

УДК 006.053:629.78

Экономические аспекты перехода к многоразовым средствам выведения

Economic aspects of the transition to reusable means of excretion

В обзорной статье экспертов Госкорпорации «Роскосмос» и АО «Организация «Агат» направления технико-экономического обоснования средств выведения и наземной космической инфраструктуры раскрыты экономические требования к космическим средствам выведения, обеспечивающие бурное освоение околоземной орбиты. Предложены подходы по устранению недостатков многоразовых ракет. Сформулированы требования к концентрации усилий для ключевых проектов.

In a review article by experts of the State Space Corporation "Roscosmos" and JSC "Organization "Agat" directions of the feasibility study of launch vehicles and ground-based space infrastructure, the economic requirements for space launch vehicles ensuring rapid development of near-Earth orbit are disclosed. Approaches to eliminate the disadvantages of reusable rockets are proposed. The requirements for the concentration of efforts for key projects are formulated.

Ключевые слова: стоимость транспортировки, многоразовые межорбитальные буксиры, концентрация ресурсов, численность сотрудников в крупных государственных проектах.

Keywords: the cost of transportation, reusable interorbital tugs, concentration of resources, the number of employees in large government projects.



ДОЩАНОВА ДИАНА РУСЛАНОВНА

Ведущий специалист отдела СВ и НКИ, блок ТЭО Программ РКТ, АО «Организация «Агат»

DOSCHANOVA DIANA

Leading Specialist, Unit for Launch Vehicles and Ground-based Space Infrastructure, Block for Feasibility Study for rocket and space technology programs, JSC "Organization "Agat"



ПШЕНИЧНИКОВ ИГОРЬ ВИКТОРОВИЧ

Заместитель директора департамента, Департамент перспективных программ и проекта СФЕРА, Госкорпорация «Роскосмос»

PSHENICHNIKOV IGOR

Deputy Head of Department, the Department of Advanced Programs and the SPHERE Project, State Space Corporation "Roscosmos"



СМИРНОВ ДМИТРИЙ ПЕТРОВИЧ

Начальник отдела СВ и НКИ, блок ТЭО Программ РКТ, АО «Организация «Агат»

SMIRNOV DMITRIY

Head of Unit for Launch Vehicles and Ground-based Space Infrastructure, Block for Feasibility Study for rocket and space technology programs, JSC "Organization "Agat"

Введение

Транспортная отрасль является фундаментом, на котором строится вся остальная экономика. Чем лучше развита транспортная инфраструктура государства, тем сильнее экономика. Все мировое развитие строилось на том, что доля транспортных услуг составляет до 5-20% от себестоимости товара. Пока транспортная инфраструктура не переходит на новый уровень развития и не позволяет перемещать грузы дешевле, быстрее, дальше – не развивается и экономика, так как рост и развитие экономики строится на необходимости расширения и перемещения большего количества товаров.

Для примера, в современной мировой экономике доля перевозок в себестоимости продукции находится в диапазоне от 5% до 30% (см. рис. 1), где доля в ~30% относится к сырью (в основном сырью для строительства). При этом доля транспортной отрасли в ВВП не велика. Например, в РФ как в стране с развитой сетью транспортных путей (ж/д, авто, авиа, водный транс-

порт), доля транспортной отрасли в ВВП страны ~6%, но на этой отрасли и ее доступности строится почти вся экономика (см. рис. 2). Аналогичную картину мы наблюдаем на рынке космических услуг, где доля транспорта (средств выведения) в общем объеме услуг не велика, однако без него и его доступности и развития весь остальной рынок космических услуг будет недоступен. И чем более развиты средства выведения (доступность и стоимость выведения на орбиту), тем больше будет развит спектр космических услуг.

При этом в космической отрасли есть сильный «перекос» в сторону стоимости доставки полезной нагрузки и, соответственно, доли транспорта в себестоимости перемещаемого на орбиту груза (космических аппаратов). Транспортные услуги могут составлять до 100% от стоимости перемещаемого груза. Такие цифры, с учетом рискованности космических перевозок сильно тормозят развитие рынка космических услуг и тот, кто первым решит задачу экономичности доставки грузов

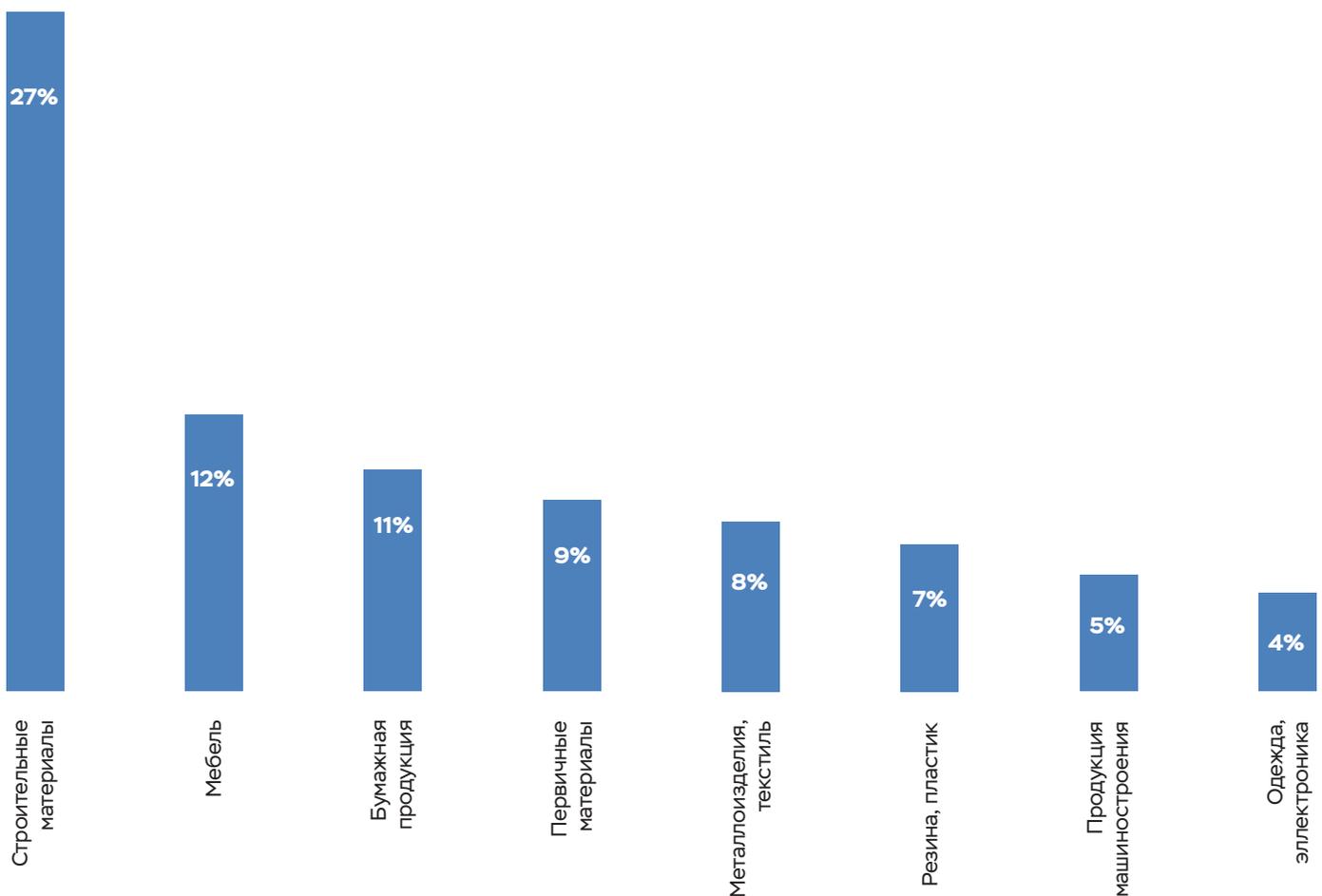


Рис. 1. Доля транспортных расходов в цене товара, % [2]

в космос и перемещение грузов по орбитам, де-факто реализует идею «космос для человека» в полной мере.

Одноразовые средства выведения (СВ) – предел технологий

Как уже говорилось в статье (см. выпуск № 30 журнала «Русский космос» за август 2021 г., стр. 46-49), основные задачи в части средств выведения в России уже решены.

В настоящее время современная линейка российских одноразовых ракет (от легкого Союз 2.1в до тяжелой Ангары), позволяет вывести весь спектр имеющихся нагрузок. Дальнейшее развитие одноразовых средств выведения, возможно, позволит снизить только удельную стоимость выведения, например, создав сверхтяжелую ракету. Однако высокая абсолютная стоимость пусковой услуги, отсутствие «постоянного потока» полезных нагрузок и конструктивная сложность делает такое изделие узкоспециализированным средством выведения, предназначенным для крупных миссий, таких как лунная или марсианская программы, а также проекты в интересах исследования дальнего космоса.

Модернизация (оптимизация) существующих двигательных установок (ДУ) не дает существенного прироста их эффективности, а затраты сопоставимы с созданием нового. Как правило работы по модернизации дают 1-5% прироста эффективности работы двигателя. Сама по себе эта задача (улучшение существующих ДУ) интересная и сложная (с инженерной точки зрения), но ее решение существенным образом не

меняет картину эффективности и доступности существующих СВ. Фактически, мы достигли предела существующих технологий ЖРД. Мощных двигателей, работающих на других физических принципах, нет, и в среднесрочной перспективе их создание не предвидится. Возможным направлением развития могут стать многоразовые ракеты с использованием все того же ЖРД, но потенциально с существенно более низкой стоимостью пуска. За счет чего?

Если посчитать стоимость компонент ракетного топлива в стоимости пуска, то они составляют до 7%. Получается, что все остальное – это одноразовые составные части ракет и подготовка ракеты к пуску. Теоретически, если сделать корпус, двигатели и прочие части ракеты полностью многоразовыми, как на самолетах, а подготовку к пуску автоматизированной, то стоимость пуска может быть снижена в 10 и более раз. Т.е. стоимость полета ракеты должна определяться (основная статья затрат) стоимостью затраченного топлива и межполетного обслуживания, а не стоимостью конструкции и подготовки к пуску.

Характерные примеры:

1. Пример экономически эффективной многоразовости – РН «Falcon-9 (R)» (R – значит Reusable);
2. Реализованный пример автоматизированного комплекса подготовки и запуска в СССР – КРК с РН «Зенит». Этот комплекс позволял запускать ракеты каждые ~3-4 часа, обеспечивая доставку, установку, заправку, проверку ракеты и ее запуск в автоматическом режиме.

Более того, в случае с многоразовой ракетой (или многоразовой ступенью), стоимость ее изготовления

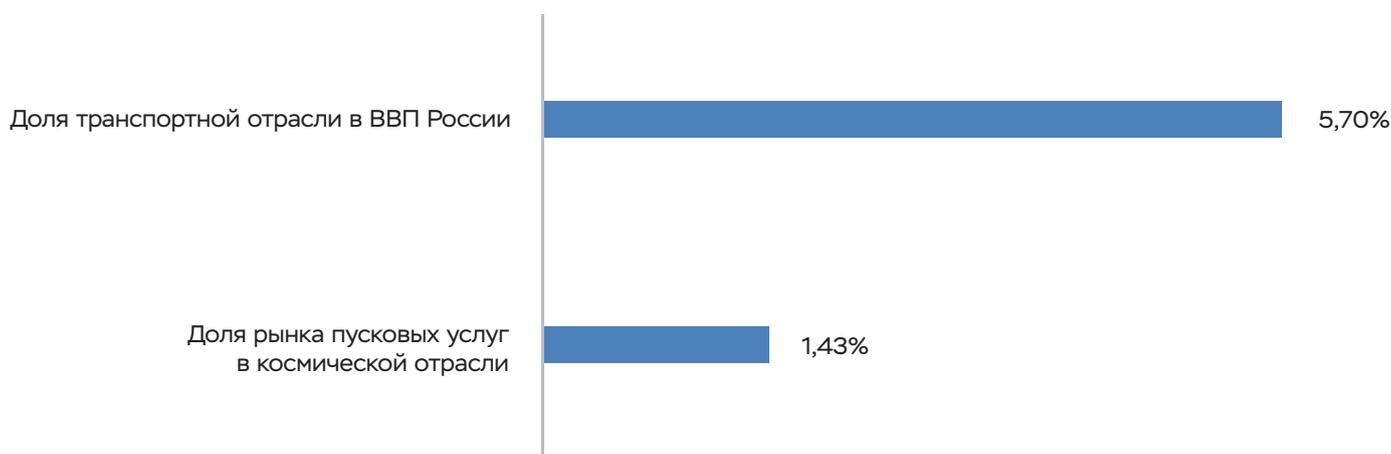


Рис. 2. Доля транспортной отрасли в экономике [3, 4]

особого значения не имеет. Теоретически, ее изготовление может стоить в разы дороже одноразовых ракет, главное, чтобы ее стоимость компенсировалась кратностью использования (по аналогии с временем налета планера самолета). Такой подход открывает новый горизонт возможностей для конструкторов. В последнее время изобретается много новых материалов, обладающих лучшими характеристиками чем используемый сейчас в ракетостроении АМГ6 (легче, прочнее и т.д.), но их внедрение упирается в дешевизну АМГ6 и сложность (дороговизну) процедуры отработки и внедрения новых материалов и технологий в ракетостроении.

С многоразовыми ракетами (или многоразовыми ступенями) все сильно упрощается, т.к. кратность использования многоразовых ракет или ступеней может нивелировать их высокую стоимость.

Недостатки многоразовых ракет и пути решения

Основной недостаток полностью многоразовых ракет – их грузоподъемность. Формулу Циолковского никто не отменял:

$$V = I * \ln \left(\frac{M_1}{M_2} \right), \text{ где}$$

V – конечная скорость ракеты;

I – удельный импульс ракетного двигателя;

M_1 – начальная масса ракеты (полезная нагрузка + конструкция ракеты + топливо);

M_2 – конечная масса ракеты (полезная нагрузка + конструкция ракеты),

а значит такие РН не смогут выводить большой груз на орбиты, т.к. им придется доставлять на орбиту все «ступени» и этот недостаток необходимо компенсировать.

В одноразовых ракетах функцию «доставки на орбиту» выполняет 2-я ступень (иногда 3-я и более высокие) и разгонные блоки.

В частично многоразовых (как например в Falcon-9) эту функцию так же выполняет только 2-я ступень, ну а в полностью многоразовых ракетах такую функцию может выполнять – многоразовый межорбитальный буксир, способный «подхватить» груз на низкой орбите и поднять на требуемую орбиту.

Из-за отсутствия полей падения, многоразовая ракета может летать на орбиты практически с любым наклоном и если буксиры расположить так, чтобы они работали каждый на «своей высоте» и наклоне, то полезная нагрузка может доставляться почти на любые орбиты.

Основными недостатками такой схемы являются: ее сложность, время выведения, количество операций на орбите и т.д. и, как следствие, – количество нештатных ситуаций. В 1970-1980 гг. эти причины, а также недостаточный технологический уровень не позволили реализовать данную схему.

Однако, современный уровень технологий уже позволяет создавать буксиры. Например, компании D-Orbit и Group of Astrodynamics for the Use of Space Systems/GAUSS, Momentus, Northrop Grumman Innovation Systems и Spaceflight Inc. и т.д. разработали, создали, протестировали, а некоторые и запустили свои межорбитальные буксиры. Согласно отчету Space Logistics Markets консалтинговой компании Euroconsult, к 2031 г. в эксплуатацию будет введено ~120 орбитальных космических буксиров. Т.е. мировые компании начинают двигаться в этом направлении. Сложность такой схемы выведения может быть компенсирована ее дешевизной в эксплуатации (из-за «многоразовости» всех ее элементов), а возможность совмещения функций буксира и ремонтника – обеспечивает переход к идеологии обслуживаемого космоса и быстрого восстановления/ремонта транспортной системы.

С развитием услуг межорбитальных буксиров – под эту схему начнут подстраиваться и производители космических аппаратов, делая их буксируемыми и ремонтнопригодными.

Сложные проекты не терпят распыления усилий

Первым успешную попытку снижения стоимости пуска сделал SpaceX, что и обеспечило большой поток заказов (в т.ч. поддерживаемый государством). На фоне успехов SpaceX, выросли инвестиции в космические стартапы и начало появляться много ракет сверхлегкого класса. Но каких-то принципиальных успехов в ракетостроении достичь не удалось. Да, появилось много очень интересных локальных разработок, но отсутствие быстрых успехов (быстрого возврата средств) и очень большая «ресурсоемкость» (потребность в интеллектуальных ресурсах) начало приводить к постепенному уменьшению интереса частных инвесторов и, как следствие, небольших стартапов к средствам выведения.

Вкладываясь в очень длинные инфраструктурные проекты, аккумулировать и фокусировать на одной задаче большое количество интеллектуальных ресурсов может себе позволить только государство. Для примера, численность участников проекта (конструкторское бюро

и экспериментальная база) по разработке Фау-2 (Полигон Пенемюнде Mittelwerk GmbH 1944г.) ~15 тыс. чел. Численность участников проекта (конструкторское бюро и экспериментальная база) Heinkel He 178 (первый реактивный самолет) составляла ~11 тыс. чел. Численность SpaceX в период создания РН «Falcon 9» (2005-2011гг.) насчитывала 6 тыс. чел., а в период создания Starlink и StarShip (2012-2022гг.) ~12тыс. чел. В СССР, в период зарождения и расцвета космонавтики картина была в целом похожа. Т.е. со временем, численность участников масштабных проектов сильно не изменяется даже с учетом современной автоматизации работы, т.к. со временем проекты усложняются.

Если Россия планирует поддерживать лидерство в средствах выведения – необходимо фокусировать интеллектуальные ресурсы на узком спектре задач и не попасться в «ловушку» их распыления.

Заключение

Подводя итог данной статьи, можно сделать следующие выводы:

1. Бурный рост интереса к космосу может быть достигнут, если доля транспортных услуг будет в пределах 1-10% от стоимости транспортируемых грузов;
2. Переход к многоразовым ракетам может позволить «выжать» из достигающей своего предела технологии ЖРД возможность необходимого снижения стоимости пуска за счет кратности использования и автоматизации подготовки к пуску;
3. Совмещение многоразовых межорбитальных буксиров с многоразовыми ракетами позволяет создать недорогую, «быстровосстанавливаемую» транспортную цепочку;
4. Чтобы реализовать такие масштабные проекты, необходима концентрация интеллектуальных ресурсов (не менее 10-15 тыс. чел. на данном направлении).

Список литературы

1. Средства выведения космических аппаратов // Кобелев В.Н., Милованов А.Г. М.: Рестарт, 2009. – 530 с.
2. Пространственная организация транспорта и мобильность [Электронный ресурс] <https://transportgeography.org/contents/chapter3/transportation-and-economic-development/transport-costs-prices-domestic-haul-unit-ed-states/>
3. Презентация Министерства транспорта РФ "О результатах деятельности Министерства транспорта Российской Федерации за 2020 год, целях и задачах на 2021 год и плановый период до 2023 года"
4. Ассоциация спутниковой индустрии, ВгусеТех "Отчет о состоянии спутниковой индустрии за 2021 год"
5. Ракеты многоразового использования // И.И. Ануреев, 1975г
6. Рынки космической логистики, Евроконсалт, 2020г

List of literature

1. Means of launching spacecraft // Kobelev V.N., Milovanov A.G. M.: Restart, 2009. – 530 p.
2. The spatial organization of transportation and mobility [Electronic resource]
<https://transportgeography.org/contents/chapter3/transportation-and-economic-development/transport-costs-prices-domestic-haul-unit-ed-states/>
3. Presentation of the Ministry of Transport of the Russian Federation "On the results of the activities of the Ministry of Transport of the Russian Federation for 2020, goals and objectives for 2021 and the planning period until 2023"
4. Satellite Industry Association, BryceTech "2021 State of the Satellite Industry Report"
5. Reusable rockets // I.I. Anureev, 1975
6. Space Logistics Markets, Euroconsult, 2020