

## Анализ особенностей использования сверхлегких ракет-носителей на основе статистики пусков

© П.М. Бечаснов

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

*Рассмотрены особенности пусковой программы современных зарубежных сверхлегких ракет-носителей (СЛРН). С учетом аргументов «за» и «против» дальнейшего увеличения количества их пусков проанализированы потребная для развертывания существующих спутниковых группировок энергетика выведения и количество пусков, уточнены параметры орбит и основные особенности группировок, выводимых попутными запусками в миссии Transporter компанией SpaceX как основным конкурентом СЛРН. Анализ статистики выведения зарубежных нано- и микроспутников показал, что полную загрузку СЛРН способна обеспечить только очень незначительная доля разворачиваемых сейчас спутниковых группировок. Большую их часть составляют наноспутники и спутники Starlink и OneWeb, не предназначенные для выведения СЛРН. При этом попутное выведение выигрывает у СЛРН конкуренцию, сводящуюся к ценовой, при развертывании группировок, не требующих большого количества орбитальных плоскостей и/или точного позиционирования космических аппаратов на орбите. Определены частота и стоимость пусков эксплуатируемых СЛРН, обеспечиваемая энергетика, а также реальная степень загрузки СЛРН и ее влияние на стоимость выведения. Область предпочтительного использования СЛРН у США и Китая существенно различается, что обусловлено соотношением удельной стоимости попутного выведения и выделенного пуска СЛРН с учетом средней загрузки, которое для США составляет около 14, а для Китая — не более 2,5. Это ограничивает использование СЛРН в США, в первую очередь, как системы двойного назначения, выводящей государственные и квазигосударственные полезные грузы на орбиты, не обслуживаемые попутным выведением. Более дешевые китайские СЛРН выводят весь спектр малоразмерных полезных нагрузок, в том числе большое количество экспериментальных космических аппаратов. Тем не менее и для них очень высока доля государственных космических аппаратов, предположительно двойного назначения. Количество пусков СЛРН в Китае увеличивается быстрее, чем в США. Темпы привлечения заказов в США, а также количество запускаемых экспериментальных КА в Китае свидетельствуют о потенциале дальнейшего роста частоты запусков СЛРН в обеих странах. Основными потребителями запуска на СЛРН в США являются радиолокационные группировки, в Китае — экспериментальные аппараты, а также группировки оперативного наблюдения, связи IoT и низкоорбитальной навигации.*

**Ключевые слова:** сверхлегкая ракета, статистика пусков, полезные нагрузки, орбитальные группировки, технико-экономическая оценка

**Введение.** Направление создания и эксплуатации сверхлегких ракет-носителей (СЛРН) в мире продолжает развиваться. Каталог отслеживаемых сайтом NewSpace Index проектов малых ракет-носителей расширился в 2023 г. до 203 [1]. Во многом это было вызвано появлением большого количества маркетинговых исследований, обещавших расширение рынка запусков малых ракет-носителей (РН).

Заявлялись такие цифры, как 3,2 млрд долл. в год [2] или даже 11,6 млрд долл. в год [3] к 2030 г. Например, одному только британскому рынку запусков малых аппаратов обещан рост до 480 млн долл. в год [4].

Это привело к значительному повышению интереса к созданию сверхлегких ракет. Большое количество компаний, ведущих такие проекты, было сформировано в 2014–2021 гг., но к настоящему времени бум разработок новых проектов практически завершился в связи с формированием высокого уровня конкуренции. В оценках перспектив [2–4] не учитывалось наличие развитой конкуренции со стороны попутного выведения, в том числе миссии Transporter от SpaceX. Перед попутным выведением на РН большей грузоподъемности СЛРН имеют ряд преимуществ: более высокая гибкость в отношении требований конкретных миссий, возможность достижения орбит, недоступных для более тяжелых ракет, а в некоторых случаях — более быстрое выведение на орбиту готовой полезной нагрузки. Это показывает, что определенные рыночные возможности у таких ракет будут всегда.

Следует отметить, что при этом стоимость сверхлегких ракет в расчете на килограмм полезной нагрузки существенно выше, чем у более тяжелых РН. Общий рост количества пусков увеличивает частоту полетов ракет-носителей, обеспечивающих попутное выведение, а для большинства наноаппаратов грузоподъемность СЛРН избыточно велика, что дополнительно повышает стоимость выведения выделенным пуском. Одновременно с выходом оптимистичных маркетинговых исследований имели место и сомнения в заявленной емкости формирующегося рынка [5–11]. Однако в то время анализ неизбежно носил лишь качественный характер ввиду отсутствия значимой статистики эксплуатации СЛРН. Накопленный за последние несколько лет опыт позволяет анализировать особенности полезных грузов, для которых более предпочтительно выведение сверхлегкими ракетами, и их место в общем спектре запускаемых нано- и микро-КА.

Цель данной работы — уточнение области предпочтительного использования СЛРН на основе актуальных данных о статистике их пусков и выведенных ими спутниках.

Для ее достижения должны быть решены следующие задачи:

– проанализированы потребные для развертывания существующих группировок нано- и микроаппаратов выводимая масса и энергетика орбит, а также количество пусков;

– уточнены параметры орбит, обеспечиваемых миссией Transporter как основным конкурентом сверхлегких ракет на западном рынке, и определены основные особенности группировок, выводимых попутными запусками, на примере радиолокационной группировки ICSEYE (Финляндия);

– определены частота пусков эксплуатируемых СЛРН, обеспечиваемая энергетика, стоимость пусков, а также реальная степень загрузки СЛРН и ее влияние на стоимость выведения;

– рассмотрены основные потребители пусков сверхлегкими ракетами на примере клиентов СЛРН Electron (США) и особенности группировок, разворачиваемых с ее помощью;

– определена парадигма использования СЛРН в основных странах-эксплуатантах и сделан прогноз ее дальнейшего развития.

**Методы и допущения.** Для того чтобы определить реальную востребованность сверхлегких ракет, следует провести анализ всей совокупности пусков, выполненных в мире с их помощью. При этом необходимо знать, на какую высоту и в какую плоскость (с каким наклоном орбиты и с какой долготой восходящего узла) производился запуск. Орбитальные данные публикуются не всегда и зачастую поодиночке для конкретных пусков, что резко увеличивает трудоемкость подобного исследования. Статистика запусков космических аппаратов (КА) в данном исследовании была проанализирована исходя из данных по аппаратам, находящимся в настоящее время на орбите. Сведения об условиях запуска и целевой орбите могут быть определены исходя из орбитальных элементов, доступных в результате отслеживания КА на орбите. NORAD предоставляет актуальные данные об орбитах, на которых находятся в текущий момент активные КА. При этом наклонение орбиты практически не меняется с момента запуска, а долгота восходящего узла (ДВУ) из-за прецессии изменяется сравнительно медленно на солнечно-синхронных орбитах (ССО), на которые выводится большая часть полезной нагрузки (ПН).

Среди известных РН учитывались только те, которые по состоянию на 1 июня 2024 г. находились в эксплуатации и имели хотя бы один пуск начиная с 2010 г. и грузоподъемность которых на опорной орбите для космодрома выведения не превышала одной тонны. Среди пусков КА рассматривались только группировки, для аппаратов которых известна масса или форм-фактор, и только те, при развертывании которых к 1 июня 2024 г. были совершены хотя бы два пуска. В [12] показано, что именно группировки обеспечивают большую часть пусков и выводимой массы малых КА. При этом рассматриваемые 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., взятые из базы данных NORAD, размещенной в открытом доступе на сайте CelesTrak в разделе Satellite Catalog (SATCAT) [13]. При этом наклонение орбиты и ДВУ 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

был взят с сайта NewSpace Index в разделе Constellations [14]. Масса КА, значение полезной нагрузки и стоимость пуска РН заимствованы с сайтов интеграторов Gunter's Space Page (Gunter D. Krebs) [15], Jonathan's Space Report (Jonathan McDowell) [16] и Space Launch Report (Ed Kyle) [17], 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, например в [1, 5, 6].

**Статистика выведения нано- и микро-КА.** Данные о выводимой массе, потребной для развертывания существующих группировок нано- и микроаппаратов, и энергетике орбит, а также количество совершенных пусков приведены в табл. 1.

Таблица 1

Статистика выведения нано- и микроспутников

Группировка	Число пусков	Масса КА, кг	Число КА в пуске	Максимальная масса в пуске, кг	Максимальная высота орбиты, км	Наклонение орбиты, град
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
Satelloptic	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
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	35,0–97,4
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	42,0–97,5
Kepler Comm.	10	10	1–8	80	488	97,3–97,5
Kleos Space	4	20	4	80	570	37,0–97,5
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	45,0–97,6
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	6,0–99,5

Группировка	Число пусков	Масса КА, кг	Число КА в пуске	Максимальная масса в пуске, кг	Максимальная высота орбиты, км	Наклонение орбиты, град
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	45,0–97,5
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	–	–

Результаты анализа приведенных в табл. 1 данных, во-первых, подтверждают вывод о том, что основную долю микро- и нано-КА выводят на ССО [12]. При этом даже внутри одной группировки могут значительно различаться наклонения рабочих орбит, что не препятствует ее функционированию. Баллистический анализ энергетики РН, потребной для обеспечения максимального выводимого на орбиту веса, для всех рассмотренных группировок показывает, что полностью загрузить СЛРН способно только малое количество из всех выведенных «пакетов» полезной нагрузки. Таким образом, большинство возможных контрактов потребует от СЛРН выбора между выделенным пуском недолуженной ракеты с высокой удельной стоимостью выведения и ожиданием заполнения с отказом от оперативности запуска.

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

**Особенности попутного выведения орбитальных группировок.** Перечисленные особенности большинства КА делают выгодным их выведение в качестве попутной нагрузки с помощью ракеты большой грузоподъемности. Наиболее очевидным конкурентом СЛРН на западном рынке является SpaceX, регулярно запускающая миссии

Transporter. В табл. 2 представлены пуски ракеты Falcon-9 на ССО 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

Согласно анализу данных табл. 2, интенсивность пусков Falcon-9 на ССО возрастает год от года: если в 2020 г. был всего один пуск, то к 2024 г. количество пусков дошло до четырех в год. 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°, причем остальные долготы остаются «неприкрытыми». Однако в течение трех 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), текущее распределение которой по орбитам, в том числе по высоте и долготе восходящего узла, представлено в табл. 3.

Орбиты КА заметно 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.

## Орбитальное построение группировки Iseye

Номер пуска	Ракета-носитель	Аппарат	Средняя высота орбиты, км	Наклонение орбиты, град	ДВУ, град
1	PSLV	X1	180,4 (перед сходом)	97,3	127,5
2	F9	X2	584,9	97,5	204,2
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

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 пока не позволяет ни собственный двигатель КА, ни межорбитальный буксир.

В соответствии с пусками Falcon-9, орбиты выведенных ею КА собраны в районе ДВУ около  $200^\circ$ . Большое количество разнесенных по ДВУ орбитальных плоскостей необходимы для группировок с высокой частотой обзора либо для КА, которым требуется точное позиционирование, например для группировок связи. Группировкам, выводимым на Falcon-9, подобный функционал не нужен, за исключением Starlink и OneWeb. Однако масса КА в этих группировках слишком велика для выведения СЛРН.

Сверхлегкая РН Electron была использована один раз — при запуске прототипа — и более ее не задействовали. Причем для запуска аппаратов-прототипов большинства других группировок, разворачиваемых с помощью Falcon-9, применялась эта же ракета. В принципе можно выводить большое количество КА для заполнения плоскости по одному, но такая опция не востребована, поскольку Electron проигрывает ценовую конкуренцию Falcon-9 при наличии у последней значимой попутной полезной нагрузки на целевую орбиту.

**Технико-экономические характеристики существующих СЛРН.** Опубликованные в открытой печати данные о пусковой статистике СЛРН, массе выводимой ими полезной нагрузке и стоимости пуска приведены в табл. 4. Основными эксплуатантами СЛРН в мире сейчас являются США и КНР. Созданная в Индии СЛРН SSLV совершила только два пуска, из которых один неудачный, поэтому она пока не может рассматриваться как серьезный игрок на рынке. Среди американских ракет СЛРН Electron фирмы Rocket Lab занимает практически монопольное положение. Изделия Northrop Grumman значительно дороже и совершили свой последний полет достаточно давно. Ракета Firefly выполнила только один удачный запуск из трех и также не может считаться значимой для рынка СЛРН.

Среди китайских СЛРН к малозначимым можно отнести Smart Dragon, совершившую только один пуск, и Hyperbola, у которой достаточно низкая эксплуатационная надежность. Остальные три ракеты применяются практически наравне, хотя однотипны по используемым технологиям и относятся к одному и тому же классу по грузоподъемности. И пока нельзя понять, является ли это осознанным резервированием или признаком ожесточенной конкуренции.



**Технико-экономические характеристики и статистика пусков  
эксплуатируемых СЛРН**

Разработчик	Находящиеся в эксплуатации РН	Число пусков после 2010 г., успешных/ всего	Цена пуска, млн долл.	Максимальная масса ПН, кг	Масса ПН, выводимая РН на ССО высотой 500 км, кг	Удельная стоимость пуска, тыс. долл./кг, на ССО 500 км / на НОО* 185–200 км
<b>США</b>						
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
<i>Итого</i>		50/56				
<b>КНР</b>						
CALT	CZ-11	17/17	5,3	700	380	8/14
ExPace	Kuaizhou-1A	24/26	5,8	430	255	14/23
China Rocket	SD-1	1/1	6,0	–	200	–/30
i-Space	Hyperbola-1	3/6	5,0	530	300	9/17
Galactic Energy	Ceres-1	12/13	4,0	420	300	10/13
<i>Итого</i>		57/63				
<b>Индия</b>						
ISRO	SSLV	1/2	4,2	500	300	8/14
* НОО — низкая опорная орбита.						

Между Китаем и США наблюдается практически паритет в количестве произведенных пусков за период с 2010 г. до настоящего времени. Однако при этом Electron вышла на приблизительно 9 орбитальных пусков в год, а суммарная интенсивность китайских пусков продолжает нарастать. Если в 2015–2017 гг. в КНР выполнялось по 1 пуску, то в 2018 г. их было произведено 4, в 2019–2021 гг. — 7–9, в 2022 г. — 11, а в 2023 г. — уже 17, т. е. впервые количество пусков китайских СЛРН стало больше, чем американских. 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 то что по грузоподъемности

они находятся в одном классе. Для нее также выше соотношение удельной стоимости пуска по сравнению с аналогичной величиной для Falcon-9 при попутном выведении. Для миссии Transporter заявленная удельная стоимость сейчас составляет 6500 долл./кг. Соответственно, Electron по этому показателю почти в 6 раз дороже.

Для китайских СЛРН это соотношение значительно ниже. Самая тяжелая 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, т. е. для КНР соотношение стоимости выведения полезной нагрузки 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.

**Пусковая кампания и основные заказчики пусков РН Electron.** Перечень пусков СЛРН Electron, данные по массе выведенной полезной нагрузки и целевой орбите приведены в табл. 5.

Типовые полезные нагрузки, выводимые с помощью РН Electron, свидетельствуют о следующих особенностях решаемых ею задач:

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

- доля технологических демонстраторов и КА нано-класса среди выводимых полезных нагрузок весьма мала. Попутное выведение использовалось в 15 пусках (32 %), причем основной нагрузкой таких пусков зачастую был 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 массой меньшей максимально выводимой, со значительным недогрузом СЛРН. Средняя загрузка составляет 44 %, т. е. при пуске на ССО высотой 500 км средняя удельная стоимость выведения достигает 85 тыс. долл./кг, что в 14 раз дороже, чем у SpaceX!

Основным заказчиком Electron является NASA — 10 пусков. Среди государственных заказчиков США различные структуры вооруженных сил заказали 5 пусков, NRO — столько же. 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.

**Перечень пусков и загрузка СЛРН Electron**

Дата	Масса ПН, кг/ загрузка, %	Высота, км/ наклонение, град, целевой орбиты	Дата	Масса ПН, кг/ загрузка, %	Высота, км/ наклонение, град, целевой орбиты
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
06.12.2019	77/38	385–400/97	16.03.2023	224/88	600/44
31.01.2020	–	590–610/70,9	24.03.2023	120/45	450/42
13.06.2020	–	570–590/97,75	08.05.2023	10/4	550/32
04.07.2020	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°

BlackSky — группировка радиолокационных микроспутников со средней массой 56 кг. Существует контракт с ВС США. Текущее состояние группировки BlackSky приведено в табл. 6. Группировка BlackSky развернута на наклонениях орбиты 40...50°, соответствующих обзору наиболее населенных зон земного шара. Эти орбиты являются нетипичными для большинства малоразмерных КА, требующих ССО. Однако аппараты GLOBAL-7, 8, 12, 13 были выведены с помощью попутного запуска с аппаратами Starlink на Falcon-9, так что даже на этих орбитах конкуренция SpaceX весьма значительна.

Текущее состояние группировки BlackSky

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

В состав группировки Synspecive (STRIX) входят радиолокационные 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

Аппарат	Минимальная/максимальная высота орбиты, км	Наклонение орбиты, град	ДВУ, град
STRIX-BETA	518/533	97,6552	221,0211
STRIX-1	533/541	97,5570	208,6281
STRIX-3	548/575	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 делает бессмысленными эти затраты в обоих случаях.

Группировка Capella Space также радиолокационная. Масса ее спутников составляет 40...165 кг в зависимости от года запуска. Компания-оператор имеет контракты с NRO и ВС США. Текущее состояние группировки Capella показано в табл. 8.

Текущее состояние группировки Capella

Аппараты	Минимальная/максимальная высота орбиты, км	Наклонение орбиты, град	ДВУ, град
CAPELLA-9	538/549	44,0	103,2148
CAPELLA-10	548/559	43,9971	109,1881
CAPELLA-11	633/636	53,0	138,4548
CAPELLA-14	597/598	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 сгоревших спутников уже вдвое превышает число рабочих. Для завершения работы группировки, очевидно, требуется дальнейшее повышение частоты пусков.

Наконец, SpireGlobal, UnseenLabs, SwarmTechnologies, PlanetLabs производили только выведение наноспутников попутной нагрузкой и не оказали существенного влияния на объем заказов RocketLab. Таким образом, основной объем пусков СЛРН Electron обеспечивается радарными группировками, имеющими большей частью контракты со структурами национальной безопасности США (15 пусков), либо непосредственно запусками в интересах государственных организаций США (19 пусков). В сумме это дает 72 % произведенных пусков. В настоящее время RocketLab продолжает оставаться убыточной, привлекая значительные суммы в виде займов. Заключены дополнительные контракты на создание и запуск военных спутников [18], что позволяет прогнозировать дальнейшее увеличение частоты пусков.

**Пусковая кампания и основные полезные нагрузки СЛРН КНР.** Доступная информация о пусках китайских СЛРН и массе их ПН обобщена в табл. 9.

Таблица 9

Перечень пусков и загрузка китайских СЛРН

Ракета-носитель	Дата пуска	Масса ПН, кг	Высота, км/ наклонение, град (целевой орбиты)	Загрузка, %
CZ-11	25.09.2015	315	476 (ССО)	83
CZ-11	09.11.2016	248	442 (ССО)	65
Kuaizhou 1A	09.01.2017	165	535 (ССО)	65
CZ-11	19.01.2018	320	535 (ССО)	84
CZ-11	26.04.2018	250	500 (ССО)	66
Kuaizhou 1A	29.09.2018	97	700 (ССО)	54

Ракета-носитель	Дата пуска	Масса ПН, кг	Высота, км/ наклонение, град (целевой орбиты)	Загрузка, %
CZ-11	21.12.2018	247	1070 (CCO)	96
CZ-11	21.01.2019	206	530 (CCO)	54
CZ-11	05.06.2019	–	540/45	–
Hyperbola-1	25.07.2019	–	300/42,7	–
Jielong 1	17.08.2019	83	543 (CCO)	42
Kuaizhou 1A	30.08.2019	–	(CCO)	–
CZ-11	19.09.2019	358	500 (CCO)	94
Kuaizhou 1A	13.11.2019	220	535 (CCO)	86
Kuaizhou 1A	17.11.2019	160	1050/88,91	97
Kuaizhou 1A	07.12.2019	220	535 (CCO)	86
Kuaizhou 1A	07.12.2019	146	500 (CCO)	57
Kuaizhou 1A	16.01.2020	227	min621/max638/86,4	89
Kuaizhou 1A	12.05.2020	186	550 (CCO)	73
CZ-11	29.05.2020	–	460/35	–
Kuaizhou 1A	12.09.2020	–	(CCO)	–
CZ-11	15.09.2020	378	750 (CCO)	99
Ceres-1	07.11.2020	8	600 (CCO)	3
CZ-11	09.12.2020	300	600/29,0	56
Hyperbola-1	01.02.2021	–	(CCO)	–
Hyperbola-1	03.08.2021	18	(CCO)	–
Kuaizhou 1A	27.09.2021	230	500 (CCO)	90
Kuaizhou 1A	27.10.2021	230	500 (CCO)	90
Kuaizhou 1A	24.11.2021	–	500 (CCO)	–
Ceres-1	07.12.2021	–	(CCO)	–
Kuaizhou 1A	15.12.2021	260	600/50,0	98
CZ-11	30.03.2022	–	590 (CCO)	–
CZ-11	30.04.2022	210	500 (CCO)	55
Hyperbola-1	13.05.2022	18	(CCO)	–
Kuaizhou 1A	22.06.2022	–	280 (CCO)	–
Ceres-1	09.08.2022	–	(CCO)	–
Kuaizhou 1A	23.08.2022	–	560/29	–
Kuaizhou 1A	06.09.2022	194	700 (CCO)	97
Kuaizhou 1A	24.09.2022	–	(CCO)	–
CZ-11	07.10.2022	194	700 (CCO)	97
Ceres-1	16.11.2022	210	500 (CCO)	70
CZ-11	16.12.2022	–	480/36	–
Ceres-1	09.01.2023	–	(CCO)	–
CZ-11	15.03.2023	–	(CCO)	–

Ракета-носитель	Дата пуска	Масса ПН, кг	Высота, км/ наклонение, град (целевой орбиты)	Загрузка, %
Kuaizhou 1A	22.03.2023	–	(ССО)	–
Hyperbola-1	07.04.2023	0	(ССО)	–
Kuaizhou 1A	09.06.2023	120	500 (ССО)	47
Kuaizhou 1A	20.07.2023	–	(ССО)	–
Ceres-1	22.07.2023	225	500 (ССО)	75
Ceres-1	10.08.2023	–	(ССО)	–
Kuaizhou 1A	14.08.2023	225	700/45	83
Ceres-1	25.08.2023	230	520 (ССО)	77
Ceres-1	05.09.2023	200	810/50,0	89
Ceres-1	21.09.2023	210	500 (ССО)	70
Ceres-1	05.12.2023	–	(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	05.01.2024	–	(ССО)	–
Kuaizhou 1A	11.01.2024	–	(ССО)	–
Ceres-1	29.05.2024	200	840/50,0	98
Ceres-1	30.05.2024	–	(ССО)	–

Следует отметить, что масса КА КНР зачастую открыто не объявляется, а 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 приближенно, с округлением до сотни километров.

Рассматривая типовую полезную нагрузку китайских СЛРН, можно выделить следующие особенности решаемых ею задач:

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

- доля пусков СЛРН с существенным недогрузом невелика. Средняя загрузка составляет 75 %, что также значительно превосходит показатель Electron, в связи с этим 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 нем только однотипных

аппаратов, то их доля составит 78 % — это также больше, чем у Electron. Тогда высокая средняя загрузка обусловлена, скорее всего, тщательным согласованием массы производимых КА с возможностями национальных СЛРН;

- большая доля технологических демонстраторов и КА нанокласса среди выводимых ПН, составляющих почти половину пусков;
- практическое отсутствие группировок, выводимых только одним классом РН; в группировке КА распределяются между РН различной грузоподъемности.

Основной полезной нагрузкой китайских СЛРН являются следующие аппараты:

- 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 дальнейшее возрастание разворачиваемых группировок, т. е. количества пусков.

**Заключение.** Анализ статистики выведения зарубежных нано- и микро-КА показывает, что полную загрузку СЛРН способно обеспечить только очень небольшое количество из всех выведенных 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 основных пользователей данного типа РН — США и Китая. Эти различия обусловлены прежде всего 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 объясняется низкой стоимостью пуска твердотопливных СЛРН и оптимизацией загрузки ракет в пусках.



Это приводит к ограничению использования в США СЛРН как системы двойного назначения, выводившей государственные и квазигосударственные ПН на орбиты, не обслуживаемые попутным выведением. В этой парадигме СЛРН убыточна, и поэтому требуется привлекать госзаказ и заемное финансирование, а коммерческие ПН запускать попутным выведением. Относительно более дешевые китайские СЛРН выводят весь спектр малоразмерных ПН, в том числе большое количество экспериментальных КА. Однако и для них доля государственных КА, предположительно двойного назначения, очень высока.

В настоящее время количество пусков СЛРН в Китае возрастает более высокими темпами, чем в США. Темпы привлечения государственных и квазигосударственных заказов в США, а также количество запускаемых перед развертыванием полномасштабных группировок экспериментальных КА в Китае свидетельствуют о потенциале дальнейшего роста частоты запусков на СЛРН в обеих странах. Основными потребителями запуска на СЛРН в США являются радиолокационные группировки, в Китае — экспериментальные аппараты, а также группировки оперативного наблюдения, связи IoT и низкоорбитальной навигации.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Kulu E. *Small Launchers — 2023 Industry Survey and Market Analysis*. URL: [https://www.newspace.im/assets/Small-Launchers-2023\\_Erik-Kulu\\_IAC2023.pdf](https://www.newspace.im/assets/Small-Launchers-2023_Erik-Kulu_IAC2023.pdf) (дата обращения: 01.06.2024).
- [2] Sheetz M. *Deutsche Bank estimates the global launch market will grow from \$8 billion today to \$38 billion by 2030*. URL: <https://x.com/thesheetztweetz/status/1422218084245409796> (дата обращения: 01.06.2024).
- [3] Cabirol M. *Coup de tonnerre, Airbus Space confie `a Isar Aerospace plusieurs lancements de satellites*. URL: <https://www.latribune.fr/entreprises-finance/industrie/aeronautique-defense/coup-de-tonnerre-airbus-space-confie-a-isar-aerospace-plusieurs-lancements-de-satellites-882901.html> (дата обращения: 01.06.2024).
- [4] Space Launch Market Analysis. *Technical report, SpaceTec Partners, 2021*. URL: <https://www.hie.co.uk/media/10475/space-launch-market-analysis-2021.pdf> (дата обращения: 01.06.2024).
- [5] Kulu E. *Small Launchers — 2021 Industry Survey and Market Analysis*. URL: [https://www.newspace.im/assets/Small-Launchers-2021\\_Erik-Kulu\\_IAC2021.pdf](https://www.newspace.im/assets/Small-Launchers-2021_Erik-Kulu_IAC2021.pdf) (дата обращения: 01.06.2024).
- [6] Kulu E. *Satellite Constellations—2021 Industry Survey and Trends*. In: *35th Annual Small Satellite Conference, August 2021*. URL: <https://digitalcommons.usu.edu/smallsat/2021/all2021/218/> (дата обращения: 01.06.2024).
- [7] Najjar A. *An Analysis of Prospects for the Small Satellite Market. Technical report. Euroconsult, July 2020*. URL: <https://smallsatnews.com/2020/07/24/an-analysis-of-prospects-for-the-small-satellite-market/> (дата обращения: 01.06.2024).
- [8] Najjar A. *Euroconsult's View: An assessment and forecast for the smallsat market. Technical report, Euroconsult, February 2020*. URL: <http://www.satmagazine.com/story.php?number=1435526317> (дата обращения: 01.06.2024).

- [9] *Britain's launch into the space race looks shaky*. URL: <https://www-economist-com.translate.googleusercontent.com/translate/g/gt/translate?hl=ru&sl=en&u=https://www.economist.com/britain/2021/01/30/britains-launch-into-the-space-race-looks-shaky> (дата обращения: 01.06.2024).
- [10] Foust J. *Launch providers argue against a "magic number" for price to orbit*. 2021. URL: <https://spacenews.com/launch-providers-see-no-magic-number-for-price-to-orbit/> (дата обращения: 01.06.2024).
- [11] Foust J. *Smallsat launch: Big versus small*. January 2021. URL: <https://www.thespacereview.com/article/4113/1> (дата обращения: 01.06.2024).
- [12] Pelton J. *Commercial Space Transport, On-Orbit Servicing and Manufacturing*. DOI: 10.1007/978-3-319-39273-8\_4
- [13] *Satellite Catalog (SATCAT) Search Form* URL: <https://celestrak.org/satcat/search.php> (дата обращения: 01.06.2024).
- [14] *NewSpace Index*. URL: <https://www.newspace.im/> (дата обращения: 01.06.2024).
- [15] Krebs G.D. *Gunter's Space Page*. URL: <https://space.skyrocket.de/> (дата обращения: 01.06.2024).
- [16] McDowell J. *Jonathan's Space Report*. URL: <http://www.planet4589.org/> (дата обращения: 01.06.2024).
- [17] Kyle E. *Space Launch Report*. URL: <http://www.spacelaunchreport.com/index.html> (дата обращения: 01.06.2024).
- [18] *Rocket Lab News Details*. URL: <https://investors.rocketlabusa.com/news/news-details/2024/Rocket-Lab-Announces-Fourth-Quarter-and-Full-Year-2023-Financial-Results-Issues-Guidance-for-the-First-Quarter-2024-Including-Sequential-Revenue-Growth-Greater-than-50-Percent/default.aspx> (дата обращения: 01.06.2024).

Статья поступила в редакцию 01.07.2024

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

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

**Бечаснов Павел Михайлович** — канд. техн. наук, доцент кафедры «Космические аппараты и ракеты-носители», МГТУ им. Н.Э. Баумана, e-mail: [bechasnov@bmstu.ru](mailto:bechasnov@bmstu.ru)

## **Analysis of specifics in using the ultra-light launch vehicles based on the launch statistics**

© P.M. Bechasnov

Bauman Moscow State Technical University, 105005, Russian Federation

*The paper considers specifics in a launch program of the modern foreign ultra-light launch vehicles (ULLV). Taking into account the pros and cons of a further increase in the number of their launches, it analyzes the energy required in deploying the existing satellite constellations and the number of launches. Orbital parameters and main features of the constellations launched by the accompanying launches within the Transporter mission by the SpaceX being the main competitor of ULLV are clarified. Statistical analysis of the foreign nano- and microsatellites launches shows that only a very small proportion of the satellite constellations currently being deployed could be provided by the complete ULLV engagement. Most of them are the nano-satellites, Starlink and One-Web satellites, which are not designed for an ULLV launch. At the same time, the accompanying launch wins a competition with the ULLV reducing the cost in deploying constellations that do not require a large number of orbital planes and/or the spacecraft precise positioning in an orbit. The paper determines periodicity and cost of launching the operated ULLVs and the energy required, as well as the actual degree of the ULLV loading and its impact on the cost of launching. The ULLV preferred use in the USA and China are differing significantly. It is due to the specific cost ration between the ULLV accompanying launch and a dedicated launch, taking into account the average load. It is about 14 for the USA and no more than 2.5 for China. This limits the ULLV launches in the USA, as a dual-purpose system primarily, in taking into orbit both the government and quasi-government payloads that could not be realized by the accompanying launches. The Chinese ULLVs are cheaper and put into orbit the entire spectrum of the small-sized payloads including a large number of the experimental spacecraft. Nevertheless, the share of government spacecraft, presumably dual-use, is also very high for them. The number of ULLV launches in China is increasing faster than in the USA. The number of orders in the USA, as well as the number of experimental spacecraft launched in China, indicate potential for further growth in the ULLV launches periodicity in both the countries. Main consumers of the ULLV launches in the USA are the radar constellations, in China — the experimental spacecraft, as well as constellations of the operational surveillance, IoT communications and low-orbit navigation.*

**Keywords:** *ultra-light rocket, launch statistics, payloads, orbital constellations, feasibility assessment*

### REFERENCES

- [1] Kulu E. *Small Launchers — 2023 Industry Survey and Market Analysis*. Available at: [https://www.newspace.im/assets/Small-Launchers-2023\\_Erik-Kulu\\_IAC2023.pdf](https://www.newspace.im/assets/Small-Launchers-2023_Erik-Kulu_IAC2023.pdf) (accessed June 1, 2024).
- [2] Sheetz M. *Deutsche Bank estimates the global launch market will grow from \$8 billion today to \$38 billion by 2030*. Available at: <https://x.com/thesheetztweetz/status/1422218084245409796> (accessed June 1, 2024).
- [3] Cabirol M. *Coup de tonnerre, Airbus Space confie `a Isar Aerospace plusieurs lancements de satellites*. Available at: <https://www.latribune.fr/entreprises-finance/industrie/aeronautique-defense/coup-de-tonnerre-airbus-space-confie-a-isar-aerospace-plusieurs-lancements-de-satellites-882901.html> (accessed June 1, 2024).

- [4] Space Launch Market Analysis. *Technical report, SpaceTec Partners, 2021*. Available at: <https://www.hie.co.uk/media/10475/space-launch-market-analysis-2021.pdf> (accessed June 1, 2024).
- [5] Kulu E. *Small Launchers — 2021 Industry Survey and Market Analysis*. Available at: [https://www.newspace.im/assets/Small-Launchers-2021\\_Erik-Kulu\\_IAC2021.pdf](https://www.newspace.im/assets/Small-Launchers-2021_Erik-Kulu_IAC2021.pdf) (accessed June 1, 2024).
- [6] Kulu E. Satellite Constellations — 2021 Industry Survey and Trends. In: *35th Annual Small Satellite Conference, August 2021*. Available at: <https://digitalcommons.usu.edu/smallsat/2021/all2021/218/> (accessed June 1, 2024).
- [7] Najjar A. An Analysis of Prospects for the Small Satellite Market. *Technical report, Euroconsult, July 2020*. Available at: <https://smallsatnews.com/2020/07/24/an-analysis-of-prospects-for-the-small-satellite-market/> (accessed June 1, 2024).
- [8] Najjar A. Euroconsult’s View: An assessment and forecast for the smallsat market. *Technical report, Euroconsult, February 2020*. Available at: <http://www.satmagazine.com/story.php?number=1435526317> (accessed June 1, 2024).
- [9] *Britain’s launch into the space race looks shaky*. Available at: <https://www-economist-com.translate.goog/britain/2021/01/30/britains-launch-into-the-space-race-looks-shaky> (accessed June 1, 2024).
- [10] Foust J. *Launch providers argue against a “magic number” for price to orbit*. 2021. Available at: <https://spacenews.com/launch-providers-see-no-magic-number-for-price-to-orbit/> (accessed June 1, 2024).
- [11] Foust J. *Smallsat launch: Big versus small*. January 2021. Available at: <https://www.thespacereview.com/article/4113/1> (accessed June 1, 2024).
- [12] Pelton J. *Commercial Space Transport, On-Orbit Servicing and Manufacturing*. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-39273-8\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-319-39273-8_4)
- [13] *Satellite Catalog (SATCAT) Search Form*. Available at: <https://celestrak.org/satcat/search.php> (accessed June 1, 2024).
- [14] *NewSpace Index*. Available at: <https://www.newspace.im/> (accessed June 1, 2024).
- [15] Krebs G.D. *Gunter’s Space Page*. Available at: <https://space.skyrocket.de/> (accessed June 1, 2024).
- [16] McDowell J. *Jonathan’s Space Report*. Available at: <http://www.planet4589.org/> (accessed June 1, 2024).
- [17] Kyle E. *Space Launch Report*. Available at: <http://www.spacelaunchreport.com/index.html> (accessed June 1, 2024).
- [18] *Rocket Lab News Details*. Available at: <https://investors.rocketlabusa.com/news/news-details/2024/Rocket-Lab-Announces-Fourth-Quarter-and-Full-Year-2023-Financial-Results-Issues-Guidance-for-the-First-Quarter-2024-Including-Sequential-Revenue-Growth-Greater-than-50-Percent/default.aspx> (accessed June 1, 2024).

**Bechasnov P.M.**, Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor, Department of Spacecraft and Launch Vehicles, Bauman Moscow State Technical University.  
e-mail: [bechasnov@bmstu.ru](mailto:bechasnov@bmstu.ru)