

# MICRO LAUNCH VEHICLES: THE SEGMENT IN THE LAUNCH SERVICES MARKET AND PROMISING PROJECTS

**Valery Y. KLYUSHNIKOV,**  
Dr. Sci. (Tech), Senior Fellow, Chief Researcher,  
FSUE "Central Research Institute of Machine  
Building", ROSCOSMOS, Moscow, Russia,  
[wkljs9@yandex.ru](mailto:wkljs9@yandex.ru)

**ABSTRACT** | The author analyses the perspectives of the commercial use of micro launch vehicles in the emerging small satellites launch market. The most promising projects of micro launch vehicles as well as technologies for improving their technical and economic indicators are considered.

**Keywords:** *micro launch vehicle, launch cost, cost of 1 kg of payload launch to orbit, payload mass*



# РАКЕТЫ-НОСИТЕЛИ СВЕРХЛЕГКОГО КЛАССА:

## НИША НА РЫНКЕ ПУСКОВЫХ УСЛУГ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ПРОЕКТЫ



**Валерий Юрьевич КЛЮШНИКОВ,**  
доктор технических наук, старший научный  
сотрудник, главный научный сотрудник ФГУП  
«Центральный научно-исследовательский институт  
машиностроения», Роскосмос, Москва, Россия,  
[wklj59@yandex.ru](mailto:wklj59@yandex.ru)

**АННОТАЦИЯ** | В статье анализируются перспективы коммерческого использования ракет-носителей сверхлегкого класса на формирующемся рынке запусков малоразмерных космических аппаратов. Рассматриваются наиболее перспективные проекты сверхлегких носителей и технологии, позволяющие улучшить их технико-экономические показатели.

**Ключевые слова:** *ракета-носитель сверхлегкого класса, стоимость пуска, стоимость выведения на орбиту 1 кг полезного груза, масса полезного груза*

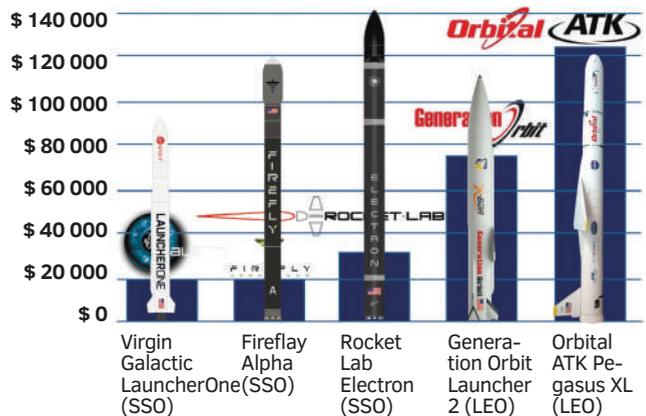
## ВВЕДЕНИЕ

Существующие классификации ракет-носителей (РН) по энергетическим возможностям достаточно условны, и вплоть до последнего времени такой класс, как сверхлегкая РН, или микроРН, в нормативных документах и в специальной литературе отсутствовал. Сейчас к сверхлегким (микроРН) одни авторы относят ракеты, способные вывести на низкую околоземную орбиту (НОО) полезную нагрузку массой до 500 кг [1], другие — до 300 кг и даже до 100 кг [2].

В соответствии с приведенной выше классификацией формально сверхлегкие РН были созданы еще в начале космической эры (табл. 1).

Однако малая масса сверхлегких РН на заре космонавтики была обусловлена техническими и технологическими ограничениями и примитивностью запускаемых космических аппаратов (КА). В дальнейшем развитие производства малоразмерных спутников (малых космических аппаратов) длительное время не сопровождалось снижением грузоподъемности и размеров РН. Сейчас же снижение массы и габаритов КА и РН — целенаправленная техническая политика, ориентированная, в конечном счете, на снижение стоимости и повышение доступности космических услуг для массового потребителя.

Рис. 1. Удельные экономические показатели сверхлегких РН [5]



В настоящее время принятых в эксплуатацию носителей сверхлегкого класса не существует. Наиболее близким к ним по требуемым характеристикам является воздушно-космический комплекс легкого класса на базе крылатой ракеты Pegasus XL (табл. 2). Но он очень дорог (удельная стоимость выведения 1 кг полезного груза на низкую околоземную орбиту достигает 90 тыс. долл.) и переразмерен для выведения микро- и наноспутников (масса полезного груза — 443 кг).



Vanguard

Lambda-4S

ТАБЛИЦА 1.

Основные характеристики первых РН сверхлегкого класса [3, 4]

РН Характеристики	Vanguard	«Лямбда-4S»
Разработчик	Glenn L. Martin Company (США)	Nissan (Япония)
Количество ступеней	3: 1 ст.: керосин + жидкий O <sub>2</sub> , 2 ст.: азотная кислота + несимметричный диметилгидразин (НДМГ); 3 ст.: смесевое твердое ракетное топливо (СТРТ)	5: все – СТРТ
Стартовая масса	10 050 кг	9400 кг
Длина	23 м	16,5 м
Диаметр	1,14 м	0,74 м
Год первого пуска	1957	1966
Количество пусков	11 (3 успешных)	5 (1 успешный)
Космодром (место) запуска	Канаверал (LC-18)	Утиноура
Масса полезного груза, выводимого на НОО	22,5 кг	26 кг

Примечание: До запуска японской сверхлегкой ракеты-носителя SS-520-5, созданной на базе метеорологической ракеты, РН «Лямбда-4S» была самой легкой в истории из всех космических РН, достигших орбиты.

**ТАБЛИЦА 2.**  
Основные характеристики РН Pegasus-XL [3, 13]



Разработчик	<b>Orbital Sciences Corporation</b>
Количество ступеней	3 (все – СТРТ, в варианте Pegasus HAPS дополнена блоком маневрирования, работающим на гидразине)
Стартовая масса	23 130 кг
Длина	17,6 м
Диаметр	1,27 м
Год первого пуска	1990
Количество пусков	46 (3 неудачных, 2 частично неудачных)
Способ запуска	с самолетов-носителей B-52 (принадлежит NASA) или L-1011 «Трайстар» (принадлежит корпорации Orbital)
Масса полезного груза, выводимого на НОО	443 кг
Стоимость запуска (на 2016 год)	40 млн долл.
Стоимость выведения на НОО 1 кг полезного груза	до 90 тыс. долл.

Существуют общие закономерности изменения технико-экономических показателей РН по мере уменьшения начальной стартовой массы и массы полезного груза, выводимого на орбиту: стоимость пуска уменьшается, а удельная цена выведения на орбиту 1 кг полезного груза увеличивается (рис. 1). Последняя закономерность связана с ухудшением энергомассового совершенства легких РН. Естественно, такое ухудшение разработчики

современных сверхлегких РН стремятся компенсировать использованием современных технологий.

Цель данной статьи заключается в выявлении и анализе перспективных технологий — проектно-конструкторских решений, определяющих облик перспективных сверхлегких РН, которые позволили бы максимально улучшить прежде всего удельные экономические показатели РН сверхлегкого класса.

**РИС. 2.** Статистика запусков и прогноз рынка нано / микроспутников (1-50 кг) по состоянию на 2018 год [7]



**РИС. 3.** Прогноз количества спутников в многоспутниковых группировках [8]



## I. МЕСТО СВЕРХЛЕГКИХ РАКЕТ-НОСИТЕЛЕЙ НА РЫНКЕ ПУСКОВЫХ УСЛУГ

Согласно [6], стоимость полета в космос за последние полвека существенно не изменилась, что привело к некоторому замедлению темпов развития рынка космических услуг и в целом не оправдало ожиданий от результатов исследования и освоения космоса, характерных для начала космической эры.

Дальнейшее развитие космической техники связано с радикальным снижением стоимости космических услуг, повышением их доступности и расширением номенклатуры. Эта цель может быть достигнута с помощью микроминиатюризации элементной базы, бортовой аппаратуры и изделий ракетно-космической техники в целом, развертывания многоспутниковых группировок малоразмерных космических аппаратов (МКА) инфокоммуникационного назначения. Количество МКА уже в ближайшие 5-10 лет до-

ТАБЛИЦА 3. Основные характеристики некоторых перспективных сверхмалых ракет-носителей [11, 12, 13]

Название РН	Оператор, страна	Число ступеней	Топливо
SS-520-4 /SS-520-5	JAXA / Canon, Япония	3	СТРТ <sup>1</sup>
Super Strypi	ORS Office, США	3	СТРТ
Alpha 1.0	Firefly Space Systems, США / Украина	2	ж. O <sub>2</sub> <sup>2</sup> + керосин
Electron	Rocket Lab, США	2	ж. O <sub>2</sub> + керосин
Arion 2	PLD Space, Испания	3	ж. O <sub>2</sub> + керосин
Vector-R (Vector Rapid)	Vector Space, США	2/3	1, 2 ст. <sup>3</sup> - ж. O <sub>2</sub> + пропилен, 3 ст. - ЭРД
Vector-H (Vector Heavy)	Vector Space, США	2/3	1, 2 ст. - ж. O <sub>2</sub> + пропилен, 3 ст. - СТРТ
Haas 2C	ARCA Space Corporation, США	2	ж. O <sub>2</sub> + керосин
Haas 2CA	ARCA Space Corporation, США	1	70% H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> + керосин
Neptune N1 (минимальная конфигурация)	Interorbital Systems Corporation (IOS), США	3	Скипидар + азотная кислота
ALASA (Airborne Launch Assist Space Access)	Phantom Works Advanced Space Exploration, США	2+ Самолет	Монотопливо NA-7 (закись азота + ацетилен)
RASCAL (Responsive Access Small Cargo Affordable Launch)	Space Launch, США	2+ Самолет	1 ст. - ЖРД; 2 ст. - гибридный РД
Cab-3A	CubeCab, США	2+ Самолет	
LauncherOne	Virgin Orbit, США	2+ Самолет	ж. O <sub>2</sub> + керосин
Bloostar	Zero2Infinity, Испания	3+ Стратостат	ж. O <sub>2</sub> + метан
Phantom Express (XS-P, XS-1)	The Boeing Company, США	2	ж. O <sub>2</sub> + ж. H <sub>2</sub>
Black Arrow 2	Horizon Space Technologies, Британия	2	ж. O <sub>2</sub> + СПГ <sup>4</sup>
Intrepid 1	Rocket Crafters, Inc., США	2	Гибридный ракетный двигатель (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> + твердое горючее)
OS-M1 (Chongqing Liangjiang Star)	OneSpace, Китай	4	СТРТ
New Line 1	Link Space Aerospace Technology Group, Китай	2	ж. O <sub>2</sub> + керосин
Hyperbola-1	iSpace, Китай	3	1, 2 ст. - СТРТ; 3 ст. - ЖРД
Zhuque-1 (ZQ-1)	Landspace, Китай	3	СТРТ
SMILE (Small Innovative Launcher for Europe)	Консорциум SMILE из 14 европейских компаний и институтов	3	1 ст. - ж. O <sub>2</sub> + керосин; 2, 3 ст. - H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> + твердое горючее

<sup>1</sup> СТРТ – смешанное твердое ракетное топливо; <sup>2</sup> Жидкий кислород (ж. O<sub>2</sub>); <sup>3</sup> ступень (ст.);

<sup>4</sup> СПГ – сжиженный природный газ; <sup>5</sup> ССО – солнечно-синхронная орбита;

<sup>6</sup> НОО – низкая околоземная орбита

стигнет нескольких сотен и, возможно, тысяч. Наиболее высоких темпов роста ожидают от запусков космических аппаратов массой до 50 кг, относящихся по принятой классификации к нано- и микроКА (рис. 2).

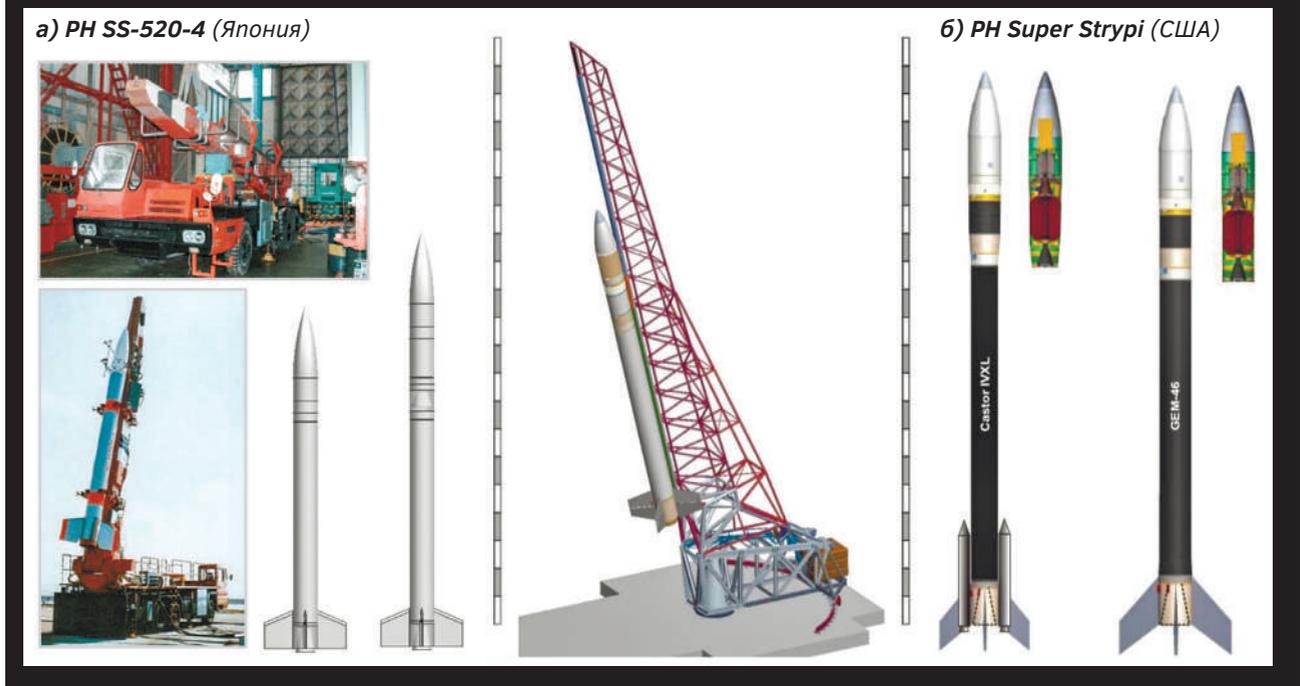
Необходимо также принимать во внимание планы развертывания многоспутниковых группировок, прежде всего низкоорбитальных космических систем широкополосной связи, которые в ближайшие 10 лет могут насчитывать более 16 000 малых космических аппаратов класса мини, массой до 300-400 кг (рис. 3). При-

чем требуемые диапазоны высот и наклонов орбит — существенно шире используемых в настоящее время для запусков тяжелых КА.

Если для развертывания многоспутниковых орбитальных группировок могут быть использованы существующие ракеты-носители легкого и среднего классов, то для наращивания и поддержания будут необходимы сверхлегкие РН, рассчитанные на выведение на низкую околоземную орбиту полезной нагрузки массой от единиц килограммов до 200-300 килограммов. К таким носителям будут предъявляться

Стартовая масса, т	Масса полезного груза, кг	Стоимость пуска, млн долл.	Стоимость выведения на орбиту 1 кг, тыс. долл.	Год первого запуска	ПРИМЕЧАНИЕ
2,6	4	3,6	900,0	2017 2018	Проект заморожен
28,3	250 (ССО) <sup>5</sup>	12,0	48,0	2015	Проект закрыт
54,0	1000 (НОО) <sup>6</sup>	10,0-15,0	< 20,0	2019	3D-печать
10,5	250 (НОО)	4,9	49,0	2017	3D-печать
7,0	150 (НОО)	4,8-5,5	32,0-36,6	2020	Повторное использование ракетных блоков до 10 раз
5,0	60 (НОО)	2,0-3,0	33,3-50,0	2019	3D-печать форсунок ЖРД. В 2017 г. – суборбитальные испытательные пуски
11,9	290 (НОО)	3,5-4,5	33,3-50,0	2019	3D-печать форсунок ЖРД
16,0	400	1,0	2,5	2019	Суборбитальная ракета – прототип 1-й ступени Haas 2CA
16,0	100	1,0	10,0	2019	Линейный клиновоздушный ЖРД
2,449	6,4	0,25	39,0	2019	Модульный носитель
?	45 (НОО)	1	22,2	2020	1 ступень – самолет-истребитель F-15E. Проект закрыт
7,3	75 (НОО)	0,75	10,0	–	1 ступень – специальный авиационный носитель. Пуск на высоте 58 000-60 000 м. Проект закрыт
13,0	5,0 (НОО)	0,25	50,0	2020	Печать на 3D-принтере. Пуск с F-104 3D-печать, COTS- технологии
25,0	500,0 (НОО)	12,0	24,0		1 ступень – Boeing 747-400
4,93	75,0	4,0	53,3	2019	Пуск с H=30-100 км со стратостата
108,86	1360,0-2270,0 (НОО)	5,0	3,7-2,2	2020	Вертикальный старт, горизонтальная посадка, одноразовая 2-я ступень
–	500,0 (НОО)	6,12	12,2	2020	3D-печать и композитные конструкции
24,0	376,0 (НОО)	5,4	14,4	2020	Гибридный ракетный двигатель D-DART (патент RCI) с возможностью повторного запуска. 3D-печать твердотопливных зарядов
20,0	205,0 (НОО)	> 2,0	< 10,0	2019	В 2018 г. – 2 суборбитальных испытательных пуска. В 2019 г. – неудачный запуск КА Lingque-1B.
33,0	200,0 (ССО)	2,5 - 4,5	12,5 - 22,5	2021	Спасаемая 1-я ступень с ракетно-динамической посадкой
31,0	300,0 (НОО)	–	–	2019	В апреле 2018 г. – суборбитальный отработочный пуск 2-й ступени
27,0	300,0 (НОО)	–	–	2018	Неудачный запуск КА телевидения
20,8	70,0 (НОО)	< 3,5	< 50,0	–	Шестигранный керамический ЖРД типа Aerospike на 1-й ст. На 2 и 3 ст. – гибридный РД

РИС. 4. Сверхлегкие ракеты-носители, созданные на базе существующих геофизических ракет



требования минимальной стоимости и высокой оперативности пуска, простоты подготовки к пуску и надежности, широкого диапазона высот и наклонений целевых орбит.

Так уже сейчас для восполнения состава системы глобальной широкополосной связи OneWeb планируется использовать сверхлегкую РН Launcher One (Virgin Galactic, США), а компания Planet (США) планирует осуществить замену отказавших спутников типа Flock (кубсат формфактора 3U) системы дистанционного зондирования Земли при помощи сверхлегкой РН Electron (Rocket Labs, США) [9] и т. д.

Таким образом, место сверхлегких РН на рынке пусковых услуг определяется:

1. Возможностью более частых запусков, не привязанных к пускам тяжелых РН.

**Несмотря на то, что в настоящее время реализуется множество программ создания сверхлегких ракет-носителей, получающих как государственное, так и частное финансирование, отсутствует устойчивая бизнес-модель для рынка сверхлегких РН**

2. Широким спектром требований к высотам и наклонениям целевых орбит малоразмерных космических аппаратов, которые невозможно удовлетворить при попутном выведении.

3. Перспективами использования сверхлегких РН для решения задачи восполнения много-спутниковых группировок.

Однако, несмотря на то, что в настоящее время реализуется множество программ создания сверхлегких РН, получающих как государственное, так и частное финансирование, отсутствует устойчивая бизнес-модель для рынка сверхлегких РН, и это может помешать его развитию. Среди потенциальных препятствий на пути успеха рынка запусков малых КА при помощи сверхлегких РН называют технологические проблемы, чрезмерно оптимистичные прогнозы спроса и возможность альтернативных решений, таких как доставка нескольких небольших спутников на более тяжелых ракетах-носителях с использованием специализированных пусковых устройств (диспенсеров) [10]. Существует и обратное влияние практических успехов в развитии сверхлегких РН на динамику рынка малых КА: не исключено, что существенное улучшение удельных экономических показателей сверхлегких РН (снижение стоимости выведения на орбиту 1 кг полезного груза) стимулирует развитие рынка малых КА и орбитальных группировок на их основе.

## 2. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ПРОЕКТЫ СВЕРХЛЕГКИХ НОСИТЕЛЕЙ: ПОИСК ОПТИМАЛЬНОГО ОБЛИКА

Несмотря на ряд описанных выше сложностей, в настоящее время в мире создается несколько десятков сверхлегких РН, рассчитанных на выведение на низкую околоземную орбиту грузов до 300 кг (табл. 3). Летные испытания многих из них намечены на 2019–2020 годы.

Перспективные проекты сверхлегких РН отличаются разнообразием реализуемых технологических решений, включая способ запуска, тип двигательной установки и топлива, технологии изготовления основных элементов и др.

В отличие от России, в западных странах (а в последнее время и в Китае) многие технологические решения при создании сверхлегких РН могут быть достаточно быстро и эффективно проверены экспериментально. Это достигается системой стартапов — сравнительно небольшим финансированием частных фирм — по их собственной инициативе или в результате победы в конкурсе, объявленном, например, агентством DARPA или NASA (США). Конечно, в этих случаях могут иметь место различные коллизии, но цель, на наш взгляд, достигается: предлагаются и проверяются на практике самые нетрадиционные технологические решения.

### 2.1. МОДИФИКАЦИИ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ РАКЕТ

На первый взгляд, очевидным решением задачи создания сверхлегких РН является модернизация геофизических ракет с целью повышения их энергетических возможностей, с тем чтобы использовать в качестве носителей. Речь идет о японской высотной двухступенчатой твердотопливной исследовательской ракете SS-520 и американской геофизической трехступенчатой твердотопливной ракете Strypi, специально разработанной для ядерных испытаний (рис. 4). Их модификации соответственно получили названия SS-520-4 (к SS-520 была прибавлена третья ступень) [14] и Super Strypi (были изготовлены новые твердотопливные двигатели) [15].

Успехом увенчался только второй пуск японского носителя (SS-520-5) 3 февраля 2018 года (первый пуск 15 января 2017 года был аварийным). Единственный же пуск ракеты Super Strypi в 2015 году закончился аварией. В настоящее время проект закрыт.

В России НПО «Тайфун» Росгидромета сделало попытку обосновать предложения по исполь-



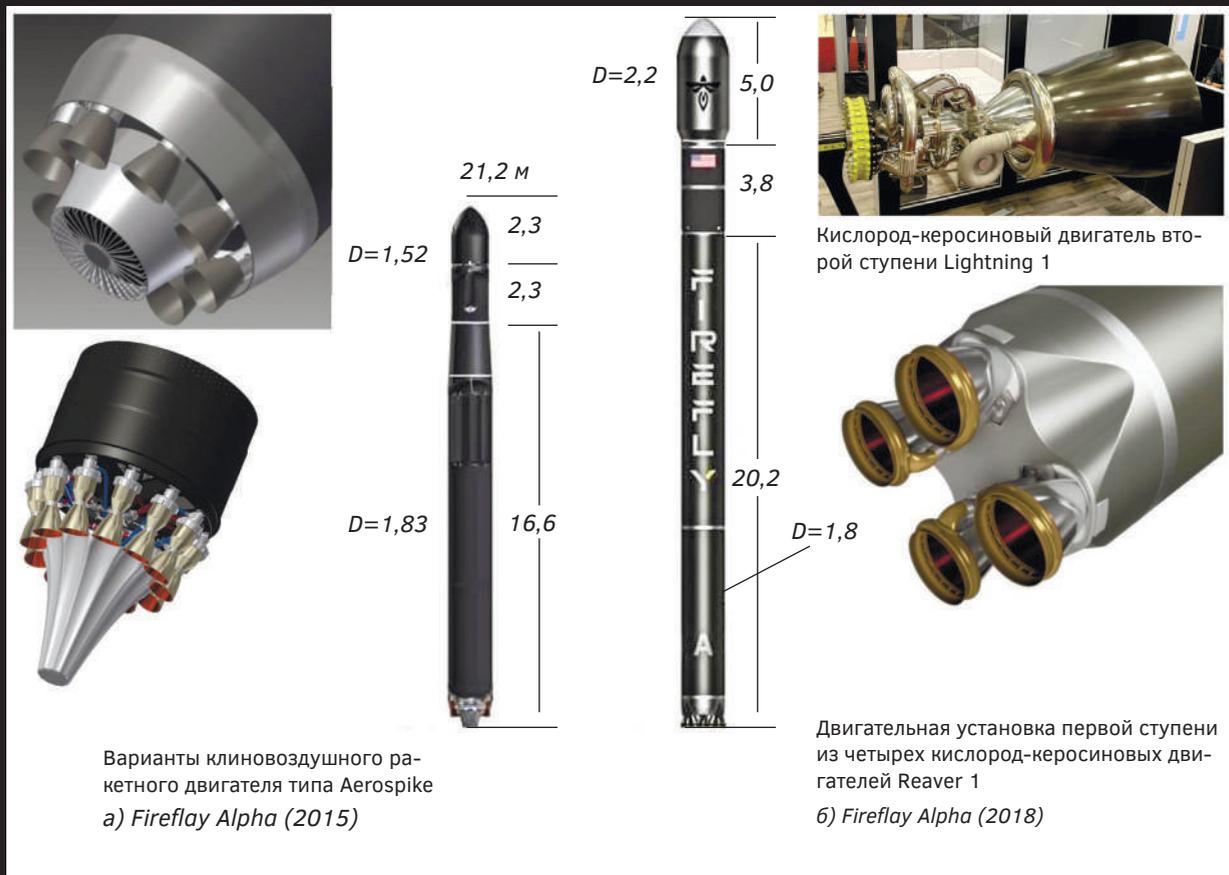
*Радикальное снижение стоимости космических услуг, повышение их доступности и расширение номенклатуры может быть достигнуто с помощью микроминиатюризации элементной базы, бортовой аппаратуры и изделий ракетно-космической техники в целом, развертывания многоспутниковых группировок малоразмерных космических аппаратов*

зованию модернизированного геофизического ракетного комплекса МР-30 с ракетой МН-300 (разработчик ОКБ «Новатор») в качестве средства выведения сверхлегкого класса для запуска МКА. Привлекательность этой идеи заключается в возможности унификации носителя и геофизического ракетного комплекса с целью снижения стоимости пуска за счет производства большой серии унифицированных элементов обоих типов ракет. Однако предварительные оценки и проектно-баллистические расчеты показали проблематичность создания многоступенчатой РН сверхлегкого класса для запуска КА массой 5–15 кг на НОО на базе твердотопливной метеорологической ракеты по следующим причинам:

— ракета МН-300 обладает дефицитом энергии из-за низкого весового совершенства конструкции ступени (на уровне 20% от массы топлива) и низкого пустотного удельного импульса используемого смесового твердого топлива;

— попытка модификации ракеты МН-300, по существу, приведет к созданию новой ракеты, так как для решения поставленной задачи необходимы новая первая ступень, дополнительная вторая ступень и апогейная ступень. Кроме того, необходимо создавать новую систему управления (ракета МН-300 стабилизируется в полете вращением).

Рис. 5. Ракета-носитель Alpha компании Firefly Aerospace [16, 17]



## 2.2. РАКЕТЫ-НОСИТЕЛИ ТРАДИЦИОННЫХ СХЕМ

Необходимо заметить, что в числе нескольких десятков прорабатываемых проектов сверхлегких РН присутствуют в основном традиционные схемы и компоновки. Улучшения удельных экономических показателей разработчики рассчитывают добиться за счет использования более современных технологий изготовления элементов РН и повышения тем самым энергомассового совершенства.

### РН ALPHA

Так, в 2014 году интерес специалистов вызвал стартап Firefly Space Systems (США) сверхлегкой ракеты носителя под названием Alpha (рис. 5).

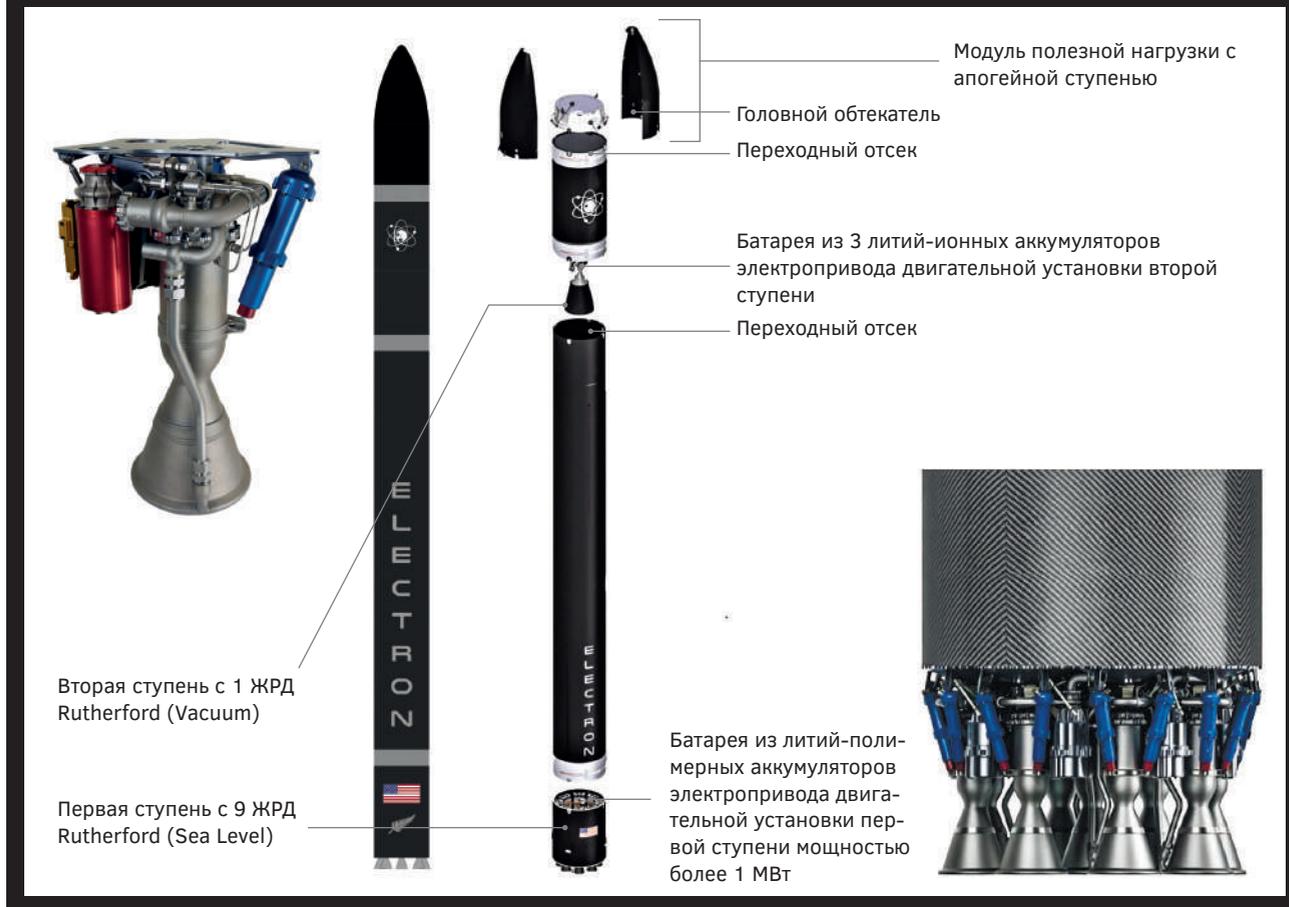
Так сложилось, что ракета разрабатывалась в двух вариантах. В первом варианте РН (Firefly Space Systems, 2015 г.) был принят ряд передовых проектно-конструкторских решений, направленных на максимальное снижение стоимости пуска и улучшение удельных экономических показателей, в том числе [16, 17]:

- использование в качестве топлива жидкого кислорода и метана;
- установка на первой ступени клиновоздушного жидкостного ракетного двигателя (ЖРД) типа Aerospike;
- изготовление корпуса ракеты из углерод-углеродного композита.

Наибольший интерес в первом варианте ракеты представлял клиновоздушный ЖРД (ЖРД с центральным телом), позволяющий снизить массу топлива на 25–30% за счет того, что клиновидное сопло способно регулировать давление истекающей газовой струи в зависимости от изменения атмосферного давления по мере набора высоты.

Однако в начале 2017 года Firefly приостановила свою деятельность из-за финансовых трудностей. В дополнение ко всем проблемам компания Virgin Galactic предъявила к Firefly иск за нарушение авторских прав. В результате компания была продана с аукциона и куплена предпринимателем Максимом Поляковым (Max Polyakov) [16]. В 2018 году Максим Поляков открыл исследовательский центр в городе Днепр (бывший Днепропетровск, Украина) с перспективой ор-

Рис. 6. Ракета-носитель Electron компании Rocket Lab [18]



ганизации экспериментального производства сверхлегких РН и применения космических технологий в аграрном секторе. В центре установлен самый большой на Украине 3D-принтер.

После покупки М. Поляковым компании Firefly Space Systems концепция РН Alpha претерпела существенные изменения, включающие:

- отказ от клиновоздушного двигателя на первой ступени; вместо него будет установлен турбонасосный ЖРД обычной схемы со сверхкомпактным горизонтальным турбонасосом;
- отказ от метана, вместо метана будет использоваться керосин RP-1;
- печать элементов конструкции РН на 3D-принтере.

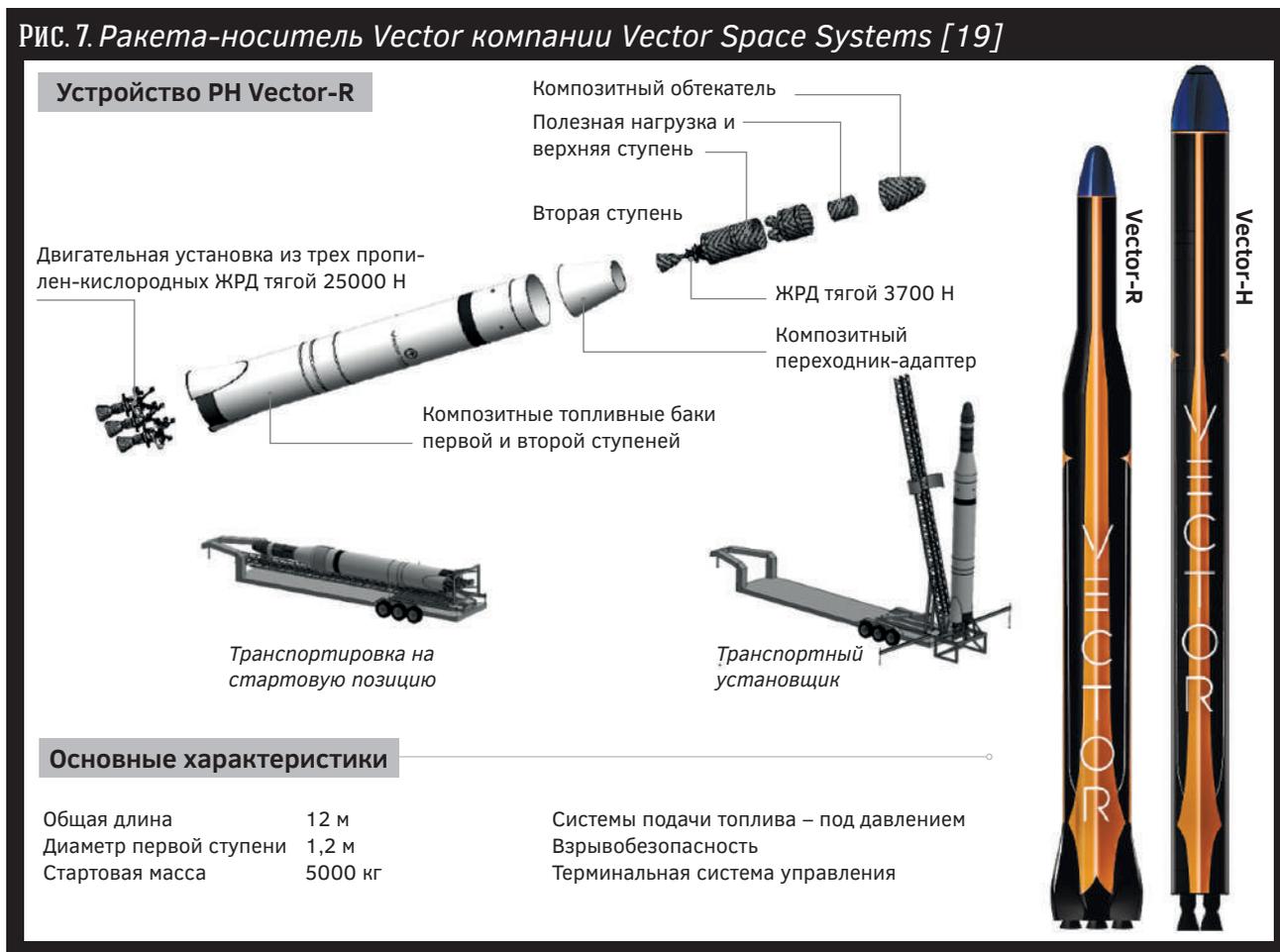
В июне 2018 года Firefly Aerospace объявила о подписании соглашения об оказании услуг по использованию РН Alpha для запуска малых КА британской компании Surrey Satellite Technology Limited (SSTL). Дата первого пуска намечена на третий квартал 2019 года. К концу 2020 года планируемый темп должен составить один пуск в месяц.

## РН ELECTRON

Наиболее продвинутым проектом сверхлегкой РН традиционной схемы является, на наш взгляд, ракета-носитель сверхлегкого класса Electron (рис. 6), разработанная новозеландским подразделением американской частной аэрокосмической компании Rocket Lab (США / Новая Зеландия) [18]. Ракета позволяет вывести полезную нагрузку массой до 150 кг на солнечно-синхронную орбиту высотой 500 км или до 250 кг на низкую околоземную орбиту. Стоимость пуска ракеты-носителя составляет от 4,9 до 6,6 млн долларов США.

Первый пуск 25 мая 2017 года оказался неудачным. Однако последующие четыре пуска (по состоянию на конец марта 2019 года) были успешными. Подписаны контракты на запуски малых КА с компаниями Planet (три запуска 20–25 КА) и Moon Express (три пуска в рамках конкурса Google Lunar X Prize), а также с BBC США (запуск трех КА). Таким образом, на сегодня Electron можно назвать единственным эксплуатируемым носителем сверхлегкого класса.

Рис. 7. Ракета-носитель Vector компании Vector Space Systems [19]



**Основные характеристики**

Общая длина 12 м  
 Диаметр первой ступени 1,2 м  
 Стартовая масса 5000 кг

Системы подачи топлива – под давлением  
 Взрывобезопасность  
 Терминальная система управления

К инновационным техническим решениям, принятым в РН Electron, следует отнести:

- изготовление из углеродных композитов основных элементов конструкции, включая несущий цилиндрический корпус, топливные баки и головной обтекатель, причем материал баков окислителя совместим с жидким кислородом;

- 3D-печать всех основных элементов ЖРД Reserford;

- установку на обеих ступенях ракеты электрических турбонасосных агрегатов (электропривод двигательной установки из двух электродвигателей первой ступени питается от литий-полимерных аккумуляторов; электропривод ДУ второй ступени — от трех литий-ионных батарей).

**РН VECTOR**

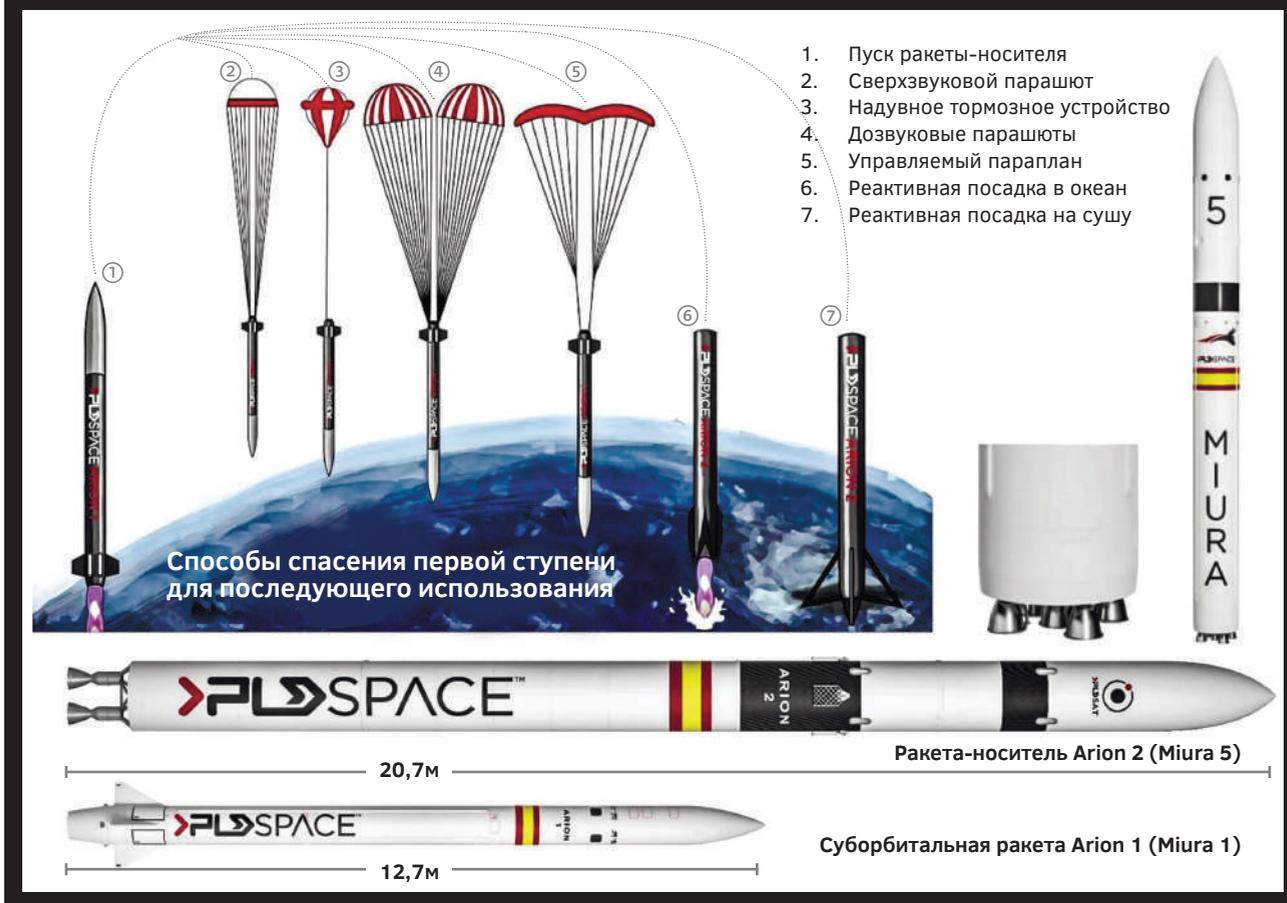
РН Vector — двухступенчатая сверхлегкая РН, ориентированная на коммерческий рынок микро- и наноспутников (рис. 7), созданная американской компанией Vector Space Systems [19]. Ранее основные сотрудники этой компании работали в SpaceX над проектом РН Falcon 1.

Vector — семейство носителей, состоящее из двух модификаций: Vector-R (Rapid) массой 5 тонн и Vector-H (Heavy) массой 12 тонн. РН Vector-R будет способна вывести на низкую околоземную орбиту полезную нагрузку массой 60 кг, а на солнечно-синхронную — 26 кг. РН Vector-H будет способна доставлять на низкую орбиту 290 кг полезного груза, а на солнечно-синхронную — 95 кг.

В конструкции РН Vector широко используются углеродные композиты (этим объясняется черный цвет ракеты). На первой ступени РН Vector-R установлено три пропилен-кислородных ЖРД, на первой ступени Vector-H — шесть пропилен-кислородных ЖРД. Форсунки (инжекторы) ЖРД печатаются на 3D-принтере. На РН может устанавливаться третья ступень с электроракетными или твердотопливными двигателями.

В 2017 году было проведено два суборбитальных испытательных пуска РН Vector-R. На 2019 год запланировано четыре пуска, в том числе два — с выводением КА на НОО. В перспективе, по мнению руководства компании Vector Space Systems, будет возможным выполнение до 100 пусков РН Vector ежегодно.

Рис. 8. Ракета-носитель Arion 2 / Miura 5 компании PLD Space [20]



Рассматривается возможность повторного использования первой ступени PH Vector: первая ступень будет возвращаться на землю с помощью парашютной системы.

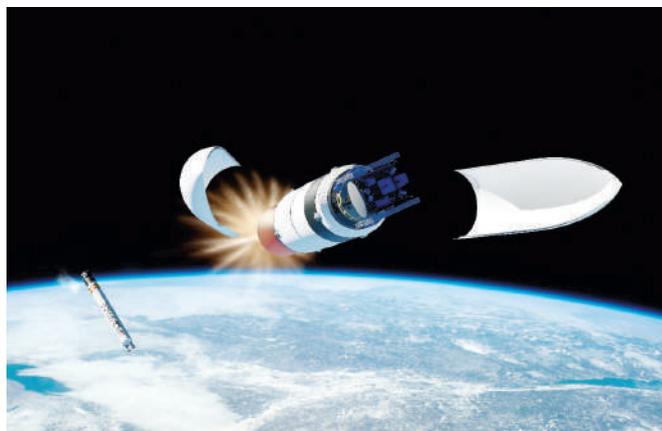
## PH ARION 2 (MIURA 5)

Испанский стартап PLD Space пытается создать сверхлегкую PH с многоразовой первой ступенью Arion 2 (рис. 8) [12, 20]. Ракета рассчитана на выведение на НОО 150 кг полезного груза. Спасение первой ступени будет осуществляться при помощи парашюта, надувного тормозного устройства или тормозных ракетных двигателей (окончательно способ спасения еще не выбран).

В конце 2018 года фирма PLD Space объявила об изменении конструкции ракеты с целью удвоения массы выводимой на НОО (высотой 500 км) полезной нагрузки (доведения ее до 300 кг). Стартапу была оказана поддержка со стороны Европейского космического агентства в размере 300 тыс. евро. Также было принято решение об изменении названия ракеты с Arion 2 на Miura 5. Цифра в названии Miura 5 отражает количество ЖРД на первой ступени, а новое название позво-

лит, по замыслу, избежать путаницы с ракетами компании Ariane Group.

На третий квартал 2019 года намечен суборбитальный испытательный пуск прототипа первой ступени PH Miura 5 — Miura 1. Первый запуск Arion 2 (Miura 5) запланирован на 2021 год.



**Продолжение статьи читайте в следующем выпуске журнала.**

Литература

1. **Timo Wekerle et al.** Status and Trends of SmallSats and Their Launch Vehicles — An Up-to-date Review // *Journal of Aerospace Technology and Management*. 2017. Vol. 9. No. 3. Pp. 269-286. DOI: 10.5028/jatm.v9i3.853
2. **Сенькин В. С.** Оптимизация проектных параметров ракеты-носителя сверхлегкого класса // *Техническая механика*. 2009. № 1. С. 80-88.
3. *To Reach the High Frontier: A History of U.S. Launch Vehicles*. 1st Edition, University Press of Kentucky, 2002. 525 p.
4. *Encyclopedia Astronautica* [Электронный ресурс]. URL: <https://everipedia.org> (Дата обращения: 20.04.2019).
5. *Smallsat Launch Vehicle Markets* [Электронный ресурс]. URL: <https://www.nsr.com/research/smallsat-launch-vehicle-markets/> (Дата обращения: 30.03.2019).
6. **Hertzfeld H. R.** The State of Space Economic Analyses: Real Questions, Questionable Results // *New Space*. 2013. No. 1(1). Pp. 21-28.
7. *2018 Nano/Microsatellite Launch History & Market Forecast (1-50 kg)* [Электронный ресурс]. URL: <https://twitter.com/SpaceWorksSEI/media> (Дата обращения: 28.03.2019).
8. **Sweeting M.** ICT Business with Micro/Mini-Satellites [Электронный ресурс]. URL: [http://www.soumu.go.jp/main\\_content/000462909.pdf](http://www.soumu.go.jp/main_content/000462909.pdf) (Дата обращения: 29.03.2019).
9. *Smallsat constellations* [Электронный ресурс]. URL: <https://satelliteobservation.net/2017/02/11/smallsat-constellations/> (Дата обращения: 28.03.2019).
10. *Micro-launchers: what is the market? Quick and flexible delivery of small payloads*. February 2017 [Электронный ресурс]. URL: [https://www.pwc.fr/fr/assets/files/pdf/2017/02/micro-lanceurs\\_dec2016.pdf](https://www.pwc.fr/fr/assets/files/pdf/2017/02/micro-lanceurs_dec2016.pdf) (Дата обращения: 30.03.2019).
11. *Surplus missile motors. Sale Price Drives Potential Effects on DOD and Commercial Launch Providers. Report to Congressional Addressees // United States Government Accountability Office (GAO-17-609)*, August 2017. 58 p.
12. *The Annual Compendium of Commercial Space Transportation: 2018*. Federal Aviation Administration, January 2018, Washington. 255 p.
13. **Carlos Niederstrasser.** Small Launch Vehicles – A 2018 State of the Industry Survey // 32nd Annual AIAA/USU Conference on Small Satellites, SSC18-IX-01 [Электронный ресурс]. URL: <https://digitalcommons.usu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=4118&context=smallsat> (Дата обращения: 01.03.2019).
14. *Japan's SS-520 CubeSat Launch Vehicle Achieves Success on Second Try* [Электронный ресурс]. URL: <http://spaceflight101.com/japan-ss-520-5-launch-success/> (Дата обращения: 01.03.2019).
15. **SPARK (Super Strypi)** [Электронный ресурс]. URL: <http://spaceflight101.com/spacerockets/spark-super-strypi/> (Дата обращения: 01.03.2019).
16. **Max Polyakov.** Relaunches Firefly with High Hopes to Bridge Gap between CubeSats and Space [Электронный ресурс]. URL: <https://noosphereventures.com/max-polyakov-relaunches-firefly-aerospace-with-high-hopes-to-bridge-gap-between-cubesats-and-space/> (Дата обращения: 01.03.2019).
17. *Firefly Payload User's Guide*. August 10, 2018. Austin (Texas): Firefly Aerospace Inc. 64 p.
18. *Electron. Payload User's Guide*. Version 6.2, Rocket Lab. New Zealand, 2018. 53 p.
19. *Vector-H Forecasted Launch Service Guide – VSS-2017-023 - Version 2.0*. Tucson (Arizona): Vector Space Systems, 2017. 14 p.
20. *Arion-2 Miura-5* [Электронный ресурс]. URL: [http://www.b14643.de/Spacerockets\\_3/PLD-Space/Description/Frame.htm](http://www.b14643.de/Spacerockets_3/PLD-Space/Description/Frame.htm) (Дата обращения: 01.03.2019).
21. *ARCA to Perform Historic First Flight of Aerospike*. Press Release: June 15th, 2017 [Электронный ресурс]. URL: [http://www.arcaspace.com/en/ARCA\\_Space\\_Corporation\\_Demonstrator\\_3\\_Press\\_Release.pdf](http://www.arcaspace.com/en/ARCA_Space_Corporation_Demonstrator_3_Press_Release.pdf) (Дата обращения: 01.03.2019).
22. *IOS Neptune* [Электронный ресурс]. URL: [http://www.b14643.de/Spacerockets\\_3/Interorbital-Systems/Description/Frame.htm](http://www.b14643.de/Spacerockets_3/Interorbital-Systems/Description/Frame.htm) (Дата обращения: 01.03.2019).
23. **Kieran Hayward, José Mariano López.** Small satellite launch vehicle from a balloon platform / 13th Reinventing Space Conference. 9-12 November 2015. Oxford, UK (BIS-RS-2015-60) [Электронный ресурс]. URL: <http://www.zero2infinity.space/wp-content/uploads/2017/08/RIspace-Paper-KH-Final.pdf> (Дата обращения: 01.03.2019).
24. *Responsive Access Small Cargo Affordable Launch (RASCAL) Independent Performance Evaluation* David Young AE8900. Special Project Report May 3, 2004, School of Aerospace Engineering Space System Design. Laboratory Georgia Institute of Technology. Georgia 30332-0150 [Электронный ресурс]. URL: <http://hdl.handle.net/1853/8372> (Дата обращения: 01.03.2019).
25. **ALASA** [Электронный ресурс]. URL: [https://space.skyrocket.de/doc\\_lau/alasa.htm](https://space.skyrocket.de/doc_lau/alasa.htm) (Дата обращения: 01.03.2019).
26. *US Military's XS-1 Space Plane Will Be Built by Boeing* [Электронный ресурс]. URL: <https://www.space.com/36985-darpa-xs-1-spaceplane-boeing-phantom-express.html> (Дата обращения: 01.03.2019).
27. **Bertil Oving, Arnaud Van Kleef, Bastien Haemmerl, Adrien Boiron, Markus Kuhn, Ilja Müller, Ivaylo Petkov, Marina Petrozzi, Ana-Maria Neculaescu, Tudorel Petronel Afilipoae.** Small Innovative Launcher for Europe: achievement of the H2020 project SMILE / 7th European conference for aeronautics and space sciences (EUCASS). Milan, Italy, 3-6 July 2017. DOI: 10.13009/EUCASS2017-600
28. *New patent granted to 3D printed hybrid rocket fuel engines for low cost access to space* [Электронный ресурс]. URL: <https://room.eu.com/news/new-patent-granted-to-3d-printed-hybrid-rocket-fuel-engines-for-low-cost-access-to-space> (Дата обращения: 15.04.2019).

References

1. **Timo Wekerle et al.** Status and Trends of SmallSats and Their Launch Vehicles — An Up-to-date Review. *Journal of Aerospace Technology and Management*, 2017, vol. 9, no. 3, pp. 269-286. DOI: 10.5028/jatm.v9i3.853
2. **Senkin V.S.** Optimizatsiya proektnykh parametrov rakety-nositelya sverkhlegkogo klassa. *Tekhnicheskaya mekhanika*, 2009, no. 1, pp. 80-88.
3. *To Reach the High Frontier: A History of U.S. Launch Vehicles*. 1st Edition, University Press of Kentucky, 2002. 525 p.
4. *Encyclopedia Astronautica*. Available at: <https://everipedia.org> (Retrieval date: 20.04.2019).
5. *Smallsat Launch Vehicle Markets*. Available at: <https://www.nsr.com/research/smallsat-launch-vehicle-markets/> (Retrieval date: 30.03.2019).



6. **Hertzfeld H.R.** The State of Space Economic Analyses: Real Questions, Questionable Results. *New Space*, 2013, no. 1(1), pp. 21-28.
7. 2018 Nano/Microsatellite Launch History & Market Forecast (1-50 kg). Available at: <https://twitter.com/SpaceWorksSEI/media> (Retrieval date: 28.03.2019).
8. **Sweeting M.** ICT Business with Micro/Mini-Satellites. Available at: [http://www.soumu.go.jp/main\\_content/000462909.pdf](http://www.soumu.go.jp/main_content/000462909.pdf) (Retrieval date: 29.03.2019).
9. Smallsat constellations. Available at: <https://satelliteobservation.net/2017/02/11/smallsat-constellations/> (Retrieval date: 28.03.2019).
10. Micro-launchers: what is the market? Quick and flexible delivery of small payloads. February 2017. Available at: [https://www.pwc.fr/fr/assets/files/pdf/2017/02/micro-lanceurs\\_dec2016.pdf](https://www.pwc.fr/fr/assets/files/pdf/2017/02/micro-lanceurs_dec2016.pdf) (Retrieval date: 30.03.2019).
11. Surplus missile motors. Sale Price Drives Potential Effects on DOD and Commercial Launch Providers. Report to Congressional Addressees. United States Government Accountability Office (GAO-17-609), August 2017. 58 p.
12. The Annual Compendium of Commercial Space Transportation: 2018. Federal Aviation Administration, January 2018, Washington. 255 p.
13. **Carlos Niederstrasser.** Small Launch Vehicles – A 2018 State of the Industry Survey // 32nd Annual AIAA/USU Conference on Small Satellites, SSC18-IX-01. Available at: <https://digitalcommons.usu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=4118&context=smallsat> (Retrieval date: 01.03.2019).
14. Japan's SS-520 CubeSat Launch Vehicle Achieves Success on Second Try. Available at: <http://spaceflight101.com/japan-ss-520-5-launch-success/> (Retrieval date: 01.03.2019).
15. SPARK (Super Strypi). Available at: <http://spaceflight101.com/spacerockets/spark-super-strypi/> (Retrieval date: 01.03.2019).
16. **Max Polyakov.** Relaunches Firefly with High Hopes to Bridge Gap between CubeSats and Space. Available at: <https://noosphereventures.com/max-polyakov-relaunches-firefly-aerospace-with-high-hopes-to-bridge-gap-between-cubesats-and-space/> (Retrieval date: 01.03.2019).
17. Firefly Payload User's Guide. August 10, 2018. Austin (Texas): Firefly Aerospace Inc. 64 p.
18. Electron. Payload User's Guide. Version 6.2, Rocket Lab. New Zealand, 2018. 53 p.
19. Vector-H Forecasted Launch Service Guide – VSS-2017-023 – Version 2.0. Tucson (Arizona): Vector Space Systems, 2017. 14 p.
20. Arion-2 Miura-5. Available at: [http://www.b14643.de/Spacerockets\\_3/PLD-Space/Description/Frame.htm](http://www.b14643.de/Spacerockets_3/PLD-Space/Description/Frame.htm) (Retrieval date: 01.03.2019).
21. ARCA to Perform Historic First Flight of Aerospike. Press Release: June 15th, 2017. Available at: [http://www.arcaspace.com/en/ARCA\\_Space\\_Corporation\\_Demonstrator\\_3\\_Press\\_Release.pdf](http://www.arcaspace.com/en/ARCA_Space_Corporation_Demonstrator_3_Press_Release.pdf) (Retrieval date: 01.03.2019).
22. IOS Neptune. Available at: [http://www.b14643.de/Spacerockets\\_3/Interorbital-Systems/Description/Frame.htm](http://www.b14643.de/Spacerockets_3/Interorbital-Systems/Description/Frame.htm) (Retrieval date: 01.03.2019).
23. **Kieran Hayward, José Mariano López.** Small satellite launch vehicle from a balloon platform / 13th Reinventing Space Conference. 9-12 November 2015. Oxford, UK (BIS-RS-2015-60). Available at: <http://www.zero2infinity.space/wp-content/uploads/2017/08/RIspace-Paper-KH-Final.pdf> (Retrieval date: 01.03.2019).
24. Responsive Access Small Cargo Affordable Launch (RASCAL) Independent Performance Evaluation David Young AE8900. Special Project Report May 3, 2004, School of Aerospace Engineering Space System Design. Laboratory Georgia Institute of Technology. Georgia 30332-0150. Available at: <http://hdl.handle.net/1853/8372> (Retrieval date: 01.03.2019).
25. ALASA. Available at: [https://space.skyrocket.de/doc\\_lau/alasa.htm](https://space.skyrocket.de/doc_lau/alasa.htm) (Retrieval date: 01.03.2019).
26. US Military's XS-1 Space Plane Will Be Built by Boeing. Available at: <https://www.space.com/36985-darpa-xs-1-spaceplane-boeing-phantom-express.html> (Retrieval date: 01.03.2019).
27. **Bertil Oving, Arnaud Van Kleef, Bastien Haemmerl, Adrien Boiron, Markus Kuhn, Ilja Müller, Ivaylo Petkov, Marina Petrozzi, Ana-Maria Neculaescu, Tudorel Petronel Afilipoe.** Small Innovative Launcher for Europe: achievement of the H2020 project SMILE / 7th European conference for aeronautics and space sciences (EUCASS). Milan, Italy, 3-6 July 2017. DOI: 10.13009/EUCASS2017-600
28. New patent granted to 3D printed hybrid rocket fuel engines for low cost access to space. Available at: <https://room.eu.com/news/new-patent-granted-to-3d-printed-hybrid-rocket-fuel-engines-for-low-cost-access-to-space> (Retrieval date: 15.04.2019).

© Ключников В. Ю., 2019

**История статьи:**

Поступила в редакцию: 15.07.2019  
Принята к публикации: 09.08.2019

**Модератор:** Дмитрюк С. В.

**Конфликт интересов:** отсутствует

**Для цитирования:**

*Ключников В. Ю. Ракеты-носители сверхлегкого класса: ниша на рынке пусковых услуг и перспективные проекты // Воздушно-космическая сфера. 2019. №3. С. 58-71.*