

УДК 629.76

EDN [VLGBNE](#)



Анализ ракет сверхлегкого класса

Е.А. Рожкова*, В.В. Кольга, В.А. Бордачев

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31, г. Красноярск, 660037, Россия

*E-mail: e_rozhok@vk.com

Аннотация. Данная статья посвящена изучению возможных перспектив сверхлегких ракет в космической отрасли. Раскрывается причина создания таких ракет-носителей по сравнению с другими классами на примере «Falcon 9» и разных ракет семейства «Союз». 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. Рассказываются причины выбора направления в изучении ракет сверхлегкого класса, о запусках ракет-носителей у различных организаций, а также о положительных и отрицательных качествах ракет, спутников и других аэрокосмических конструкциях. Проводится краткий анализ популярных и перспективных ракет, таких как Electron, Таймыр-7, VLM, Launcher One, Alpha и другие, которые могут привлечь заказчика своими параметрами, в нашем случае это стоимость выведения одного килограмма полезного груза. Содержится краткий обзор на существующую потребность в изготовлении дешевого выведения полезного груза на околоземную или солнечно-синхронную орбиту, что может позволить сделать выводы о целесообразности дальнейших разработок космической отрасли различных организаций во всем мире. Выделяются ракеты, которые могут заинтересовать любого заказчика своим соотношением цены и качества.

Ключевые слова: ракета-носитель, сверхлёгкие ракеты, спутники, стартовая масса, стоимость.

Analysis of ultralight missiles

E.A. Rozhkova*, V.V. Kolga, V.A. Bordachev

Siberian State University of Science and Technology named after Academician M.F. Reshetnev, Krasnoyarsky Rabochy ave., 31, Krasnoyarsk, 660037, Russia

*E-mail: e_rozhok@vk.com

Abstract. This article is devoted to the study of the possible prospects for ultralight rockets in the space industry. The reason for the creation of such launch vehicles in comparison with other classes is revealed on the example of the Falcon 9 and various rockets of the Soyuz family. The prospects for the commercial use of ultralight launch vehicles in the emerging market for small spacecraft launches are analyzed. The most promising projects of ultralight carriers and technologies that allow improving their technical and economic performance are considered. The reasons for choosing a direction in the study of ultralight rockets, launches of launch vehicles by various organizations, as well as the positive and negative qualities of rockets, satellites and other aerospace structures are described. A brief analysis is made of popular and promising missiles, such as Electron, Taimyr-7, VLM, Launcher One, Alpha and others, which can attract a customer with their parameters, in our case, this is the cost of launching one kilogram of payload. A brief review is given of the existing need for the manufacture of a cheap launch of a payload into a near-Earth or sun-synchronous orbit, which may allow us to draw conclusions about the feasibility of further developments in the space industry by various organizations around the world. Missiles stand out that may interest any customer with their price-quality ratio.

Keywords: launch vehicle, ultralight rockets, satellites, launch weight, cost.

1. Введение

Перспективы изучения космоса заставляют инженеров, ученых и предпринимателей затрачивать с каждым годом всё больше усилий, чтобы в гонке за первенство предоставлять уникальную информацию миру, а также находить альтернативные варианты доставки спутников, пилотируемых космических кораблей, а также космонавтов в космическое пространство.

Создание ракет-носителей (РН) и инфраструктуры для их запуска потребовало огромных усилий от ведущих стран мира. В наше время имеется тенденция по созданию многоразовых ракет-носителей, способных осуществлять десятки полётов в космос. Их разработка и эксплуатация по-прежнему требует огромных ресурсов, которые могут выделить только государства или крупные корпорации. В начале XXI века совершенствование и миниатюризация электронных компонентов позволила создавать малогабаритные спутники, ещё их называют «микроспутники» и «наноспутники», масса которых находится в диапазоне 1-100 кг. В последнее время речь идёт уже о «пикоспутниках» массой от 100 г до 1 кг и «фемтоспутниках» массой менее 100 г [1].

2. Причина проектирования ракет сверхлёгкого класса

Задача, с которой сталкиваются инженеры при проектировании ракет, заключается в минимизации сухой массы транспортного средства при упаковке в эту массу как можно большего количества топлива. Учитывая огромные нагрузки на конструкцию и высокие коэффициенты безопасности, необходимые в космическом полете, но задача оптимизации массы является непростой.

Большинство ракет, выполняющих регулярные рейсы на орбиту, включая российские «Союзы» и американские Falcon 9, относятся к тяжёлому классу. Они предназначены для вывода на орбиту космических аппаратов и доставки грузов, масса которых измеряется в десятках тонн.

Вес конструкции заставляет инженеров искать альтернативные варианты, так и возникли ракеты среднего и лёгкого класса, которые как утверждают некоторые издания за рубежом пока не востребованы, но в России они пользуются большим спросом. Однако запуск таких аппаратов необходимо ждать несколько лет, поэтому на смену им приходится мелкая ракета сверхлёгкого класса. А значит, все надеются на то, что РН будет ракета маленькой грузоподъемности с дешевым пуском, чтобы вывести небольшой одиночный или групповой груз на нужную орбиту, при этом ещё без долгого ожидания, иначе задача, ради которой запускают спутники может измениться, либо

потеряется её актуальность. Зачастую заказчику необходимо решить полетную задачу в ближайшее время, так как в следующем году она будет ему неинтересна.

Тогда отдельный и недорогой пуск ракеты - носителя в интересах малых космических аппаратов сильно расширил бы их использование — а значит, и разработки, и производство. Одновременно легкодоступность таких запусков приведет к многократному росту использования космического пространства и данных, добываемых оттуда.

У сверхмалой РН есть ряд очевидных эксплуатационных преимуществ, связанных с её относительно небольшими размерами и массой. Длина такой ракеты — метров 10–20, диаметр составляет около одного метра, а стартовая масса варьирует вокруг десятка тонн. Для такой ракеты-носителя потребуется небольшое стартовое сооружение, компактные здания сборки и проверки, заправочная и другая инфраструктура. Не сложна и ее транспортировка. Меньше масса и размеры конструкции — меньше материалоемкость изделия и время на изготовление экземпляра ракеты, затраты на его производство [2].

Но у ракеты сверхлегкого класса есть ключевой минус. Это снижение конструктивного совершенства ракеты с уменьшением размеров — тот самый фактор, который работает в плюс с ростом размеров ракеты. А с уменьшением двигателей растет процент газодинамических потерь в них. Простое уменьшение размеров ракеты снизит её эффективность, что увеличит стоимость запуска килограмма груза на орбиту. Это противоречит замыслу доступности пуска сверхлегких ракет.

3. Исследуем информацию о целесообразности использования сверхлегких ракет

Для сравнения и наглядности используем данные популярных ракет сверхлегкого класса, чтобы выяснить какова их стоимость и действительно ли лучше запустить десять таких ракет, чем одну тяжелого класса. Однако некоторой информации нет в открытых источниках, поэтому вместо данных будет прочерк. Из-за этого анализ немного усложнится.

Таблица 1. Сравнение характеристик отечественных и зарубежных ракет-носителей.

Название ракеты	Масса	ПГ для LEO ^а	ПГ для SSO ^б	Тяга	Стоимость выведения 1 кг ПГ
Minotaur 1	36,2 т	580 кг	331 кг	935 кН	\$8 700
Ceres-1	33 т	350 кг	230 кг	-	\$11 000

Blue Whale 1	2,2 т	50 кг	40 кг	-	\$40 000
Electron	12,55 т	300 кг	225 кг	162 кН	\$25 000
Таймыр-7	15,6 т	180 кг	85 кг	40 кН	\$60 000
Vikram I	26 т	480 кг	290 кг	1000 кН	\$8 300
VLM	28 т	150 кг	-	450 кН	\$39 000
SS-520	2,6 т	4 кг	-	-	\$875 000
Launcher One	30 т	500 кг	300 кг	327 кН	\$24 000
Alpha	19 т	400 кг	200 кг	-	\$20 000

^aLEO - low Earth orbit (низкая околоземная орбита)

^bSSO – sun-synchronous orbit (солнечно-синхронная орбита)

4. Анализ данных таблицы

Из таблицы 1 видно, что ракеты-носители Blue Whale 1 частной Южнокорейской компании Perigee Aerospace и японский SS-520 в значительной мере отличаются от других по стартовой массе. Если сравнивать их друг с другом, то само победителем окажется тот, у которого грузоподъемность больше и дешевле, каким оказывается Blue Whale 1. Однако возникает вопрос, почему они в десятки раз легче иных сверхлегких?

Японская трёхступенчатая твердотопливная ракета SS-520 произведена компанией INI Aerospace, созданная на базе геофизической ракеты S-520 путём добавления третьей ступени и соответствующей доработки бортовых систем. Высота ракеты SS-520 составляет 9,54 метра, диаметр 0,54 метра. Корпус первой ступени выполнен из высокопрочной стали, второй ступени – из углепластикового композита, головной обтекатель сделан из стеклотекстолита. Система управления РН SS-520 периодически включается в момент отделения первой и второй ступеней, а все остальное время ракета стабилизируется вращением. Но вывод такой ракеты на LEO и SSO получается очень дорогим, поэтому вряд ли его можно выделить как самый перспективный проект [3].

Blue Whale 1 - стандартный микроноситель, двухступенчатый моноблок. Топливо на обеих ступенях - жидкий метан, так что Blue Whale 1 может стать первой в мире метановой ракетой, запустившей груз на орбиту. Выделяется он высокой эффективностью. Масса ракеты около двух тонн, а полезная нагрузка составляет 3,5% массы ракеты, у аналогов около 1,5%. Удельный импульс двигателей в вакууме - 348 с, казалось бы, не впечатляет, но, учитывая, что двигатели открытого цикла с вытеснительной подачей топлива, которая является дешевой, то по сравнению с РН SS-520 она выглядит достойно.

Далее сравним ракеты, которые удивляют стоимостью запуска. К таким относятся: Minotaur 1, Vikram I, Ceres-1. Эти ракеты нельзя занести как предыдущие в книгу рекордов, но свою функцию они выполняют. Удивляет больше всего РН индийской компания Skyroot Aerospace. Их разрабатываемое семейство бустеров Vikram требует минимальной инфраструктуры. Компания собирает и запускает ракету в течение 24 или 72 часов в зависимости от используемой версии. Большая сила тяги показывает о мере совершенства двигателя.

Также по соотношению грузоподъемности выведения на низкую околоземную орбиту Minotaur 1, Vikram I, Ceres-1 отличаются следующим образом: 1.6%, 1%, 1.8% соответственно. По этим показателям китайская частная ракетная Galactic Energy опережает сравниваемые аналоги.

Также обратим внимание на Electron, Таймыр-7, VLM, Launcher One, Alpha, полезная нагрузка которых составляет 2.39%, 1.15%, 0.5%, 1.6%, 2.1%. Из них по стоимости выведения на НОО дешевле выходит Launcher One, однако по соотношению масс уступает американско-новозеландской компании Rocket Lab с РН Electron.

LauncherOne - двухступенчатая орбитальная ракета-носитель, разработанная и запущенная компанией Virgin Orbit, которая начала эксплуатационные полеты в 2021 году. Это ракета воздушного базирования, предназначенная для выведения полезной нагрузки малых спутников. Ракета поднимается в верхние слои атмосферы на модифицированном Boeing 747-400, получившем название Cosmic Girl, и выпускается над Тихим океаном. LauncherOne предназначен для запуска CubeSats и небольших полезных грузов. Virgin Orbit также объявила о возможности LauncherOne отправлять полезные грузы на гелиоцентрическую орбиту для полетов к Марсу, Венере или астероидам [4].

Electron был разработан для обслуживания рынка коммерческих запусков малых спутников. Его двигатели Резерфорда являются первым двигателем с электрическим насосом для питания ракеты орбитального класса. На изготовление углеродных композитных компонентов основной конструкции самолета традиционно требовалось 400 часов, при этом требовался большой ручной труд. В конце 2019 года Rocket Lab запустила новое роботизированное производство, позволяющее производить все композитные детали для Electron всего за 12 часов. Этот процесс позволяет изготавливать все конструкции из углеродного волокна, а также обрабатывать резку,

сверление и шлифование таким образом, чтобы детали были готовы к окончательной сборке [5].

5. Выводы

В результате небольшого анализа, Blue Whale 1, Vikram I и Electron оказались по определённым из критериям лучше. Если стоит выбор в цене и скорости выполнения определенной задачи, то подойдет индийский аппарат. Когда речь идет о выводе на орбиту большей массы полезного груза с помощью ракет сверхлегкого класса, компания Rocket Lab окажется более выгодной в этой вопросе. А когда задача стоит об аппаратах малых масс с большой полезной нагрузкой, то подойдет РН Blue Whale 1.

Нельзя не заметить, что были упомянуты в контексте композитные материалы. Современную ракетно-космическую отрасль невозможно представить без этих материалов. Новые композитные материалы для космической отрасли выдерживают нагрузки космических полётов и имеют достаточно низкую массу. Но изготовление их делает производство дороже, поэтому многие отказываются от внедрения композитов.

В контексте международного рынка сверхлегкие ракеты-носители являются доступными по сравнению с традиционными космическими аппаратами. К 2022 года по всему миру действовало более 50 проектов по разработке сверхлегких ракет-носителей, в основном в Соединенных Штатах, Японии, Китае, Индии и Европе. Наиболее продвинутыми оказались индийский Vikram I, малогабаритный южнокорейский Blue Whale 1 и американо-новозеландский Electron, произведенной компанией Rocket Lab.

Компактные размеры сверхлегких ракет упрощают их транспортировку и позволяют запускать с разных точек планеты для достижения необходимого наклона орбиты. Для сверхлегких пусковых установок требуется гораздо более простая стартовая платформа, чем для ракет «гигантов», что делает их достаточно мобильными.

Список литературы

1. Integral-russia.ru (Технологии, инжиниринг, инновации). – 2020. [Электронный ресурс]. – URL: <https://integral-russia.ru/2020/11/13/proekty-sverhlegkih-raket-nositelej6-obzor-tehnicheskikh-reshenij-s-nazemnym-vozdushnym-i-morskim-startom/> (дата обращения: 25.09.2022).
2. Naked Science – новости науки. – 2022. [Электронный ресурс]. – URL: <https://naked-science.ru/article/cosmonautics/sverhlegkie-rakety-nositeli-zachem-letyat-kosmicheskie-lastochki> (дата обращения: 25.09.2022).

3. Военное обозрение. – 2020. [Электронный ресурс]. URL: <https://topwar.ru/176803-v-kosmos-na-meteorakete-proekty-sverhmalyh-kosmicheskikh-raket-nositelej.html> (дата обращения: 25.09.2022).
4. ВЭС ВКС. – 2019. официальный сайт. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.vesvks.ru/vks/article/rakety-nositeli-sverhlegkogo-klassa-nisha-na-rynke-16453> (дата обращения: 25.09.2022).
5. Космодемьянский, Е.В. Проект космического ракетного комплекса на базе ракеты-носителя сверхлегкого класса / Е.В. Космодемьянский, А.В. Нагиев, Д.Ю. Изратов, В.А. Кирпичев, П.А. Давыдов, А.А. Маркарова, И.В. Козлова, А.Ю. Окутин, А.Ю. Пустовалов // Онтология проектирования. – 2018. – Т. 8. – №4(30). – С.523-539.