

Технико-экономический прогноз пусковой активности Российской Федерации

© П.М. Бечаснов, И.П. Дроздов

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Российская Федерация

Приведена вторая часть исследования тенденций изменения мирового орбитального грузопотока, посвященная формированию технико-экономического прогноза развития российской пусковой активности. На основе представленного ретроспективного анализа данных о российских космических аппаратах выявлено снижение со временем средних масс спутников разного назначения и увеличение их расчетного срока службы. Рассмотрена регрессионная модель зависимости стоимости полезной нагрузки от ее массы и серийности, что позволило сопоставить финансовые затраты на развертывание орбитальных группировок с макроэкономическими возможностями государства. Сформированы возможные сценарии развития пусковой активности РФ, учитывающие как потребности национальных потребителей космических услуг, так и экспортный потенциал. Показано, что в условиях общемировой тенденции к миниатюризации космических аппаратов и снижения доступного грузопотока существующий российский парк тяжелых и средних носителей требуется дополнить ракетами легкого и сверхлегкого классов.

Ключевые слова: пусковая программа, орбитальный грузопоток, стоимость выведения, ракеты-носители, космические аппараты

Введение. Начиная с 1990-х годов в российской космонавтике отмечается постепенный спад ежегодного количества пусков и суммарной массы выводимых ими на орбиту грузов. При этом публикуемые официальные прогнозы количества пусков, предусматривающие их существенное возрастание, зачастую основываются на предположении о достижении амбициозных целей без учета экономических ограничений. Как показывает мировая практика и проведенный ранее анализ тенденций развития мировой пусковой активности [1], размер экономики государства накладывает ограничения на возможный объем заказов и инвестиций в его ракетно-космической отрасли. Тем не менее проекты перспективных отечественных ракет-носителей (РН) «Союз-5» и «Амур-СПГ» нацелены на прямую конкуренцию с американской РН Falcon-9 без учета этого обстоятельства.

Необходимо развивать подходы к получению оценки оптимальности создаваемых РН в условиях экономических ограничений. Требуется также исследовать экономическую целесообразность использования существующих РН при уменьшающемся количестве пусков и грузопотоке.

Основная особенность текущей ситуации — необходимость адаптации к условиям, когда увеличение пусковой активности в мире

отмечается в сегменте низких околоземных орбит и малых космических аппаратов.

Цель данной работы — на основе выявленных глобальных закономерностей сформировать технико-экономический прогноз перспективного национального орбитального грузопотока и предложить рекомендации по оптимизации парка российских РН. Для ее достижения необходимо решить следующие задачи:

- определить тенденции изменения средней массы, срока службы и стоимости типовых отечественных полезных нагрузок;
- сформировать разные сценарии динамики количества запусков российских РН и обеспечиваемого ими грузопотока;
- разработать рекомендации по адаптации структуры парка носителей к прогнозным условиям.

Материалы и методы. В качестве основных инструментов в работе были использованы:

- анализ интегральных и относительных показателей, полученных в ходе исследования статистических данных о мировой и отечественной пусковой деятельности за 1991–2025 гг.;
- статистический анализ характеристик полезных нагрузок, а именно оценка динамики масс и сроков активного существования (САС) российских космических аппаратов на основе представительной выборки за 30-летний период;
- регрессионное моделирование: разработка зависимости удельной стоимости космического аппарата (КА) от его массы и серийности производства с использованием метода наименьших квадратов на основе открытых данных о стоимости современных спутников;
- метод сценарного прогнозирования, заключающийся в формировании трех вариантов развития событий (базового, оптимистичного и негативного) на основе экстраполяции выявленных трендов и анализа емкости национальных рынков космических сервисов (связь и дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ)).

Для оценки возможностей разных носителей по выведению полезных нагрузок на унифицированные орбиты использовалась расчетная методика Таунсенда.

Анализ изменения характеристик и стоимости полезной нагрузки. Для России наибольший номинальный грузопоток (сумма грузоподъемностей использованных РН на опорную орбиту, далее $M_{\text{ном}}$) был характерен в 1994 г., когда были задействованы РН с суммарной полезной нагрузкой (ПН) около 497 т на опорной орбите. В дальнейшем под «грузопотоком» будет пониматься именно номинальный $M_{\text{ном}}$, вычисляющийся по формуле [1]

$$M_{\text{ном}} = \sum_k P_k n_k,$$

где P_k — масса ПН k -го носителя в тоннах при запуске на низкие околоземные орбиты (НОО); n_k — число запусков соответствующего носителя за рассматриваемый год. Типовые масса и срок активного существования (САС) КА 1994 г. в сравнении с аналогичными показателями типовых КА 2024 г. представлены в табл. 1. Для каждой группы КА по назначению вычислена ее доля в $M_{\text{ном}}$ и оценено снижение потребного грузопотока $M_{\text{потр}}$ вследствие снижения массы и увеличения срока службы типовых КА. Результаты по группам были просуммированы с весовыми коэффициентами, соответствующими доле группы в $M_{\text{ном}}$ 1994 г. Отношение $M_{\text{потр}}$ для замены КА аналогичным по истечению срока службы в 1994 и 2024 г. определялось по следующей зависимости:

$$\frac{M_{\text{потр}}^{2024}}{M_{\text{потр}}^{1994}} \approx \sum \varepsilon_i \frac{m_{\text{КА}}^{2024}}{m_{\text{КА}}^{1994}} \frac{\tau_{\text{КА}}^{1994}}{\tau_{\text{КА}}^{2024}},$$

где ε_i — доля КА данного назначения в $M_{\text{ном}}$ 1994 г.; $m_{\text{КА}}$ — масса КА; $\tau_{\text{КА}}$ — срок активного существования КА.

Таблица 1

Типовые масса, срок службы и доля в $M_{\text{ном}}$ космических аппаратов разных назначений в 1994 и 2024 г. [2–5]

Назначение	КА 1994 года	Масса КА, т	САС, лет	Часть категории в грузопотоке, %	КА 2024 г. (пример)	Масса, т	САС, лет	Отношение грузопотока на новых и старых КА, %
Геостационарная связь	Галс-1, Радуга-1, Горизонт, Гейзер, Экспресс-1, Альтаир	2,3–2,5	3–5	33,4	Экспресс-1000	3,2	15	20
Оптическое наблюдение	Кобальт, Терилен, Облик, Комета, Обзор, Ресурс, Орлец	6,3–7,0	1	13,4	Ресурс	7,0	5	20
Навигация	ГЛОНАСС	1,4	3	12,6	ГЛОНАСС-К1	0,85	7	15
Пилотируемая программа	Корабли 7К (Союз-ТМ, Прогресс-М)	7,1–7,4	–	11,7	Без изменений			100
Метеорология	Метеор-3, Океан-4	2,2–6,3	2–3	7,8	Метеор-М	2,8	5	33
	Электро	2,85	3		Электро-Л	1,8	10	
Низкоорбитальная связь	Стрела, Парус, Надежда	0,2–0,87	1–2	2,4	Гонец-Д1	0,28	5	14

Назначение	КА 1994 года	Масса КА, т	САС, лет	Часть категории в грузо- потоке, %	КА 2024 г. (пример)	Масса, т	САС, лет	Отношение грузопотока на новых и старых КА, %
Научное	КОРОНАС-И	2,2	–	4,4	Ионосфера-М	0,4	8	10
	Муссон	1,61	?					
	Фотон	7,0	1					
Радиотех- ническая разведка	Целина-2	3,2	1	2,2	Лотос	6	5	36
	Целина-Д	1,75	1					
	УС–П	3,3	1					
Предупре- ждение о ракетном нападении	УС-КМО	2,6	1	5,6	Тундра	1,2	7,5– 12,5	7
	Око	1,7						
Высоко- орбиталь- ная связь	Молния	1,74	3	4,4	Меридиан	2,1	7	52
Калибровка	Вектор	1,1	–	0,3	Блиц	0,0073	–	–
Средние значения		4,1	1,9			3,9	8,4	29

За тридцать лет произошло снижение типовой массы навигационных, научных и калибровочных КА без значительных изменений для КА других назначений. Однако кратно вырос САС для КА всех назначений, и это снизило $M_{\text{потр}}$ более чем втрое. Фактическое изменение $M_{\text{ном}}$ за эти годы отличается от полученной оценки $M_{\text{потр}}$ только на 5 %.

Перечень проанализированных КА не претендует на полноту, в нем не учтены изменения их характеристик, поэтому полученная точность оценки является совпадением. Однако при ее погрешности в десятки процентов она позволяет заключить, что вместо расширения орбитальной группировки по мере снижения потребного темпа ее восполнения за прошедшие три десятилетия поддерживался приблизительно неизменный численный состав. Поэтому часто используемый аргумент о том, что снижение пусковой активности является только следствием снижения массы и увеличения срока службы спутников, является, скорее всего, несостоятельным: наблюдалась экономия средств на космическую деятельность с сохранением ее масштаба вместо расширения.

Тем не менее в настоящее время для современных зарубежных и перспективных отечественных КА наблюдается кратное снижение массы. При этом задачи, на решение которых ранее требовалось создание крупных высокоорбитальных аппаратов, начинают переноситься на низкоорбитальные группировки малых КА. В США начинается создание автономной низкоорбитальной навигационной группировки. Причем уже было начато развертывание низкоорбитальных группировок связи, способных решать задачи, ранее возлагавшиеся на

геостационарные спутники. Снижение максимальной потребной массы ПН потенциально ограничивает только пилотируемая программа. Сравнительная масса некоторых современных КА, сгруппированных по назначению, приведена в табл. 2.

Таблица 2

Типовые массы некоторых отечественных и зарубежных космических аппаратов различного назначения [6–24]

КА	Страна	Год запуска	Масса, кг
<i>Геостационарная связь</i>			
Экспресс-АМУ7	Россия/Италия	2021	1980
Интерспутник-100М	Россия	? (проект)	470
NuView Alpha	США	2024	400
<i>Низкоорбитальная широкополосная связь</i>			
Starlink	США	2019	290
Рассвет	Россия	2025?	350
<i>Низкоорбитальная узкополосная связь</i>			
Гонец-Д1М	Россия	2022	280
Геоскан-5	Россия	2025	10? (3U)
Kepler	Канада	2018	10? (3U)
<i>Наблюдение в видимом диапазоне</i>			
Ресурс-П	Россия	2013	6275
Киноспутник	Россия	2026?	160
SkySat	США	2013	100
<i>Наблюдение в радиолокационном диапазоне</i>			
Кондор	Россия	2023	1000
Аист-СТ	Россия	2025	27,75
Capella	США	2020	107
<i>Радиотехническая разведка</i>			
Лотос-С1	Россия	2014	6000
BRO	США	2024	8 (8U)
<i>Навигация</i>			
ГЛОНАСС-К2	Россия	2025	1800 (6U)
Хона	США	2025	149 (6U!)
<i>Метеорология</i>			
Метеор-М	Россия	2023	2700
Lemur-2	США	2015	4 (3U)

Можно оценить массу спутников исходя из того, что 16 аппаратов предполагалось вывести РН «Союз-2.1б». Оценочная грузоподъемность этой РН на целевой орбите для «Рассвета» высотой 600 км

и наклоном 88° [25] составляет при расчете по методике Таунсенда [26] около 5,7 т. Отсюда следует, что масса одного аппарата $m_{\text{КА}}$ составляет около 350 кг. Сохранение тенденции замены КА аналогичным меньшей массы без наращивания группировки может привести к пропорциональному снижению орбитального грузопотока. Необходимо также учитывать, что активно ведущиеся работы по продлению срока службы КА путем их орбитальной дозаправки и ремонта способны и далее снизить его потребную величину. Развертывание группировок из большого количества КА малой массы позволяет оптимизировать размерность РН под общую величину грузопотока, а не под размер единичной ПН.

Для оценки затрат на собственно пуски можно использовать хорошо развитые для данной задачи стоимостные модели [27]. Однако для КА такие модели, перекрывающие весь исследуемый диапазон масс, назначений и технических характеристик спутников, практически отсутствуют. Поэтому для качественного анализа зависимости стоимости КА от его массы и серийности производства была создана простейшая регрессионная модель, основанная на опубликованных в 2023 г. данных (более новые сведения не приведены в открытой печати). Будучи не валидированной для количественного анализа и предсказания стоимости новых КА из-за малого размера выборки и неучета ряда факторов, она все же дает возможность продемонстрировать некоторые закономерности. Собранные исходные данные для регрессии представлены в табл. 3, регрессионные зависимости — на рис. 1 и 2.

Таблица 3

**Данные о стоимости некоторых современных космических аппаратов
в зависимости от массы и серийности производства [28–35]**

КА	Масса, кг	Стоимость, млн долл.	Запусков в 2023 г, шт./год	Удельная стоимость, тыс. долл./кг
<i>Связь</i>				
OneWeb	150	1,0	132	6,7
Starlink	295	0,5	1047	4,4
<i>Наблюдение в радиолокационном диапазоне</i>				
ICEYE	120	2	11	16,7
Capella	112	5	3	46,2
Umbra	65	3	5	44,6
<i>Наблюдение в видимом диапазоне</i>				
BlackSky	56	6	2	166,7
HawkEye	30	5	6	107,1
Dove	5	0,4	72	80
<i>Россия</i>				
Канопус	450	17	–	37,8
Кондор-ФКА	1000	47,5	1	47,5
Гонец-М	280	12,6	–	45



Рис. 1. Статистическая зависимость для удельной стоимости КА от серийности производства (коэффициент корреляции $R = 0,944$)

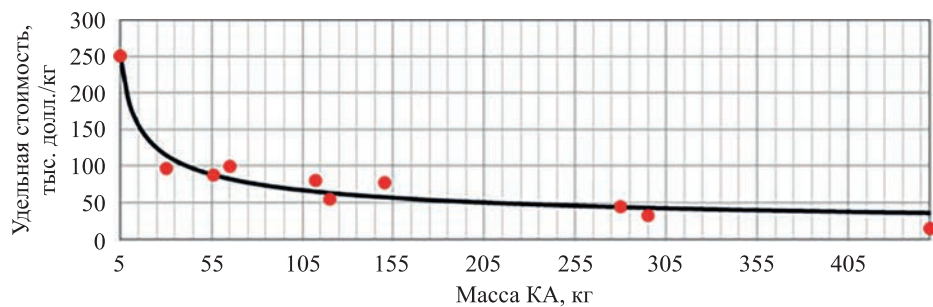


Рис. 2. Статистическая зависимость для удельной стоимости КА от его массы, с введенной поправкой на серийность производства (коэффициент корреляции $R = 0,975$)

В результате была получена регрессионная зависимость

$$C_{уд} \approx 502 C_{ОЭА} n_{КА}^{-0,5} m_{КА}^{-0,43} = 502 C_{ОЭА} M^{-0,43} n_{КА}^{0,07},$$

где $C_{уд}$ — удельная стоимость КА; $C_{ОЭА}$ — коэффициент, равный 3 для КА наблюдения в видимом диапазоне и 1 для всех остальных случаев; $n_{КА}$ — количество выведенных за год КА; M — суммарная масса выведенных за год КА.

Космические аппараты наблюдения в видимом диапазоне имеют втрое большую удельную стоимость, возможно, из-за дороговизны оптического оборудования [36].

В рамках проанализированной номенклатуры КА по мере миниатюризации их удельная стоимость возрастает. При этом $C_{уд}$ значительно превышает удельную стоимость выведения, что делает именно ее ограничителем наращивания грузопотока. Следствием полученной регрессии является также вывод, что $C_{уд}$ многоспутниковой группировки практически не зависит от серийности аппаратов, а миниатюризация КА и переход к их серийному производству не снижают общую стоимость по сравнению с одним КА при равной суммарной массе M . Хотя данный вывод требует в общем случае дополнительных доказательств, он существенно упрощает проводимый анализ и будет

принят далее в качестве гипотезы. В том числе он дает основания предполагать, что удельная стоимость грузопотока должна быть ниже для стран с большим $M_{\text{ном}}$.

Прогноз пусковой активности России. Проанализированная статистика пусковой активности во взаимосвязи с динамикой развития экономики дает возможность прогнозирования через экстраполяцию выявленных тенденций. Можно констатировать, что соотношение величины ВВП по ППС к национальному грузопотоку $Ind_{\text{нац}}$ для большинства государств является величиной, испытывающей сравнительно небольшие изменения [1]. Исключением являются американская и российская космические программы, в которых отмечается аномальный рост этого показателя и спад с аномально высокого значения соответственно. При этом для США грузопоток [1], определенный без учета иностранных ПН и пусков по программе Starlink, все же соответствует выявленной для остальных государств закономерности.

Наблюдаемая корреляция не является строгой закономерностью, а величина $Ind_{\text{нац}}$ не выдерживается точно, поэтому погрешность прогноза, основанного на ней, будет составлять десятки процентов. Однако согласно мировой статистике этого показателя, его уровень для России является беспрецедентным в мире (в том числе включая СССР) и с этого уровня наблюдается постоянное снижение показателя. Поэтому анализ корреляции все же можно использовать для предсказания будущего масштаба национальной космической программы в отсутствие факторов, изменяющих общемировой показатель $Ind_{\text{мир}}$. Тогда, представляя происходящий в России спад количества пусков и номинального грузопотока как переходный процесс с начального аномально высокого значения до новой константы и проводя регрессионный анализ, можно получить для них оценки асимптотических значений. Эти оценки показывают снижение среднегодового количества пусков приблизительно на 20 %, до 14–15 в год. Более значителен разрыв между асимптотой, приводящей к оценке около 70 т/год, и текущим значением среднего грузопотока.

Причины переходного процесса наблюдаемого масштаба в рамках анализируемой концепции, скорее всего, заключаются в соответствии пусковой программы 1991 г. ВВП СССР, а не РФ. В 1989 г. ВВП СССР по ППС составлял 2759 млрд долл. [37] и в 2,36 раза превосходил ВВП РФ 1991 г. Также свой вклад вносили экономики стран СЭВ (аналогично участию ЕС и Японии в современном грузопотоке США). В 1990 г. ВВП СЭВ превосходил ВВП СССР приблизительно в 1,5 раза [38]. Таким образом, суммарный размер ВВП по ППС (далее $C_{\text{ВВП}}$) экономик, ранее работавших на космическую программу РФ 1991 г., превышал ее собственный в 3,54 раза.

Российский $M_{\text{ном}}$ с 1991 г. по 2025 г. при этом изменился практически точно на эту величину: спад составил 3,41 раза. Однако $C_{\text{ВВП}}$ РФ увеличился в 6,16 раза, а $Ind_{\text{мир}}$ вырос в 5,02 раза, т. е. прогнозируемая величина $M_{\text{ном}}$ при равном советскому значении $Ind_{\text{отн}}$ составила бы около 160 т/год. Здесь индекс «отн» означает, что значение показателя высчитывалось относительно среднемирового $Ind_{\text{мир}}$, т. е.

$$Ind_{\text{отн}} = \frac{Ind_{\text{мир}}}{Ind_{\text{нац}}} = \frac{M_{\text{ном}} C_{\text{ВВП } \Sigma}}{C_{\text{ВВП}} M_{\text{ном } \Sigma}}.$$

Однако стабилизации $M_{\text{ном}}$ на этом значении не произошло. Это объясняется тем, что снижение грузопотока привело к повышению его удельной стоимости из-за влияния масштабного фактора и, следовательно, дальнейшему снижению. Согласно регрессионной зависимости

$$\frac{C_{\text{уд}}^{2025}}{C_{\text{уд}}^{1991}} \sim \left(\frac{M_{\text{ном}}^{1991}}{M_{\text{ном}}^{2025}} \right)^{0,43},$$
 фактическое снижение $M_{\text{ном}}$ привело

к повышению $C_{\text{уд}}$ в 1,7 раза. Удорожание пусков РН также произошло из-за меньшей частоты.

В связи с этим можно предполагать, что современная космическая деятельность РФ является бóльшей нагрузкой для ее экономики, чем советская — для СССР в 1991 г. Исходя из вышеизложенного можно записать, что $M_{\text{ном}} \sim (Ind_{\text{нац}})^{1/(1-0,43) \approx 1,75}$. Тогда выход на советское соотношение затрат к ВВП произошел бы при величине $M_{\text{ном}}$ около 79 т/год, что соответствует результатам регрессионного анализа динамики $Ind_{\text{отн}}$ и $N_{\text{отн}}$. Таким образом, $M_{\text{отн}}$ оказывается очень чувствительным к изменениям $C_{\text{ВВП}}$, что нельзя было наблюдать по сравнительно слабым колебаниям этого показателя для других государств.

Таким образом, для РФ перспективные значения $M_{\text{ном}} = 80$ т/год и $n = 15$ достигаются ориентировочно в начале 2030-х годов, что соответствует экстраполяции тенденции средней массы ПН в пуске [1]. За это время не ожидается значимых в пределах точности используемой модели изменений $C_{\text{ВВП}}$ [39], поэтому указанные величины можно принять как прогнозные без учета низкоорбитальных группировок широкополосной связи.

Снижение значения $M_{\text{ном}}$ в перспективе по сравнению с текущим может быть вызвано следующими факторами:

- переход к новой посещаемой орбитальной станции со снижением количества пусков к ней. Сейчас доля пусков РФ по пилотируемой программе аномально высока по сравнению с США и КНР;
- продолжение снижения массы КА. Пока российские аппараты большинства назначений все еще значительно тяжелее зарубежных аналогов;

– ввод в эксплуатацию новых РН сверхлегкого и легкого классов. Поскольку «Ангара-1.2» является самой легкой из эксплуатируемых сейчас отечественных РН, выведение даже микроспутника выделенным пуском добавляет к $M_{\text{ном}}$ ее полную номинальную ПН.

Сравнительно малая величина перспективного $M_{\text{ном}}$ может быть дополнительно обоснована следующими соображениями. Российский рынок данных дистанционного зондирования Земли в 2023 г. составил 0,9 % от глобального [40], тогда как в мире в том же году было запущено 319 КА такого назначения. Соответствующее размеру рынка количество российских аппаратов составляет 2–3, что при современном техническом уровне (см. табл. 2) обеспечит несколько сотен килограммов грузопотока.

Рынок космической связи в России составил 90 млрд руб. в 2024 г. [41] при размере мирового рынка 154,6 млрд долл. [42], т. е. около 0,75 %. Учитывая, что Starlink обеспечивает свыше 80 % глобальной пропускной способности спутниковой связи, размер грузопотока отечественной группировки связи при работе на национальный рынок можно оценить как 0,75 % от грузопотока Starlink. В 2025 г. орбитальный грузопоток в запусках его аппаратов составил приблизительно 2135 т, что позволяет оценить соответствующий российский в 16 т/год.

Расширение грузопотока может быть достигнуто выходом на международный рынок с сопутствующим ростом выручки либо прямой государственной поддержкой. Однако первый путь осложнен международной обстановкой и необходимостью конкуренции с соответствующими сервисами США и КНР, имеющими меньшую себестоимость услуг в силу масштабного фактора. Второй — тяжелой экономической ситуацией. Только в 2025 г. Минфином РФ было размещено облигаций федерального займа на сумму около 6,8 трлн руб. [43], что при действующих ставках заимствования приводит к ежегодной стоимости обслуживания только вновь размещенного долга на уровне, приблизительно втрое превышающем бюджетные ассигнования на финансовое обеспечение реализации государственной программы «Космическая деятельность России» в том же году [44]. Таким образом, учет размера национальных рынков подтверждает сформированный выше прогноз.

Полученный прогноз описывает грузопоток без учета низкоорбитальных группировок широкополосного доступа в Интернет, для которых набранный объем исторической статистики пока недостаточен. Поэтому необходимо рассмотреть несколько вариантов развития данных группировок и, соответственно, дать несколько вариантов прогноза.

В оптимистичном варианте прогноза Россия разворачивает национальные группировки при соблюдении того же соотношения расходов на их спутники к национальному ВВП, что и у США для Starlink.

В 2025 г. соотношение $C_{\text{ВВП}}$ РФ и США составило 4,29. Следовательно, равное отношение затрат к ВВП наблюдалось бы при российском грузопотоке для развертывания национальной группировки около 167 т/год. Поскольку $Ind_{\text{нац}}$ для США в 2025 г. находится на плато, это соотношение может быть экстраполировано на будущие годы, а расчетный грузопоток для РФ принят для перспективного прогноза.

Однако необходимо учитывать, что конкурентоспособность и доходы российской группировки за рубежом будут ограничены конкуренцией с сервисами США и КНР, которая осложняется как минимум большей стоимостью аппаратов из-за масштабного фактора. Тогда фактическая относительная стоимость развертывания национальной группировки для России будет выше, чем в случае Starlink, так как не будет компенсироваться доходами от зарубежных потребителей. По этой причине для консервативной оценки можно принять полученную выше величину грузопотока для аппаратов связи, т. е. 16 т/год. В этом сценарии пропускная способность связи, обслуживающая национальный рынок, будет перераспределена с геостационарных и высокоорбитальных КА на низкоорбитальные.

Текущие планы по развертыванию группировки «Рассвет» дают оценку посередине между оптимистичной и консервативной. В настоящее время предполагается развернуть группировку из 886 КА [45]. Принимая для них $\tau_{\text{КА}}$ аналогично Starlink равным 5 годам [46], можно получить оценку $M_{\text{потр}}$ для этой группировки в размере 62 т/год. Однако уже существующее отставание от графика развертывания [47] сдвигает оценку ближе к консервативной.

Все рассмотренные выше варианты прогноза предусматривают сохранение Россией удовлетворение потребностей национальных рынков аппаратами собственного производства и выведение всех национальных ПН российскими РН. Однако прогнозируемое снижение национального орбитального грузопотока может привести к ситуации, когда удорожание малосерийных отечественных КА и РН и поддержание мощностей для их разработки и производства станет невыгодным для национальной экономики. В этом случае возможен перенос части этих задач на государство с большим масштабом космической программы в текущей геополитической реальности — КНР.

Прогноз для такого негативного варианта развития событий может быть дан по аналогии с Японией, обладающей почти равным России ВВП, но делегирующей ряд задач в космонавтике США. Тогда количество пусков может снизиться до 4–5, а грузопоток упасть до приблизительно 30 т/год.

Итого, можно сформировать следующие инерционные сценарии пусковой активности России на начало 2030-х годов.

Оптимистичный сценарий: $M_{\text{ном}} = 250$ т/год, $n = 25\text{--}30$ пусков (согласно средней массе в пуске на год, в которые отмечалось схожее значение $M_{\text{ном}}$). Из них 1–2 пуска РН тяжелого класса (так как их основное назначение — выведение на геостационарную орбиту, а развитие в этом сегменте рынка пусковых услуг практически не происходит).

Базовый сценарий: $M_{\text{ном}} = 80\text{--}130$ т/год, $n = 14\text{--}22$ пуска. Нижняя граница прогнозного интервала формируется в случае перераспределения грузопотока выведения КА связи в пользу низкоорбитальных группировок без изменения общей величины, верхняя — при реализации плана развертывания группировки «Рассвет» как дополнительной к остальным данного назначения. Производится 1–2 пуска РН тяжелого класса.

Негативный сценарий. $M_{\text{ном}} = 30$ т/год, $n = 4\text{--}5$ пусков — аналогично японской пусковой программе.

Полученные значения $M_{\text{ном}}$ и n не следует воспринимать как точные ввиду высокой погрешности использованных моделей. Однако они показывают прогнозный масштаб национальной космической программы и позволяют оценить достоверность прогнозов, полученных по другим моделям. Так, для реализации прогноза [48] потребовалось бы кратного роста $N_{\text{отн}}$, что противоречит наблюдаемым тенденциям, не имеет мировых аналогов и, в свою очередь, нуждается в объяснении. Как показывает анализ космических программ, например, ЕС, Японии и Индии, $N_{\text{отн}}$ и $Ind_{\text{нац}}$ могут быть ниже предельных мировых значений, но существенное превышение среднемировых значений Россией ранее всегда сопровождалось тенденцией к снижению.

Анализ пусковой статистики стран мира показывает, что количество РН сверхлегкого класса с КА национального производства в эксплуатирующих их государствах приблизительно пропорционально ВВП по ППС и в 2025 г. составило шесть для США, восемь для КНР. Соответственно, для России оно могло бы составить один–два. При сохранении наблюдаемой доли таких пусков не более 10 % во всех космических программах даже в оптимистичном сценарии их количество в России не превысит пяти. Такая программа может быть обеспечена РН на основе конверсионных баллистических ракет, поэтому создание специализированных отдельных РН сверхлегкого класса в инерционном сценарии выглядит не востребованным в отсутствие проектов, предусматривающих в данном классе десятки пусков в год. Следует отметить, что именно боевые ракеты, особенно на основе мобильных комплексов, обеспечивают наивысшие показатели оперативности пусков и доступности инфраструктуры на новых пусковых площадках, актуальные для существующего в настоящее время подхода к использованию РН данного класса [49].

Ввиду относительно малого количества пусков, вызванного стагнацией рыночного сегмента, не востребовано создание новых РН

тяжелого класса. Разработка и переход к производству новой РН даже при ее более высоких технико-экономических показателях, скорее всего, приведет к бóльшим затратам, чем продолжение эксплуатации РН «Ангара-А5», из-за затянутых сроков окупаемости.

При этом требования к РН вследствие малого грузопотока отличаются от предъявляемых в США и прямое заимствование технических решений и характеристик выглядит неэффективным. Так, РН Falcon-9 в 2025 г. совершила 165 пусков, большей частью со спасением первой ступени. При расчетном значении грузопотока РН «Амур-СПГ» как возможный отечественный аналог может произвести только 20 даже в случае монополизации доступного отечественного рынка в оптимистичном сценарии, в базовом это число снижается до 5–10. Это привело бы к отходу от доказавшего экономическую эффективность сценария эксплуатации частично многоразовой РН, что требует дополнительных доказательств наличия преимуществ в российских условиях у заимствованных технических решений.

Рекомендации по оптимизации парка российских РН. Исходя из полученного прогноза для сохранения относительно низкой стоимости выведения на отечественных РН необходима адаптация их парка к снижающемуся грузопотоку. К началу 2030-х годов в эксплуатации будут находиться РН семи различных комплексов: «Иркут», «Старт-1М», «Рокот-М», «Ангара», «Союз-2.1», «Амур-СПГ», «Союз-5». При прогнозном значении грузопотока и средней массе в пуске на каждый из них в среднем должно будет приходиться около четырех пусков в год.

Зависимость трудоемкости производства одноразового бака Space Shuttle от его серийности приведена на рис. 3 [27]. Видно, что переход от двадцати изделий в год к четырем повысил трудоемкость производства в 3,5 раза. Поэтому при снижении серийности производства РН возможно кратное повышение стоимости пуска.

Поскольку перспективный грузопоток будет состоять из большого числа малых аппаратов, он может допускать деление на значительное число пусков. Удельная стоимость выведения при снижении грузоподъемности РН возрастает медленнее (рис. 4), чем при снижении серийности производства (см. рис. 3). На рис. 4 видно, что удельная стоимость выведения для существующих ракет-носителей резко возрастает при массе ПН менее 350 кг, а при массе ПН свыше 1 т изменяется сравнительно слабо. Наименьшая стоимость, как правило, характерна для проектов РН, далеких от реализации, наибольшая — для устаревших. Темно-синим показаны РН, выведенные из эксплуатации, зеленым — эксплуатируемые, синим — находящиеся в разработке, желтым — концептуальные проекты, оранжевым — приостановленные, красным — отмененные.

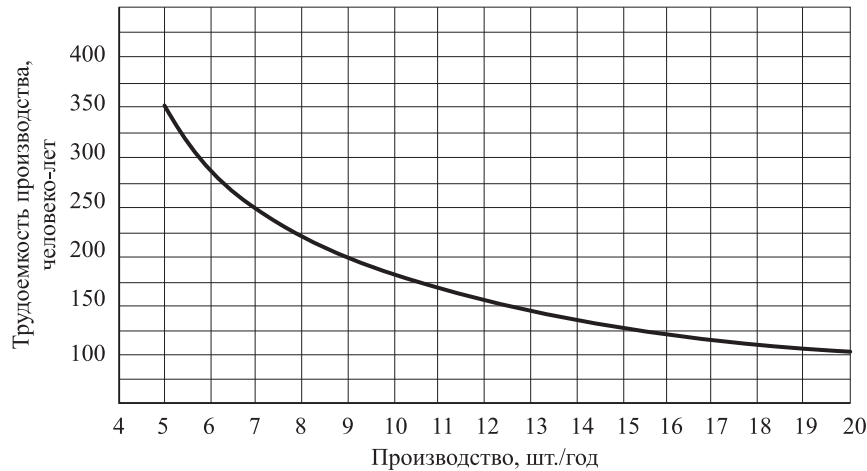


Рис. 3. Зависимость трудоемкости производства одноразового бака Space Shuttle от его серийности [27]

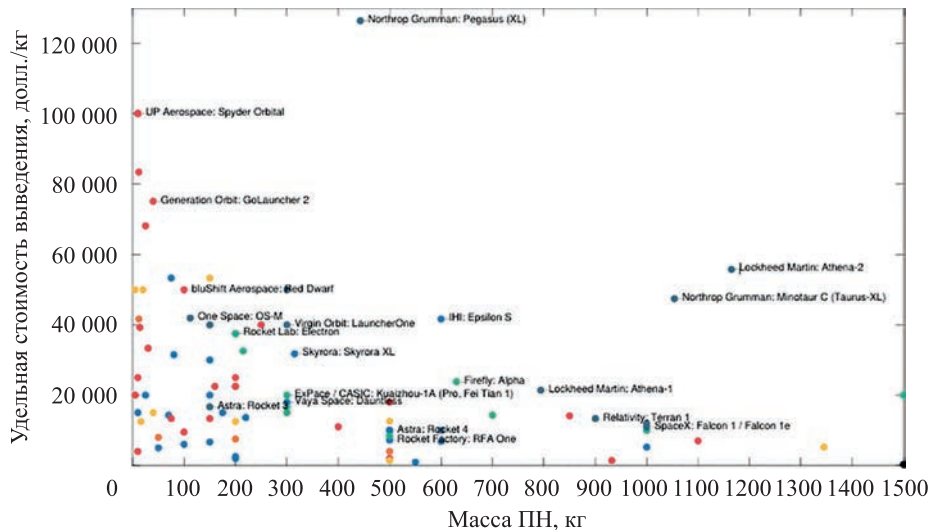


Рис. 4. Зависимость удельной стоимости выведения от грузоподъемности РН [50]

При этом высокая серийность производства позволяет снизить стоимость РН. Для разгонного блока Agena и ступеней РН Ariane-4 по мере освоения в серии было достигнуто трехкратное снижение трудоемкости и стоимости [27]. Модель эффекта освоения для ракетных двигателей и конструкции ракетных блоков [27] показывает, что уменьшение массы изделий до характерной для РН сверхлегкого и легкого классов в сочетании с серийностью производства около 20 шт./год способно обеспечить снижение себестоимости в 4–5 раз в течение нескольких лет. Аналогичное снижение в условиях высокой серийности производства наблюдалось для ракеты Р-7 с 1955 к 1958 г. [51].

В условиях низкого грузопотока выведение с помощью большого количества пусков РН малой грузоподъемности может оказаться выгоднее, чем малого количества пусков РН среднего и тяжелого класса. Существенно расширить грузопоток таких РН может создание для них пусковых площадок в дружественных странах, для которых может быть обеспечен суверенный доступ в космос. Предотвратить нарушение режима контроля за распространением ракетных технологий может работа таких площадок по схеме build-own-operate (BOO — финансирует—строит—эксплуатирует), характерной, например, при строительстве Госкорпорацией «Росатом» атомных электростанций за рубежом [52]. Ориентировочный объем достижимых национальных грузопотоков основных дружественных стран, не имеющих собственных РН, и соответствующий объем рынков пусковых услуг представлен в табл. 4. В таблицу включены дружественные страны, не имеющие собственной космической пусковой программы и способные в силу размера экономики обеспечить как минимум шесть пусков в год как условие окупаемости пусковой площадки.

Отдельную экономию при большом количестве пусков может обеспечить многократное использование элементов конструкции РН малой грузоподъемности. Аналогичное РН Falcon-9 число пусков при прогнозных значениях российского грузопотока обеспечивается при ПН в диапазоне 0,5–1 т. Поэтому целесообразно рассматривать возможность создания и экономическую эффективность частично многократных РН сверхлегкого и легкого классов.

Отказаться от параллельного использования нескольких семейств РН, приводящего к малой серийности их производства, может позволить создание единого ракетного комплекса, использующего РН сверхлегкого и легкого классов с общими элементами конструкции. Это облегчит адаптацию производства к возможным изменениям грузопотока. На основе РН легкого класса тандемной компоновки может быть создана РН среднего класса с пакетной компоновкой. Тогда такой комплекс может обслуживать почти весь грузопоток.

Схожую концепцию использует РН «Ангара», однако она рассчитана на более высокую ПН. Некоторые технические решения и элементы могут быть заимствованы из РН «Союз-2», имеющей меньшую размерность ракетных боков. Однако в целом адаптация средств выведения к снижению грузопотока и влиянию масштабного фактора требует значительного объема исследований по выбору грузоподъемности, технических решений единой РН и целесообразности многократного использования ее составных частей.

Таблица 4

**Оценочный достижимый национальный грузопоток дружественных стран
и соответствующий рынок РН сверхлегкого и легкого классов**

Страна	ВВП по ППС 2025 г., млн долл. США	Дости- жимый грузопоток, т/год	Пусков РН сверх- легкого класса (ПН 350 кг), шт./год	Пусков РН легкого класса (ПН 1 т), шт./год	Рынок для РН	Общее число пусков
Индонезия	5015762	44,5	127	44	РН легкого класса	198
Бразилия	4973385	43,8	125	43		
Турция	3766766	27,0	77	26		
Мексика	3436930	23,0	65	22		
Саудовская Аравия	2688520	15,0	42	14		
Египет	2381507	12,1	34	12		
Нигерия	2254167	11,0	31	10		
Таиланд	1853771	7,8	22	7		
Вьетнам	1807050	7,5	21	7		
Бангладеш	1782105	7,3	20	7		
Пакистан	1671381	6,5	18	6	РН сверх- легкого класса	78
Аргентина	1490164	5,3	15	5		
Малайзия	1478139	5,2	14			
Филиппины	1477711	5,2	14			
Колумбия	1189465	3,6	10			
Южная Африка	1026500	2,8	7			
Сингапур	953943	2,5	6			
Объединенные Арабские Эмираты	935449	2,4	6			
Казахстан	912589	2,3	6	Пусков по заказу		
Алжир	874599	2,1	5			

Закключение. В результате проведенных исследований показано, что характер и уровень происходящего в России спада пусковой активности можно объяснить снижением поддерживающей космическую программу экономики с объема СЭВ до национальной российской. Также определены тенденции изменения средней массы, срока службы и стоимости КА различного назначения. За последние тридцать лет произошло кратное увеличение срока службы российских КА, а их масса для большинства назначений также снизилась в несколько раз и продолжает снижаться. При этом отношение стоимости КА к массе возрастает при уменьшении его массы и национального

грузопотока в целом, что приводит при снижении грузопотока к увеличению относительных затрат на его обеспечение. Сформирован оценочный прогноз количества запусков российских РН и обеспечиваемого ими грузопотока на основе полученных зависимостей, показавший, что в начале 2030-х годов в инерционном сценарии российский грузопоток составит 80–130 т/год в 14–22 пусках, в оптимистичном — до 250 т/год в 25–30 пусках, а в негативном сценарии — 30 т/год в 4–5 пусках. Кроме того, даны рекомендации, предусматривающие перенос грузопотока на РН сверхлегкого и легкого класса для повышения частоты пусков и создание единого ракетного комплекса, использующего РН сверхлегкого и легкого классов с общими элементами конструкции при возможном применении многоразовых составных частей.

Следовательно, задачи работы выполнены и цель достигнута.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Бечаснов П.М., Дроздов И.П. Анализ тенденций изменения мирового орбитального грузопотока. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2026, вып. 8 (176). EDN JHACCI
- [2] EKS: Russia's space-based missile early warning system. *The Space Review*, 2021. URL: <https://www.thespacereview.com/article/4121/1>
- [3] Замена спутников «Меридиан» на новые аппараты задерживается из-за отсутствия у России мощных ракет-носителей. *Интерфакс*. URL: <https://www.interfax-russia.ru/military/news/403782>
- [4] Hendrickx B. Snooping on Radars: A History of Soviet/Russian Global Signals Intelligence Satellites. *Space Chronicle, JBIS*, 2005, vol. 58, Suppl. 1. URL: <https://brushbeater.org/wp-content/uploads/2018/11/radars.pdf>
- [5] Hendrickx B. The status of Russia's signals intelligence satellites. *The Space Review*, 2021. URL: <https://www.thespacereview.com/article/4154/1>
- [6] Восточный «Экспресс». Новый спутник связи и вещания готовится к эксплуатации на орбите. *Сибирский спутник: АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнёва*, 2022, № 7 (545), с. 3.
- [7] Технологии VSAT и малые спутники на ГСО. *ВИСАТ-ТЕЛ*. URL: http://vsat-tel.cts.ru/library/art_8.htm
- [8] NuView Alpha, Bravo. *Gunter's Space Page*. URL: https://space.skyrocket.de/doc_sdat/nuview-a.htm
- [9] Starlink Group 5-15 | Falcon 9 Block 5. *Everyday Astronaut*. URL: <https://everydayastronaut.com/starlink-group-5-15-falcon-9-block-5/>
- [10] Баканов анонсировал запуск 16 спутников «Рассвет» на орбиту в конце года. *ТАСС*. URL: <https://tass.ru/kosmos/24274803>
- [11] Система «Гонец-Д1М» – спутники. *Спутниковая система «Гонец»*. URL: <https://gonets.ru/rus/uslugi/sistema-gonets/>
- [12] Космические аппараты «Геоскан» со связной аппаратурой «Гонец» выведены на орбиту. *Спутниковая система «Гонец»*. URL: https://gonets.ru/rus/media/news/kosmicheskie_apparaty_geoskan_so_svyaznoy_apparaturay_gonets_vyvedeny_na_orbitu/
- [13] Kepler Communications (GEN1). *NewSpace Index*. URL: <https://www.newspace.im/constellations/kepler-communications>
- [14] Ресурс-П-1, 2, 3. *ИННОТЕР*. URL: <https://innoter.com/sputniki/resurs-p-1-2-3/>
- [15] Киноспутник. *СПУТНИКС*. URL: <https://sputnix.ru/ru/platformyi/mka-na-platforme-pallada/kinosputnik>

- [16] SkySat. *ИИHOTEP*. URL: <https://innoter.com/sputniki/skysat/>
- [17] Космический аппарат «Кондор-ФКА». *НЦ ОМЗ*. URL: https://ntsomz.ru/kondor_fka_1/
- [18] Аист-СТ. *Space-π*. URL: <https://spacepi.space/satellites/aist-st/>
- [19] Capella (SAR). *ИИHOTEP*. URL: <https://innoter.com/sputniki/capella-sar/>
- [20] BRO 12, ..., 25. *Gunter's Space Page*. URL: https://space.skyrocket.de/doc_sdat/bro-12.htm
- [21] Успешно запущен российский спутник ГЛОНАСС нового поколения. *Техносфера. Россия*. URL: <https://tehnoomsk.ru/archives/16917>
- [22] In the Matter of Xona Space Systems. *NASA Spaceflight Forum*. URL: <https://forum.nasaspaceflight.com/index.php?action=dlattach;topic=60273.0;attach=2341527>
- [23] Данные дистанционного зондирования со спутников серии «Метеор-М». *ДВРЦ ПОД*. URL: <https://www.dvrcpod.ru/Meteor-M.php>
- [24] Krebs, Gunter D. Lemur-2. *Gunter's Space Page*. URL: https://space.skyrocket.de/doc_sdat/lemur-2.htm
- [25] Россия заявила Рассвет. *ComNews*. URL: <https://www.comnews.ru/content/224619/2023-03-01/2023-w09/rossiya-zayavila-rassvet>
- [26] Launch Vehicle Performance Calculator. *Silverbird Astronautics*. URL: <https://silverbirdastronautics.com/cgi-bin/LVPcalc.pl>
- [27] Koelle D.E. *Handbook of cost engineering* for space transportation systems (revision 2) with Transcost 7.2: statistical-analytical model for cost estimation and economical optimization of launch vehicles. Ottobrunn, TransCostSystems, 2007, 541 p.
- [28] Breakingviews – OneWeb is flying into a financial asteroid field. *Reuters*. URL: <https://www.reuters.com/article/breakingviews/breakingviews-oneweb-is-flying-into-a-financial-asteroid-field-idUSKBN27418L/>
- [29] Morgan Stanley Models SpaceX Value at \$120+ Billion with Starlink. *Next-BigFuture*. URL: <https://www.nextbigfuture.com/2019/11/morgan-stanley-models-spacex-value-at-120-billion-with-starlink.html>
- [30] Smaller, cheaper: How these tiny satellites are spinning off new space data movement. *ZDNet*. URL: <https://www.zdnet.com/article/smaller-cheaper-how-these-tiny-satellites-are-spinning-off-new-space-data-movement/>
- [31] Cost and Benefit Analysis of Orbital Debris Remediation. *NASA*. URL: https://www.nasa.gov/wp-content/uploads/2023/03/otps_cost_and_benefit_analysis_of_orbital_debris_remediation_final.pdf
- [32] PlanetScope Cost Overview. *e-shape*. URL: <https://sustainability.e-shape.eu/wp-content/uploads/2022/11/PlanetScope-Cost-Estimate.pdf>
- [33] Globalstar Signs Contract with MDA for New Satellites. *Globalstar*. URL: <https://investors.globalstar.com/news-releases/news-release-details/globalstar-signs-contract-mda-new-satellites/>
- [34] Russia to launch Iran's most advanced monitoring satellite. *The Cradle*. URL: <https://thecradle.co/articles-id/3243>
- [35] Акимов И.О. Исследование быстродействия алгоритма управления малогабаритными космическими аппаратами с использованием двигателей-маховиков. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2019, вып. 5. DOI: 10.18698/2308-6033-2019-5-1881
- [36] Van Belle G., Meinel A., Meinel M. The scaling relationship between telescope cost and aperture size for very large telescopes. *Proc SPIE*, 2004, pp. 563–570. DOI: 10.1117/12.552181

- [37] Калабеков И.Г. Валовой внутренний продукт СССР. СССР и страны мира в цифрах. URL: <https://su90.ru/gdp.html>
 - [38] Ковалева Г.Д., Шевелев А.В. Что говорит статистика о пространстве СЭВ. ЭКО, 2016, № 10 (508), с. 57–77.
 - [39] Бюджетный прогноз Российской Федерации на период до 2042 года. Правительство России. URL: <http://government.ru/docs/57291/>
 - [40] Анализ рынка данных и сервисов космического дистанционного зондирования Земли. Цифровая экономика. URL: <https://d-economy.ru/analitic/analiz-rynka-dannyh-i-servisov-kosmicheskogo-distancionnogo-zondirovaniya-zemli/>
 - [41] Орбиты сгруппировались: объем предоставленных в России услуг спутниковых операторов составил 21 млрд рублей в 2024 году. ФГУП «Космическая связь». URL: <https://www.rscs.ru/news/1375/>
 - [42] Маркетинговые исследования спутниковой отрасли. Газпром космические системы. URL: <https://www.gazprom-spacesystems.ru/ru/informations/analytics/19492/>
 - [43] Минфин выполнил план по привлечению госдолга в 2025 году на 99,5%. РБК. URL: <https://www.rbc.ru/quote/news/article/694badb09a7947231834aed7>
 - [44] На космическую деятельность в 2025–2027 годы планируется выделить из бюджета 942,3 млрд. ТАСС. URL: <https://tass.ru/ekonomika/21998021>
 - [45] Группировку спутников «Рассвет» расширят вдвое. Телеспутник. URL: <https://telesputnik.ru/materials/tech/news/gruppirovku-sputnikov-rassvet-rassiryat-vdvoe>
 - [46] The Short Life Expectancy of Starlink's LEO Satellites. Submarine Cable Networks. URL: <https://subseacables.blogspot.com/2025/07/the-low-satellite-life-expectancy-of.html>
 - [47] Россия отложила запуск спутников связи для создания «убийцы Starlink». CNews. URL: https://www.cnews.ru/news/top/2026-01-23_v_rossii_ne_smogli_vovremya
 - [48] Баканов: Россия к 2030 году сможет обеспечивать 66 космических пусков в год. ТАСС. URL: <https://tass.ru/kosmos/24241807>
 - [49] Бечаснов П.М. Анализ особенностей использования сверхлегких ракет-носителей на основе статистики пусков. Инженерный журнал: наука и инновации, 2024, вып. 12. EDN CKXDWH
 - [50] Small Launchers- 2025 Survey and Competitive Landscape. NewSpace Index. URL: https://www.newspace.im/assets/Small-Launchers-2025_Erik-Kulu_IAC2025.pdf
 - [51] Буданов А.В. Проблемы финансирования ракетостроительной отрасли СССР накануне Карибского кризиса. Вестник Томского государственного университета, 2019, № 443, с. 91–98. URL: <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vtls:000661306>
 - [52] Kahraman M.C. Evaluating the build-own-operate model for nuclear power plant projects; A case study of Türkiye's first nuclear power plant agreement with Russia. International Journal of Energy Studies, 2025, no. 10, pp. 957–970. DOI: 10.58559/ijes.1533604
- Все ссылки проверены на 10.03.2026.

Статья поступила в редакцию 23.03.2026

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Бечаснов П.М., Дроздов И.П. Технико-экономический прогноз пусковой активности Российской Федерации. Инженерный журнал: наука и инновации, 2026, вып. 9. EDN GQLTOM

Бечаснов Павел Михайлович — канд. техн. наук, доцент кафедры «Космические аппараты и ракеты-носители» МГТУ им. Н.Э. Баумана. e-mail: bechasnov@bmstu.ru, SPIN-код: 7996-8716

Дроздов Илья Павлович — студент кафедры «Космические аппараты и ракеты-носители» МГТУ им. Н.Э. Баумана. e-mail: ilya.drozdov05@mail.ru, SPIN-код: 8876-7947

Technical and Economic Forecast of Launch Activity in the Russian Federation

© P.M. Bechasnov, I.P. Drozdov

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 105005, Russian Federation

This is the second part of a study of trends in global orbital cargo traffic and is devoted to the formation of a technical and economic forecast for the development of Russian launch activity. Based on a retrospective analysis of Russian spacecraft launch data, the article identifies changes in the average masses of satellites for various purposes and an increase in their design service life. A regression model for the dependence of payload cost on its mass and production volume was developed and presented, which allowed comparing the financial costs of deploying orbital constellations with the macroeconomic capabilities of the state. Three scenarios for the development of Russian launch activity are formulated, taking into account both the needs of national space service consumers and export potential. It has been established that under the global trend toward spacecraft miniaturization and the reduction of available cargo flow, the existing fleet of heavy and medium Russian launch vehicles requires supplementation with light and ultra-light class rockets.

Keywords: launch program, orbital cargo flow, launch cost, launch vehicles, spacecraft

REFERENCES

- [1] Bechasnov P.M., Drozdov I.P. Analiz tendentsiy izmeneniya mirovogo orbital'nogo gruzopotoka [Analysis of Global Orbital Cargo Flow Trends]. *Inzhenernyi zhurnal: nauka i innovatsii — Engineering Journal: Science and Innovation*, 2026, iss. 8. EDN JHACCI
- [2] Hendrickx B. EKS: Russia's space-based missile early warning system. *The Space Review*, 2021. Available at: <https://www.thespacereview.com/article/4121/1> (accessed March 10, 2026).
- [3] Zamena sputnikov "Meridian" na novye apparaty zaderzhivaetsya iz-za otsutstviya u Rossii moschnykh raket-nositeley [Replacement of Meridian satellites with new spacecraft is delayed due to Russia's lack of powerful launch vehicles]. *Interfax*, 2016. Available at: <https://www.interfax-russia.ru/military/news/403782> (accessed March 10, 2026).
- [4] Hendrickx B. Snooping on Radars: A History of Soviet/Russian Global Signals Intelligence Satellites. *Space Chronicle: JBIS*, 2005, vol. 58, Suppl. 1. Available at: <https://brushbeater.org/wp-content/uploads/2018/11/radars.pdf> (accessed March 10, 2026).
- [5] Hendrickx B. The status of Russia's signals intelligence satellites. *The Space Review*, 2021. Available at: <https://www.thespacereview.com/article/4154/1> (accessed March 10, 2026).
- [6] Vostochnyy "Ekspress". Novyy sputnik svyazi i veshchaniya gotovitsya k ekspluatatsii na orbite [Eastern "Express". A new communications and broadcasting satellite is preparing for operation in orbit]. *Sibirskiy sputnik*, 2022, no. 7 (545), p. 3.
- [7] Anpilogov V.R., Tyapkin V.K., Eyduz A.G. Tekhnologii VSAT i malye sputniki na GSO [VSAT technologies and small satellites in GSO]. *VISAT-TEL*. Available at: http://vsat-tel.cts.ru/library/art_8.htm (accessed March 10, 2026).
- [8] NuView Alpha, Bravo. *Gunter's Space Page*. Available at: https://space.skyrocket.de/doc_sdat/nuview-a.htm (accessed March 10, 2026).

- [9] Starlink Group 5-15 | Falcon 9 Block 5. *Everyday Astronaut*. Available at: <https://everydayastronaut.com/starlink-group-5-15-falcon-9-block-5/> (accessed March 10, 2026).
- [10] Bakanov anonsiroval zapusk 16 sputnikov "Rassvet" na orbitu v kontse goda [Bakanov announced the launch of 16 Rassvet satellites into orbit at the end of the year]. *TASS*. Available at: <https://tass.ru/kosmos/24274803> (accessed March 10, 2026).
- [11] Sistema «Gonets-D1M» - sputniki [Gonets-D1M system — satellites]. *Gonets Satellite System*. Available at: <https://gonets.ru/rus/uslugi/sistema-gonets/> (accessed March 10, 2026).
- [12] Kosmicheskie apparaty «Geoskan» so svyaznoy apparaturoy «Gonets» vyvedeny na orbitu [Geoscan spacecraft with Gonets communications equipment have been put into orbit]. *Gonets Satellite System*. Available at: https://gonets.ru/rus/media/news/kosmicheskie_apparaty_geoskan_so_svyaznoy_apparaturoy_gonets_vyvedeny_na_orbitu/ (accessed March 10, 2026).
- [13] Kepler Communications (GEN1). *NewSpace Index*. Available at: <https://www.newspace.im/constellations/kepler-communications>
- [14] Resurs-P-1, 2, 3 [Resurs-P-1, 2, 3]. *INNTER*. Available at: <https://innoter.com/sputniki/resurs-p-1-2-3/> (accessed March 10, 2026).
- [15] Kinosputnik [CineSatellite]. *SPUTNIX*. Available at: <https://sputnix.ru/ru/platformyi/mka-na-platfome-pallada/kinosputnik> (accessed March 10, 2026).
- [16] SkySat. *INNTER*. Available at: <https://innoter.com/sputniki/skysat/> (accessed March 10, 2026).
- [17] Kosmicheskij apparat «Kondor-FKA» [Spacecraft «Kondor-FKA»]. *Scientific Center for Operational Earth Monitoring*. Available at: https://ntsomz.ru/kondor_fka_1/ (accessed March 10, 2026).
- [18] Aist-ST. *Space-π*. Available at: <https://spacepi.space/satellites/aist-st/> (accessed March 10, 2026).
- [19] Capella (SAR). *INNTER*. Available at: <https://innoter.com/sputniki/capella-sar/> (accessed March 10, 2026).
- [20] BRO 12, ..., 25. *Gunter's Space Page*. Available at: https://space.skyrocket.de/doc_sdat/bro-12.htm (accessed March 10, 2026).
- [21] Uspeshno zapuschen rossiyskiy sputnik GLONASS novogo pokoleniya [Russian GLONASS satellite of the new generation successfully launched]. *Tekhnosfera Rossiya*. Available at: <https://tehnoomsk.ru/archives/16917> (accessed March 10, 2026).
- [22] In the Matter of Xona Space Systems. *NASA Spaceflight Forum*. Available at: <https://forum.nasaspaceflight.com/index.php?action=dlattach;topic=60273.0;attach=2341527> (accessed March 10, 2026).
- [23] Dannye distantsionnogo zondirovaniya so sputnikov serii «Meteor-M» [Remote sensing data from Meteor-M series satellites]. *DVRTS POD*. Available at: <https://www.dvrcpod.ru/Meteor-M.php> (accessed March 10, 2026).
- [24] Krebs G.D. Lemur-2. *Gunter's Space Page*. Available at: https://space.skyrocket.de/doc_sdat/lemur-2.htm (accessed March 10, 2026).
- [25] Rossiya zayavila Rassvet [Russia filed Rassvet]. *ComNews*. Available at: <https://www.comnews.ru/content/224619/2023-03-01/2023-w09/rossiya-zayavila-rassvet> (accessed March 10, 2026).
- [26] Launch Vehicle Performance Calculator. *Silverbird Astronautics*. Available at: <https://silverbirdastronautics.com/cgi-bin/LVPcalc.pl> (accessed March 10, 2026).
- [27] Koelle D.E. *Handbook of cost engineering for space transportation systems (revision 2) with Transcost 7.2: statistical-analytical model for cost estimation and*

- economical optimization of launch vehicles. Ottobrunn, TransCostSystems, 2007, 541 p.
- [28] Breakingviews – OneWeb is flying into a financial asteroid field. *Reuters*, 2020. Available at: <https://www.reuters.com/article/breakingviews/breakingviews-oneweb-is-flying-into-a-financial-asteroid-field-idUSKBN27418L/> (accessed March 10, 2026).
- [29] Morgan Stanley Models SpaceX Value at \$120+ Billion with Starlink. *Next-BigFuture*, 2019. Available at: <https://www.nextbigfuture.com/2019/11/morgan-stanley-models-spacex-value-at-120-billion-with-starlink.html> (accessed March 10, 2026).
- [30] Smaller, cheaper: How these tiny satellites are spinning off new space data movement. *ZDNet*, 2019. Available at: <https://www.zdnet.com/article/smaller-cheaper-how-these-tiny-satellites-are-spinning-off-new-space-data-movement/> (accessed March 10, 2026).
- [31] Cost and Benefit Analysis of Orbital Debris Remediation. *NASA*. Available at: https://www.nasa.gov/wp-content/uploads/2023/03/otps_-cost_and_benefit_analysis_of_orbital_debris_remediation-_final.pdf (accessed March 10, 2026).
- [32] PlanetScope Cost Overview. *E-shape*. Available at: <https://sustainability.e-shape.eu/wp-content/uploads/2022/11/PlanetScope-Cost-Estimate.pdf> (accessed March 10, 2026).
- [33] Globalstar Signs Contract with MDA for New Satellites. *Globalstar*, 2022. Available at: <https://investors.globalstar.com/news-releases/news-release-details/globalstar-signs-contract-mda-new-satellites/> (accessed March 10, 2026).
- [34] Russia to launch Iran's most advanced monitoring satellite. *The Cradle*. Available at: <https://thecradle.co/articles-id/3243> (accessed March 10, 2026).
- [35] Akimov I.O. Issledovanie bystrodeystviya algoritma upravleniya malogabaritnymi kosmicheskimi apparatami s ispol'zovaniem dvigateley-makhovikov [Investigation of the speed of the small-sized spacecraft control algorithm using reaction wheels]. *Inzhenerny zhurnal: nauka i innovatsii — Engineering Journal: Science and Innovation*, 2019, iss. 5. DOI: 10.18698/2308-6033-2019-4-1871
- [36] Van Belle G., Meinel A., Meinel M. The scaling relationship between telescope cost and aperture size for very large telescopes. In: *Proceedings of SPIE*, 2004, pp. 563–570. DOI: 10.1117/12.552181
- [37] Kalabekov I.G. Valovoy vnutrenniy produkt SSSR [Gross domestic product of the USSR]. *SSSR i strany mira v tsifrakh*. Available at: <https://su90.ru/gdp.html>
- [38] Kovaleva G.D., Shevelev A.V. Chto govorit statistika o prostranstve SEV [What Statistics of Comecon Area Tells us?]. *EKO — ECO Journal*, 2016, no. 10 (508), pp. 57–77.
- [39] Byudzhethnyy prognoz Rossiyskoy Federatsii na period do 2042 goda [Budget forecast of the Russian Federation for the period up to 2042]. *Pravitelstvo Ros-sii*. Available at: <http://government.ru/docs/57291/>
- [40] Analiz rynka dannykh i servisov kosmicheskogo distantsionnogo zondirovaniya Zemli [Market analysis of data and services for space remote sensing of the Earth]. *Digital Economy*. Available at: <https://d-economy.ru/analitic/analiz-rynka-dannyh-i-servisov-kosmicheskogo-distancionnogo-zondirovaniya-zemli/>
- [41] Orbity sgruppirovalis': ob'em predostavlennykh v Rossii uslug sputnikovykh operatorov sostavil 21 mlrd rubley v 2024 godu [Orbits grouped: the volume of satellite operator services provided in Russia amounted to 21 billion rubles in 2024]. *Russian Satellite Communications Company*. Available at: <https://www.rsc.ru/news/1375/>
- [42] Marketingovye issledovaniya sputnikovoy otrasli [Marketing research of the satellite industry]. *Gazprom Space Systems*. Available at: <https://www.gazprom-spacesystems.ru/ru/informations/analytics/19492/>

- [43] Minfin vypolnil plan po privilecheniyu gosdolga v 2025 godu na 99,5% [The Ministry of Finance fulfilled the plan to attract public debt in 2025 by 99.5%]. *RBC*. Available at: <https://www.rbc.ru/quote/news/article/694badb09a7947231834aed7>
- [44] Na kosmicheskuyu deyatel'nost' v 2025-2027 gody planiruyetsya vydelit' iz byudzheta 942,3 mlrd [942.3 billion rubles are planned to be allocated from the budget for space activities in 2025-2027]. *TASS*. Available at: <https://tass.ru/ekonomika/21998021>
- [45] Gruppirovku sputnikov «Rassvet» rasshiryat vdvoe [The Rassvet satellite constellation will be doubled]. *Telesputnik*. Available at: <https://telesputnik.ru/materials/tech/news/gruppirovku-sputnikov-rassvet-rasshiryat-vdvoe>
- [46] The Short Life Expectancy of Starlink's LEO Satellites. *Submarine Cable Networks*. Available at: <https://subseacables.blogspot.com/2025/07/the-low-satellite-life-expectancy-of.html>
- [47] Rossiya otlozhila zapusk sputnikov svyazi dlya sozdaniya «ubiitsy Starlink» [Russia postponed the launch of communication satellites to create a “Starlink killer”]. *CNews*. Available at: https://www.cnews.ru/news/top/2026-01-23_v_rossii_ne_smogli_vovremya (accessed March 10, 2026).
- [48] Bakanov: Rossiya k 2030 godu smozhet obespechivat' 66 kosmicheskikh puskov v god [Bakanov: Russia will be able to provide 66 space launches per year by 2030]. *TASS*. Available at: <https://tass.ru/kosmos/24241807> (accessed March 10, 2026).
- [49] Bechasnov P.M. Analiz osobennostey ispolzovaniya sverkhlegkikh raket-nositeley na osnove statistiki puskov [Analysis of specifics in using the ultra-light launch vehicles based on the launch statistics]. *Inzhenernyy zhurnal: nauka i innovatsii — Engineering Journal: Science and Innovation*, 2024, iss. 12. EDN CKXDWH
- [50] Small Launchers- 2025 Survey and Competitive Landscape. *NewSpace Index*. Available at: https://www.newspace.im/assets/Small-Launchers-2025_Erik-Kulu_IAC2025.pdf (accessed March 10, 2026).
- [51] Budanov A.V. Problemy finansirovaniya raketostroitel'noy otrasli SSSR nakanune Karibskogo krizisa [Problems of financing the rocket-building industry of the USSR on the eve of the Cuban Missile Crisis]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta — Tomsk State University Journal*, 2019, no. 443, pp. 91–98. Available at: <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vtls:000661306> (accessed March 10, 2026).
- [52] Kahraman M.C. Evaluating the build-own-operate model for nuclear power plant projects; A case study of Türkiye's first nuclear power plant agreement with Russia. *International Journal of Energy Studies*, 2025, no. 10, pp. 957–970. DOI: 10.58559/ijes.1533604

Bechasnov P.M., Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor, Department of Spacecraft and Launch Vehicles, Bauman Moscow State Technical University.
e-mail: bechasnov@bmstu.ru. SPIN-code: 7996-8716.

Drozdov I.P., Student, Department of Spacecraft and Launch Vehicles, Bauman Moscow State Technical University. e-mail: ilya.drozdov05@mail.ru. SPIN-code: 8876-7947.