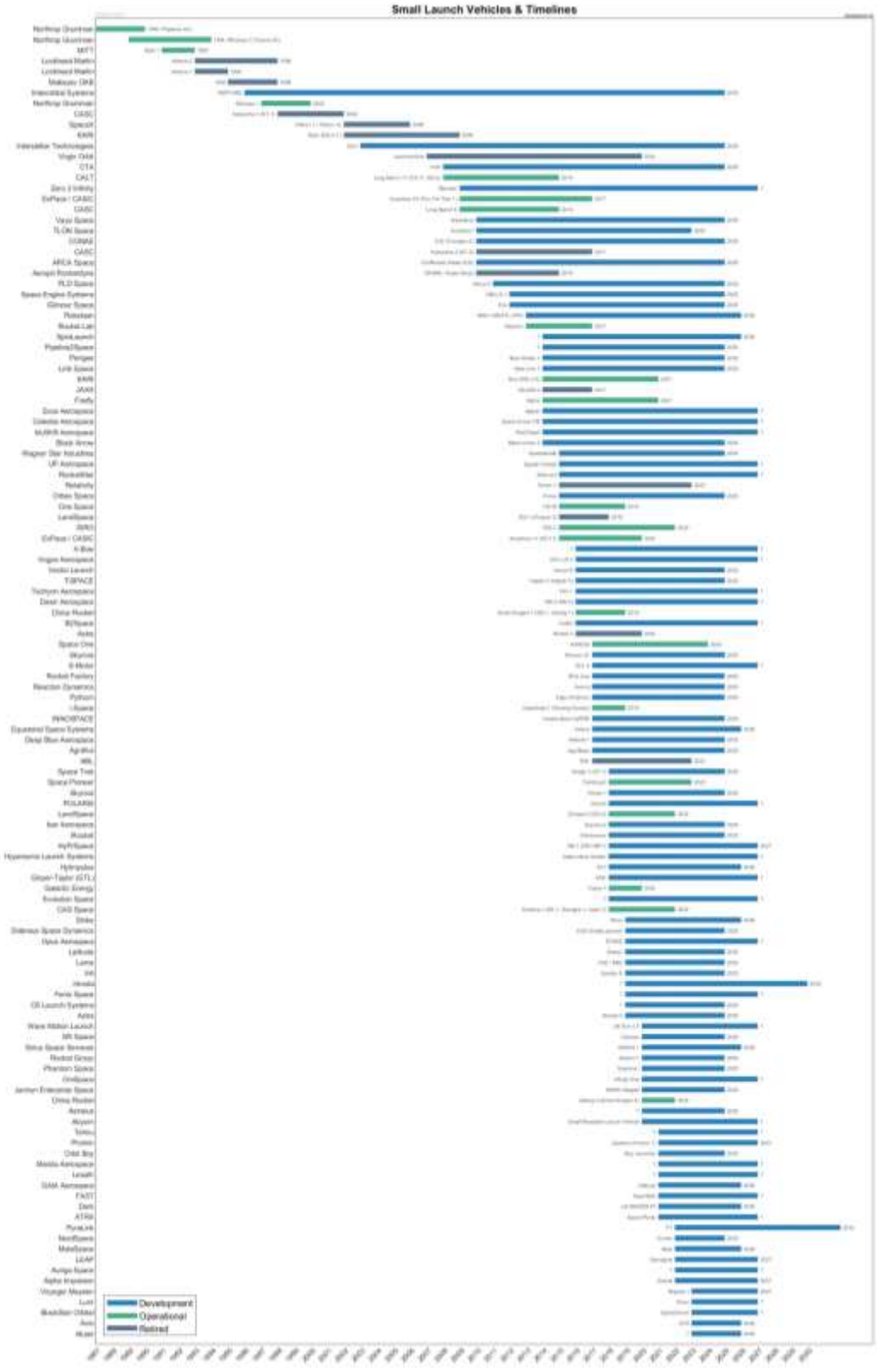

Рисунок 28 - Временные рамки и статус малых РН на начало 2025 года

2.2 Статистический обзор

2.2.1 Состояние разработки

В этом разделе представлен статистический обзор малых РН на начало 2025 года. На рисунке 29 показано текущее состояние 214 малых ракет-носителей. 14 были выведены из эксплуатации. В эту категорию попадают в т.ч. Astra Rocket 3, Virgin Orbit LauncherOne и Relativity Terran-1, поскольку по крайней мере один или несколько пусков были совершены до отмены. 21 эксплуатируются, при этом за последние годы в эту категорию попадают в основном азиатские РН: Nuri, ZK-1, Jielong-3, SSLV, Tianlong- 2. ABL RS1 совершила первый частично успешный полет в 2023 году. У многих из них последний полет был более года назад, и, возможно, в будущем запуски будут редкими или вообще прекратятся.

89 находятся в стадии разработки, и более половины из них объявили год первого полета. Количество РН на стадии разработки проекта или концепции уменьшились за последние 2 года, зато резко выросло количество отмененных или спящих проектов. Компании выходят с рынка из-за перехода на другие задачи (SmallSpark и Launcher (Vast) сосредоточились на космических буксирах, Pangea Aerospace - на производстве двигателей) или банкротства (SpaceRyde).

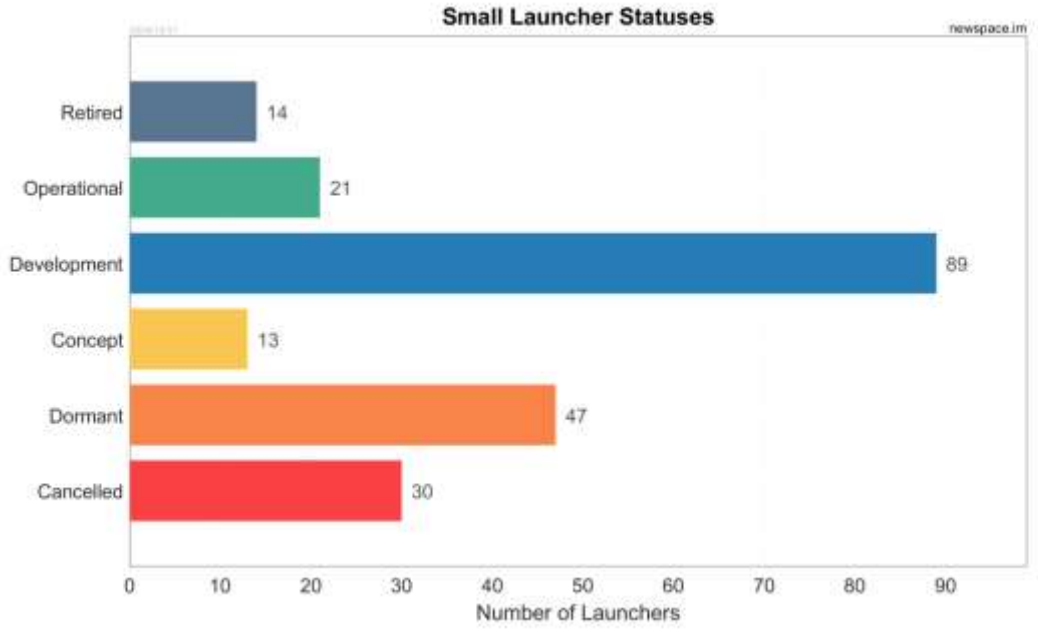

Рисунок 29 - Текущее состояние малых РН

2.2.2 Характеристики

Как видно на рисунке 30, большинство РН нацелены на вывод ПН в диапазонах 50-150 кг и 150-300 кг. Большинство компаний заявляют характеристики для солнечно-синхронных орбит высотой 500 км, когда имеются данные. Заявлено более тридцати ракет для запусков одиночных кубсатов массой менее 50 кг, но ни одна из них еще не введена в эксплуатацию, а SS-520-4 JAXA, вероятно, отменена.

При этом ПН обычно серьёзно ограничена по объему из-за размера обтекателя. Исходя из списания РН и отмены разработок, наблюдается тенденция к созданию более крупных ракет.

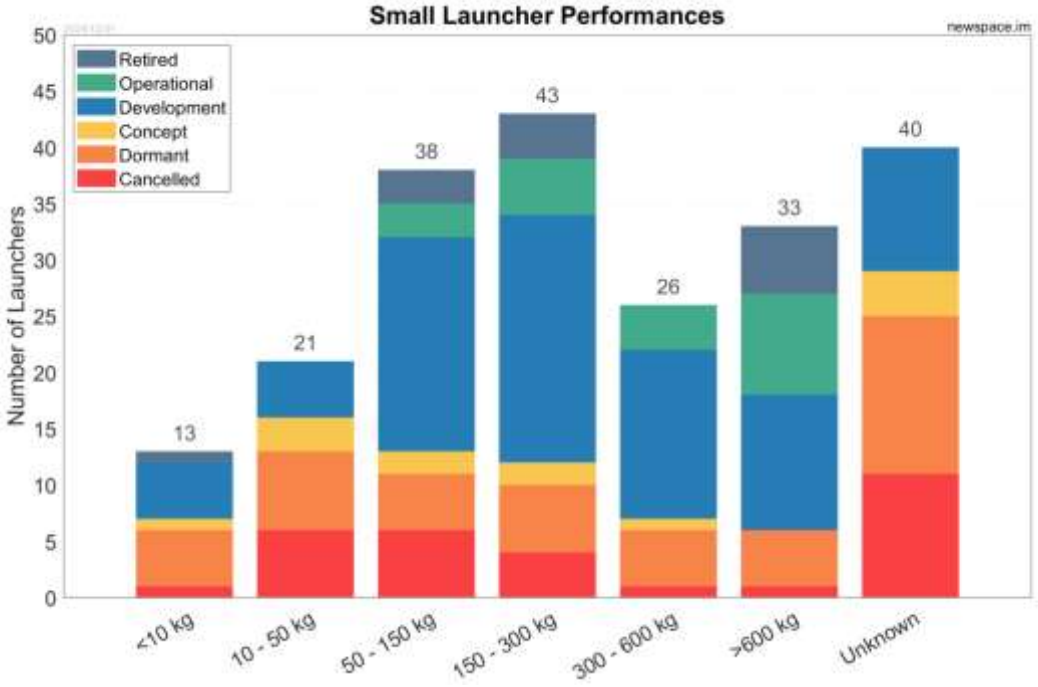

Рисунок 30 - Грузоподъемность малых РН

2.2.3 Абсолютные цены

На рисунке 31 показаны абсолютные цены на выделенные пуски. Стоимость пуска более половины малых РН публично не разглашается. Ни одна из недорогих РН пока не летает, что соответствует рисунку 31, поскольку большинство из них планируется использовать для запуска кубсатов.

Рисунок 31 – Стоимость запуска малых РН

2.2.4 Цены за килограмм

На рисунке 32 показаны удельные стоимости выведения в различных диапазонах. Лишь для 10% всех малых РН удельная стоимость составляет менее 10 000 долл./кг, и практически ни одна из этих ракет не эксплуатируется, т.е. цены являются оценочными. Только SSLV ISRO стоит примерно 8400 долл./кг. Этот уровень был бы сопоставим с совместными миссиями, но большинство малых РН его заметно превышает.

Для сравнения, SpaceX Smallsat Rideshare Program с 2021 г. предлагает выведение на ССО 200 кг за 1 млн. долл. За КА массой менее 200 кг по-прежнему необходимо оплатить полную сумму при прямой покупке (что вызвало к жизни многочисленные проекты межорбитальных буксиров для наноспутников). По другому тарифу такое выведение стоит 275 тыс. долл. за 50 кг, при этом дополнительная масса оплачивается в размере 5,5 тыс. долл. за дополнительный килограмм. Однако эта цена ежегодно увеличивается на 500 долл./кг, при этом не учитывается стоимость адаптеров и средства отделения.

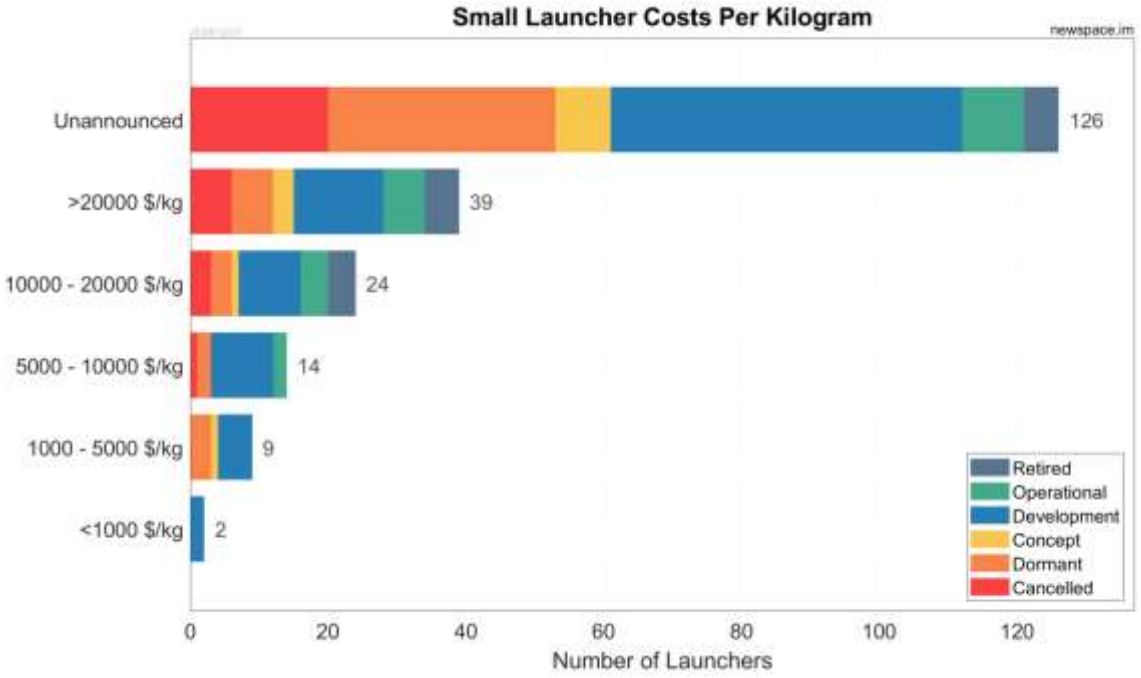

Рисунок 32 – Удельная стоимость запуска малых РН

2.2.5 Соотношение стоимости пуска и массы ПН

Как видно из рисунка 33, ракеты американских оборонных концернов и японские ракеты относительно дороги. SSLV может составить конкуренцию Electron за счет более низкой цены и более высокой массы ПН. В июле 2023 года ISRO объявила, что передаст технологию SSLV частному сектору, и 23 компании выразили заинтересованность. Будущее покажет, какими будут цена и спрос на коммерческие миссии.

Самые низкие стоимости имеют ещё не летавшие ракеты. Интересно отметить, что Falcon 1 от SpaceX стоил дешевле, если не учитывать инфляцию, и планировал иметь большую грузоподъемность, чем Terran-1 от Relativity, Alpha от Firefly, LauncherOne от Virgin Orbit и RS1 от ABL. Athena-1 от Lockheed Martin также была аналогична по стоимости и грузоподъемности по сравнению со многими хорошо финансируемыми будущими РН.

РН со стоимостью пуска 1-3 миллиона долларов была бы способна найти больше клиентов, которые иначе выбрали бы попутный запуск. Однако эластичность рынка запуска малых спутников - сложный вопрос, поскольку имеющиеся данные ограничены.

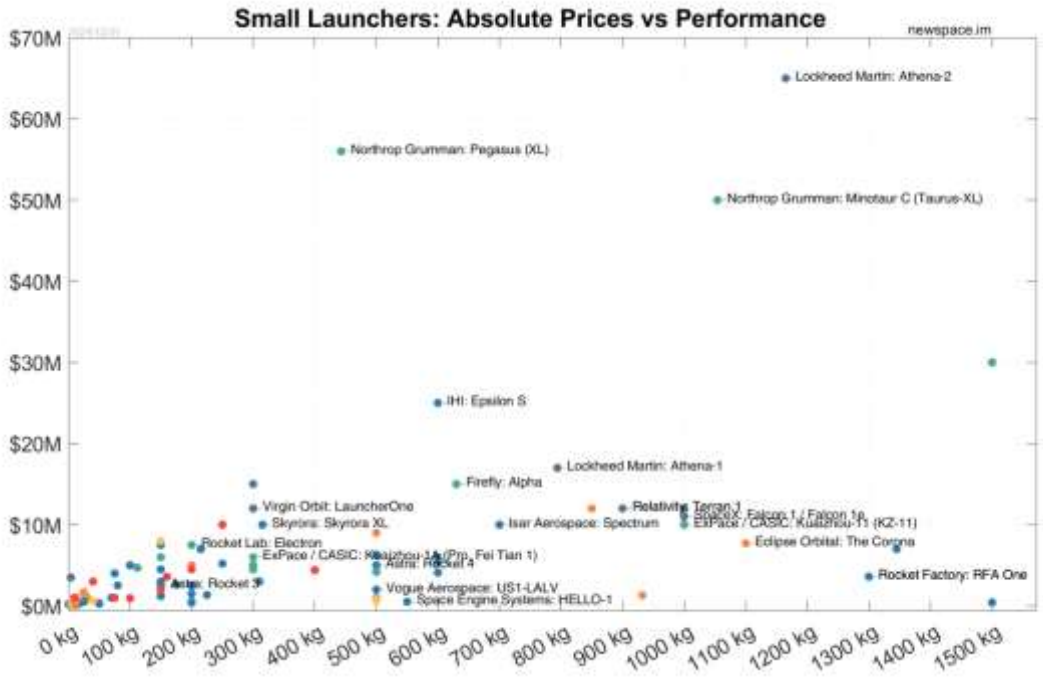

Рисунок 33 – Стоимость пуска в зависимости от массы ПН малых РН

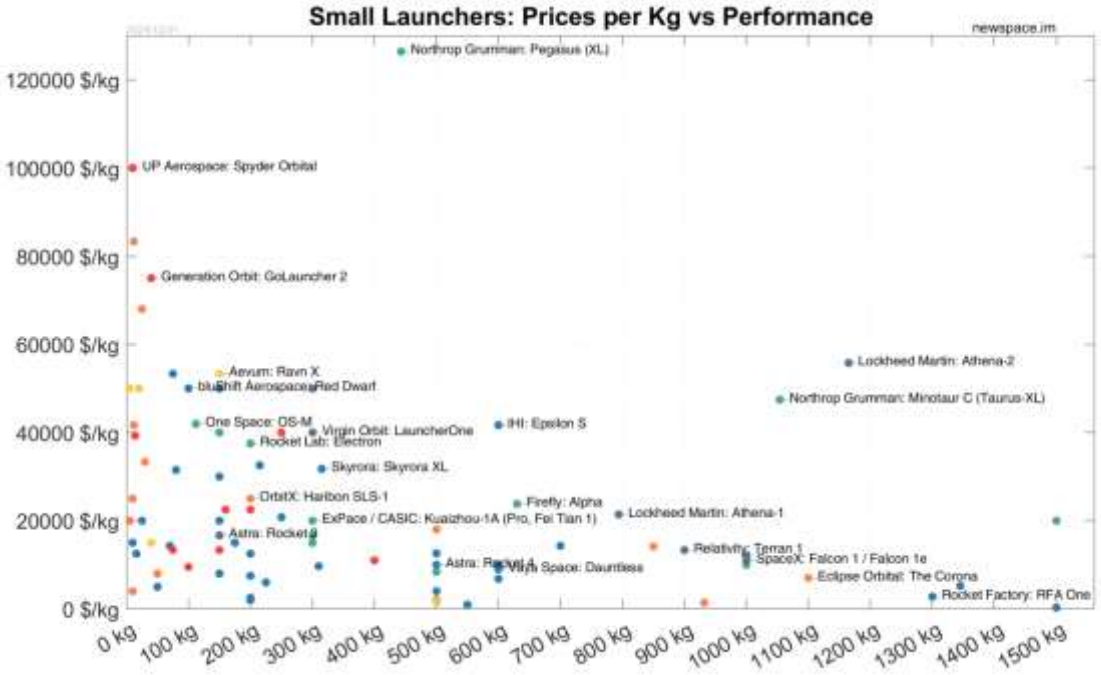

Рисунок 34 - Соотношение удельной стоимости выведения и массы ПН малых РН

2.2.6 Типы запуска

Запуск с земли - самый популярный выбор, за которым следуют самолет и воздушный шар, которыми, однако, почти не пользуются реально эксплуатируемые РН. Pegasus не летал с 2021 года, а LauncherOne обанкротился в первой половине 2023 года. Ни один из проектов воздушного

шара и катапульты даже не предпринял демонстрационной попытки запуска на орбиту. SpaceRyde обанкротился в начале 2023 года.

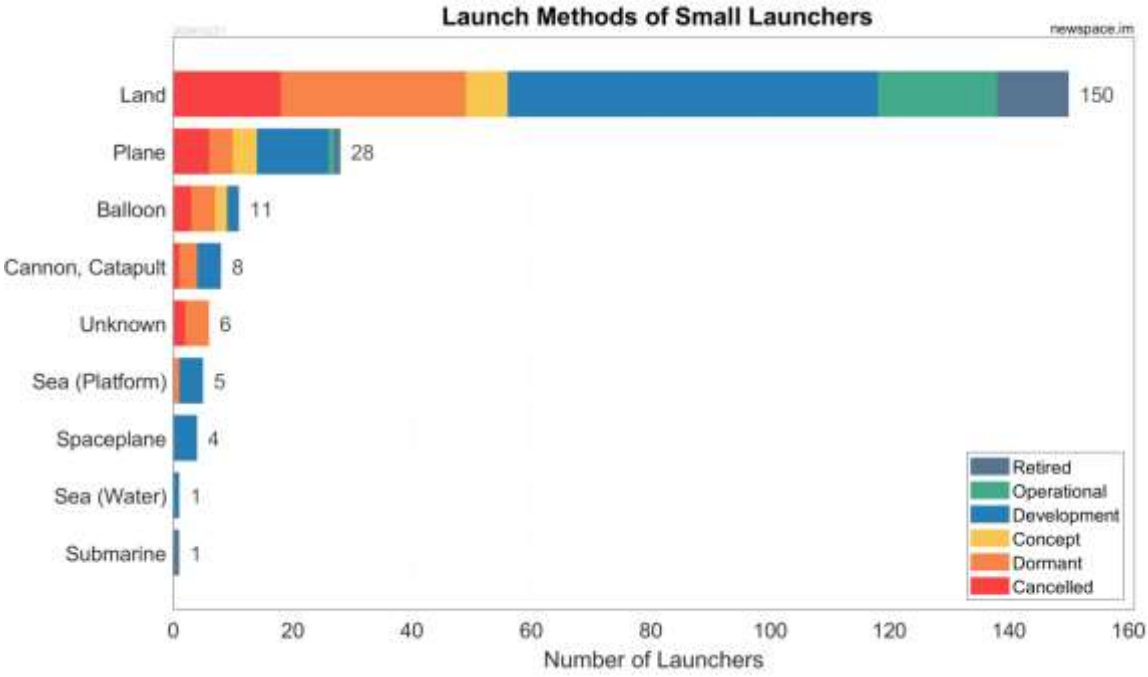

Рисунок 35 - Типы запуска малых РН

Первый запуск Virgin Orbit из Великобритании провалился в январе 2023 года. Ana Holdings (All Nippon Airways) в ноябре 2021 года объявила о меморандуме о взаимопонимании с Virgin Orbit о закупке двадцати пусков LauncherOne и запуске их из Японии в 2022 году. Ceres-1 компании Galactic Energy провела свой первый морской запуск с мобильной морской платформы в сентябре 2023 года.

SpinLaunch - самый известный проект с катапультой, который собрал более 150 млн. долл., однако как минимум верхняя ступень такого снаряда по-прежнему должна быть ракетной для выхода на круговую орбиту. Существует некоторый скептицизм по поводу того, что спутники способны выдерживать перегрузки, но эту систему также можно использовать для доставки грузов, таких как вода, топливо и другое сырье. Однако их объявленные 0,5 млн. долл. и 100 кг за запуск составляют 5000 долл./кг, что сопоставимо с Falcon 9 от

SpaceX. Катапульта Longshot Space Systems расположена горизонтально и рассчитана на вывод на орбиту всего за 10 долларов за килограмм.

Космические самолеты-разгонщики предназначены для полетов намного выше и быстрее обычных самолетов. Они могут быть сами по себе одноступенчатыми средствами выведения, которые взлетают с взлетно-посадочной полосы. Все они находятся на ранних стадиях, например, POLARIS из Германии. Dawn Aerospace выполняет полеты на суборбитальном Mk-II и надеется приступить к доработке проекта двухступенчатого Mk-III орбитального класса.

При относительно низких затратах на топливо наземные запуски кажутся более практичными, даже если ракеты имеют больший размер при той же ПН, из-за более легкой заправки, простоты доступа, возможности решения проблем в последнюю минуту и более легкой масштабируемости.

2.2.7 Первые запуски

Многочисленные бездействующие и отмененные малые РН первоначально объявили о своих первых полетах на 2020-2024 годы. Эти записи были удалены из таблицы, поскольку запусков в реальности не было.

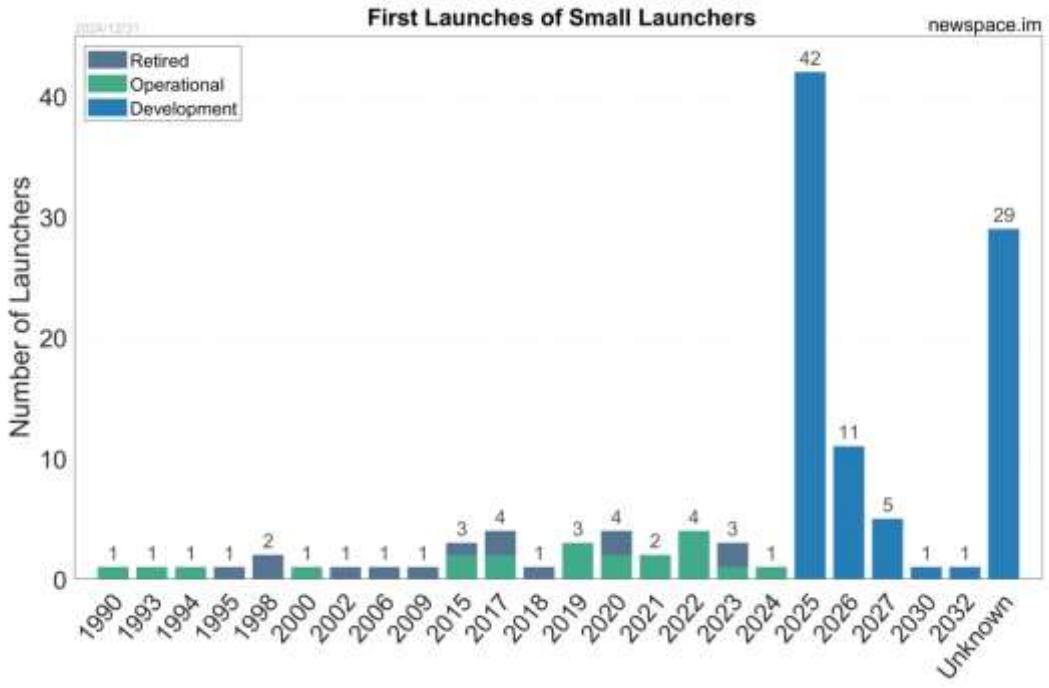

Рисунок 36 - Годы первого запуска малых РН

Оглядываясь назад, на 2021 год были запланированы первые полеты 14 малых РН, 28 - на 2022 год. Но в 2021 году только 2 РН предприняли первые попытки запуска, и это были Alpha от Firefly и Nuri от KARI (KSLV-2). В 2022 году были предприняты первые попытки орбитального запуска ZK-1 (Kinetica-1, Zhongke-1, Lijian-1) с CAS Space, Jielong-3 (Smart Dragon-3) с China Rocket и SSLV от ISRO. Таким образом, было выполнено только около 10% планов.

В начале года на 2025 год было запланировано 42 первых полета малых РН, однако до конца мая был совершен только один – неудачный запуск Spectrum. 27 малых РН вообще не объявили о первых запусках.

2.2.8 Даты основания пусковых компаний

Пик создания новых компаний, производящих ракеты-носители малой грузоподъемности, пришелся на 2016-2018 годы, и затем закончился – в 2024 году новых компаний не появилось вообще. На пиковые 2016-2018 годы приходится наибольшее количество уже бездействующих компаний, что означает, что они были основаны во время бума, но большинство из них так и

не смогли создать команду, увеличить стартовый капитал или продвинуться в разработке.

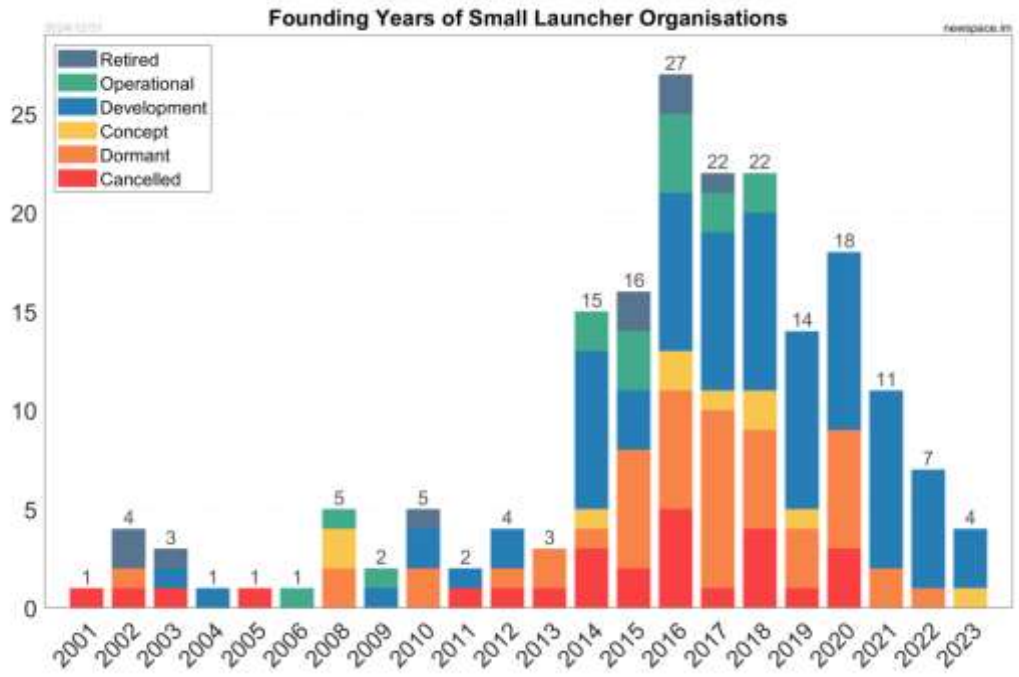

Рисунок 37 – Даты основания пусковых компаний

2.2.9 Сроки разработки

Отправной точкой является установленный год основания организации или объявленный старт проекта. Конечная точка - это первая попытка запуска на орбиту или объявленная в настоящее время будущая цель.

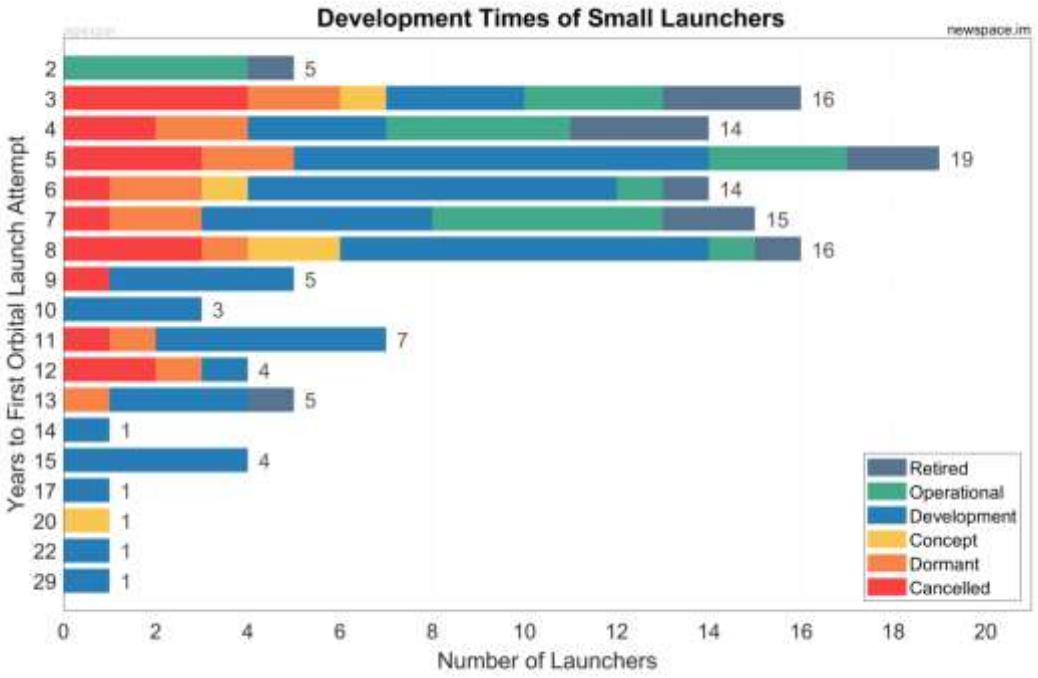

Рисунок 38 – Сроки разработки малых РН

Диаграмма показывает, что разработать ракету орбитального класса возможно за 3-5 лет при наличии задела, и многие достигли этого. Например, Pegasus был разработан примерно за 3 года (на основе задела по МБР). На запуск Athena от Lockheed Martin ушло около 5 лет (также при наличии задела по боевым ракетам). Falcon 1 от SpaceX потребовалось 4 года до первой попытки запуска и 6 лет до четвертого успешного запуска. На Astra ушло 4 года (но, вероятно, помогло наследие Ventions). На Firefly Alpha ушло 7 лет, включая период банкротства.

Китайские ракетные стартапы вышли на рынок относительно быстро. iSpace потребовалось всего 2 года, в то время как LandSpace потребовалось 3 года. Сроки разработки большинства других китайских ракет также находятся в диапазоне 2-4 года, например, Jielong-3 (Smart Dragon-3), ZK-1 (Kinetica-1, Zhongke-1, Lijian-1), Ceres-1, OS- M и Smart Dragon-1 (SD-1, Jielong-1).

Между основанием Rocket Lab в 2006 году и первым полетом Electron в 2017 году прошло 11 лет, но разработка Electron началась примерно в 2013

году, поэтому срок в 4 года ближе к истине. В то же время некоторым малым РН потребовалось 10 и более лет на разработку. С момента запуска проекта Virgin Orbit до первой попытки орбитального полета прошло 13 лет.

С момента основания Relativity Space в 2015 году до запуска на орбиту в начале 2023 года прошло около 8 лет. Теперь, с отменой Terran 1, пройдет не менее 11 лет с момента основания компании до дебюта Terran R в 2026 году. RS1 потребовалось примерно 6-7 лет с начала работы ABL в 2017 году до попытки запуска на орбиту.

Следует отметить, что все эти проекты, хотя и совершили первый полёт, в настоящее время не находятся в списке эксплуатируемых. Возможно, 8 лет с начала разработки – это предельное время, после которого успешное завершение проекта оказывается под вопросом.

2.2.10 Задержки в разработке

Первоначально объявленные годы запуска были сопоставлены с последними объявлениями или выполненными запусками. Отрицательное число означает, что сроки запуска были сдвинуты влево, но для эксплуатируемых РН это всё же нехарактерно. 2-3 года задержки являются допустимыми, но всё же шанс создать рабочее изделие снижается с каждым годом задержки. У малых ракет из Китая лучший послужной список.

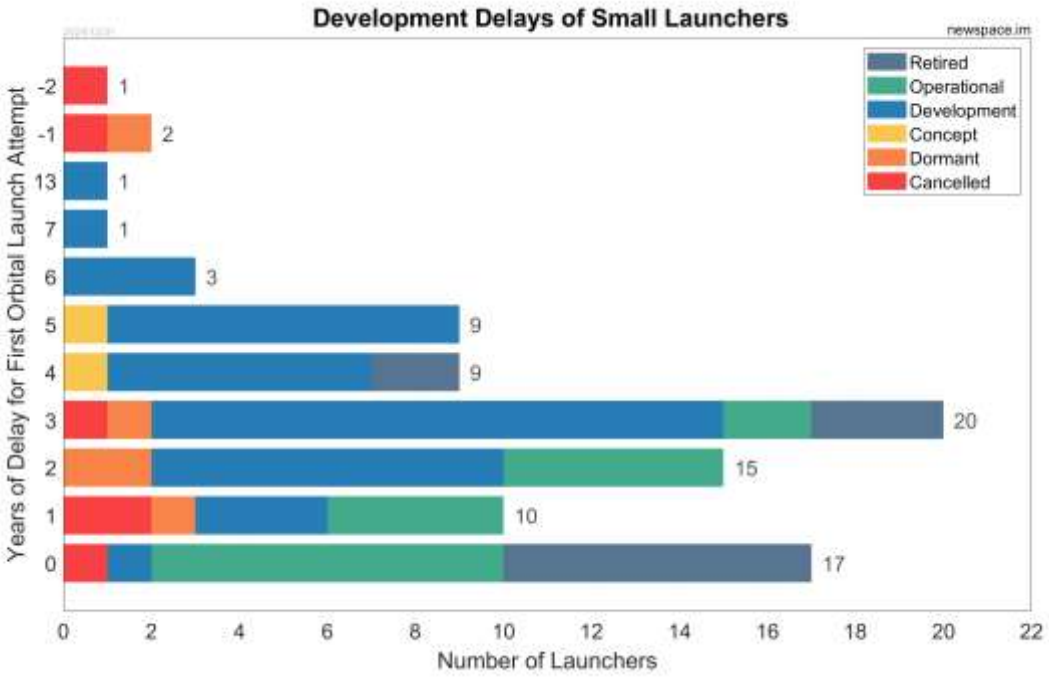

Рисунок 39 - Задержки в разработке малых РН

2.2.11Частота пусков

Хотя многие малые РН недавно вступили в строй, ни одна из них не достигла запланированных величин и может быть далека от них. В зависимости от РН, это происходит из-за сочетания готовности ракеты с точки зрения расширения производства и скорости запусков, а также из-за готовности заказчиков.

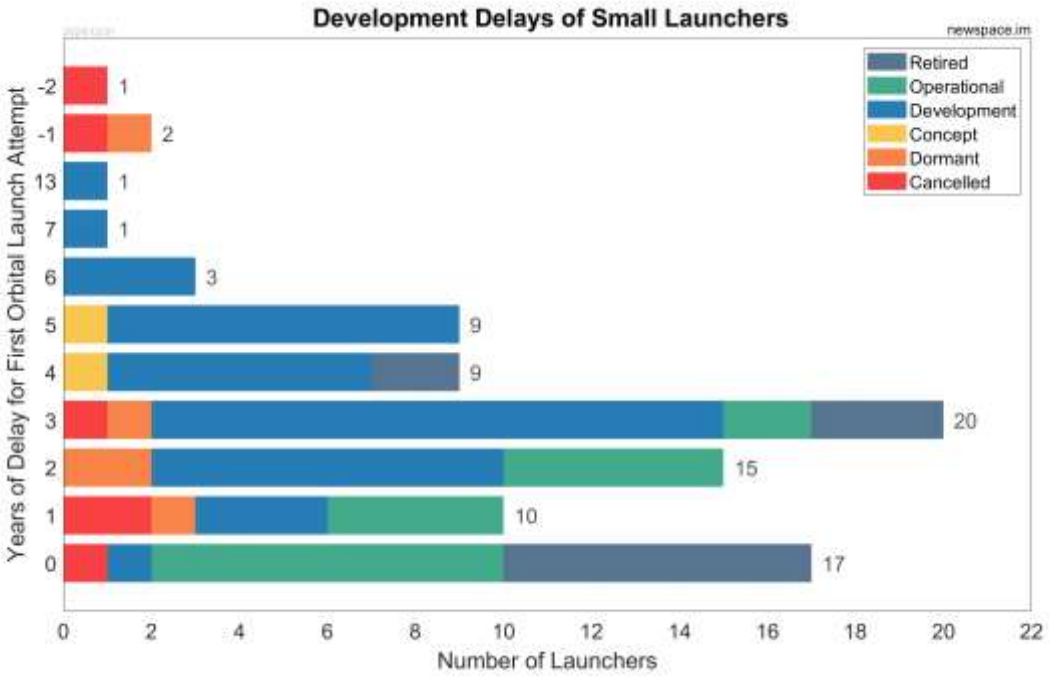

Рисунок 40 - Планируемые частоты пусков малых РН

В 2014 году Rocket Lab планировала еженедельные запуски, в марте 2019 года - каждые 2 недели до конца года, в июне 2020 года - ежемесячные. На самом деле Electron достиг 14 орбитальных запусков в год только в 2024 году, и неясно, сможет ли рекорд быть повторен в 2025-м. Количество запусков Rocket Lab зависит от готовности заказчиков, которую можно сравнить с рыночным спросом, а не с готовностью к запуску.

В 2021 году Astra планировала выполнять 300 полетов в год к 2025 году. Даже для Rocket 4 Astra планирует производственную линию, способную производить одну ракету в день. Stoke Space разрабатывает полностью многоразовую РН, предназначенную для ежедневных полетов.

Ряд стартапов из США участвуют в программах Responsive Space Access, которые должны запускаться в кратчайшие сроки, а некоторые малые РН имеют историю участия в подобных программах около 10 лет назад, однако до сих пор подобные пуски остаются единичными.

2.2.12 Финансирование

SpaceX, Rocket Lab и Relativity к настоящему времени собрали более 1 млрд. долл., но, например, на разработку Falcon 1 и Electron ушло гораздо меньше. Многие проекты внутри крупных организаций, должно быть, тоже получили большое финансирование, но эти цифры не были обнародованы.

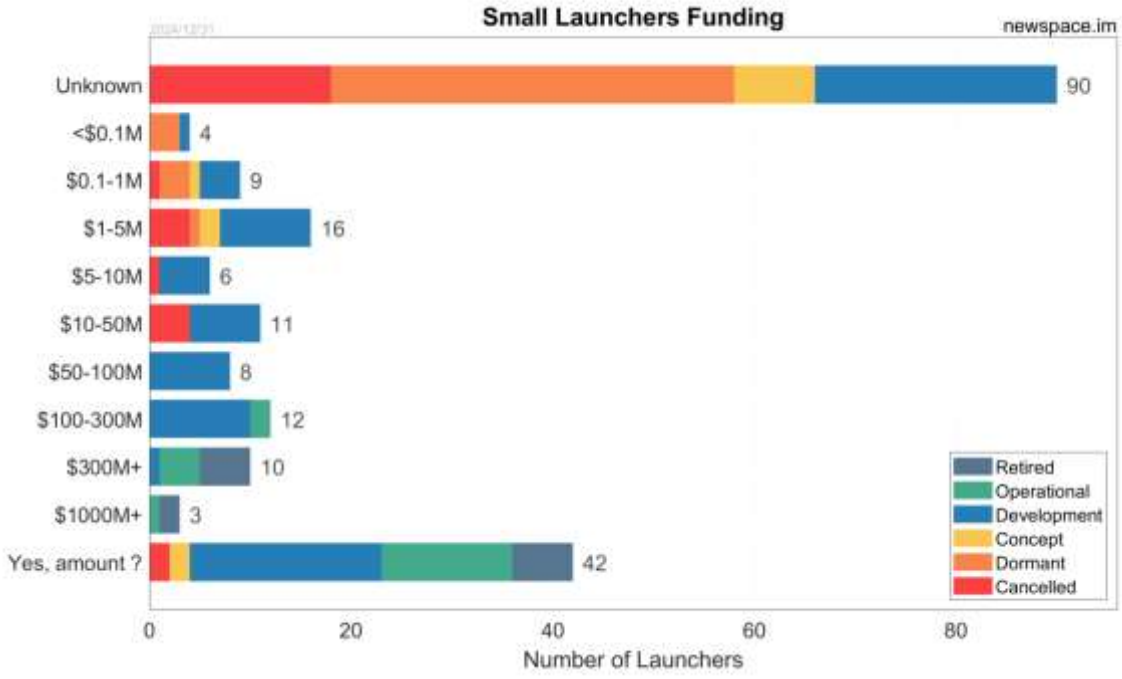

Рисунок 41 - Объемы финансирования малых РН

Среди действующих или близких к реализации РН почти все собрали более 100 млн. долл., некоторые во много раз больше. LandSpace собрала около 370 млн., One Space - около 116 млн., iSpace - более 270 млн., Virgin Orbit - около 700 млн., Astra - более 670 млн,. Space Pioneer - более 438 млн., ABL Space Systems - 480 млн. Galactic Energy осуществила первую попытку орбитального запуска, собрав около 73 млн. долл., и в настоящее время это, безусловно, самая низкая величина из известных коммерческих примеров.

Среди находящихся в разработке РН Gilmour Space привлекла около 132 млн., включая гранты. Orbex привлекла около 110 млн. Skyrora - 45 млн., SpinLaunch - более 80 млн., PLD Space - более 50 млн. долларов, Vector Launch - более 103 млн., но обанкротилась в декабре 2019 года, хотя работа была

возобновлена в конце 2020 года. Virgin Orbit привлекла 228 млн.долл. в результате слияния со SPAC, что меньше половины суммы, которую она предполагала, когда о сделке было объявлено в августе 2021 года.

Минимальная сумма, необходимая для разработки и запуска ракеты орбитального класса, по-видимому, составляет по меньшей мере десятки миллионов долларов или, что более вероятно, порядка 100 млн. долл. Э. Бергер сообщил в 2020 году, что SpaceX потратила около 100 миллионов долларов на ракету Falcon 1 с 2022 по май 2026 года. Питер Бек сказал, что Rocket Lab потратила почти 100 млн. долл. на запуск ракеты Electron в космос. Astra потратила примерно столько же на Rocket 3.0.

Бергер также сообщил в 2020 году, что Virgin Orbit не раскрыли, сколько они потратили на сегодняшний день, но оценки варьируются от 500 до 700 млн. долл. на разработку LauncherOne. Virgin заявляла о затратах в размере 1 млрд. долл. в презентации для инвесторов. Это значительно больше по сравнению с конкурентами, однако в итоге не привело к коммерческому успеху.

Большинству компаний-производителей РН по-прежнему приходится продолжать сбор средств для завершения разработки, и это отфильтровывает несерьезные с точки зрения инвесторов команды. Также ясно, что новые компании после SpaceX пока не смогли значительно снизить затраты на разработку.

2.2.13 Ступенчатость

Для твердотопливных ракет, большинство из которых эксплуатируются в США и Китае, типично наличие четырех ступеней. Многие новые жидкостные РН имеют две ступени, но некоторым требуется дополнительная третья ступень для довыведения на круговую орбиту. Также в разработке находятся одноступенчатые РН. Считается, что Rocket Lab разработало

трехступенчатую ракету, потому что для выхода на круговую орбиту ей требуется апогейная ступень, и большинство миссий выполнялось с ней.

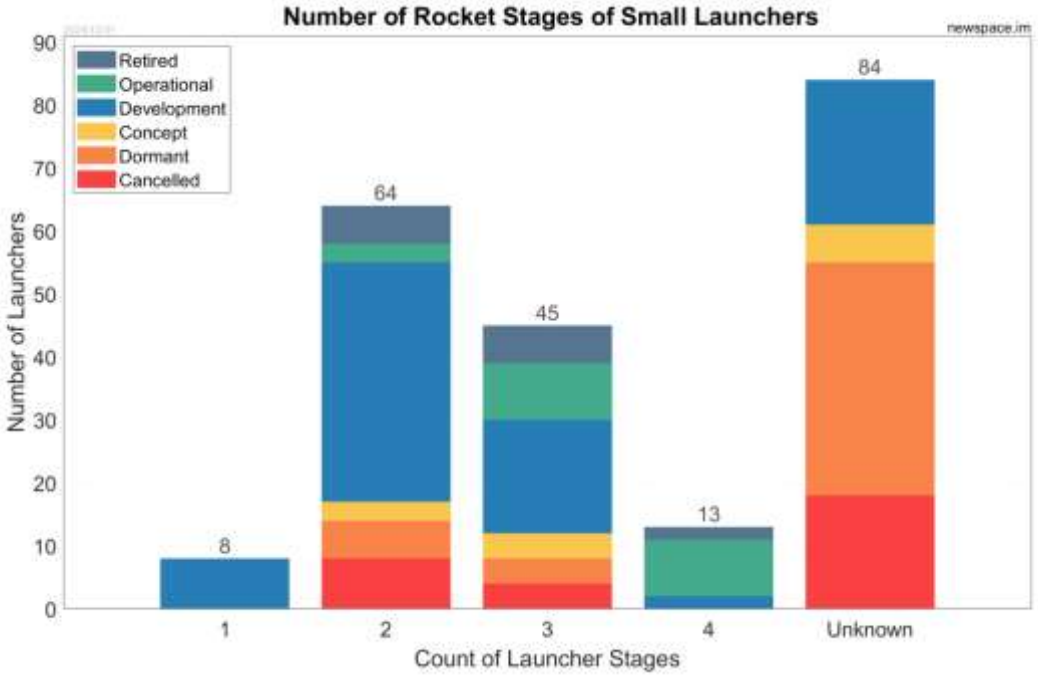

Рисунок 42 – Ступенчатость малых РН

2.2.14 Типы ракетного топлива

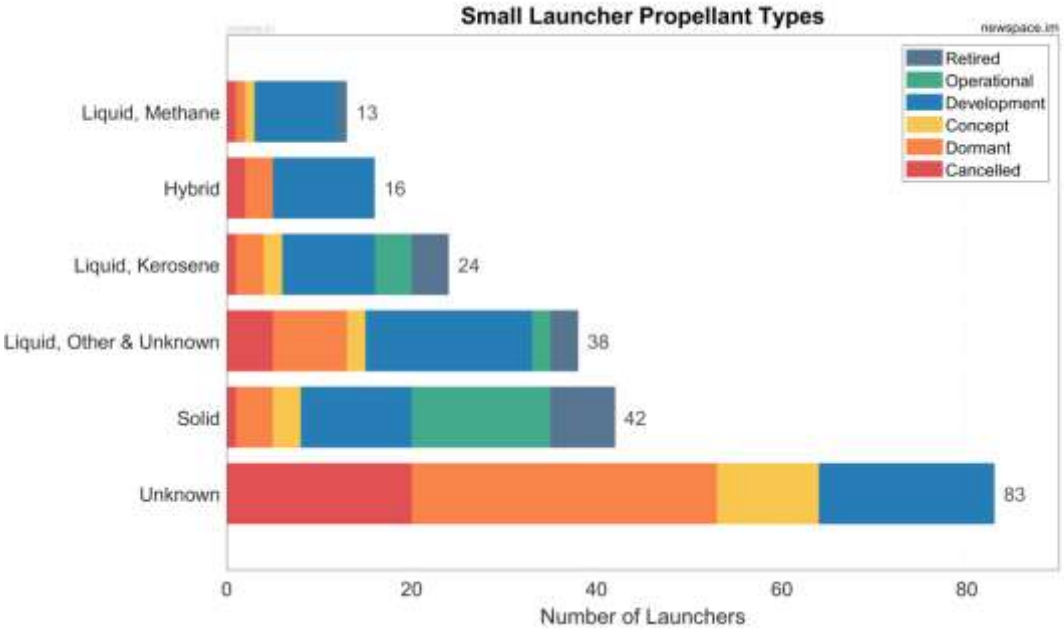

Рисунок 43 - Типы топлива для малых РН

Твердотопливные ракеты очень распространены из-за использования задела МБР, и именно они в основном имеют три или четыре ступени. Именно они в подавляющем большинстве доведены до эксплуатации. Для многих современных РН в качестве горючего используются керосин и метан при использовании жидкого кислорода как окислителя. Многие другие небольшие РН, вероятно, будут использовать те же компоненты, но пока анонсирована только универсальная” жидкость”.

Гибридная технология - многообещающая в теории, но не была продемонстрирована на ракетах орбитального класса. По-видимому, пока не существует явного преимущества в стоимости пуска, связанного с типом топлива, и соответствующую экономическую эффективность необходимо будет доказать.

2.2.15 Возможность повторного использования

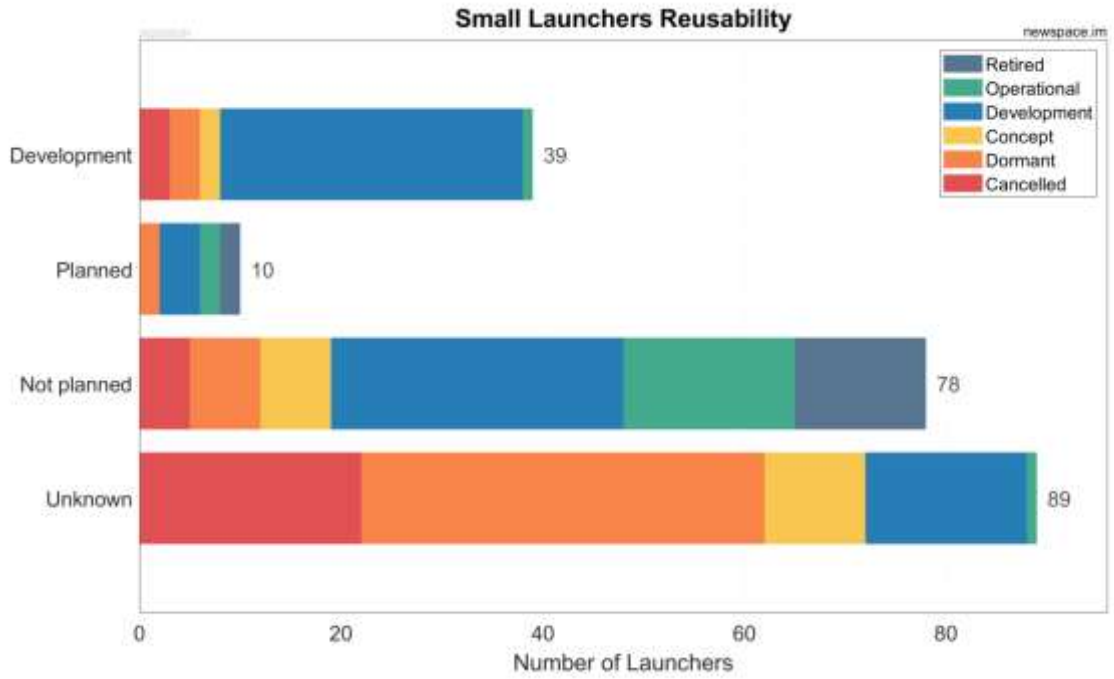

Рисунок 44 - Возможность повторного использования малых РН

Большинство малых РН не планируется использовать повторно. Rocket Lab разрабатывает повторное использование Electron. Планировались

подхваты первой ступени в воздухе с помощью вертолета. Однако план, похоже, изменился к началу 2023 года в пользу приводнения и извлечения ступени из океана. В августе 2023 года повторно использовался двигатель, летавший в мае 2022 года, с изделия, пойманного вертолетом. На этом работы, по-видимому, остановились из-за отсутствия спроса. Экономическая и конкурентная важность повторного использования широко понимается, но многие разработчики малых РН не объявили об изменениях в своих подходах.

2.2.16 Географическое распределение

Для компаний, которые представлены в нескольких странах, показано только основное местоположение. Rocket Lab имеет очень большое присутствие в Новой Зеландии, включая стартовую площадку, но юридически штаб-квартира находится в Соединенных Штатах. Стартовые площадки могут базироваться в других местах, что планируется для многих европейских РН.

Большинство организаций расположены в Соединенных Штатах, за ними следуют Китай, Великобритания и Индия. Однако только у США, Китая и Индии есть действующие малые РН.

В Великобритании относительно большое количество разработчиков, включая Orbex и Skyrora. Rocket Factory, HyImpulse и Isar Aerospace расположены в Германии. Во Франции, например, есть Latitude, MaiaSpace, Sirius Space и Alpha Impulsion. Индия является домашней страной для Skyroot Aerospace, Agnikul Cosmos и Bellatrix. Avio и Sidereus базируются в Италии. Gilmour Space базируется в Австралии.

Канадские компании по производству малых ракет-носителей включают SpaceRyde, C6 Launch Systems, NordSpace и Space Engine Systems. У Испании есть PLD Space, Zero 2 Infinity и Pangea Aerospace. IHI Aerospace, Interstellar, Honda и Space One базируются в Японии.

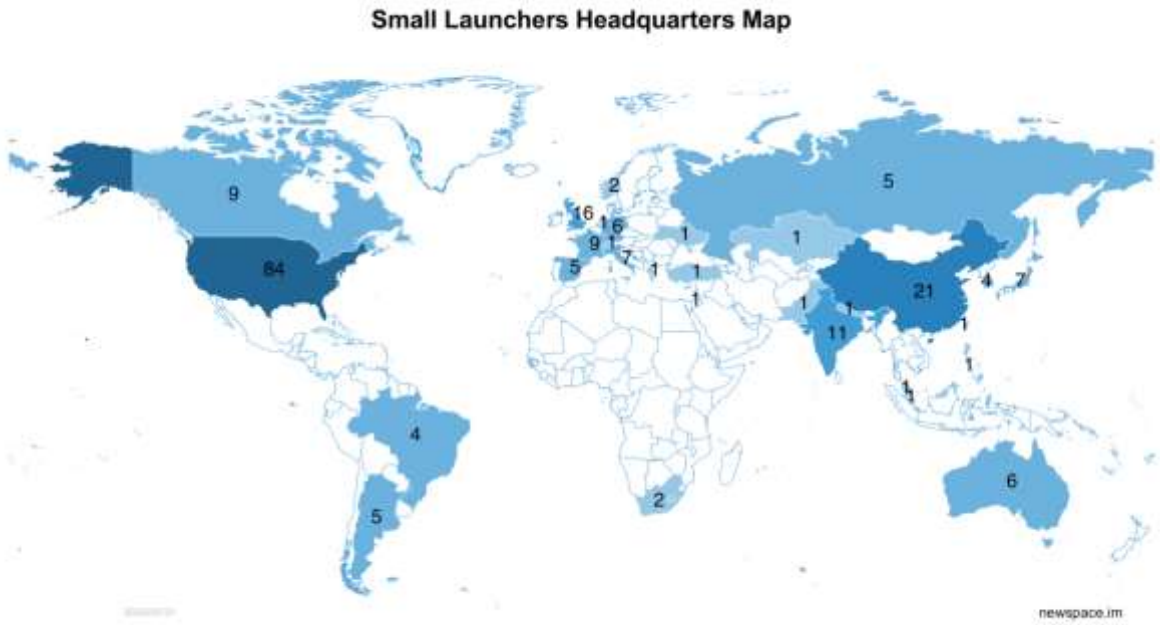

Рисунок 45 - Расположение штаб-квартир организаций, занимающихся запуском малых РН

2.3. Анализ рынка

2.3.1 Доходы

Прогнозы по доходам несколько лет назад были слишком оптимистичными и не оправдались. Astra сообщила о доходах от услуг запуска в размере 5,899 млн долларов в 2022 году (против прогноза от 2021 г в 47 млн.). В 2022 и в 2023 доходы от запуска не получались, так как Rocket 3 была выведена из эксплуатации, а Rocket 4 еще не запущена.

Virgin Orbit провела 2 запуска в 2021 году, 2 в 2022 году и один в 2023 году, и сообщила о выручке 7,385 млн долларов в 2021 году (прогнозировала 15 миллионов), 33,1 млн в 2022 году (прогнозировала 70 миллионов) и обанкротилась в 2023 г, на который планировала 331 млн. выручки.

Rocket Lab сообщила о доходах от услуг запуска в размере 39 миллионов долларов в 2021 году (прогноз 49 млн.), 60,7 млн. в 2022 году (прогноз 115

млн.) и 63 млн. в 2023 (прогноз 141 млн.). Пусковая деятельность в 2023 г. впервые оказалась прибыльной, однако в целом компания убыточна.

2.3.3 Портфель заказов

Интересно, что компании, которые когда-то заявляли о значительном портфеле заказов, некоторые из которых превышали 100 миллионов долларов, теперь сняли с производства забронированные РН (например, Rocket 3, Terran 1) или обанкротились (Virgin Orbit). Как показывает история, возможно, каждой компании-разработчика, повышение частоты запуска занимает годы, даже когда есть клиенты.

Заказы пусков Astra по состоянию на август 2021 года составляли 150 млн.долл., а объем переговорных контрактов - 1,2 млрд. долл. К концу 2021 года заказы увеличились до 160 млн. долл. Затем данные о заказах пропадают.

Объем заказов Virgin Orbit вырос с 86 млн. на конец 2020 года до 575 млн. на конец 2021 года, хотя только 152 млн. из них были заключены в форме обязательных соглашений. В 2021 году Virgin заявила о 300 млн. активных контрактов и 1,3 млрд. в переговорах. В ноябре 2022 года объем контрактов, имеющих обязательную силу, сократился до 143 миллионов долларов. В ходе банкротства данных о действующих заказах предъявлено не было.

Заказы Rocket Lab на июнь 2021 года составляли 141,4 млн. (только на пуски), на 31 декабря 2022 года - 503,6 млн. (из них только 116,2 млн. на пуски). На июнь 2023 года объем заказов увеличился до 534,3 млн. (и только 161,9 млн. связаны с пусковыми услугами). Таким образом, пусковые услуги становятся второстепенным источником доходов для Rocket Lab, хотя их спутниковый сегмент ещё не находится в эксплуатации.

У ABL в 2021 году были заказы на 75 запусков. В ноябре 2021 года Amazon забронировала ABL для первых запусков спутников Kuiper в 2022 году. Однако в октябре 2022 года Amazon перенесла первый запуск KuiperSat на ULA и больше про заказы ABL ничего не известно.

В 2019 году Relativity Space для Terran 1 заявляла запуск Telesat, один спутник для mu Space, лицензии на совместное использование для космических полетов и контракт с Momentus. Эти КА были запущены на других (более дешевых) РН или еще не запускались.

Terran R уже получила предложения о запуске от семи заказчиков на сумму более 1,6 миллиарда долларов. В том числе в июне 2022 года был подписан договор на запуск спутников OneWeb второго поколения начиная с 2025 г., однако пока эти запуски не запланированы. Предполагаемая цена ракеты Terran R составляет 55 миллионов долларов за запуск, хотя первые заказчики «подписали контракт по сниженной ставке» в 45 миллионов долларов.

2.3.4 Оценки компаний

Текущие оценки для большинства пусковых компаний неизвестны, поскольку в последнее время не проводилось раундов финансирования или оценки не были обнародованы, например, для Isar Aerospace.

Rocket Lab стала публичной в августе 2021 года с оценкой в 4,8 млрд. долларов, что обеспечило ей капитал в 777 млн. долларов. До SPAC в марте 2021 года оценка составляла 4,1 млрд. С тех пор капитализация компании неуклонно падает, за исключением спекулятивных всплесков.

Astra стала публичной в июле 2021 года со стоимостью около 2,1 млрд. и привлекла почти 464 млн. Однако в 2023 году оценка опустилась до 41 млн. и сохраняется приблизительно на этом уровне.

Virgin Orbit объявила в августе 2021 года, что станет публичной с оценкой в 3,2 млрд., собрав при этом 483 млн. Однако в результате было получено всего 228 млн., при этом только 68 млн. поступили от SPAC из-за высокой комиссии.

О последнем раунде Firefly в размере 75 млн. было объявлено ещё в мае 2021 года, и он оценил компанию чуть более чем в 1 млрд. Последний раунд

финансирования Relativity Space, объявленный в июне 2021 года, составил 650 млн. и в нём компания была оценена примерно в 4,2 млрд. Общая привлеченная сумма в настоящее время превышает 1,3 млрд. ABL объявила о раунде в 170 млн. при оценке в 1,3 млрд. в марте 2021 года.

2.3.5 Устойчивость

Победитель конкурентной гонки, скорее всего, будет зависеть от того, кто сможет снизить затраты, сохранив надежность, хотя при очень низких затратах на запуск может не хватить средств для покрытия постоянных затрат компании. Рынок малых РН номинально будет всегда существовать в виде прототипов, государственных пусков и группировок, которые должны застолбить орбиты и пополняться. Государственные субсидии позволят в дальнейшем разрабатывать некоторые малые РН, что приведет к перекосу на коммерческом рынке. Увеличение рынка малых спутников также будет стимулировать появление заказчиков с более специализированными требованиями.

Кластерные пуски обходятся дешевле, в то время как выделенные пуски должны приносить прибыль. Питер Бек, генеральный директор Rocket Lab, не уверен, что на рынке существует достаточный спрос на новые пусковые услуги. «Пусковые услуги - небольшой бизнес, потому что он составляет всего 4% от общего объема космического рынка и редко, если вообще когда-либо, приносит прибыль. Собственная спутниковая интернет-группировка SpaceX, Starlink, отчасти является попыткой фирмы выйти на более прибыльный рынок». Именно к этому и стремится Rocket Lab.

Небольшие компании, занимающиеся запуском, похоже, все чаще обращаются к государственным заказчикам, которые готовы платить больше за специализированные услуги по запуску. Лес Ковач из Firefly сказал в 2019 году: “По моей оценке, из 100 с лишним компаний выживут, вероятно, пять, шесть, может быть, семь”. Американские военные, скорее всего, будут

поддерживать только две различные РН. Роланд Бергер ожидает, что в ближайшие 10 лет 5-7 малых РН достигнут коммерческого масштаба, и уверен, что по крайней мере одна из них будет европейской.

Крис Кемп, генеральный директор Astra, вероятно, прав, говоря, что проблема сегодня заключается не в недостатке спроса, а в нехватке надёжных серийно эксплуатируемых РН. Многим компаниям все еще остается 1-3 года до достижения этого статуса.

Чарльз Бимс, председатель York Space Systems, хорошо написал в статье SpaceNews в 2021 году: «На этапе роста ничего не подозревающие инвесторы могут быть введены в заблуждение оппортунистическими торговцами, тем самым создавая искусственно раздутый рынок - так называемый “пузырь”, о котором люди продолжают говорить. Однако это не то, что мы наблюдаем в современной космической отрасли. Вместо этого частный капитал инвестируется в изучение сотен различных технических и деловых подходов для лучшего удовлетворения текущих и будущих потребностей в космических запусках». Однако, как видно на рисунке 8 и других, большинство малых РН похожи. Таким образом, малые РН, вероятно, все еще остаются пузырем, основанным на очень высоких оценках и рыночных прогнозах.

2.3.6 Планы на будущее и альтернативные доходы

Большинство организаций, занимающихся РН, рассматривают не только одноразовые малые ракеты, но и возможность повторного использования, ракеты большего размера и многие другие источники дохода. Некоторые из них, по оценкам, приносят значительный доход. Расширение спектра деятельности, вероятно, является разумным шагом в долгосрочной перспективе, подобным, например, SpaceX и Blue Origin.

Возможность повторного использования, по-видимому, жизненно важна для сохранения конкурентоспособности в долгосрочной перспективе. Генеральный директор Rocket Lab Питер Бек предупредил, что любой, кто

разрабатывает РН, которая не может быть использована повторно, создает тупиковый продукт. «Я думаю, что возможность повторного использования абсолютно фундаментальна».

Некоторые компании, похоже, переходят на более крупные ракеты многоразового использования. Однако большинство малых РН продолжают работать по прежним планам. Для многих из них, возможно, важнее хотя бы один раз выйти на орбиту, и только после того, в будущем, может быть объявлено о разработке следующих более крупных многоразовых РН.

Генеральный директор Rocket Lab Питер Бек отметил в 2021 году, что спрос смещается с небольших ракет в сторону более крупных, способных запускать большую ПН. Примечательной тенденцией является то, что многочисленные стартапы разрабатывают ракеты большего размера после их неоднократных заявлений о значительном увеличении маржи малых РН и специальных преимуществах отдельного запуска. Космические силы США заявили в 2023 году, что в своей последней стратегии по обеспечению пусковых услуг они идут на просчитанный риск того, что новые игроки отрасли выйдут на рынок РН среднего класса.

В марте 2021 года Rocket Lab представила планы по созданию своей ракеты Neutron на 8 тонн ПН. «Мы прислушались к мнению наших клиентов, и идея ясна - ”самый большой" не всегда означает "лучший", когда дело доходит до развертывания группировок. Эффективное построение мегасозвездий будущего требует запуска нескольких спутников партиями на разные орбитальные плоскости.» Neutron позволит значительно увеличить доход с каждого запуска благодаря своей способности развертывать более крупные КА и большее количество спутников за запуск, а также будет способен к пилотируемым полётам.

Rocket Lab планирует запустить ракету Neutron стоимостью 50 млн. долл., чтобы бросить вызов Falcon 9 компании SpaceX. Она также

рассчитывает запускать многоразовые ракеты «от 10 до 20 раз», что соответствует текущим характеристикам повторного использования Falcon 9. Они «в конечном счете ожидают, что рентабельность будет примерно в пределах 50%» для запусков Neutron. Себестоимость каждого Neutron должна составлять 20-25 млн., причем примерно половина этой суммы приходится на вторую ступень, не подлежащую повторному использованию.

Relativity объявлены полностью многоразовые Terran-R в феврале 2021 с ПН сопоставимой с Falcon 9. Подход по сравнению с Terran-1 изменен в сторону более традиционного, делая вторую ступень одноразовой, уменьшая аддитивное производство и увеличивая грузоподъёмность до 23 500 кг на НОО со спасением первой ступени. Firefly совместно с Northrop Grumman разрабатывает двухступенчатую РН с ПН 16 000 кг на НОО. Astra анонсировала Rocket 4 с увеличенными размерами.

Virgin Orbit изучала LauncherTwo в рамках долгосрочной разработки. Одной из проблем, связанных с воздушным запуском, является масштабируемость, поскольку, возможно, потребуется модернизация самолета и/или аэродрома. Gilmour Space планировала более крупный Eris-400 (Eris-L) в 2018 году, но текущее состояние неизвестно. LandSpace, вероятно, отказалась от Zhuque-1 после первого неудачного запуска и сосредоточилась на Zhuque-2, который совершил первый полет в 2023 году. One Space планирует более крупные ракеты OS-M. iSpace работает над многоразовой Hyperbola-2. Deep Blue Aerospace также разрабатывает Nebula-2.

Первоначально инженеры Interstellar проектировали ракету для доставки 100 кг на НОО, начиная с 2020 года. Изучив рынок и обнаружив небольшой спрос на аппараты такого размера, Interstellar начала планировать ракету большего размера с полезной нагрузкой 1000 кг. Galactic Energy работает над Pallas-1, который способен выводить около 3000 кг на ССО.

Таким образом, планы по созданию более крупного носителя существуют практически у всех операторов малых РН. Хорошо финансируемые и крупные европейские стартапы с небольшими РН еще не анонсировали РН среднего класса, но некоторые, вероятно, анонсируют в будущем.

Несколько поставщиков малых РН работают над собственными программами разработки КА. Photon от Rocket Lab используется Varda Space в качестве спутниковой платформы, а первый космический аппарат был запущен на Falcon 9 в 2023 году. Более низкая стоимость была основной причиной выбора Falcon 9, а не гибкости Electron по орбите и срокам. Rocket Lab объявила о намерениях разработать собственные группировки. Rocket Lab также продает компоненты космических аппаратов и расширяет масштабы их производства. Photon (апогейная ступень) Rocket Lab также может служить космическим буксиром. Он обеспечил полет CAPSTONE на Луну в 2022, планируется миссия на Венеру.

Astra разрабатывает модульную платформу космического корабля в форме диска, внешне похожую на Orbcomm-OG1. Astra приобрела Apollo Fusion в июне 2021 года за 30 млн. акциями и 20 млн. наличными плюс выплаты и поощрения. Продажа ДУ для КА стала основным источником дохода Astra после списания Rocket 3, обеспечив сотни продаж с большой прибылью.

Skyrora разрабатывает космический буксир. Firefly Aerospace объявила о приобретении Spaceflight Inc в июне 2023 года, чтобы предлагать комплексные услуги космических перевозок, несмотря на то, что компанией уже разрабатывается собственный буксир.

Примерно в начале 2023 года SmallSpark перешел с небольшой РН под названием Frost-1 на лунный космический буксир. Launcher совершил два

запуска орбитального космического буксира в 2023 году. Их программа малой РН была завершена после приобретения компанией Vast в начале 2023 года.

Virgin Orbit инвестировала в компании по разработке группировок, такие как Arqit, Sky and Space и SatRev, которые затем покупали услуги по запуску, но неясно, что случилось с долями после банкротства. Firefly также разрабатывает лунный спускаемый аппарат Blue Ghost и получила контракт на сумму 93,3 млн.долл. от НАСА. Relativity хочет построить промышленную базу на Марсе, а также рассматривает возможность межконтинентальных космических перевозок на Земле.

Гиперзвуковые испытательные стенды - новый источник дохода для некоторых небольших компаний, занимающихся запуском КА. HASTE (Hypersonic Accelerator Suborbital Test Electron) - суборбитальная испытательная РН, созданная на базе ракеты Electron Rocket Lab. В HASTE используется та же конструкция из углеродного композита и напечатанные на 3D-принтере двигатели Резерфорда, что и в Electron, но одновременно: модифицированная третья ступень для суборбитальной ПН, увеличенная до 700 кг грузоподъемность и специальные обтекатели для размещения большей ПН. Rocket Lab запустила первую суборбитальную миссию HASTE в июне 2023 года.

В марте 2022 года Virgin Orbit завершила исследование по гиперзвуку для Агентства гражданской обороны США. После банкротства в мае 2023 года Stratolaunch купила самолет Boeing 747 «Cosmic Girl» и сопутствующее пусковое оборудование для использования в гиперзвуковых испытаниях. Когда-то Stratolaunch была космической компанией, но в 2020 году после прекращения финансовой поддержки со стороны семьи Аллен перешла к гиперзвуковым тестовым пускам.

Первым контрактом Ursa Major в 2017 году с Исследовательской лабораторией ВВС была поставка ракетного двигателя Hadley для гиперзвукового испытательного аппарата X-60A.

3. Анализ фактического профиля эксплуатации малых РН

3.1Методы и допущения.

Определение реальной востребованности сверхлёгких ракет требует анализа всей совокупности пусков, проведённых с их помощью в мире. При этом необходимо знать на какую высоту и в какую плоскость (наклонением и долгота восходящего узла (ДВУ)) производился запуск. Орбитальные данные публикуются не всегда и зачастую поодиночке для конкретных пусков, что резко увеличивает трудоемкость подобного исследования. В данном исследовании статистика запусков космических аппаратов была проанализирована, исходя из данных по аппаратам, находящимся в настоящее время на орбите. Данные о условиях запуска и целевой орбите могут быть определены, исходя из орбитальных элементов, доступных в результате отслеживания КА на орбите. NORAD предоставляет текущие данные об орбитах, на которых находятся в данный момент активные КА. При этом наклонение орбиты практически не меняется с момента запуска, а долгота восходящего узла из-за прецессии изменяется сравнительно медленно на солнечно-синхронных орбитах, на которые выводится большая часть ПН.

Среди известных РН учитывались только те, которые на 1 июня 2024 г. находились в эксплуатации, имели хотя бы один пуск с 2010 года и грузоподъёмность которых на опорной орбите для космодрома выведения не превышала одной тонны. Среди пусков космических аппаратов – только группировки, для аппаратов которых известна масса или форм-фактор, и только те, при развертывании которых к 1 июня 2024 г. было совершено хотя бы два пуска. Именно группировки обеспечивают большую часть пусков и

выводимой массы малых КА. При этом рассматриваемый аппараты по энергетике целевой орбиты должны быть посильны для выведения РН, требования к которым описаны выше.

Для анализа использовались данные об орбите КА на 1 июня 2024 г. Данные об орбитах брались из базы данных NORAD, размещенной в открытом доступе на сайте CelesTrak в разделе Satellite Catalog (SATCAT). При этом наклонение орбиты и долгота восходящего узла брались непосредственно из двустрочного формата TLE, а высота апогея и перигея орбиты рассчитывалась с помощью модели SGP4 из состава программного комплекса System Toolkit. Каталог орбитальных группировок для анализа брался с сайта NewSpace Index в разделе Constellations. Массы КА, величины полезной нагрузки и стоимость пуска РН брались с сайтов интеграторов Gunter’s Space Page (Gunter D. Krebs), Jonathan’s Space Report(Jonathan McDowell) и Space Launch Report(Ed Kyle), которые собирают открытую информацию о РН и их запусках уже более двух десятилетий. Информация с данных сайтов уже неоднократно использовалась в исследованиях, опубликованных в рецензируемых изданиях.

3.2 Статистика выведения нано- и микро- КА.

Данные о потребной для развёртывания существующих группировок нано- и микроаппаратов выводимой массе и энергетике орбит, а также количество соврешённых пусков представлено в табл.1

Таблица 1 - Статистика выведения нано- и микроспутников

Группировка	Пусков	Масса КА, кг	КА в пуске	Максимальный вес в пуске, кг	Максимальная высота, км	Наклонения, ^{o}
Orbcomm	3	172	1-11	1892	745	47
Yinhe	2	227	1-6	1362	638	86.4
ICEYE	13	70-150	1-5	750	618	40-97.8
Planet Labs (Skysat)	6	120	1-6	720	482	53-98.3
Satellogic	13	37.5-41	1-10	410	518	97.3-97.5
Axelspace (GRUS)	2	80	1-4	320	590	97.6
Planet Labs (Flock)	25	5	1-45	225	548	97.3-98.1

Группировка	Пусков	Масса КА, кг	КА в пуске	Максимальный вес в пуске, кг	Максимальная высота, км	Наклонения, °
Capella Space	9	40-165	1-2	224	636	44-53
iQPS	6	100	1-2	200	?	?
Guodian Gaoke	16	50	1-4	200	828	35-97.4
HawkEye 360	8	13-30	3-6	180	565	40.5-97.7
GHOSt	3	85	1-2	170	518	97.4-97.5
Loft Orbital (YAM)	3	80-83	1-2	160	519	97.4-97.6
Synspective (StriX)	4	100-150	1	150	576	97.6-97.8
Umbra	6	65	1-2	130	529	97.4-97.5
BlackSky	12	56	1-2	112	484	42-97.5
Kepler Comm.	10	10	1-8	80	488	97.3-97.5
Kleos Space	4	20	4	80	570	37-97.5
Alba Orbital	6	0.75	1-5	3.75	545	97.4-97.6
Lynk	4	25	1-2	50	523	97.3-97.5
GHGSat	5	15	1-3	45	513	97.1-97.6
PlanetiQ (GNOMES)	4	41	1	41	650	97.6-97.9
Sateliot	2	10	1-4	40	520	97.4-97.5
Unseenlabs	9	20	1-2	40	525	45-97.6
Fossa Systems	6	0.2-5	1-7	35	530	97.5
Fleet Space	7	10-35	1-2	35	591	45-97.6
Lemur	33	4	1-8	32	672	6-99.5
GeoOptics	7	10	1-3	30	462	85-97.4
AprizeSat	6	14	2	28	754	98.2-98.5
Astrocast	6	5	1-5	25	539	97.3-97.6
Plan-S	4	6-12	1-2	24	516	97.4-97.6
STORK	4	10	1-2	20	520	45-97.5
Omnispace	2	20	1	20	530	97.4-97.5
Aurora Insight	3	15	1	15	592	97.5-97.7
Tiger	6	6	1-2	12	518	97.5
Swarm Technologies	17	0.25-1	2-36	12	539	97.3-97.5
Wyvern	3	10	1	10	520	97.4-97.5
Lacuna Space	6	10	1	10	560	97.6-97.8
NSLComm	2	9	1	9	530	97.5
German Orb. Systems	4	4	1-2	8	588	97.6-97.7
Care Weather	3	0.25-1	1	1	?	?
Innova Space	4	0.5	1-2	1	?	?

Анализ табл.1 во-первых подтверждает вывод, что основную долю микро- и нано-КА выводят на ССО. При этом даже внутри одной группировки

могут значительно различаться наклонения рабочих орбит, не препятствует её функционированию. Баллистический анализ энергетики РН, потребной для обеспечение максимального выводимого на орбиту веса для всех рассмотренных группировок показывает, что полностью загрузить СЛРН способно только очень небольшое количество из всех выведённых «пакетов» ПН. Таким образом, большинство возможных контрактов потребует от СЛРН выбора между выделенным пуском недогруженной ракеты с высокой удельной стоимостью выведения и ожиданием заполнения с отказом от оперативности запуска.

Количество КА в пуске имеет высокий разброс: возможно как заполнение всей орбитальной плоскости одним пуском, так и выведение КА по одному, что скорее снижает потребную грузоподъёмность СЛРН. Также следует отметить, что большая часть проанализированных группировок состоит из наноаппаратов, даже суммарный вес которых сравнительно невелик и они не могут составить значимого самостоятельного рынка для СЛРН.

3.3 Особенности попутного выведения орбитальных группировок

Перечисленные особенности большинства КА делают выгодным их выведение в качестве попутной нагрузки с помощью ракеты большой грузоподъёмности. Наиболее очевидным конкурентом СЛРН на западном рынке является SpaceX, регулярно запускающая миссии Transporter. В табл.2 представлены пуски ракеты Falcon-9 на солнечно-синхронные орбиты за последние несколько лет. Из анализа исключены запуски военных спутников, а также многочисленные пуски группировок Starlink, OneWeb, на геостационарные орбиты и к МКС, ввиду низкой востребованности подобных орбит попутными нагрузками.

Таблица 2 - Плоскости ССО, в которые производились пуски

Дата пуска	Диапазон ДВУ, град	Место посадки ступени	Дата пуска	Диапазон ДВУ, град	Место посадки ступени
30.08.2020	339- 355	Полигон	15.04.2023	49-52	Полигон
24.01. 2021	202-203	Баржа	12.06.2023	271-272	Полигон
30.06.2021	296-300	Полигон	11.11.2023	228-229	Полигон
13.01.2022	203-227	Полигон	01.12.2023	219-220	Полигон
31.01. 2022	336.5	Полигон	08.02.2024	111	Полигон
01.04. 2022	232- 240	Баржа	04.03.2024	276-277	Полигон
25.05.2022	272- 273	Полигон	02.05.2024	224	Полигон
03.01.2023	213-214	Полигон	28.05.2024	278	Полигон

Из табл.2 видно, что интенсивность пусков Falcon-9 на ССО возрастает год от года: если в 2020 году был всего лишь один пуск, то к 2024 количество пусков в год дошло до четырёх. При этом практически во всех пусках наблюдается большой резерв массы ПН, так как первая ступень садится не на баржу, а на полигон, для чего требуется значительный запас массы ПН. Плоскости, в которые производится выведение, выбираются хаотично. Наблюдается большое количество пусков в области долготы восходящего узла около 200°, при этом остальные долготы остаются «неприкрытыми». Однако, в течение 3 лет возможно подобрать существенно различающиеся значения ДВУ для построения группировки в нескольких плоскостях.

В качестве примера орбитальной группировки, выводимой попутными пусками на Falcon-9, рассмотрим радиолокационную группировку дистанционного зондирования Земли Iceye (Финляндия) В табл.3 представлено текущее распределение группировки Iceye по орбитам, в том числе по долготе восходящего узла и высоте.

Таблица 3 - Орбитальное построение группировки Iceye

№ пуска	РН	Аппараты	Средняя высота орбиты, км	Наклонение, град	ДВУ, град
1	PSLV	X1	180.4 (перед сходом)	97.3	127.5
2	F9	X2	584.9	97.5	204.2

№ пуска	РН	Аппараты	Средняя высота орбиты, км	Наклонение, град	ДВУ, град
3	Electron	X3	202.4 (перед сходом)	40.0	172.5
4	Союз-2.1б+Ф	X4	570.0	97.9	133.5
		X5	555.9		139.0
5	Союз-2.1б+Ф	X6	592.9	97.9	101.0
		X7	569.6	97.7	84.6
6	F9	X9	466.5	97.3	202.1
		X10	510.4		201.8
7	F9	X11	526.2	97.6	290.3
		X12	505.8		285.4
		X13	519.5		285.7
		X15	475.6		295.7
8	F9	X14	538.3	97.4	213.2
		X16	443.3		219.1
9	F9	X17	521.5	97.6	270.1
		X18	512.7		267.6
		X19	497.7		269.1
		X20	481.4		273.7
		X24	477.2		273.0
10	F9	X21	521.2	97.4	206.8
		X22	Не отделился		
		X27	531.9	97.4	206.0
11	F9	X23	529.2	97.5	265.2
		X25	544.1		263.7
		X26	532.3		265.5
		X30	530.8		265.4
12	F9	X31	547.3	97.5	220.4
		X32	527.9		221.2
		X34	532.6		220.9
		X35	547.3		220.4
13	F9	X36	617.6	97.8	269.7
		X37	617.8	97.8	269.8
		X38	614.8	97.8	269.7

Орбиты КА сильно различаются, тем не менее, орбитальной группировкой обеспечивается двукратный обзор заданной территории в течение суток. Очевидно, что для группировки оптического наблюдения по типу OneWeb подобный подход может обеспечить суточную оперативность.

Различия в высотах орбит КА показывают, что даже без использования средств довыведения после попутного запуска и средств поддержания орбиты

группировка также вполне работоспособна. Это может означать, что межорбитальные буксиры менее востребованы, чем ранее предполагалось. Если на КА не установлен двигатель, даже сформированное буксиром орбитальное построение будет достаточно быстро разрушаться по высоте под воздействием атмосферы и прочих возмущающих факторов. Наличие же двигателя на КА позволяет ему самостоятельно выбрать необходимую высоту орбиты. При этом существенно изменить ДВУ в настоящее время не позволяет ни собственный двигатель КА, ни межорбитальный буксир.

В соответствии с пусками Falcon-9 орбиты выведенных ею КА собраны в районе ДВУ около 200°. Большое количество разнесённых по ДВУ орбитальных плоскостей необходимо для группировок с высокой частотой обзора либо же требующих точного позиционирования КА, например, группировок связи. Группировкам, выводимым на Falcon-9, данный функционал не нужен, за исключением Starlink и OneWeb. Однако масса КА в этих группировках слишком высока для выведения СЛРН.

СЛРН Electron была использована один раз при запуске прототипа и более не задействовалась. При этом для запуска аппаратов-прототипов большинства других группировок, разворачиваемых с помощью Falcon-9, так же использовалась эта ракета. Хотя принципиально возможно выведение большого количества КА для заполнения плоскости по одному, однако эта опция не востребована, поскольку Electron проигрывает ценовую конкуренцию Falcon-9 при наличии у последней значимой попутной ПН на целевую орбиту.

3.4 Технико-экономические характеристики существующих СЛРН

В табл.4 приведены данные о пусковой статистике СЛРН, массе выводимой ими ПН и стоимости пуска, опубликованные в открытой печати.

Таблица 4 - Технико-экономические характеристики и статистика пусков эксплуатируемых СЛРН

Разработчик	Действующие РН	Пусков после 2010 г., успех/ всего	Цена пуска, млн.долл.	Максимальная ПН, кг	ПН на ССО 500 км, кг	Удельная стоимость пуска, тыс.долл.за кг, (ССО 500 км/ НОО)
США						
Northrop Grumman	Pegasus (XL)	5/5	56	470	250	119/224
Northrop Grumman	Minotaur I	1/1	29	612	300	47/97
Firefly	Alpha	1/3	15	1020	625	15/24
Rocket Lab	Electron	43/47	7.5	270	200	28/38
Итого		50/56				
КНР						
CALT	CZ-11	17/17	$5.3	700	380	8/14
ExPace	Kuaizhou-1A	24/26	$5.8M	430	255	14/23
China Rocket	SD-1	1/1	$6M	?	200	?/30
i-Space	Hyperbola-1	3/6	$5M	530	300	9/17
Galactic Energy	Ceres-1	12/13	$4M	420	300	10/13
Итого		57/63				
Индия						
ISRO	SSLV	1/2	$4.2M	500	300	8/14

Основным эксплуатантами СЛРН в мире сейчас являются США и КНР. Созданная Индии СЛРН SSLV совершила только два пуска, из которых один неудачный, поэтому пока не может рассматриваться как серьёзный игрок на рынке. Среди американских ракет СЛРН Electron фирмы Rocket Lab занимает практически монопольное положение. Изделия Northrop Grumman значительно дороже и совершили свой последний полёт достаточно давно. Ракета же Firefly выполнила только один удачный запуск из трёх и тоже не может как значимая для рынка СЛРН.

Среди китайских СЛРН малозначимыми можно счесть Smart Dragon, совершившую только один пуск, и Hyperbola, у которой достаточно низка эксплуатационная надёжность. Остальные же три ракеты используются практически наравне, хотя однотипны по используемым технологиям и

относятся к одному и тому же классу по грузоподъёмности. Является ли это осознанным резервированием или признаком ожесточённой конкуренции, сказать пока нельзя.

Между Китаем и США наблюдается практически паритет в количестве произведённых пусков за период с 2010 года. Однако при этом Electron вышла на приблизительно 9 орбитальных пусков в год, а суммарная интенсивность китайских пусков продолжает нарастать. Если в 2015-2017 годах КНР выполнялось по 1 пуску, то в 2018-м их было произведено 4, в 2019–2021-м - 7-9, в 2022-м -11, а в 2023 -17, т.е. впервые количество пусков китайских СЛРН превзошло количество американских. При этом по отдельности СЛРН Kuaizhou-1A и Ceres-1 приблизились к достигнутой Electron частоте пусков.

Удельная стоимость выведения на СЛРН Electron значительно выше, чем у китайских ракет, несмотря на нахождение в одном классе по грузоподъёмности. Также для неё выше соотношение удельной стоимости пуска с аналогичной величиной для Falcon-9 при попутном выведении. Для миссии Transporter заявленная удельная стоимость в настоящий момент составляет 6.500 долл./кг. Соответственно, Electron по этому показателю почти в шесть раз дороже.

Для китайских СЛРН это соотношение значительно ниже. Самая тяжёлая в настоящее время китайская РН CZ-5 по данным американских экспертов обеспечивает удельную стоимость выведения на НОО 3000 долл./кг (что примерно соответствует аналогичному показателю для Falcon-9). Усредненный по количеству пусков средний показатель для китайских СЛРН составляет около 11 тыс. долл./кг, то есть для КНР соотношение стоимости выведения ПН с помощью СЛРН и попутным грузом на тяжелой РН не достигает даже двух (при оценке себестоимости попутного выведения по ценообразованию миссий Transporter). Рассмотрим влияние этого фактора на пусковые кампании СЛРН обеих стран.

3.5 Пусковая кампания и основные заказчики пусков РН Electron.

Перечень пусков СЛРН Electron, данные по массе, выведенной ПН и целевой орбите приведены в табл. 5

Таблица 5 - Перечень пусков и загрузка СЛРН Electron

Дата	Масса ПН, кг/доля загрузки, %	Целевая орбита (высота, км, наклонение, º)	Дата	Масса ПН, кг/доля загрузки	Целевая орбита (высота, км, наклонение)
25.05.2017	0/0	500, 85°	02.04.2022	120 (46%)	430, 53°
21.01.2018	13(6%)	400, 82.9°	02.05.2022	?	520, 94°
11.11.2018	45 (21%)	500, 85°	28.06.2022	80(?)	К Луне
16.12.2018	78 (37%)	500, 85°	13.07.2022	?	620, 40°
28.03.2019	150 (56%)	425, 39.5°	04.08.2022	?	620, 70°
05.05.2019	180 (69%)	500, 40°	15.09.2022	100 (39%)	563, 97°
29.06.2019,	80 (30%)	450, 45°	07.10.2022	118 (48%)	750, 98°
19.08.2019	80 (39%)	510, 94.8°	04.11.2022	50 (19%)	585,97.66°
17.10.2019	20 (13%)	1200, 87.9°	24.01.2023	40 (15%)	550, 40.5°
6.12.2019,	77 (38%)	385x400 , 97°	16.03.2023	224 (88%)	600, 44°
31.01.2020	?	590x610, 70.9°	24.03.2023	120 (45%)	450, 42°
13.06.2020	?	570*590,97.75°	08.05.2023	10 (4%)	550, 32°
4.07.2020	75 (38%)	500, 97.5°	26.05.2023	10 (4%)	550, 32°
31.08.2020	100 (38%)	500, 45°	18.07.2023	86 (54%)	1000, 99.45°
28.10.2020	72(38%)	500, 97.5°	23.08.2023	165 (69%)	640, 53°
20.11.2020	200 (100%)	500, 97.3°	19.09.2023	165 (69%)	640, 53°
15.12.2020	150 (75%)	500, 97.3°	15.12.2023	100 (39%)	575, 42°
20.01.2021	50 (30%)	1200, 90°	31.01.2024	112 (57%)	530, 97°
22.03.2021	?	450+550, 45°	18.02.2024	150 (79%)	600, 98°
15.05.2021	120 (48%)	430 , 50°	12.03.2024	100 (51%)	561, 97°
29.07.2021	?	600, 37°	21.03.2024	?	?
18.11.2021	120 (44%)	430, 42°	23.04.2024	115 (64%)	520,1000, 97°
09.12.2021	120 (44%)	430, 42°	25.05.2024	12 (6%)	525, 97.5°
28.02.2022	150 (77%)	561, 97°	05.06.2024	12 (6%)	525, 97.5°

Рассмотрение типовых ПН РН Electron показывает следующие особенности решаемых ею задач:

- большое количество пусков на нестандартные орбиты. На ССО было произведено только 14 пусков (30%), только на неё из основных заказчиков летали PlanetLabs и Synspective.

- доля технологических демонстраторов и КА нано-класса среди выводимых ПН весьма мала. Попутное выведение использовалось в 15 пусках

(32%). При этом основной нагрузкой таких пусков зачастую являлся микроспутник основного заказчика;

- при выведении КА из состава группировок, Electron часто используется эпизодически, а основное развертывание производится на носителях более тяжелого класса (например, группировки Hawk, Dove, Alba, Swarm);

- высока частота пусков КА массы меньшей максимально выводимой, со значительным недогрузом СЛРН. Средняя загрузка 44%, т.е. при пуске на ССО 500 км средняя удельная стоимость выведения достигает 85 тыс.долл./кг – в 14 раз дороже, чем у SpaceX!

Основным заказчиком Electron является NASA – 10 пусков. Среди государственных заказчиков США 5 пусков заказали различные структуры вооруженных сил, 5 – NRO. При развертывании группировок основные заказы обеспечили: BlackSky (8 пусков), SpireGlobal (4 пуска), CapellaSpace (4 пуска), UnseenLabs, Synspective, SwarmTechnologies, PlanetLabs – по 3 пуска. Рассмотрим особенности основных заказчиков пусков Electron.

BlackSky – группировка радиолокационных микроспутников со средней массой 56 кг. Существует контракт с ВС США. Текущее состояние группировки BlackSky приведено в табл. 6

Таблица 6 - Текущее состояние группировки BlackSky

Аппараты	Высота орбиты, км	Наклонение, град	ДВУ, град
GLOBAL-2	560 x 570 км	97,5°	208,9874°
GLOBAL-4	469 x 483 км	45,0°	80,9663°
GLOBAL-9	446 x 452 км	45,0°	82,0049°
GLOBAL-14	448 x 460 км	42,0°	322,6385°
GLOBAL-15	364 x 403 км	42,0°	342,8822°
GLOBAL-12	445 x 457 км	53,2°	326,3958°
GLOBAL-13	446 x 456 км	53,2°	324,7065°
GLOBAL-17	445 x 457 км	42,0°	93,5444°
GLOBAL-16	444 x 457 км	42,0°	92,9294°
GLOBAL-18	445 x 454 км	53,0°	185,0547°
GLOBAL-20	411 x 422 км	53,0°	176,4376°
GLOBAL-19	447 x 454 км	42,0°	231,7663°
GLOBAL-5	442 x 459 км	42,0°	225,8710°

Группировка BlackSky развёрнута на наклонениях, соответствующих обзору наиболее населённых зон земного шара 40-50°. Эти орбиты являются нетипичными для большинства малоразмерных КА, требующих ССО. Однако аппараты 7,8,12,13 были выведены с помощью попутного запуска с аппаратами Starlink на Falcon-9, так что даже на этих орбитах конкуренция SpaceX значительна.

Группировка Synspective (STRIX) также состоит из радиолокационных КА, массой 150 кг. Компанией-оператором в перспективе заявлен двухчасовой интервал обзора. Текущее состояние группировки STRIX приведено в табл. 7

Таблица 7 - Текущее состояние группировки STRIX

Аппараты	Высота орбиты, км	Наклонение, град	ДВУ, град
STRIX-BETA	518 x 533	97,6552°	221,0211°
STRIX-1	533 x 541	97.5570	208,6281
STRIX-3	548 x 575	97,5726°	125,3375°

Для группировки STRIX примечательно, что запуски на ССО с ДВУ, приблизительно соответствующей рабочим величинам Transporter, были произведены Electron. Это могло обеспечить оперативность выведения и/или

точное выдерживание необходимой плоскости орбиты. Однако дополнительные финансовые затраты были понесены, а развертывание группировки отстает на годы от начальных планов, что обессмысливает эти затраты в обоих случаях.

Группировка Capella Space тоже является радиолокационной. Масса её спутников составляет 40-165 кг в зависимости от года запуска. Компания – оператор имеет контракты с NRO и ВС США. Текущее состояние группировки Capella приведено в табл.8.

Таблица 8 - Текущее состояние группировки Capella

Аппараты	Высота орбиты, км	Наклонение, град	ДВУ, град
CAPELLA-10	548 x 559	43,9971°	109,1881°
CAPELLA-9	538 x 549	44,0°	103,2148°
CAPELLA-11	633 x 636	53,0°	138,4548°
CAPELLA-14	597 x 598	45,6°	133,4043°

Несмотря на активную пусковую кампанию, группировка Capella по-прежнему далека от завершения, работая по сути только в двух плоскостях. Аппараты этой группировки имеют высокую площадь солнечных батарей, что приводит к быстрому их сходу с орбиты – в настоящее время количество уже сгоревших спутников вдвое превышает число рабочих. Для завершения группировки, очевидно, требуется дальнейшее повышение частоты пусков.

Наконец, SpireGlobal, UnseenLabs, SwarmTechnologies, PlanetLabs производили только выведение наноспутнков попутной нагрузкой и не оказали существенного влияния на объём заказов RocketLab. Таким образом, основной объём пусков СЛРН Electron обеспечивается радарными группировками, имеющими большей частью контракты со структурами национальной безопасности США (15 пусков), либо же непосредственно запусками в интересах государственных организаций США (19 пусков). В сумме это даёт 72% произведённых пусков.

В настоящее время RocketLab продолжает оставаться убыточной, привлекая значительные суммы в виде займов. Заключены дополнительные контракты на создание и запуск военных спутников, что озволяет прогнозировать дальнейшее увеличение частоты пусков.

3.6 Пусковая кампания и основные полезные нагрузки СЛРН КНР

Доступная информация о пусках китайских СЛРН и массе их ПН обобщена в табл.9. Следует отметить, что масса КА КНР зачастую открыто не объявляется. Также не публикуется идентификация КА с обнаруженными NORAD объектами, что не позволяет точно оценить высоту их орбит. В таких случаях высота орбиты была приведена в таблице приближённо, с округлением до сотни километров.

Таблица 9 - Перечень пусков и загрузка китайских СЛРН

РН	Дата пуска	Масса ПН, кг	Целевая орбита	Доля загрузки,%
CZ-11	25.09.2015	315	476 км ССО	83
CZ-11	09.11.2016	248	442 км ССО	65
Kuaizhou 1A	09.01.2017	165	535 км ССО	65
CZ-11	19.01.2018	320	535 км ССО	84
CZ-11	26.04.2018	250	500 км ССО	66
Kuaizhou 1A	29.09.2018	97	700 км ССО	54
CZ-11	21.12.2018	247	1070 км ССО	96
CZ-11	21.01.2019	206	530 км ССО	54
CZ-11	5.06.2019	?	540 км*45	-
Hyperbola-1	25.07.2019	?	300*42,7	-
Jielong 1	17.08.2019	83	543 км ССО	42
Kuaizhou 1A	30.08.2019	?	ССО	-
CZ-11	19.09.2019	358	500 км ССО	94
Kuaizhou 1A	13.11.2019	220	535 км ССО	86
Kuaizhou 1A	17.11.2019	160	1050* 88.91°	97
Kuaizhou 1A	7.12.2019	220	535 км ССО	86
Kuaizhou 1A	7.12.2019	146	500 км ССО	57
Kuaizhou 1A	16.01.2020	227	621×638, 86.4°	89
Kuaizhou 1A	12.05.2020	186	550 км ССО	73
CZ-11	29.05.2020	?	460*35	-
Kuaizhou 1A	12.09.2020	?	ССО	-
CZ-11	15.09.2020	378	750 км ССО	99
Ceres-1	7.11.2020	8	600 км ССО	3
CZ-11	9.12.2020	300	600*29.00°	56

РН	Дата пуска	Масса ПН, кг	Целевая орбита	Доля загрузки,%
Hyperbola-1	1.02.2021	?	ССО	-
Hyperbola-1	3.08.2021	18	ССО	-
Kuaizhou 1A	27.09.2021	230	500 км ССО	90
Kuaizhou 1A	27.10.2021	230	500 км ССО	90
Kuaizhou 1A	24.11.2021	?	500 км ССО	-
Ceres-1	7.12.2021	?	ССО	-
Kuaizhou 1A	15.12.2021	260	600 *50,0°	98
CZ-11	30.03.2022	?	590 км ССО	-
CZ-11	30.04.2022	210	500 км ССО	55
Hyperbola-1	13.05.2022	18	ССО	-
Kuaizhou 1A	22.06.2022	?	280 км ССО	-
Ceres-1	9.08.2022	?	ССО	-
Kuaizhou 1A	23.08.2022	?	560*29	-
Kuaizhou 1A	6.09.2022	194	700 км ССО	97
Kuaizhou 1A	24.09.2022	?	ССО	-
CZ-11	7.10.2022	194	700 км ССО	97
Ceres-1	16.11.2022	210	500 км ССО	70
CZ-11	16.12.2022	?	480*36	
Ceres-1	9.01.2023	?	ССО	
CZ-11	15.03.2023	?	ССО	
Kuaizhou 1A	22.03.2023	?	ССО	
Hyperbola-1	7.04.2023	0	ССО	
Kuaizhou 1A	9.06.2023	120	500 км ССО	47
Kuaizhou 1A	20.07.2023	?	ССО	
Ceres-1	22.07.2023	225	500 км ССО	75
Ceres-1	10.08.2023	?	ССО	
Kuaizhou 1A	14.08.2023	225	700*45	83
Ceres-1	25.08.2023	230	520 км ССО	77
Ceres-1	5.09.2023	200	810 км*50,0°	89
Ceres-1	21.09.2023	210	500 км ССО	70
Ceres-1	5.12.2023	?	ССО	-
Hyperbola-1	17.12.2023	?	ССО	-
Kuaizhou 1A	25.12.2023	?	ССО	-
CZ-11	25.12.2023	?	ССО	-
Kuaizhou 1A	27.12.2023	?	ССО	-
Kuaizhou 1A	5.01.2024	?	ССО	-
Kuaizhou 1A	11.01.2024	?	ССО	-
Ceres-1	29.05.2024	200	840 км*50,0°	98
Ceres-1	30.05.2024	?	ССО	

Рассмотрение типовых ПН китайских СЛРН показывает следующие особенности решаемых задач:

- большое количество пусков на ССО. Доля пусков на ССО у китайских СЛРН существенно превосходит показатель Electron и составляет 81%, что приблизительно соответствует доле таких орбит в общем списке группировок. Это является следствием того что основную массу малых КА на ССО в китайском случае выгодно выводить сверхлёгкими ракетами;

- доля пусков СЛРН с существенным недогрузом невелика. Средняя загрузка составляет 75%, что также значительно превосходит показатель Electron. В силу этого накапливается дополнительное опережение американского конкурента по стоимости выведения.

- долю выделенных пусков для китайского рынка невозможно оценить, поскольку неизвестен реальный заказчик. Если принимать за критерий выделенного пуска наличие в нём только однотипных аппаратов, то их доля составит 78% - также величина большая, чем у Electron. Поэтому причиной высокой средней загрузки является, скорее всего, тщательное согласование массы производимых КА с возможностями национальных СЛРН;

- большая доля технологических демонстраторов и КА нано-класса среди выводимых ПН, доля которых составляет почти половину пусков.

- практическое отсутствие группировок, выводимых только одним классом РН. КА группировок распределяются между РН различной грузоподъёмности

Основными ПН китайских СЛРН являются КА следующих группировок:

- группировка оптического наблюдения Jilin-1, для которой заявлен гиперспектральный сегмент с высокой частотой наблюдения – 17 пусков;

- группировка IoT Tianqi – 6 пусков;

- официально заявленная как метеорологическая группировка Tianmu – 6 пусков;

- экспериментальные аппараты Shiyan – 5 пусков;

- группировка низкоорбитальной навигации Centispace – 4 пуска.

Остальные пуски загружены несерийными аппаратами, заявленными как прототипы будущих серий. Их количество и разнотипность заставляет предполагать дальнейший рост разворачиваемых группировок, т.е. количества пусков.

4. Анализ перспектив использования ракет-носителей малой грузоподъёмности

4.1 Комплексный анализ современных и перспективных малых ракет-носителей с учётом мировых и отечественных тенденций развития

За последние годы происходили списания РН (например, Rocket 3, Terran 1), банкротства компаний (например, Virgin Orbit, SpaceRyde), отмена ракетных проектов и переход к космическим буксирам (например, Launcher, SmallSpark) или двигателям (Pangea), а также переключение на более крупные РН, в т.ч. выходящие за рамки малой грузоподъёмности (например, Rocket 4 и Terran R); продолжаются задержки первых запусков.

Ни одна из нано-РН с полезной нагрузкой до 50 кг не выполнила первых пусков, ни одна из эксплуатируемых малых РН не предлагает стоимость пуска менее 4 миллионов долларов. Удельные стоимости выведения малых РН по-прежнему остаются намного выше, чем у обычных, но некоторые будущие проекты обещают сократить разрыв. Будущее воздушного старта в настоящее время неясно. Время разработки может составлять всего 2-3 года, но у некоторых это занимает более 10 лет. Очень распространены задержки в пределах 1-3 лет, но они могут быть и гораздо более длительными.

4.2 Конкурентоспособность и области применения малых ракет-носителей на рынке космических запусков в краткосрочной и среднесрочной перспективе

Прогнозы выручки и частоты пусков изначально были сильно завышены. Большинство проектов малых РН не имеют финансирования для

завершения разработки и, скорее всего, закроются. Ажиотаж вокруг малых РН спадает, поскольку задержки с запуском как ракет, так и спутниковых группировок показали, что размер рынка в ближайшем будущем не так велик, как прогнозировалось 2-3 года назад. Частота пусков Rocket Lab зависит от готовности клиентов, которая связана с рыночным спросом, а не от готовности ракеты.

Повторное использование по-прежнему является менее распространенным явлением для малых РН, чем для крупных. Многие разработчики малых РН начали разрабатывать ракеты большего размера, а также спутниковые платформы, межорбитальные буксиры и использовать различные другие источники дохода. Недавно появившееся новое направление - гиперзвук.

Эластичность рынка запусков трудно предсказать, но в настоящее время разрыв между запуском 200 кг SpaceX стоимостью 1 млн. долларов и запуском Electron стоимостью 7,5 млн. долларов, вероятно, велик для большинства космических стартапов. Будет интересно понаблюдать, насколько большим был бы рыночный спрос на более низкую цену и удельную стоимость, чем у Electron от Rocket Lab.

4.3 Типы и классы малых ракет-носителей, их основные технические параметры и области применения.

Анализ статистики выведения зарубежных нано- и микро- КА показывает, что полную загрузку СЛРН способно обеспечить только очень небольшое количество из всех выведённых КА, относящихся к спутниковым группировкам. Большую часть выводимых малых аппаратов составляют наноспутники, не способные загрузить СЛРН полностью, и спутники группировок Starlink и OneWeb, не предназначенные для выведения СЛРН. При этом РН более тяжелого класса обеспечивают сравнительно недорогую альтернативу в виде попутного выведения, которая выигрывает у СЛРН

конкуренцию, сводящуюся к ценовой, при развертывании группировок, не требующих большого количества орбитальных плоскостей и/или точного позиционирования КА на орбите.

Область предпочтительного использования СЛРН существенно различается у стран – основных пользователей данного типа РН: США и Китая. Эти различия обусловлены в первую очередь соотношением удельной стоимости попутного выведения и выделенного пуска СЛРН, которое для США составляет около 14, а для Китая не более 2,5. Указанная величина определялась с учетом средней загруженности СЛРН в пусках. Меньшая величина соотношения для Китая обусловлена низкой стоимостью пуска твердотопливных СЛРН и оптимизацией загрузки ракет в пусках.

Это приводит к ограничению использования СЛРН в США как в первую очередь системы двойного назначения, выводящей государственные и квазигосударственные ПН на орбиты, не обслуживаемые попутным выведением. СЛРН в этой парадигме убыточна и вынуждена привлекать госзаказ и заёмное финансирование, а коммерческие ПН запускаются попутным выведением. Более относительно дешёвые китайские СЛРН выводят весь спектр малоразмерных ПН, в т.ч. большое количество экспериментальных КА. Тем не менее, и для них доля государственных КА предположительно двойного назначения очень высока.

В настоящее время количество пусков СЛРН в Китае увеличивается более быстрыми темпами, чем в США. Темпы привлечения государственных и квазигосударственных заказов в США, а также количество запускаемых перед развёртыванием полномасштабных группировок экспериментальных КА в Китае свидетельствуют о потенциале дальнейшего роста частоты запусков в СЛРН в обеих странах. Основными потребителями запуска на СЛРН являются: в США радиолокационные группировки, в Китае –

экспериментальные аппараты, а также группировки оперативного наблюдения, связи IoT и низкоорбитальной навигации.

4.4 Анализ рынка малых космических аппаратов и прогноз спроса на услуги малых ракет-носителей

Наибольшую численность имеют запланированные группировки широкополосного интернета. Следующими по популярности являются системы оптического, радиолокационного и инфракрасного ДЗЗ, а также Интернет вещей. Быстро растёт популярность мониторинга радиочастотного спектра, навигации, ретрансляции орбитальных данных и мониторинг выбросов. Кроме того, развивается квантовое распределение ключей и коммерческая навигация. Контроль космического пространства и инспекция на орбите востребованы, но размер рынка еще предстоит доказать.

Практически все описанные задачи вовлекают многоспутниковые группировки, аппараты которых должны быть распределены по нескольким плоскостям для выполнения заданных функций. При этом масса аппаратов невелика, что уменьшает вес полезных нагрузок, выводимых за один пуск. Одновременно развертывание и поддержание группировок характеризуется значительными задержками и срывами сроков, что не позволяет использовать РН большой грузоподъёмности для кластерных пусков в выделенные плоскости орбит как альтернативу РН малой грузоподъёмности.

Кубсаты - самый популярный сегмент. Среди них наиболее представлен формат 6U, в то время как в 2021 году самым популярным был 3U. Многие организации переходят на более крупные спутники из-за ограничений по объёмам, геометрии, мощности и теплоотводу у кубсатов и микроспутников. Спутники большего размера обеспечивают более высокую производительность.

4.5 Современные технические решения и инновации в конструкции малых ракет-носителей, включая двигательные установки, материалы и технологии миниатюризации. Основные технологии, применяемые в анализируемом сегменте рынка.

Твердотопливные ракеты очень распространены из-за использования задела МБР, в основном они имеют три или четыре ступени. Для современных жидкостных РН используются как горючее керосин или метан и кислород как окислитель. Новые жидкостные РН имеют две ступени, но некоторым требуется дополнительная третья ступень для выведения на круговую орбиту. Также в разработке находятся одноступенчатые РН. Rocket Lab фактически имеет трехступенчатую ракету, потому что для выхода на круговую орбиту требуется апогейная ступень, и большинство миссий выполнялось с ней. Гибридная технология - многообещающая в теории, но не была продемонстрирована на ракетах орбитального класса. По-видимому, пока не существует явного преимущества в стоимости пуска, связанного с типом топлива, и соответствующую экономическую эффективность необходимо будет доказать.

Разработчиками малых РН было заявлено много конкурентных преимуществ. Например, 3D-печать (аддитивное производство), эффективные двигатели, методы запуска (воздушный старт), количество ступеней, возможность повторного использования и т.д.

Большинство малых РН не планируется использовать повторно. Rocket Lab разрабатывает повторное использование Electron. Планировались подхваты с помощью вертолета в воздухе. Однако план, похоже, изменился к началу 2023 года в пользу приводнения ступени и её извлечения из океана. В августе 2023 года повторно использовался двигатель, летавший в мае 2022 года, с изделия, пойманного вертолетом. На этом работы, по-видимому, остановились из-за отсутствия спроса. Экономическая и конкурентная

важность повторного использования широко понимается, но многие разработчики малых РН не объявили об изменениях в своих подходах.

Возможность повторного использования становится очевидным преимуществом из-за низких затрат на топливо. Однако все остальное не доказано, и более серьезной проблемой, по-видимому, является осуществление первого орбитального запуска, а затем увеличение объемов производства и количества запусков на этой основе. Большинство заявленных преимуществ также могут быть слабыми, обусловленными другими факторами.

4.6 Перспективы развития и внедрения малых ракет-носителей в России и мире, основные барьеры и драйверы роста рынка

Ключевые преимущества малых РН - это оперативность пуска, возможность выбора целевой орбиты и отсутствие ограничений на пуск КА, которые при попутном или кластерном пуске могут быть сочтены опасными для других КА, сравнительно низкая стоимость единичного пуска. При этом удельная стоимость выведения сверхлегкой РН намного выше. Так, даже для экономически успешной РН Electron она составляет 22,7 тыс. долл./кг, в то время как для РН «Союз-2.1б» соответствующая величина равна приблизительно 5 тыс. долл./кг.

Следует отметить, что в условиях конкурентного рынка у использования малых РН всегда есть альтернатива в виде выведения ПН на недогруженной РН большей грузоподъёмности. Также при разворачивании многочисленных группировок малых КА их суммарная масса становится, как правило, достаточной для использования РН как минимум лёгкого класса.

Поэтому применение малых РН становится рациональным в основном при решении задач восполнения уже развёрнутых ракетами большей грузоподъёмности группировок. Однако при таком способе их задействования также возможна альтернатива в виде резервирования дополнительными

аппаратами, выводимыми в том же пуске более тяжелыми РН. При достаточно дешёвом производстве серийных КА использование более дешевого выведения на ракетах более тяжелого класса с запасом вместо оперативного запуска по потребности может оказаться более выгодным.

При наличии у КА из многочисленной группировки возможности маневра или переключения для восполнения потерь рациональность использования малых РН становится вопросом сравнения оперативности выведения малой РН и орбитального маневра, сроков активного существования и наземного хранения аппарата, а также стоимостей выведения. Пока завершивших развёртывание группировок не так много, детальный количественный анализ описанной задачи невозможен из-за отсутствия исходных данных.

Рассмотрение типовых ПН РН Electron показывает следующие особенности решаемых ею задач:

- большое количество пусков на нестандартные орбиты;

- высокая доля технологических демонстраторов среди выводимых КА;

- при выведении КА, принадлежащих к той или иной группировке, малая РН используется только как дополнительный носитель, в основном из-за отсутствия мест на носителях более тяжелого класса;

- высока частота пусков КА массы меньшей максимально выводимой, со значительным недогрузом ракеты.

В условиях РФ запуски технологических демонстраторов производятся сравнительно редко, а для нестандартных орбит отсутствуют поля падения. С учётом возможностей производства большего количества РН более тяжелого класса, малого количества производимых КА и их массогабаритных характеристик, превышающих зарубежные аналоги, подобный профиль использования малой РН, скорее всего, будет неэффективным в России. Основным потенциальным рынком для российской малой РН, учитывая высокую долю оборонных пусков в национальной программе, может быть

выведение ПН двойного назначения и, в перспективе, восполнение национальных группировок малых аппаратов, которое, однако, потребует тщательного обоснования, исходя из их реальных технико-экономических характеристик.

При этом фактический запрет выведения иностранных полезных нагрузок на российских ракетах делает возможность выхода на международный рынок и конкуренции на нём отодвинутой в сравнительно далёкое будущее. Основные союзники России по БРИКС имеют собственные космические программы и активно практикуют протекционизм (Индия, Китай), либо сотрудничают в космосе с США (Бразилия, Южная Африка). Таким образом, дополнение к национальной пусковой программе ограничивается аппаратами сравнительно низкотехнологичных «стран-изгоев» (Иран, КНДР), которые в силу своего политического положения также делают ставку на национальные программы.

Таким образом, для успешного вхождения в российский рынок малая РН должна отвечать следующим, весьма жёстким требованиям:

- удельная стоимость выведения ПН на уровне РН более тяжелого класса, в т.ч. при небольшом количестве пусков в год;

- оперативность выведения не ниже, чем оперативность маневра КА по фазе орбиты, т.е. несколько суток;

- минимальные затраты на разработку проекта.

4.7 Описание сегмента рынка средств выведения, связанного с РН малой грузоподъёмности: емкость сегмента: темпы роста сегмента; жизненный цикл отрасли рынка; стадия зрелости; тренды; барьеры; риски.

По сравнению с большинством новых развивающихся космических отраслей пусковые услуги - это существующий рынок, и нетрудно подсчитать ежегодные коммерческие и институциональные доходы. ResearchAndMarkets оценила рынок услуг по космическим запускам в 2022 году в 16,9 миллиарда

долларов и прогнозируют, что к 2027 году он достигнет 29,6 миллиарда долларов.

В исследованиях, отслеживающих запуски малых спутников и прогнозирующих будущий спрос, редко упоминаются размеры доступных рынков. Графики показывают значительное увеличение количества запускаемых малых спутников, но большинство - это Starlink от SpaceX, которые запускаются на ракетах SpaceX и, следовательно, не входят в число доступных для обслуживания рынков. OneWeb до последних нескольких лет использовала ракеты "Союз". Rocket Lab планируют создание своей группировки, которая, скорее всего, будет запущена на собственных ракетах. Европейские группировки, возможно, в итоге будут использовать европейские ракеты. Неизвестно, сколько останется для открытого рынки.

Крупные группировки переходят на более крупные спутники. Starlink V2-Mini весят около 800 кг, а Starlink V2 - около 1250-2000 кг, но ни то, ни другое не входит в доступный рынок. Ожидается, что вес OneWeb Gen2 составит около 500 кг.

Рынок растет, но, кроме того, экономика группировок связи как основного заказчика является сложной, и почти ни одна из них не была обоснована, включая Starlink. Нет никакой гарантии, что большинство из объявленных примерно 200-300 группировок появятся. Большие группировки также более экономично запускать большими партиями.

Кроме того, многие группировки, которые имеют более высокую вероятность успеха, такие как Starlink, выводят на собственных РН, потому что это главное конкурентное преимущество из-за более низкой стоимости и гибкости. Существуют также географические соображения. Например, китайские группировки почти наверняка будут использовать китайские ракеты-носители, а европейская IRIS, как предполагается, будет запускаться на европейских ракетах.

Небольшие РН имеют преимущества перед более крупными кластерными пусками в плане гибкости, конкретных орбит и, в некоторых случаях, более короткого времени до пуска. Эти преимущества остаются неизменными, и благодаря этим преимуществам всегда существуют определенные рыночные возможности, о чем, например, свидетельствуют новые заказчики Rocket Lab. Однако большинство заказчиков предпочитают более низкие цены и / или используют ракеты большего размера для запуска партий спутников целиком в орбитальные плоскости.

В связи со многими недавними выводами из эксплуатации, отменами, задержками и неудачными запусками потребуется не менее 2-3 лет, чтобы увидеть, насколько увеличится частота запусков у других поставщиков, таких как Firefly, ABL, Astra и SSLV, и насколько изменится общий рынок, и сколько заказчиков предпочтут специализированные запуски более дешевым совместным миссиям.

Малые РН конкурируют за клиентов не только между собой. Совместные запуски или старты с других аппаратов, космические буксиры, развертывание с космических станций и бортовые двигатели - все это может привести к достижению одной и той же цели - выводу КА на предпочтительную орбиту.

4.8 Нормативно-правовое регулирование, в т.ч. анализ государственных программ поддержки НИР и НИОКР: национальный и международный нормативно-технический ландшафт.

Прямая государственная поддержка НИР и НИОКР в области именно малых РН отсутствует практически во всём мире. Основным способом поддержки является косвенный.

Например, в США это гарантия заказов на будущую продукцию в рамках государственных форвардных контрактов и передача государственной интеллектуальной собственности без монетизации. В КНР создание малых РН

производится дочерними фирмами крупных корпораций, что позволяет транслировать в данные проекты государственную помощь этим корпорациям.

4.9 Основные игроки: количество, рыночные доли, описание продуктов и разработок; успешные бизнес-модели и лучшие практики.

Основным эксплуатантами СЛРН в мире сейчас являются США и КНР. Созданная Индии СЛРН SSLV совершила только два пуска, из которых один неудачный, поэтому пока не может рассматриваться как серьёзный игрок на рынке. Среди американских ракет СЛРН Electron фирмы Rocket Lab занимает практически монопольное положение. Изделия Northrop Grumman значительно дороже и совершили свой последний полёт достаточно давно. Ракета же Firefly выполнила только один удачный запуск из трёх и тоже не может как значимая для рынка СЛРН.

Среди китайских СЛРН малозначимыми можно счесть Smart Dragon, совершившую только один пуск, и Hyperbola, у которой достаточно низка эксплуатационная надёжность. Остальные же три ракеты используются практически наравне, хотя однотипны по используемым технологиям и относятся к одному и тому же классу по грузоподъёмности. Является ли это осознанным резервированием или признаком ожесточённой конкуренции, сказать пока нельзя.

Между Китаем и США наблюдается практически паритет в количестве произведённых пусков за период с 2010 года. Однако при этом Electron вышла на приблизительно 9 орбитальных пусков в год, а суммарная интенсивность китайских пусков продолжает нарастать. Если в 2015-2017 годах КНР выполнялось по 1 пуску, то в 2018-м их было произведено 4, в 2019–2021-м - 7-9, в 2022-м -11, а в 2023 -17, т.е. впервые количество пусков китайских СЛРН превзошло количество американских. При этом по отдельности СЛРН Kuaizhou-1A и Ceres-1 приблизились к достигнутой Electron частоте пусков.

4.10 Новые крупные проекты: участники, планы, суммы привлеченных инвестиций; причины закрытия неудавшихся проектов.

За последние года в индустрии малых РН произошло несколько громких отмен проектов, таких как Astra Rocket 3 и Relativity Space Terran 1.
Launcher (компания) после приобретения Vast отменила запуск РН и сосредоточилась на космических буксирах. Несколько других компаний, таких как SmallSpark, сделали то же самое.

Были также банкротства, такие как Virgin Orbit и SpaceRyde. До этого первый запуск Virgin Orbit из Великобритании потерпел неудачу в начале 2023 года. Они приостановили свою деятельность в марте 2023 года, в мае Virgin Orbit продала своё имущество Rocket Lab, Stratolaunch и Vast's Launcher на аукционе по банкротству.

Стоимость акций значительно упала. Оценка SPAC компании Astra составляла около 2,1 млрд. долл. в 2021 г., но к 2023 упала до около 41 млн. долл. Оценка Rocket Lab снизилась в эти же срои до 2,2 млрд. долл. с 4,1. Цена акций Virgin Orbit также имела общую тенденцию к снижению вплоть до банкротства.

Задержки первых запусков по-прежнему являются обычными и часто измеряются годами. Первые запуски ABL и Relativity состоялись в 2023 году примерно после 3-летних задержек, но оба оказались безуспешными. Предполагалось, что многие европейские пусковые компании проведут первые запуски в 2022-2023 годах, но теперь они перенесены на 2025 год или позже.

В марте 2023 года Astra сообщила, что первый полет Rocket-4 запланирован на конец 2023 года. Однако в августе четверть персонала была уволена, а 50 оставшихся были направлены на разработку спутниковых двигателей из-за нехватки денежных средств. Среди новинок компания Stoke Space разрабатывает полностью многоразовую ракету с 24-часовым

интервалом между пусками. Её заявленная грузоподъемность составляла 1650 кг на НОО, однако в последний момент перед объявленными бросковыми испытаниями в сентябре 2023 грузоподъёмность выросла до 5000 кг, а испытания были перенесены.

Планы по повторному использованию ракет Rocket Lab с помощью вертолетов были отменены в пользу приводнения в океане. Ранее использованный двигатель Rutherford был повторно использован в августе 2023 г., но дальнейших попыток не было.

Количество запусков в работающих организациях неуклонно растет. Rocket Lab превысила 50 запусков. Разработка более крупных ракет продолжается. Рынок для них больше, но большинство будущих РН, таких как Neutron и Terran R, ненамного дешевле Falcon 9, и до них еще 2-3 года при постоянных переносах первого пуска.

Важность возможности повторного использования становится все более очевидной, но многие хорошо финансируемые малые РН еще не объявили о новых планах. Питер Бек сказал в ноябре 2021 года, что “я думаю, что любой, кто на данный момент не разрабатывает многоразовую ракету-носитель, разрабатывает тупиковый продукт, потому что совершенно очевидно, что это фундаментальный подход, который нужно внедрять с первого дня”.

Гиперзвуковые полёты - новый альтернативный источник дохода для многих. Rocket Lab успешно совершает суборбитальные пуски в миссиях HASTE.

SpaceX добавила опцию совместного пуска 50 кг за 275 тыс. долл. в 2021 году (хотя с тех пор цена данной услуги выросла) и начала предлагать совместные запуски со средним наклонением, еще больше сократив рынок малых РН.

Среди крупнейших публичных инвестиций за последние несколько лет Expace получила 237 млн.долл., Galactic Energy - 200 млн., Isar - 165 млн. в и Stoke - 100 млн.

Тем не менее, Rocket Lab показала, что у малых РН есть рынок сбыта. Однако частота запусков Rocket Lab определяется рыночным спросом, а не готовностью ракеты. Таким образом, к увеличению числа запусков приведет только увеличение числа клиентов. Эластичность рынка запусков трудно доказать, но в настоящее время разрыв между попутным выведением 200 кг SpaceX стоимостью 1 млн. долл. и специальным запуском Electron стоимостью около 7,5 млн. долл. слишком велик для большинства космических стартапов.

4.11 Показатели по компаниям НТИ

Фонд суверенных технологий Национальной технологической инициативы (ФСТ НТИ) инвестировал 60 млн руб. в проект разработки сверхлегкой ракеты-носителя «Воронеж», реализуемый компанией «3Д Исследования и разработки». Компания является участником космического акселератора фонда «Восход», якорным инвестором которого выступает группа «Интеррос» Владимира Потанина. Ранее «Восход» уже вложил в проект 120 млн руб. Сейчас проект находится на этапе завершения эскизного проектирования. О сделке «Ведомостям» сообщили представители фондов и самой компании.

Ракета-носитель «Воронеж» предназначена для вывода на околоземную орбиту до 250 кг полезной нагрузки. Ее взлетная масса составит 35 т, а основное применение – формирование, обслуживание и восполнение низкоорбитальных спутниковых группировок на высоте 500 км. Две модификации жидкостных ракетных двигателей для первой и второй ступеней разрабатываются специалистами самарского предприятия «ОДК-Кузнецов» (входит в «Ростех»).

Инвестиции ФСТ и «Восхода» направлены на завершение эскизного проектирования космического ракетного комплекса, включающего ракету-носитель и жидкостный ракетный двигатель, а также на создание конструкторского макета второй ступени. Соглашение между фондами и компанией предусматривает возможность дальнейшего финансирования проекта.

Выводы

Прогнозы выручки и частоты пусков РН малой грузоподъёмности изначально были сильно завышены. Удельные стоимости выведения у таких РН по-прежнему остаются намного выше, чем у обычных, а нано-РН с ПН менее 50 кг вообще не были созданы. Компании-разработчики малых РН банкротятся или переходят на другие задачи. Большинство подобных проектов не имеют финансирования для завершения. Частота пусков Rocket Lab зависит от готовности клиентов, которая связана с рыночным спросом, а не от готовности ракеты. Поэтому многоразовое использование ступеней на РН данного класса не внедрено, хотя и декларируется.

Большую часть выводимых малых аппаратов составляют наноспутники, не способные загрузить малую РН полностью, и спутники группировок Starlink. При этом РН более тяжелого класса обеспечивают сравнительно недорогую альтернативу в виде попутного выведения.

Это приводит к использованию малых РН как в первую очередь системы двойного назначения, выводящей государственные и квазигосударственные ПН на орбиты, не обслуживаемые попутным выведением. Основными потребителями запуска на таких РН являются радиолокационные группировки, экспериментальные аппараты, а также группировки оперативного наблюдения, связи IoT и низкоорбитальной навигации.

Эти задачи вовлекают многоспутниковые группировки, аппараты которых должны быть распределены по нескольким плоскостям. При этом вес

полезных нагрузок, выводимых за один пуск, невелик. Применение малых РН возможно для восполнения уже развёрнутых ракетами большей грузоподъёмности группировок. Однако этому возможна альтернатива в виде резервирования дополнительными аппаратами.

В РФ группировки малых аппаратов, решающих вышеописанные задачи, пока отсутствуют. С учётом наличия на отечественном рынке масштабной конкуренции РН более тяжелого класса, малого количества производимых КА и их массы, большей чем у зарубежных аналогов, малая РН в России, скорее всего, должна будет иметь большую массу ПН, чем РН Electron и будет подвержена ценовой конкуренции при выведении группировок, не требующих жестко заданных орбитальных плоскостей.

Таким образом, для успешного вхождения в российский рынок малая РН должна иметь удельную стоимость выведения ПН на уровне РН более тяжелого класса, в т.ч. при небольшом количестве пусков в год при минимальных затратах на разработку. Это требует тщательной технико-экономической оптимизации проектов перспективных малых РН с учётом выбираемого в них технологического подхода и масштабного фактора.

Список использованных источников

1. Kulu, Erik. (2023). Small Launchers - 2023 Industry Survey and Market Analysis.

2. Kulu, Erik. (2024). Satellite Constellations - 2024 Survey, Trends and Economic Sustainability. 10.52202/078383-0004.

3. Бечаснов П.М., Ильин А.М. Возможные принципы построения малобюджетной ракеты-носителя сверхлегкого класса. Инженерный журнал: наука и инновации, 2023, вып. 5. http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2023-5-2271

4. Бечаснов П.М. Анализ особенностей использования сверхлегких ракет-носителей на основе статистики пусков. Инженерный журнал: наука и инновации,2024, вып. 12. EDN CKXDWH

5. Фонд НТИ вложил 60 млн рублей в разработку сверхлегкой ракеты-носителя «Воронеж» https://www.vedomosti.ru/technology/news/2025/01/27/1088586-fond-nti-vlozhil

6. Kulu, Erik. (2021). Small Launchers - 2021 Industry Survey and Market Analysis.

7. Kulu, Erik. (2021). Satellite Constellations - 2021 Industry Survey and Trends.