

УДК 658.310.7

## Анализ эффективности периферийных пусковых услуг выведения полезных нагрузок малым разгонным блоком «БОТ»

### *Efficiency analysis of peripheral launch services using "BOT" small upper stage*

*В России в последнее время активно обсуждается формирование рынка частных космических услуг, который требует формирования методических и методологических подходов к коммерциализации космической деятельности и оценки ее эффективности. Данная методическая работа может быть осуществлена, если рассматривать частные космические услуги не изолированно, а как часть процесса создания нового для России внутреннего космического рынка с различными базовыми сегментами, такими, как сегмент услуг выведения космических аппаратов. В статье предлагается подход к оценке эффективности частных космических услуг выведения космических аппаратов на примере использования малого разгонного блока «БОТ», проект которого разработан в МГТУ им. Н.Э. Баумана. Представленная упрощенная схема оценки стоимости услуг, получаемых при эксплуатации малых разгонных блоков показывает, что подобный разгонный блок может быть эффективен как средство оказания периферийных пусковых услуг при выведении малых спутников как с использованием ракет-носителей, так и перспективной отечественной орбитальной станции РОСС.*

*The formation of private space services market has been actively discussed recently in Russia. It requires the methodological approaches formation to the space activities commercialization and assessment of its efficiency. This methodological approach can be realized if we consider private space services not in isolation, but as part of new Russian national space market creation process with various basic segments, such as the satellite launch services segment. The article suggests an effectiveness evaluation approach of private satellite launch space services by the way of example the small upper stage "BOT". "BOT" is the project developed at the Bauman Moscow State Technical University. A simplified scheme for the small upper stages services cost estimate is presented. It shows that such small upper stage can be effective as a peripheral launch service providing tool for the small satellites launch both using launch vehicles and the perspective national orbital station ROSS.*

**Ключевые слова:** космический рынок, экономическая эффективность, малый разгонный блок, космическая услуга, базовая услуга, периферийная услуга.

**Keywords:** space market, economical efficiency, cost efficiency, small upper stage, space service, core service, peripheral service.



**РЫЖИКОВА  
ТАМАРА НИКОЛАЕВНА**

д.э.н., профессор, профессор кафедры экономики и организации производства МГТУ им. Н.Э. Баумана

**RYZHIKOVA  
TAMARA**

Professor, professor of Economics and Manufacturing Process Management Department, Bauman Moscow State Technical University, Doctor of Economics



**СТАРОЖУК ЕВГЕНИЙ АНДРЕЕВИЧ**

к.э.н., доцент, проректор по экономике и инновациям, заведующий кафедрой менеджмента МГТУ им. Н.Э. Баумана

**STAROZHUK EVGENY**

Assistant professor, Vice-Rector of Economics and innovations, head of the Management Department, Bauman Moscow State Technical University, Ph.D (Economics)



**ШАПОВАЛОВ  
АНАТОЛИЙ ВИТАЛЬЕВИЧ**

Аспирант кафедры аэрокосмических систем МГТУ им. Н.Э. Баумана

**SHAPOVALOV  
ANATOLII**

Ph.D student of Aerospace Systems Department, Bauman Moscow State Technical University



**ЩЕГЛОВ ГЕОРГИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ**

д.т.н., профессор, профессор кафедры аэрокосмических систем МГТУ им. Н.Э. Баумана

**SHCHEGLOV GEORGY**

Professor, professor of Aerospace Systems Department, Bauman Moscow State Technical University, Doctor of Sciences in Engineering

## Введение

Проектирование и изготовление объектов космической техники, имеющих длительный срок разработки, сопровождается значительными рисками неопределенности при оценке будущей стоимости изделий из-за высокой волатильности макроэкономических показателей и национальной валюты. Во всем мире организации-разработчики космической техники работают не по рыночным законам, а по правилам государственного регулирования данного вида деятельности. Важным вопросом научной полемики является поиск путей коммерциализации в ракетно-космической отрасли (РКО), направленных на преодоление зарегулированности данной сферы, которая препятствует развитию отрасли. Проблема данного исследования обусловлена во многом отсутствием понимания коммерциализации в РКО.

Вопросы коммерциализации лежат за пределами сегментов РКО, в тех сегментах, где получают услуги с помощью ракетно-космической техники. В России деятельность Государственной корпорации по космической деятельности «Роскосмос» долгое время была ограничена созданием ракетно-космической техники и очень дозированно включала в себя как космические услуги, так и коммерциализацию своей деятельности. Сегодня, видимо пришло осознание их необходимости. Деятельность Роскосмоса будет направлена на обеспечение российской экономики наиболее востребованными космическими услугами навигации, связи и передачи данных, метео-, геодезической информации [1], то есть на расширение рынка сервисных космических услуг. Однако до создания полноценной вертикально-интегрированной цепочки еще далеко, но шаги эти предстоит

пройти для того, чтобы обеспечить коммерциализацию вновь создаваемых образцов техники. Стратегический дизайн бизнеса в сфере РКО должен привести к созданию инклюзивной системы, которая бы учитывала всех участников, от поставщиков до клиентов, создавая сервис, который будет сосредоточен вокруг пользователя, что должно позволить оценить востребованность бизнеса и его эффективность [2].

Все это требует адаптации коммерческих подходов к ценообразованию и экономической эффективности в имеющихся условиях. Исходя из генезиса определенных «эффективности» и ее применимости в РКО, напрашивается вывод, что это совокупность теоретических, методологических, организационно-методических и мультиотраслевых аспектов, направленных на решение научных задач в условиях ограничения ресурсов, неопределенности и динамики сопредельных рынков. А следовательно, чтобы ее решить, необходимо отойти от традиционных взглядов на данную проблему.

Поиск новых подходов к расчету экономической эффективности на космическом рынке, является востребованным на современном этапе, тем более что руководство РКО заявляет о необходимости привлечения частных инвесторов [3]. Однако здесь имеется в виду создание малых КБ, а понимание коммерциализации в РКО касается создания рынка космических услуг. Имеющийся научный задел в рассматриваемой

области исследования оставляет неизученными вопросы экономической эффективности объектов в РКО.

Понятие «экономическая эффективность» характеризует общую или удельную (в расчете на единицу затрат или ресурсов) эффективность деятельности предприятия или объекта за определенный промежуток времени [4]. Стандартные методы оценки эффективности инвестиций [5-9] имеют ограничения в РКО, так как горизонт таких расчетов очень длительный, до нескольких десятилетий, и, следовательно, он минимизирует будущие денежные потоки в процессе дисконтирования.

Одним из возможных путей коммерциализации в РКО является поиск новых видов услуг и сервисов. Примером инновации в данной области является произошедшее разделение единой ранее пусковой услуги для малых КА на две различные услуги, как показано на рис. 1.

Базовая пусковая услуга включает в себя выведение космического аппарата на опорную орбиту, например путем кластерного пуска или путем доставки аппарата на орбитальную станцию.

Периферийная пусковая услуга включает в себя формирование индивидуальных параметров орбиты космического аппарата путем использования специализированного малого разгонного блока. В англоязычной литературе для подобной услуги часто используется термин «кастомизация орбиты».

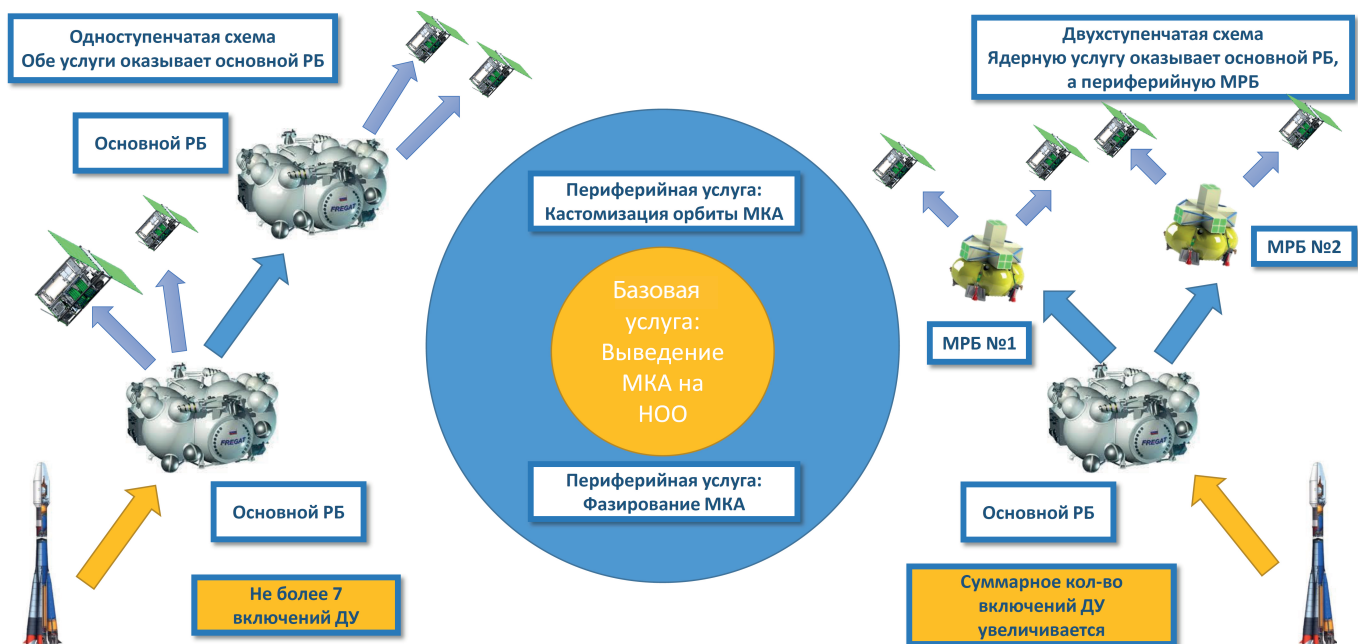


Рис. 1. Схема разделения услуги выведения на МРБ «БОТ» (составлено авторами по результатам исследования)

Комплекс из двух описанных выше услуг может быть оказан как одной фирмой-исполнителем, так и различными фирмами. Например, фирма SpaceX оказывает как базовые услуги кластерного выведения на РН Falcon 9, так и услуги кастомизации орбит с использованием МРБ Sherpa [10]. Другим примером является фирма D-Orbit, оказывающая на базе ядерной услуги SpaceX периферийные услуги при помощи МРБ ION Satellite Carrier [11]. При этом фирме, предоставляющей базовые пусковые услуги с помощью многоразовых ракет носителей большой грузоподъемности, оказывается выгодно передавать периферийные пусковые услуги на аутсорсинг. Этим может быть объяснен резкий рост числа проектов малых разгонных блоков. Помимо двух описанных выше, в настоящее время за рубежом успешно реализуется еще как минимум шесть проектов МРБ: Photon [12], Vigoride [13], Reliant [14], Spacevan [15], Orbiter [16], IOSHEXA [17].

Техническая эффективность МРБ определяется, очевидно, эффективностью многоступенчатой ракетной системы по сравнению с одноступенчатой. Более тяжелый разгонный блок, выполняющий функции первой ступени, выводит кластер малых разгонных блоков с полезными нагрузками на опорную орбиту выполняя энергетически затратные маневры, например поворот плоскости орбиты (см. рис.1). А малые разгонные блоки, выполняют функции второй ступени формируя целевые индивидуальные орбиты спутников (см. рис.1). Использование множества МРБ в одном пуске многоразовой ракеты-носителя типа Falcon-9 позволит в ближайшие годы выводить и формировать в течение нескольких часов орбитальную группировку

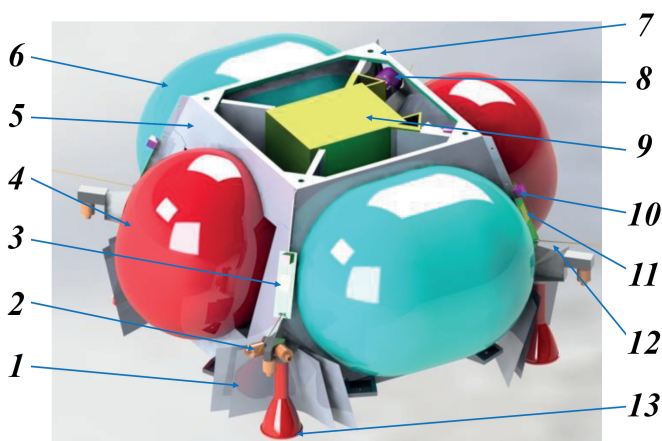
из 200 малых спутников, что существенно повысит возможности США по оперативному развертыванию мегагруппировок (созвездий) спутников любого назначения.

Разработка отечественного МРБ для оказания периферийных пусковых услуг является в таких условиях актуальной задачей российской коммерческой космонавтики. В рамках проектов Национальной Технологической инициативы АНО «АЭРОНЕТ» организовало и успешно провело конкурсы инженерных записок и аванпроектов МРБ [18]. Одним из победителей конкурса стал проект МРБ «БОТ», разработанный в МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Целью настоящей статьи является анализ экономической эффективности данного МРБ. Основными задачами исследования является анализ цены МРБ и периферийной пусковой услуги в сегменте пусковых услуг ракет-носителей и в сегменте услуг перспективной орбитальной станции РОСС.

#### Описание МРБ «БОТ»

Малый разгонный блок «БОТ» (аббревиатура от «Бауманский орбитальный тягач») предназначен для оказания услуги по доставке малых и сверхмалых космических аппаратов в заданную область околоземного космического пространства. МРБ «БОТ» может использоваться в качестве третьей (апогейной) ступени или разгонного блока ракеты-носителя (РН) сверхлегкого класса (в том числе конверсионной твердотопливной РН); в качестве дополнительного космического буксира для оказания периферийной услуги кастомизации параметров орбиты при кластерном запуске большой группировки спутников РН и РБ среднего/тяжелого



- |  |   |
|--|---|
| 1 – тепловой экран   | 7 – шпангоут стыка с полезной нагрузкой |
| 2 – реактивный двигатель системы ориентации на холодном газе | 8 – звездный датчик                     |
| 3 – блок антенн  | 9 – агрегатный отсек                    |
| 4 – баллон с метаном   | 10 – антенна АПСН                       |
| 5 – корпус   | 11 – антенна УКВ                        |
| 6 – баллон с кислородом                                      | 12 – маршевый реактивный двигатель      |

Рис. 2. Компонентная схема МРБ «БОТ» (составлено авторами по результатам исследования)

класса (см. рис. 1). Таким образом МРБ «БОТ» решает проблему несоразмерности новых малых и сверхмалых КА и существующих средств выведения. Кроме этого, МРБ может использоваться как буксир в составе перспективной Российской орбитальной служебной станции РОСС.

Компоновочная схема МРБ «БОТ», разработанная на кафедре аэрокосмических систем МГТУ им. Н.Э. Баумана, показана на рис. 2. Аппарат состоит из корпуса; блока бортового оборудования, размещенного внутри корпуса; цилиндрических баллонов высокого давления с газообразным горючим и окислителем, размещенных диаметрально симметрично снаружи на стенках корпуса в ложементх и закрепленных лентами; четырех двигательных модулей, соединенных с корпусом. Для обеспечения теплового режима корпус блока снаружи закрыт слоем экранно-вакуумной теплоизоляции (на рис. 2 не показана).

МРБ «БОТ» осуществляет многоимпульсный компланарный перелет полезной нагрузки массой до 150 кг с околоземной круговой орбиты высотой 500 км на круговую орбиту высотой 800 ... 1500 км.

Основные технические характеристики МРБ «БОТ»:

- Габариты: диаметр 1200 мм высота 470 мм
- Масса сухая: 40..60 кг
- Масса стартовая: 60...110 кг
- Масса полезной нагрузки: до 150 кг
- Запас характеристической скорости: 160 ... 500 м/с

• Суммарная тяга маршевой двигательной установки: 200 Н

• Компоненты топлива: кислород-метан (газообразные)

МРБ «БОТ» предназначен для импортазамещения конкурирующих, описанных во введении МРБ, которые сегодня активно эксплуатируются и аналоги которых в РФ в настоящее время отсутствуют. Его основным преимуществом является малая себестоимость, которая достигается за счет использования рациональных технологий с высоким TRL 5...9:

• бортовой аппаратуры наноспутников «Ярило», разработанных в Молодежном космическом центре МГТУ им. Н.Э. Баумана, построенных в форм-факторе CubeSat на базе ЭКВ Industrial, проверенных в летном эксперименте;

• двигателей на газообразных компонентах топлива, разработанных на кафедре ракетных двигате-

лей МГТУ им. Н.Э. Баумана, применение которых существенно упрощает конструкцию двигательной установки и системы управления;

• модульной конструкции, позволяющей адаптировать МРБ к нуждам конкретных заказчиков.

В настоящий момент сформирована кооперация, которая закрывает 80% работ по МРБ. В нее входят 8 подразделений МГТУ им. Баумана и 4 сторонних предприятия. АО «ВПК «НПО Машиностроения» является индустриальным партнером проекта.

### Анализ экономической эффективности малого разгонного блока

МРБ представляет собой средство межорбитального маневрирования, технические возможности которого позволяют образовать следующие сегменты рынка услуг:

1. Сегмент пусковых услуг, включающий услуги выведения на орбиту при помощи сверхлегкой РН (СЛРН) в качестве разгонного блока или апогейной ступени, а также услуги кастомизации орбиты и фазирования ПН для РБ среднего класса.

2. Сегмент услуг пилотируемой орбитальной станции, включая услуги запуска спутников с ее борта, услуги по выполнению экспериментов вне станции, услуги поддержки внекорабельной деятельности, включая инспекцию, транспортировку грузов, аварийное спасение экипажа и оборудования, услугу по борьбе с опасными фрагментами космического мусора, угрожающими работе станции [19].

3. Сегмент сервисных услуг, включая услуги орбитальной платформы для полезных грузов, услуги межорбитального маневрирования и коррекции орбит, услуги компенсации торможения КА под действием остаточной атмосферы, услуги по инспекции и обслуживанию КА, услуги по борьбе с космическим мусором [20].

Для понимания возможностей коммерциализации необходимо представлять себе потребность в вышеперечисленных услугах в общей системе РКО. Рассмотрим сервис предоставления информации, полученной космическими средствами (например информации ДЗЗ) [21, 22].

Цепочка создания ценности информации, поставляемой со спутников включает:

• средства выведения: ракеты-носители (РН) и разгонные блоки (РБ);

• космические аппараты, как источник ценной информации;

- операторов космических средств;
- дистрибьюторов информации
- покупателей и пользователей информации;
- рынок информации.

В этом списке получатели информации не относятся к РКО. В подобной схеме оценка экономической эффективности МРБ сильно затруднена.

Получить услуги для космического рынка можно при формировании некоторого технологического Суперсервиса, целью которого является обслуживание космического сегмента рассмотренного выше информационного сервиса. Суперсервис оказывается постоянно востребован только при значительном числе спутников в космическом сегменте. Для сравнения - один спутник ДЗЗ не требует Суперсервиса. Запуск и эксплуатация такого КА - это разовое событие, разовая услуга, разовая продажа. Она очень рискованная для РКО, которая выполняет роль ее поставщика. Преждевременный выход спутника из строя приведет к тому, что поставщик будет терпеть серьезные убытки. По этой причине затраты времени и средств на создание высоконадежного аппарата с длительным сроком службы оказываются весьма существенными. Для орбитального сегмента, состоящего из небольшого количества спутников каждое восполнение группы - это, по сути, запуск одиночного спутника. Следует отметить, что сегодня увеличение числа КА в группировке сопровождается уменьшением как их массы, стоимости, времени разработки, так и одновременно располагаемой энергии, возможностей бортовой аппаратуры и надежности. Затраты на поддержание больших по численности группировок (так называемых созвездий) КА определяют рентабельность Суперсервиса. Услуги, востребованные в рамках «Суперсервиса информационного сервиса», полностью совпадают с услугами, которые может оказывать МРБ.

Для расширения рынка и увеличения вложений в данную сферу необходима стабилизация ценообразования. Фиксированная цена услуги позволит увеличить приток пользователей. Такая предсказуемая цена, с одной стороны даст покупателям возможность планирования бизнеса, а с другой стороны, создает риск для продавца. Высокие показатели прибыли даст такая стратегия маркетинга, которая обеспечит выполнение условия

$$C \cdot N_s^* > C \cdot N_s \quad (1)$$

где  $N_s^*$  - фактическое количество оказанных услуг,  $N_s$  - нормативная величина, на основании

которой рассчитана фиксированная цена.

Для определения фиксированной цены МРБ в качестве базового выберем единственный активный в настоящее время сегмент пусковых услуг.

Рассмотрим сценарии использования МРБ как второй ступени РБ среднего класса Фрегат. При этом базовую услугу оказывает основной РБ, а периферийную - МРБ.

Сценарий №1. МРБ с ПН отделяется от РБ Фрегат после выведения основной ПН на целевую орбиту и доставляет ПН на индивидуальную орбиту. За счет меньшей сухой массы МРБ при том же бюджете  $\Delta V$  можно вывести большую по массе попутную ПН.

Сценарий №2. При мегакластерном пуске Несколько МРБ отделяются от РБ Фрегат и независимо разводят и фазируют свои ПН по индивидуальным орбитам. Достигается большая точность и безопасность выведения.

Сценарий №3. РБ Фрегат осуществляет затратные с точки зрения бюджета  $\Delta V$  маневры, например, поворот плоскости орбиты. МРБ фазирует ПН в плоскости орбиты.

Сценарий №4. МРБ с ПН отделяется от РБ Фрегат после выведения на опорную орбиту и доставляет ПН на индивидуальную орбиту. За счет меньшей массы РБ Фрегат имеет больший бюджет  $\Delta V$  для доставки основной ПН.

Сценарий №5. РБ Фрегат осуществляет выведение основной ПН на высокоэллиптическую орбиту или ГСО МРБ осуществляет доразгон ПН к Луне.

#### Анализ цены в сегменте пусковых услуг

Цена периферийной пусковой услуги, оказываемой МРБ, выводимым на НОО при помощи РН и универсального РБ среднего класса может быть оценена из условия выгоды данной услуги по сравнению с базовой услугой выведения ПН на РН сверхлегкого класса. Полная стоимость услуги складывается из стоимости ядерной услуги

$$C_C = (C_{11} + C_{12})(1 + \eta_C) \quad (2)$$

включающей  $C_{11}$  - стоимость выведения МРБ и ПН на РН среднего класса,  $C_{12}$  - стоимость адаптации МРБ с ПН к РН и РБ среднего класса,  $\eta_C$  - норма прибыли для ядерной услуги и из стоимости периферийной услуги

$$C_P = C_{P0}(1 + \eta_P) \quad (3)$$

включающей  $\eta_P$  - норму прибыли для периферийной услуги,  $C_{P0}$  - себестоимость периферийной услуги

$$C_{P0} = C_{MUS}(1 + \beta_1 + \beta_2) \quad (4)$$

где  $C_{MUS}$  – стоимость МРБ,  $\beta_1$  – стоимость адаптации ПН к МРБ, отнесенная к  $C_{MUS}$ ,  $\beta_2$  – стоимость выведения ПН на МРБ, отнесенная к  $C_{MUS}$ . Удельная стоимость услуги выведения 1 кг ПН может быть определена как

$$s_0 = (C_C + C_P) / m_{PL} \quad (5)$$

Обозначим удельную стоимость ядерной услуги как  $s_C$ . Тогда стоимость ядерной услуги будет пропорциональна сумме масс МРБ и ПН:

$$C_C = s_C(m_{MUS} + m_{PL}) \quad (6)$$

Примем условие выгоды полной услуги по сравнению с ядерной услугой выведения ПН на РН сверхлегкого класса в виде выражения

$$s_0 = \mu s_{SLLV} \quad (7)$$

где  $\mu$  – коэффициент, который определяется из маркетинговых исследований.

Подставляя (7) и (6) в (5) найдем удельную стоимость периферийной услуги

$$s_P = C_P / m_{PL} = s_0 - (1 + \gamma)s_C \quad (8)$$

где  $\gamma = m_{MUS} / m_{PL}$  – относительная масса МРБ

С учетом (4) из (8) можно получить выражение удельной себестоимости

$$s_{P0} = C_{P0} / m_{PL} = (s_0 - (1 + \gamma)s_C) / (1 + \eta_P) \quad (9)$$

Из формулы (8) также следует условие существования периферийной услуги

$$\sigma = s_0 / s_C = (1 + \gamma) \quad (10)$$

Рассмотрим численный пример. Если принять массы  $m_{PL} = 150$  кг,  $m_{MUS} = 80$  кг, получим  $\gamma = 0,53$ . Следовательно, в соответствии с (10), должно выполняться условие  $\sigma > 1,53$ .

Максимальная масса ПН, выводимая РН Союз-26 на НОО составляет 8700 кг [23], масса РБ Фрегат 6280 кг [24]. Отсюда можно найти, что масса ПН, выводимая РБ Фрегат, составляет 2420 кг. Принимая стоимость пуска РН Союз с РБ Фрегат равной 48,5 млн. долл. США [25] получим удельную стоимость  $S_C = 48500 / 2420 = 20$  тыс. долл. США/кг. Удельную стоимость в литературе также часто оценивают отношением стоимости РН к ее полной грузоподъемности РН. Тогда, без учета РБ, получим  $S_C = 48500 / 8700 = 5,6$  тыс. долл. США/кг. Для РН сверхлегкого класса Electron удельная стоимость выведения ПН равна  $S_{SLLV} = 25$  тыс. долл. США/кг [26].

Таким образом, относительная удельная стоимость выведения на НОО лежит в диапазоне  $\sigma = (25/20) \dots (25/5,6) = 1,25 \dots 4,46$ . Видно, что нижняя граница этого диапазона меньше критической величины 1,53.

Примем допущение о том, что  $S_0 = S_{SLLV}$ , то есть

клиент готов оплачивать кастомизацию выведения МРБ по цене выведения на СЛРН. Тогда в выражении (7) коэффициент  $\mu$  равен единице. Отсюда для заданной  $s_{SLLV} = 25$  тыс. долл. США/кг можно найти критическую удельную стоимость базовой услуги из условия  $\sigma = 1,53$   $s_C = s_{SLLV} / \sigma = 25 / 1,53 = 16,3$  тыс. долл. США/кг

Назначим 15% норму прибыли для периферийной услуги, что даст  $(1 + \eta_P) = 1,15$ . Предположим, что  $s_{P0} = s_C$  и из (9) получим

$$s_{P0} = s_0 / (2 + \eta_P + \gamma) \quad (11)$$

максимальную удельную себестоимость  $s_{P0} = 9,33$  тыс. долл. США/кг. По формуле (9) это даст  $C_{P0} \approx 1400$  тыс. долл. США. Если предположить, что  $\beta_1 = \beta_2 = 0,25$ , то из (4) себестоимость МРБ получается равной  $C_{MUS} = 933$  тыс. долл. США. Окончательно стоимость периферийной услуги в приведенном примере будет равна по формуле (3)  $C_P \approx 1600$  тыс. долл. США, что позволяет оценить удельную стоимость периферийной услуги  $s_P = 10,7$  тыс. долл. США/кг.

Приведенный расчет носит оценочный характер, однако он показывает, что применимые технические решения и технология должны обеспечить себестоимость МРБ на уровне  $C_{MUS} = 1$  млн. долл. США. Фиксированную стоимость периферийной услуги выведения желательно установить на уровне  $C_P = 1,5$  млн. долл. США, что дает удельную себестоимость  $s_{P0} = 10$  тыс. долл. США/кг ПН, выводимой на МРБ. При заложенной в расчете норме 15% это даст прибыль с каждого пуска  $P = 225$  тыс. долл. США.

Если стоимость разработки МРБ оценить в 27,0 млн. долл. США (90% от стоимости проекта МРБ ION [27]), то при сроке окупаемости проекта в 18 лет и линейном законе окупаемости годовая прибыль, с учетом округления, составит 5,5 млн. долл. США/год. Отсюда для найденной выше фиксированной цены услуги нормативное значение годового объема пусков МРБ на РН среднего класса составит  $N_S = 7$  шт/год.

#### Анализ цены в сегменте услуг орбитальной станции

В случае создания на основе МРБ многоразового буксира для орбитальной станции РОСС цена одного пуска будет определяться степенью его многоразовости. Современные скафандры для выхода в открытый космос имеют ресурс, составляющий 20 выходов [28]. Назначим ресурс МРБ в половину меньшим и равным  $N_S = 10$  пускам.

Предполагая, что за период окупаемости проекта

в год будет совершаться 4 пуска МРБ с борта станции РОСС получим, что в период окупаемости проекта необходимо изготовить 2 МРБ, чтобы обеспечить необходимые 20 транспортных операций.

Рассматривая то же значение годовой прибыли, что и в предыдущем разделе получим, что необходимая для окупаемости Проекта прибыль от одного пуска должна составить  $P=5,5/4 \approx 1,4$  млн. долл. США.

Стоимость пусковой услуги определяется формулой:

$$C = P + C_T + C_F + C_M + (C_{MUS} + C_{ТО}) / N_s \quad (12)$$

где  $C_T$  – стоимость доставки ПН на станцию,  $C_F$  – стоимость доставки на станцию запаса топлива для МРБ,  $C_M$  – стоимость подготовки и проведения транспортной операции,  $C_{ТО}$  – стоимость доставки МРБ на станцию.

Предположим удельную стоимость доставки грузов на орбитальную станцию равной 0,025 млн. долл. США/кг (равной стоимости пуска на СЛРН). Примем массу сухого многоразового МРБ равной  $m_{MUS} = 80$  кг, и массу топлива  $m_F = 20$  кг. Пусть за счет обеспечения многоразовости себестоимость МРБ увеличилась в два раза  $C_{MUS} = 2$  млн. долл. США, а стоимость подготовки и проведения транспортной операции равна половине себестоимости МРБ  $C_M = 1$  млн. долл. США. Тогда для массы ПН  $m_{PL} = 150$  кг получим полную стоимость услуги  $C = 7,05$  млн. долл. США, а также удельную стоимость услуги 0,047 млн. долл. США/кг и норму прибыли Проекта на данном сегменте рынка 20%.

### Обсуждение результатов

Рассмотренные оценки ожидаемой нормы прибыли для различных сегментов показывают, что как в активном в настоящее время сегменте пусковых услуг, так и в перспективном сегменте услуг пилотируемой орбитальной станции можно обеспечить для МРБ норму прибыли, соответствующую общепринятым показателям в 15% ... 20%. Для оценки нормы прибыли в сегменте сервисных услуг, где МРБ может использо-

ваться в качестве агрегатного отсека для маневрирующих аппаратов, в настоящее время недостаточно данных. Однако можно предположить и в этом сегменте ожидаемую норму прибыли на уровне 15% ... 20%.

Приведенные оценки исходят из предположения, что при объеме доступных ПН в период эксплуатации МРБ позволит обеспечить 7..10 пусков в год. Найденные оценки требуют уточнения по результатам дополнительных маркетинговых исследований. Например, в расчетах было использовано допущение о единичности коэффициента  $\mu$  в формуле (7), которое определяется маркетингом периферийной услуги. Требуются дополнительные исследования диапазона значений коэффициента  $\mu$ . Особый интерес вызывает возможность изучения и продвижения периферийной услуги при которой клиент готов оплачивать индивидуализацию выведения МРБ по цене выше, чем цена выведения на СЛРН (случай, когда значение  $\mu > 1$ ).

### Заключение

Для обеспечения экономической эффективности МРБ цена оказываемой им услуги должна быть фиксированной и относительно низкой, но достаточной для осуществления развития. Это накладывает жесткие ограничения как на себестоимость МРБ, так и на стоимость адаптации ПН к МРБ и стоимость выведения ПН на МРБ.

Вообще, оценке экономической эффективности космической техники и, в частности, МРБ должны предшествовать целый ряд исследований, охватывающих как отдельные сегменты космического рынка, так рынок в целом, а также необходимые интеграционные процессы, возникающие в процессе появления новых сегментов.

В качестве направлений для дальнейших исследований можно выделить применение принципов стратегического дизайна космического бизнеса и методов математического моделирования, которые позволят обосновать выбор и оценку эффективности объектов РКО.



## Список литературы

1. Президент России. Рабочая встреча с главой Роскосмоса Юрием Борисовым. 26.07.2022, URL: <http://en.special.kremlin.ru/events/president/news>, (дата обращения 25.10.2022).
2. Бесеррил К., Оропеза Э. Стратегический дизайн для космического бизнеса: другой подход // Тр. 72-й Международный астронавтический конгресс (IAC), Дубай, Объединенные Арабские Эмираты, 25–29 октября 2021 г., IAC-21-E6.1.6.x65043, 8 стр.
3. Рогозин заявил, что частный капитал может прийти на предприятие «Роскосмоса» уже в 2021 году. ТАСС, 4.06.2021, URL [https://tass.ru/kosmos/11561883?utm\\_source=yxnews&utm\\_medium=desktop](https://tass.ru/kosmos/11561883?utm_source=yxnews&utm_medium=desktop), (дата обращения 25.10.2022)
4. Атаманчук Г.В. Управление: сущность, ценность, эффективность: уч. пособие для вузов // Академический проект. Культура. Москва, 2006. 600 с.
5. Кузнецова Е.В., Шаманаев А.А., Методики бизнес-планирования, Инновационная наука, 2017, №12, С.111-112. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodiki-biznes-planirovaniya> (дата обращения 25.10.2022).
6. Резяпова В.В., Кузнецова Е.В., Оценка финансовых рисков строительной организации ОАО «Трест №3» // Актуальные проблемы науки Материалы I Всероссийской научно-практической конференции ( с международным участием), Уфа, 2014, С. 61-63.
7. Муллатаиров Э.Р., Кузнецова Е.В. Экономическая целесообразность применения инновационных методов проведения ямочного ремонта автомобильной дороги // Аллея Науки. 4, №9. С. 514-517.
8. Арутюнова Д.В. Стратегический менеджмент. Изд-во ЮФУ. Таганрог, 2010. 122 с.
9. Советкин Ю.А., Щербина Д.В. Оценка технико-экономической эффективности разработки ракет-носителей с многоразовыми блоками первых ступеней // Вестник Самарского университета. Авиакосмическое и машиностроение, 2010, № 1 (21), С.91-96.
10. Джейсон А. Система вторичной полезной нагрузки для космических полетов (SSPS) и буксир SHERPA – новая бизнес-модель для вторичной и размещенной полезной нагрузки // Proc. 26-й ежегодной конференции AIAA/USU по малым спутникам, Логан, Юта, США, 13–16 августа 2012 г., номер документа SSC12-V-6, URL: <http://digitalcommons.usu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1049&context=smallsat> (дата обращения 25.10.2022)
11. D-орбита. URL: <https://www.dorbit.space>, (дата обращения 25.10.2022).
12. Ракетная лаборатория США. Руководство пользователя полезной нагрузки. ЗАПУСК.V6.6. URL: <https://www.rocketlabusa.com/assets/Uploads/Payload-User-Guide-LAUNCH-V6.6.pdf>, (дата обращения 25.10.2022).
13. Импульсное пространство. URL: <https://momentus.space/services/>, (дата обращения 25.10.2022).
14. Экзо-ланч. URL: <https://exolaunch.com/news-block-30.html> (дата обращения 25.10.2022)
15. Экзотрейл. URL: <https://www.exotrail.com> (дата обращения 25.10.2022)
16. ЛаунчерКосмос. URL: <https://www.launcherspace.com/orbiter> (дата обращения 25.10.2022)
17. Услуги по запуску SAB. URL: <https://www.sablaunchservices.com/> (дата обращения 25.10.2022)
18. Объявлены итоги первого конкурса концепций ракеты-носителя сверхлегкого класса и межорбитального малого разгонного блока, 12.04. 2021 г., URL:<https://old.sk.ru/news/b/press/archive/2021/04/12/obyavleny-itogi-pervogo-konkursa-koncepciy-raketynositelya-sverhlegkogo-klassa-i-mezhorbitalnogo-malogo-razgonnogo-bloka.aspx>, (дата обращения 25.10.2022).
19. Модули Российской орбитальной станции будут выводить при помощи «небольших буксирчиков», ТАСС, 25.01.2022, URL: <https://tass.ru/kosmos/13524405>, (дата обращения 25.10.2022).
20. Зеленцов В., Щеглов Г., Майорова В., Бюшкина Т. Эксплуатация космических аппаратов как решение проблемы космического мусора // Межд. Журнал машиностроения и технологии (JMЕТ), 2018, 9 (7), P.1503 – 1518 )
21. Рыжикова Т.Н., Князева Д.С., Агаларов З.С. Космический рынок: проблемы коммерциализации, тенденции развития, диверсификация // Материалы конференции АИП. 2021, Paper ID 2318 070012, 10 стр.
22. Боровский В.Г., Рыжикова Т.Н. Модернизация предприятий обрабатывающей промышленности России: подходы к проектированию // Исследования развития экономики России. 2015, 26(5), с.470-475.
23. Ракета-носитель "СОЮЗ-2"/Энергетические характеристики". Государственный научно-производственный ракетно-космический центр "Прогресс". URL: [https://en.samspace.ru/products/launch\\_vehicles/rn\\_soyuz\\_2/](https://en.samspace.ru/products/launch_vehicles/rn_soyuz_2/) (дата обращения 25.10.2022)

24. Разгонный блок «Фрегат». URL: <http://www.russianspaceweb.com/fregat.html>, (дата обращения 25.10.2022).
25. Российский поставщик пусковых услуг раскрывает стоимость запуска ракеты "Союз-2.1". ТАСС, 3.10.2018, URL: <https://tass.com/science/1024055>, (дата обращения 25.10.2022).
26. Rocket Lab, лидер в области малых запусков, становится публичной через SPAC с планами по созданию более крупной ракеты Neutron. 1 марта 2021 г., URL: <https://www.cnn.com/2021/03/01/rocket-lab-going-public-via-spac-with-neutron-rocket-expansion.html>, (дата обращения 25.10.2022 г.) .
27. Майкл Шитц Итальянская космическая компания D-Orbit станет публичной через SPAC с оценкой в 1,4 миллиарда долларов. 27 января 2022 г., URL: <https://www.cnn.com/2022/01/27/italian-space-company-d-orbit-going-public-via-nasdaq-spac.html>, (дата обращения 25.10.2022) .
28. Скафандр Орлан МКС. 2013, URL: [http://www.russianspaceweb.com/orlan\\_mks.html](http://www.russianspaceweb.com/orlan_mks.html), (дата обращения 25.10.2022).

### List of literature

1. President of Russia. Working meeting with head of Roscosmos Yury Borisov. 26.07.2022, URL: <http://en.special.kremlin.ru/events/president/news>, (дата обращения 25.10.2022).
2. Becerril K., Oropeza E. Strategic design for space business: a different approach // Proc. 72nd International Astronautical Congress (IAC), Dubai, United Arab Emirates, 25-29 October 2021, IAC-21-E6.1.6.x65043, 8 p.
3. Rogozin zayavil, chto chastnyj kapital mozhet prijti na predpriyatiya Roskosmosa uzhe v 2021 godu [Rogozin said that private capital could come to Roscosmos enterprises as early as 2021]. TASS, 4.06.2021, URL: [https://tass.ru/kosmos/11561883?utm\\_source=yxnews&utm\\_medium=desktop](https://tass.ru/kosmos/11561883?utm_source=yxnews&utm_medium=desktop) , (дата обращения 25.10.2022)
4. Atamanchuk G.V., Upravlenie: sushchnost', cennost', effektivnost': uch. posobie dlya vuzov [Management: essence, value, efficiency], Akademicheskij proekt. Kul'tura Publ. Moscow, 2006, 600 p.
5. Kuznecova E.V., Shamanaev A.A., Metodiki biznes-planirovaniya [Business planning techniques], Innovation science, 2017, №12, P.111-112. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodiki-biznes-planirovaniya> (дата обращения 25.10.2022).
6. Rezyapova V.V., Kuznecova E.V., Ocenka finansovyh riskov stroitel'noj organizacii OAO «Trest No3» [Assessment of financial risks of the construction company JSC "Trust No3"] // Aktual'nye problemy nauki Materialy I Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii (s mezhdunarodnym uchastiem), Ufa, 2014, P. 61-63.
7. Mullatairov E.R., Kuznecova E.V., Ekonomicheskaya celesoobraznost' primeneniya innovacionnyh metodov provedeniya yamochnogo remonta avtomobil'noj dorogi [The economic feasibility of using innovative methods of patching repair of the highway], Alley of Science., 2017, T. 4, №9. P. 514-517.
8. Arutyunova D.V., Strategicheskij menedzhment [Strategic management], SFedU Publ. Taganrog, 2010, 122 p.
9. Sovetkin Y.A., Shcherbina D.V., Ocenka tekhniko-ekonomicheskoy effektivnosti razrabotki raket-nositelej s mnogorazovymi blokami pervyh stupenej [Assessment of technical and economical efficiency of developing carrier rockets with first-stage reusable units], Vestnik of Samara University. Aerospace and Mechanical Engineering, 2010, № 1 (21), P.91-96.
10. Jason A. Spaceflight Secondary Payload System (SSPS) and SHERPA Tug - A New Business Model for Secondary and Hosted Payloads // Proc. of the 26th Annual AIAA/USU Conference on Small Satellites, Logan, Utah, USA, August 13-16, 2012, paper ID SSC12-V-6, URL: <http://digitalcommons.usu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1049&context=smallsat> (дата обращения 25.10.2022)
11. D-Orbit. URL: <https://www.dorbit.space>, (дата обращения 25.10.2022).
12. RocketLab USA. Payload User Guide. LAUNCH.V6.6. URL: <https://www.rocketlabusa.com/assets/Uploads/Payload-User-Guide-LAUNCH-V6.6.pdf>, (дата обращения 25.10.2022).
13. Momentus Space. URL: <https://momentus.space/services/>, (дата обращения 25.10.2022).
14. Exolaunch. URL: <https://exolaunch.com/news-block-30.html> (дата обращения 25.10.2022)
15. Exotrail. URL: <https://www.exotrail.com> (дата обращения 25.10.2022)
16. LauncherSpace. URL: <https://www.launcherspace.com/orbiter> (дата обращения 25.10.2022)

17. SAB launchservices. URL: <https://www.sablaunchservices.com/> (дата обращения 25.10.2022)
18. Ob"yavleny itogi pervogo konkursa koncepcij rakety-nositelya sverhlegkogo klassa i mezhorbital'nogo malogo razgonnogo bloka [The results of the first competition for the concepts of an ultralight class launch vehicle and an interorbital small upper stage have been announced], 12.04.2021, URL: <https://old.sk.ru/news/b/press/archive/2021/04/12/obyavleny-itogi-pervogo-konkursa-koncepciy-rakety-nositelya-sverhlegkogo-klassa-i-mezhorbitalnogo-malogo-razgonnogo-bloka.aspx>, (дата обращения 25.10.2022).
19. Moduli Rossijskoj orbital'noj stancii budut vyvodit' pri pomoshchi «nebol'shih buksirchikov» [Modules of the Russian orbital station will be taken out using "small spacetugs"], TASS, 25.01.2022, URL: <https://tass.ru/kosmos/13524405>, (дата обращения 25.10.2022).
20. Zelentsov V., Shcheglov G., Mayorova V., Biushkina T. Spacecrafts Service Operations as a Solution For Space Debris Problem, Int. J. of Mechanical Engineering and Technology (IJMET), 2018, 9 (7), P.1503 – 1518
21. Ryzhikova T.N., Knyazeva D.S., Agalarov Z.S. Space market: Problems of commercialization, development trends, diversification // AIP Conference Proceedings. 2021, Paper ID 2318 070012, 10 p.
22. Borovskii V.G., Ryzhikova T.N. Upgrading plants in the processing industry in Russia: Approaches to design // Studies on Russian Economic Development. 2015, 26(5), P.470-475.
23. SOYUZ-2 Launch Vehicle/Power Characteristics". Progress State Research and Production Rocket Space Center. URL: [https://en.samspace.ru/products/launch\\_vehicles/rn\\_soyuz\\_2/](https://en.samspace.ru/products/launch_vehicles/rn_soyuz_2/) (дата обращения 25.10.2022)
24. Fregat Upper Stage. URL: <http://www.russianspaceweb.com/fregat.html>, (дата обращения 25.10.2022).
25. Russian launch service provider reveals cost of Soyuz-2.1 rocket launch. TASS, 3.10.2018, URL: <https://tass.com/science/1024055>, (дата обращения 25.10.2022).
26. Small-launch leader Rocket Lab going public via a SPAC, with plans for bigger Neutron rocket. 1 March 2021, URL: <https://www.cnbc.com/2021/03/01/rocket-lab-going-public-via-spac-with-neutron-rocket-expansion.html>, (дата обращения 25.10.2022).
27. Michael Sheetz Italian space company D-Orbit to go public via SPAC at a \$1.4 billion valuation. 27 January 2022, URL: <https://www.cnbc.com/2022/01/27/italian-space-company-d-orbit-going-public-via-nasdaq-spac.html>, (дата обращения 25.10.2022).
28. Orlan MKS spacesuit. 2013, URL: [http://www.russianspaceweb.com/orlan\\_mks.html](http://www.russianspaceweb.com/orlan_mks.html), (дата обращения 25.10.2022).