

---

---

ОТРАСЛЕВЫЕ ПРОБЛЕМЫ

---

---

**Поиск путей эффективного использования малых межорбитальных аппаратов  
в процессе коммерциализации космической деятельности**

© 2025 г. Т.Н. Рыжикова, Г.А. Щеглов

**Т.Н. Рыжикова,**

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Москва;*  
*e-mail: tnr411@yandex.ru*

**Г.А. Щеглов,**

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Москва;*  
*e-mail: shcheglov\_ga@bmstu.ru*

Поступила в редакцию 02.04.2024

*Работа выполнена в рамках реализации программы развития передовой инженерной школы «Системная инженерия ракетно-космической техники» МГТУ им. Н.Э. Баумана».*

**Аннотация.** В статье рассматривается проблема оценки рынка космических аппаратов на примере малых межорбитальных аппаратов (малых космических буксиров). Целью статьи является анализ путей развития коммерческого сегмента рынка космических услуг, связанных с появлением новой космической техники, совершенствованием космических технологий, необходимостью освоения дальнего космоса и проблемами привлечения средств частных инвесторов. Методом исследования процесса оценки рынка малых межорбитальных космических аппаратов выступает последовательный анализ его структуры, сегментов и условий использования, являющихся необходимой базой для исследования. Анализ рынка нового вида малых межорбитальных аппаратов, используемый в авторском исследовании, основывается на углубленном анализе различных подходов, используемых в экономике космической деятельности, что также позволяет в наглядном виде представить результаты полученных данных. В статье рассмотрена как практическая, так и теоретическая изученность проблемы. Предлагается подход к обеспечению последовательности процесса оценки и анализа рынка малых межорбитальных космических аппаратов на примере малых космических буксиров. Именно с этим конечным коммерческим сегментом связаны основные тенденции развития космических технологий. Проведен анализ структуры, выделены и обоснованы подходы к оценке емкости сегмента космических буксиров с учетом особенностей космического рынка, поиска инвестиционной привлекательности и продления жизни космических аппаратов на орбите. Услуги, оказываемые малыми космическими буксирами, могут быть разделены на две группы: с коротким и пролонгированным жизненным циклом. А затраты на такие услуги могут учитываться в зависимости от жизненного цикла изделий и продолжительности работы в космосе.

**Ключевые слова:** экономика космической деятельности, коммерческие космические услуги, малый межорбитальный аппарат (малый космический буксир).

**Классификация JEL:** M11, D81, G32, M21, M49.

**УДК:** 338.22.021.1.

Для цитирования: **Рыжикова Т.Н., Щеглов Г.А.** (2025). Поиск путей эффективного использования малых межорбитальных аппаратов в процессе коммерциализации космической деятельности // *Экономика и математические методы*. Т. 61. № 1. С. 56–69. DOI: 10.31857/S0424738825010067

## ВВЕДЕНИЕ

Экономика космической деятельности играет важную роль в развитии технологий, создании новых источников дохода и стратегическом развитии стран. Эта отрасль экономики предоставляет возможности для научных исследований, коммерческой деятельности и изучения Вселенной, открывая новые перспективы и преодолевая вызовы, стоящие перед человечеством (Макаров, Симонов, Хрусталёв, 2015; Макаров, Хрусталёв Е., Хрусталёв О., 2015).

Развитие многоспутниковых орбитальных систем (так называемых *созвездий спутников*), их мобильность и сопутствующие услуги, по мнению исследователей, требует развития шести **рынков услуг**:

1) **пусковых** (Launch Service) — для выведения космических аппаратов с Земли в околоземное пространство;

2) **транспортных**, обеспечивающих так называемую логистику последней мили (Last Mile Logistics), которая должна обеспечить перемещение космических аппаратов с помощью межорбитальных транспортных средств — космических буксиров;

3) **сервисных** (On-Orbit Servicing), обеспечивающих проведение инспекций, технического обслуживания, ремонта, дозаправки и других подобных операций, направленных на продление срока службы космических аппаратов. Сложная конкурентная среда, а также недостоверная рентабельность замедляют развитие рынка, тем более что этот рынок находится в начале своего развития;

4) **активного удаления космического мусора** (Active Debris Removal) с помощью специализированных спутников-утилизаторов, обеспечивающих предотвращение техногенного засорения орбитального ресурса. Данные услуги включают как увод на орбиты захоронения крупных объектов космического мусора (исчерпавших ресурс верхних ступеней ракет-носителей, разгонных блоков, спутников), так и очистку важных орбит от фрагментов космического мусора различной величины;

5) **орбитального производства и сборки** (On-Orbit Assembly and Manufacturing), обеспечивающих создание активов или товаров в условиях вакуума, микрогравитации и других факторов космического полета, а также создание и испытания в космосе конструкций, которые не могут быть запущены с Земли из-за ограничений, налагаемых размерами и формой грузовых отсеков в средствах выведения полезной нагрузки;

6) **контроля космического пространства** (Space Situational Awareness), обеспечивающего предоставление информации о параметрах движения и функционирования космических объектов, которая может быть использована для планирования миссий и регулирования космического трафика.

Однако воплощение этих перспектив стоит довольно дорого, а частные инвестиции требуют обоснования и отдачи. В то же время расчет эффективности таких инвестиций бывает не просто затруднен, но просто невозможен на начальном этапе их разработки.

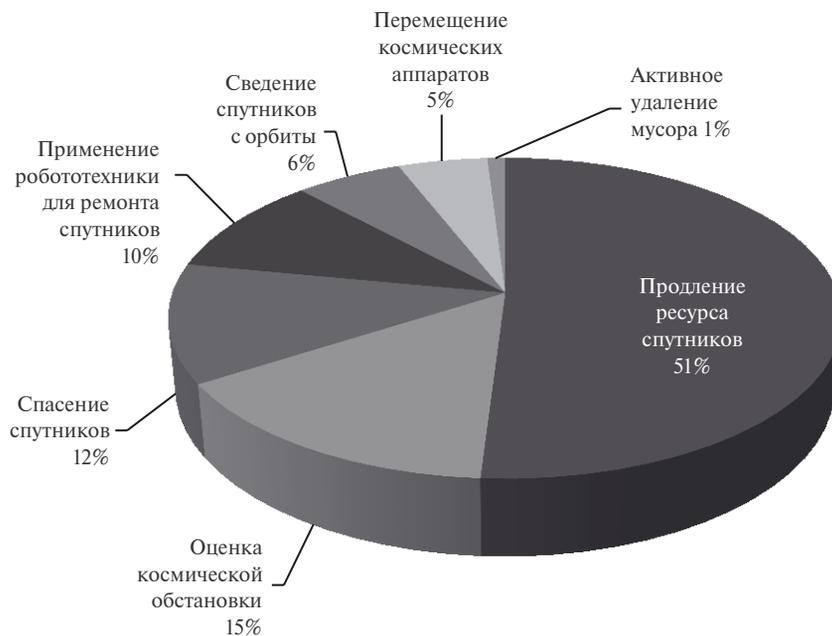
По критерию эффективности направления космической экономики можно выделить: фундаментальные космические исследования; проекты, связанные с созданием космической инфраструктуры; проекты, связанные с безопасностью государства; проекты, связанные с поддержанием престижа страны; коммерческие проекты. Каждое из этих направлений предполагает свое экономическое обоснование и поиск адекватных экономических и неэкономических эффектов, которые могут рассматриваться как обязательные (сущностные) при принятии решений.

Кроме того, космическая деятельность способствует развитию других отраслей экономики или даже их созданию. Например, существует рынок специального оборудования и технологий для производства космических аппаратов и спутников. Исследования и разработки в области космической технологии могут привести к новым научным открытиям и технологическим инновациям, которые могут быть применены в других отраслях экономики или видах экономической деятельности.

## РЫНОК КОСМИЧЕСКИХ УСЛУГ — ОСНОВА КОММЕРЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

Одним из преобладающих экономических аспектов космической деятельности является коммерческое направление, при котором спутники используются для различных целей, в основном для получения и передачи информации, включая различные виды связи, навигацию, дистанционное зондирование Земли (картографирование, прогнозирования погоды и т.п.), а также научные исследования. Коммерческие компании могут предлагать подобные информационные услуги, что создает для них новые источники дохода. Вместе с тем приходится учитывать затраты на выведение новых спутников и замену отработавших свой ресурс или прекративших существование по другим причинам. В первом издании Euroconsult «Рынки космической логистики» (май, 2022)<sup>1</sup> прогнозируется, что к 2031 г. спрос на орбитальные услуги, которые будут сформулированы как *космическая логистическая*

<sup>1</sup> <https://www.euroconsult-ec.com/market-intelligence/>



**Рис. 1.** Оценка совокупного дохода по типу космических услуг

Источники: Катькалов, Морозова, 2022; In-Orbit Servicing ..., 2022.

экосистема — от запуска спутника до завершения его эксплуатации — составит 4,4 млрд долл. Оценка совокупного мирового дохода рынка космических услуг на этот период в процентном соотношении (по типу услуг) представлена на рис. 1 (Катькалов, Морозова, 2022).

Из представленной диаграммы видно, что наибольшее значение имеют *услуги продления ресурса*. При этом активное *удаление мусора* составляет, по данным (Катькалов, Морозова, 2022), всего 1%, хотя многие специалисты называют эту проблему важнейшей в силу опасности возникновения так называемого *каскадного эффекта фрагментации мусора*. Почему возникает противоречие между значимостью проблемы и долей в совокупном доходе? В соответствии с п. 1 ст. 130 ГК РФ, космические объекты относятся к движимому имуществу, хотя до недавнего времени относились к недвижимому. Изменения в ст. 130 ГК РФ были вызваны тем, что на тот момент сложно решаемой проблемой была государственная *регистрация прав на космические объекты* на законодательном уровне. Изменения дали положительный эффект в плане регулирования космической сферы. Ранее «все космические объекты относились к недвижимому имуществу, что порождало ряд трудностей касательно вопроса регистрации имущественных прав на них. В настоящее время эти объекты относятся к движимому имуществу, в связи с чем инвестируются огромные средства в ракетно-космическое направление деятельности, тем самым упрощая процедуру оборота этих объектов» (Макаров, Хрусталёв Е., Хрусталёв О., 2015). Казалось бы, вопросы собственности сняты. Однако возникает вопрос, кто должен платить за уборку мусора. Тот, кому он мешает, или тот, кто является владельцем этого мусора?

Из-за подобных нерешенных вопросов рынок космической техники и услуг недостаточно структурирован и финансово обоснован, несмотря на его довольно длительное существование. Любой рынок нуждается в структурировании, особенно когда появляются новые образцы техники и услуг. Это связано с необходимостью оценки его емкости (или, говоря техническим языком, потребности в данной технике и услугах), его сегментирования, понимания требований потребителя каждого сегмента и затрат на решения.

В настоящее время прогресс в технологиях (прежде всего в микроэлектронике) привел к тому, что масса единичного космического аппарата существенно уменьшилась. При этом за последнее десятилетие число эксплуатируемых на орбите Земли малых спутников и сверхмалых спутников начало стремительно расти. Многие из них выводятся в космос в качестве *попутной нагрузки* и не имеют собственных возможностей для перехода на целевую орбиту.

Таблица 1. Миссии «Transporter SpaceX» 2021–2024 гг.

Дата старта миссии	Номер пуска	Число единиц груза	Примерная масса	Средняя масса	Цена 1 кг полезной нагрузки, тыс. долл.	Примерный доход SpaceX, млн долл.
24 января 2021	Transporter-1	133	5000	37,59	5,0	25,0
30 июня 2021	Transporter-2	88	2431	27,63	5,0	12,155
13 января 2022	Transporter-3	105	883,2	8,41	5,0	4,416
1 апреля 2022	Transporter-4	40	1290	32,25	5,0	6,450
25 мая 2022	Transporter-5	59	1166,5	19,77	5,0	5,837
3 января 2023	Transporter-6	115	*	*	5,5	14,572**
15 апреля 2023	Transporter-7	51	*	*	5,5	6,462**
12 июня 2023	Transporter-8	72	*	*	5,5	9,123**
11 ноября 2023	Transporter-9	113	*	*	5,5	14,319**
4 марта 2024	Transporter-10	53	*	*	5,5	6,716**

**Примечание.** Число единиц и масса полезной нагрузки (ПН) взяты без учета спутников Starlink, которые часто запускаются с помощью Transporter. «\*» — нет данных; «\*\*» — данные вычислены с использованием среднего значения дохода на ед. груза за период 2021–2022 гг.

Насущной потребностью для большой группы потребителей являлась доставка *малой полезной нагрузки* на орбиты за приемлемые деньги. Удовлетворение этой потребности сегодня осуществляется компанией SpaceX, создавшей один из наиболее известных и доступных способов доставки малых грузов на орбиту — программу SmallSat Rideshare Program (название может быть переведено как «Совместный запуск малых спутников»). Эта программа реализуется в специализированных кластерных пусках серии «Transporter» многоразовой ракеты-носителя «Falcon 9». Программа совместного использования многоразового носителя предоставляет операторам небольших спутников возможность регулярно выводить на солнечно-синхронные орбиты полезные нагрузки массой до 50 кг, удовлетворяющие стандарту EELV Secondary Payload Adapter (адаптер вторичной полезной нагрузки усовершенствованной одноразовой ракетой-носителем типа EELV) для конструкций крепления множества малых спутников к большой ракете-носителю. Эта информация представлена на сайте SpaceX<sup>2</sup>, где потенциальный клиент может приобрести место на одном из ближайших будущих пусков (табл. 1).

Из данных в табл. 1 следует, что одновременно, во время проводимых миссий, были запущены от 40 до 133 малых спутников с суммарной полезной нагрузкой до 5000 кг. Благодаря миссиям «Transporter SpaceX» снижает свои предельные (переменные) издержки на доставку своих спутников на орбиту. Во время первой миссии, сверх указанных цифр, было выведено на орбиту 10 спутников «Starlink». Основными конкурентными преимуществами данных миссий можно выделить следующие:

- 1) фиксированная цена за 1 кг ПН (с 2024 г. — 6000 долл.);
- 2) короткое время ожидания и возможность выбора даты миссии (миссии единого входа примерно каждые четыре месяца);
- 3) большой разброс массы единичного полезного груза в одном пуске — от 0,25 до 150 кг (хотя заявлено — до 50 кг).

Ценовая структура «Transporter» отражает структуру SpaceX и ее готовность в значительной мере полагаться на брокеров для наполнения орбитальных блоков данных миссий (49% собственных спутников, 43% сторонних спутников, которые обеспечены брокерами (Катькалов, Морозова, 2022)), поскольку работа с каждым клиентом добавляет сложности при формировании орбитального блока. Цены на «Transporter» начинаются с 1,1 млн долл. за 200 кг с дополнительными 6,0 тыс. долл. (с января 2024 г.) за добавленный килограмм. В таком случае экономика выглядит весьма неудовлетворительно: скорость запуска превышает скорость заполнения портфеля заказов.

<sup>2</sup> <https://www.spacex.com/rideshare/>

Масса полезной нагрузки первого запуска составляла примерно 5000 кг, а третьего — менее 900 кг. Также можно заметить существенный разброс в числе космических аппаратов, выводимых одним пуском — приблизительно  $85 \pm 45$  единиц.

Приведенные выше данные показывают актуальное противоречие между выгодой от использования малых спутников и выгодой от их группового выведения на ракете-носителе среднего класса. Такое противоречие порождает проблему несоответствия средств выведения и полезных грузов для них, следствием которой являются трудности формирования индивидуальных орбит аппаратов в кластерном пуске, а также угрозы столкновений при отделении от ракеты множества спутников на одной орбите и пр. Таким образом, заказчик получает дешевую, но недостаточно полно удовлетворяющую его потребности пусковую услугу.

Указанная проблема породила несколько стартапов, начавших разрабатывать новые средства выведения, которые могли бы объединять ряд услуг — доставки, фазирования и т.д. для малых искусственных спутников: сверхлегких ракет-носителей и малых космических буксиров (межорбитальных аппаратов). Эти транспортные средства составляют элементы *инфраструктуры космической логистики*, формирование которой является одной из самых молодых *инвестиционных областей*. В космическую логистику за последние пять лет было привлечено 732 млн долл.

Космический аппарат для выведения малой полезной нагрузки на целевую орбиту — малый космический буксир — в контексте космических услуг может служить как отдельным компонентом ракеты-носителя, так и комплекующим в составе сложных аэрокосмических систем. Буксир оснащен собственным двигателем и системой управления, что позволяет ему осуществлять межорбитальное маневрирование, с достаточной точностью формируя параметры орбиты для малого спутника, являющегося его полезной нагрузкой.

Преимущества использования буксиров в космосе дает возможность выполнять запуски нескольких объектов на разные орбиты в рамках одного полета, что повышает гибкость миссий, позволяет индивидуализировать (кастомизировать) орбиту отдельных аппаратов при кластерном пуске, обеспечить безопасность отделения множества спутников от носителя за счет их быстрого увода с общей орбиты.

Различные космические агентства и частные космические компании могут использовать подобные транспортные средства в своих ракетных запусках для оптимизации миссий и повышения эффективности использования космического пространства.

Наиболее значимым конкурентом среди производителей малых космических буксиров является основанная итальянским предпринимателем Лукой Россеттини (Luca Rossetini) компания «D-Orbit»<sup>3</sup> — разработчик аппарата «ION Satellite Carrier», который за период с января 2021 г. по январь 2022 г. выполнил 14 успешных полетов (причем в миссии «Transporter-6» одновременно было использовано два буксира). В настоящее время фирма получает стабильную прибыль<sup>4</sup> — порядка 3–4 млн долл. в год, — но, однако, имея объем инвестиций порядка 25 млн долл., еще не достигла самоокупаемости и ищет пути привлечения средств<sup>5</sup>.

Другой компанией в этой сфере является «Momentus», основанная в США бывшим российским (а с последнего времени — швейцарским) предпринимателем Михаилом Кокоричем. В эксплуатации «Momentus» находится буксир «Vigoride». Он выполнил две демонстрационные миссии, первая из которых была частично неудачной, вторая — успешной, а также одну эксплуатационную миссию 15 апреля (частично успешную)<sup>6</sup>. Несмотря на удовлетворительные результаты испытаний, компания терпит бедствие из-за недостатка ликвидности, что может свидетельствовать либо о низкой технической эффективности данного транспортного средства, либо о сложности в реализации бизнес-модели в условиях недостаточно развитого спроса.

Однако бизнес-идея оказания *транспортных услуг последней мили*, несмотря на трудности, является привлекательной, о чем свидетельствуют многочисленные проекты малых космических

<sup>3</sup> <https://www.dorbit.space/>

<sup>4</sup> <https://spacenews.com/d-orbit-raises-110-million-to-expand-space-logistics-services/>

<sup>5</sup> [https://app.dealroom.co/companies/d\\_orbit](https://app.dealroom.co/companies/d_orbit)

<sup>6</sup> <https://spacenews.com/momentus-low-on-cash-delays-next-mission/>

буксиров, среди которых следует отметить SHERPA<sup>7</sup>, Orbiter<sup>8</sup>, Chimera LEO<sup>9</sup>, Exolaunch Reliant<sup>10</sup>, Exotrail<sup>11</sup>, SAB launchservices<sup>12</sup>. Отечественного аналога в настоящее время не существует, и его создание является актуальной задачей в контексте планов резкого увеличения производства в России малых спутников<sup>13</sup>.

Процесс ценообразования на коммерческом космическом рынке является результатом долгих обсуждений между поставщиком и клиентом. Предметом этих обсуждений являются такие критерии, как высота орбиты (запас характеристической скорости для выполнения маневров), надежность, дата пуска, точность доставки, фазирование, гарантии, страхование и др., на основании которых и формируется цена.

Структура ценового диапазона на пусковую услугу различается для разных видов околоземных орбит. Затраты на каждый конкретный запуск рассчитываются отдельно. Цены на коммерческие запуски на геостационарную орбиту сейчас колеблются от 7000 до 60 000 долл. за 1 кг полезной нагрузки. Дальность пуска отражает разницу в стоимости между средствами выведения из-за разной конструкции и стоимости. Разброс в стартовых ценах для низких околоземных орбит значительно шире: от 4000 до 90 000 долл. за 1 кг полезной нагрузки.

Тем не менее малые космические буксиры, на наш взгляд, являются перспективным видом космических аппаратов, поскольку имеется много возможностей их применения, в том числе в сфере космической логистики.

### ПУТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ БУКСИРОВ

Рассмотрение возможностей использования малых космических буксиров обеспечивает их потребность в сфере космических услуг. Данные аппараты могут иметь очень широкое применение. Их развитие проходит несколько этапов, как показано на рис. 2.

Потребители	ЭВОЛЮЦИЯ ПРОДУКТА	
Провайдеры пусковых услуг	Одноразовый разгонный блок для логистики последней мили (Last Mile Logistics)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Подтверждение надежности малого космического буксира</li> <li>• Увеличение производства малого космического аппарата</li> <li>• Формирование индивидуальных орбит, фазирование спутников</li> <li>• Замена малого космического аппарата в группировках</li> <li>• Увеличение энергетических возможностей за счет второй ступени разгонного блока</li> </ul>
Провайдеры пусковых услуг	Одноразовый разгонный блок для сверхлегких ракет-носителей	Нужна сверх-легкая ракета <ul style="list-style-type: none"> <li>• Третья ступень. Управляющий блок сверхлегких ракет-носителей</li> <li>• Увеличение энергетических возможностей сверхлегких ракет-носителей</li> </ul>
Провайдеры free fly услуг	Одноразовый разгонный блок как свободно летающая (free fly) платформа	Требуется повысить ресурс буксира <ul style="list-style-type: none"> <li>• Предоставление ресурсов для неотделяемой полезной нагрузки</li> <li>• Экономия на двойном использовании космического буксира</li> </ul>
Разработчики малых космических аппаратов	Энергодвигательный модуль малого спутника, буксир как элемент спутника	Требуется повысить ресурс буксира и внести незначительные изменения в его конструкцию <ul style="list-style-type: none"> <li>• Тормозная двигательная установка буксира с малым возвращаемым аппаратом</li> <li>• Двигательная установка спутника для коррекции орбиты</li> <li>• Двигательная установка маневрирующих спутников дистанционного зондирования земли – для обеспечения большей оперативности съемки</li> </ul>
Провайдеры сервисов обслуживания	Космическая платформа обслуживания в т.ч. многоразовая	Требуется повысить ресурс буксира и внести существенные изменения в его конструкцию <ul style="list-style-type: none"> <li>• Спутник техобслуживания и ремонта</li> <li>• Эвакуатор мусора (тормозной двигательный модуль)</li> <li>• Аппарат системы контроля космического пространства</li> </ul>

Рис. 2. Матрица полезности продукта «Малый разгонный блок» для государственных и частных потребителей

<sup>7</sup> SHERPA Rideshare Mission (<https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/s/sherpa>).

<sup>8</sup> LauncherSpace (<https://www.launcherspace.com/orbiter>).

<sup>9</sup> Epic Aerospace (<https://epic-aerospace.com/spacecraft.html>).

<sup>10</sup> Exolaunch Reliant (<https://exolaunch.com/reliant#5>).

<sup>11</sup> Exotrail (<https://www.exotrail.com>).

<sup>12</sup> SAB launchservices (<https://www.sablaunchservices.com/>).

<sup>13</sup> «Глава “Роскосмоса” назвал способ нарастить группировку спутников РФ в 15 раз». Сайт news.ru 26 декабря 2023 г., 17:38 (<https://news.ru/vlast/glava-roskosmosa-nazval-sposob-narastit-gruppirovku-sputnikov-rf-v-15-raz/>).

**Этап 1.** Одноразовый запуск для выведения спутников на заданные орбиты — это единицы часов использования. В этом случае требования к ресурсу невысоки. Буксир тратит топливо, разряжает аккумуляторы и прекращает функционирование. Электроника при этом не успевает получить большой дозы радиации, поэтому могут использоваться общепромышленные компоненты, что сильно сокращает затраты на производство аппарата. Этот этап является самым простым и дешевым. Но и финансовый результат здесь также минимальный. В лучшем случае он приближен к заложенной в цену рентабельности. Следует отметить, что пуск буксира может осуществляться разными способами: как с помощью разгонного блока «Фрегат» в качестве дополнительного средства выведения, так и с использованием легких и сверхлегких ракет-носителей — в качестве основного средства выведения.

**Этап 2.** Одноразовый запуск для выведения спутников плюс дальнейшее использование буксира как «свободно летающей платформы» (free fly) для оказания дополнительной услуги. Последующее использование аппарата после выполнения транспортной операции требует наличия длительно работающей энергоустановки и системы управления. Требуется подтвердить отказоустойчивость этих систем в течение месяцев или лет. В этом случае накопленная доза радиации будет велика; поэтому нужны более дорогие микросхемы, аккумуляторы и т.п., нужны солнечные батареи. В итоге стоимость пуска растет. Этот этап — второй по сложности: после каждого пуска можно на буксирах первого этапа отработать ресурс аппаратуры и показать клиенту надежность платформы. Финансовый результат в этом случае может быть получен через базовую услугу выведения (на орбиты) и дополнительную услугу, например фазирование и др.

**Этап 3.** Одноразовый запуск для выведения спутников плюс дальнейшая эксплуатация в качестве космического модуля обслуживания, в том числе многоразового. В этом случае использование аппарата связано с дозаправкой и дооснащением полезной нагрузкой. Для малого космического буксира нужно место базирования — космическая платформа. Требуется повысить ресурс буксира и внести существенные изменения в его конструкцию. Однако данный вариант в максимальной степени отражает коммерческую направленность такого проекта. Подобный аппарат и платформа могут быть объектом инвестиций. Такой аппарат можно сдавать в аренду, например желающим убрать мусор, или фазировать спутник, или просто им владеть, выполняя различные космические услуги. В данном случае мы можем рассматривать фактическую эффективность, что невозможно ни в одном другом случае.

Помимо указанных выше вариантов есть еще вариант использования космического буксира в качестве агрегатного отсека маневрирующего спутника, т.е. как комплектующее, а не как самостоятельный аппарат. Как энергодвигательный модуль буксир можно использовать в составе малых космических аппаратов, выполняющих описанные выше задачи космической логистики:

- инспекторов для диагностики состояния спутников и контроля космического пространства;
- эвакуаторов космического мусора;
- аппаратов обслуживания для агрегатно-узлового ремонта спутников или сборки модульных космических аппаратов;
- спутников с малым возвращаемым аппаратом для проведения экспериментов и производства продукции в космосе (см., например, проект «Varda»<sup>14</sup>);
- низкоорбитальных аппаратов, когда нужно компенсировать торможение в атмосфере;
- маневрирующих спутников дистанционного зондирования Земли — для обеспечения большей оперативности съемки.

Иными словами, существует много видов космической деятельности, где нужен подобный модуль на основе малого космического буксира. Однако при этом требуется повысить ресурс и внести незначительные изменения в его конструкцию.

Подобные исследования и разработки требуют инвестиций. Тем не менее в сознании инвесторов спрос на космическую логистику по-прежнему ниже, чем на такие более традиционные приложения, как дистанционное зондирование Земли, Интернет вещей или спутниковая связь. Для привлечения таких инвестиций необходимо обосновать потребность в таких аппаратах.

<sup>14</sup> <https://www.space.com/var-da-in-space-manufacturing-capsule-landing-success>

При рассмотрении рынка малых космических буксиров можно выделить четыре основных подхода к расчету его емкости через:

1) *вторичное использование объекта* и услуг, в случае когда буксир используется разгонным блоком «Фрегат» в качестве дополнительного средства выведения. Такой подход должен быть выгоден и провайдеру пусковых услуг, и владельцу спутника, поэтому такой расчет должен сопровождаться расчетом выгоды;

2) *первичное использование объекта* и услуг, когда буксир используется на легких и сверхлегких ракетах-носителях в качестве основного средства выведения. Такой подход в настоящее время менее актуален, поскольку в России новое поколение таких ракет только начинает разрабатываться;

3) *полезную нагрузку*, которая была или может быть перемещена на заданные орбиты;

4) *продолжение жизненного цикла изделия*, которое было изложено выше. Здесь можно предположить несколько направлений расчетов, которые представлены ниже. Рассмотрим эти подходы более подробно.

**Первый подход** к расчету емкости рынка предполагает вторичное использование буксира через использование разгонного блока «Фрегат», который используют для обеспечения более точного выведения на орбиту и фазирования спутников. При данном подходе предполагается основной составляющей принять количество выводимых буксиров на одном «Фрегате». По своим характеристикам каждый «Фрегат» способен взять от одного до четырех буксиров.

Необходимое число буксиров можно рассчитать по формуле:

$$S = P_k(t)KF, \quad (1)$$

где  $K$  — число буксиров на один «Фрегат» ( $\sim 1 \div 4$ );  $F$  — число «Фрегатов», в год ( $\sim 7 \div 10$ );  $P_k(t)$  — вероятность использования  $K$  буксиров на одном «Фрегате» за период времени от 30 до 10%. Пусковик может быть заинтересован в использовании буксиров, если, кроме крупных спутников, имеются также мелкие, которые требуется выводить на разные орбиты, и если ему это выгодно. Однако выгода невелика и она вряд ли покроет повышение цены. Расчет выгоды строится на предположении, что при использовании буксиров возможно сокращение объемов заправляемого в «Фрегат» топлива на величину массы системы «буксир + его полезная нагрузка».

Здесь возможны варианты, когда использование комплекса «Фрегат» + буксир дает возможность построить уникальные миссии за счет использования двухступенчатой схемы перелета. Однако такие случаи нужно рассматривать особо.

**Второй подход** предполагает первичное использование буксира, который может комплектоваться с ракетой-носителем легкого и сверхлегкого класса. Необходимое число буксиров можно рассчитать по формуле:

$$S = P_L(t)KL, \quad (2)$$

где  $K$  — число буксиров на одну ракету (минимально  $\sim 1,0$ ; максимально  $\sim 2,5$ );  $L$  — число ракет в год (за 2019 г. — 28 пусков);  $P_L(t)$  — вероятность использования  $L$  буксиров на одной ракете за период времени. Как было отмечено выше, пока наша страна не располагает подобными носителями. Но как только они появятся, величина  $K$  возрастет до больших значений (80–90%).

**Третий подход** предполагает расчет емкости рынка через полезную нагрузку. Здесь учитывается только нагрузка массой менее 120–150 кг. Необходимое число буксиров можно рассчитать по формуле:

$$S = Pd(t)dD\mu / 150, \quad (3)$$

где  $S$  — необходимое число буксиров в год;  $D$  — объем полезной нагрузки в год;  $d$  — доля нагрузки массой менее 150 кг в год;  $P_d(t)$  — вероятность сохранения доли полезной нагрузки менее 150 кг за период времени;  $\mu$  — доля России в транспортировке этой нагрузки.

По данным статистики<sup>15</sup>, на примере 2019 г. (предпандемийного) и 2022 г. во всем мире полезная нагрузка массой до 150 кг составляла всего 2% (табл. 2).

<sup>15</sup> <https://space.skyrocket.de/>

**Таблица 2.** Структура полезной нагрузки в 2019 г.

Диапазон полезной нагрузки	Число единиц груза	Масса, кг	Доля в общей полезной нагрузке, %
0 до 1 кг	36	22,76	
От 1,01 до 10 кг	142	635,06	
От 10,01 до 50 кг	27	929,58	
От 50,01 до 100 кг	22	1882	
От 100 до 150 кг	15	1980,5	
<b>Итого до 150 кг</b>	<b>242</b>	<b>5449,9</b>	<b>2</b>
От 100,01 до 500 кг	86	37408,00	13
От 500,01 до 1000 кг	81	18533	6
От 1000,01 до 2000 кг	30	42407	15
Свыше 2000,01 кг	40	184340	64
<b>ИТОГО</b>			<b>100</b>

**Примечание.** Полу жирным шрифтом выделена полезная нагрузка массой 150 кг.

**Таблица 3.** Структура полезной нагрузки в 2022 г.

Диапазон полезной нагрузки	Число единиц груза	Масса, кг	Доля в общей полезной нагрузке, %
Менее 1,0 кг	75	19,08	
От 1 до 5 кг	138	347,29	
От 5 до 10 кг	93	510,60	
От 10 до 50 кг	73	2081,30	
От 50 до 100 кг	52	4337,00	
От 100 до 150 кг	127	18368,00	
<b>Итого ПН до 150 кг</b>	<b>558</b>	<b>25644,18</b>	<b>3</b>
Всего	2473	782958,53	
Грузы «Старлинк»	1712	168300,00	
Итого полезная нагрузка до 150 кг (без космического аппарата «Старлинк»)	558	25644,18	4

**Примечание.** Полу жирным шрифтом выделена полезная нагрузка массой 150 кг.

По итогам 2022 г. во всем мире объем полезной нагрузки массой до 150 кг увеличился в 2 раза как по параметру «Число единиц груза», так и по параметру «Масса, кг». Однако в России в 2022 г. осуществлен лишь один запуск с нагрузкой менее 150 кг — общей массой 49,44 кг.

Кроме того, в качестве **основного средства выведения** Россия в 2022 г. ракет-носителей легкого и сверхлегкого класса не запускала. Необходимое число буксиров можно рассчитать по формуле:

$$S = Pd(t)qD_{\mu} / 150, \quad (4)$$

где  $q$  — доля полезной нагрузки, транспортируемой ракетами-носителями легкого и сверхлегкого класса, в год.

Применяя данный подход, следует учесть, что, хотя доля российской полезной нагрузки сегодня невелика, тем не менее существует значительная перспектива ее увеличения.

В 2018 г. был запущен федеральный проект «Комплексное развитие космических информационных технологий» («Сфера») — проект российской «Глобальной многофункциональной инфокоммуникационной спутниковой системы» (ГМИСС), «Федеральная целевая программа комплексного развития космических информационных технологий на период до 2030 г.», включающая космические проекты в различных областях.

**Таблица 4.** Структура спутниковой группировки программы «Сфера»

Название спутника	Назначение	Орбита, км	Требуемое число на орбите, шт.	Масса, кг	Срок активного существования, лет
«Скиф»	Связь и вещание	8070	12	1750	12
«Марафон-ЮТ»	<b>Связь и вещание</b>	<b>750</b>	<b>264</b>	<b>50</b>	<b>5</b>
«Ямал»	Связь и вещание	36 000	2	5000*	15
«Экспресс»	Связь и вещание	36 000	7	3358*	15
«Экспресс-РВ»	Связь и вещание	40 000/4000	4	3200	15
«Смотр-Р»	ДЗЗ	500	3	650	7
«Беркут-О»	ДЗЗ	700	40	<b>150–600</b>	7*
«Беркут-ВД»	ДЗЗ	700	28	<b>150–600</b>	7*
«Беркут-С»	ДЗЗ	700	16	<b>150–600</b>	7*
«Беркут-Х», «Беркут-L», «Беркут-Р»	ДЗЗ	500	12	<b>150–600</b>	7*
«Грифон»	ДЗЗ	550*	136	4*	4*

Источник: Котегов, Бабошкин, Матвеев, 2023.

**Примечание:** ДЗЗ — Дистанционное зондирование земли; «\*» — среднее значение для спутников аналогичного назначения и типа.

В состав «Сферы» войдет 542 космических аппарата<sup>16</sup>, а развертывание группировок пройдет с 2024 г. по 2028 г. Основные характеристики спутников программы «Сфера» представлены в табл. 4 (Котегов, Бабошкин, Матвеев, 2023). В таблице полужирным шрифтом отмечены спутники, подходящие для космических буксиров.

Наиболее интересными с точки зрения использования буксиров являются группировки «Марафон» и «Грифон», а также небольшие спутники частных компаний, университетов и др.

«Марафон-ЮТ» — 264 аппарата для интернета вещей и задач в области авиации, орбита — 750 км в 12 орбитальных плоскостях на низких околоземных орбитах, за один пуск будет выводится от 22 до 44 аппаратов. Стоимость создания одного спутника — 35 млн руб. (на 2022 г.). Ранее сообщалось, что спутников должно быть 264 при численности группировки в 380 спутников. Однако с помощью буксиров можно вывести максимум 8 (12) «Марафон-ЮТ». Поэтому использование буксиров может быть оправдано только при замене спутников в группировке. Срок активного существования каждого аппарата составит до пяти лет, после чего они будут заменяться на новые (табл. 5).

Группировка «Грифон» (табл. 6) должна составить 136 аппаратов формата CubeSat для глобальной съемки земной поверхности.

**Таблица 5.** График выведения «Марафон-ЮТ»

Годы	Число, шт.	Порядок выведения
2023	1	
2024	5	
2025–2026	124	От 22 до 44 за 1 пуск
2027	134	От 22 до 44 за 1 пуск
Итого	264	
2030–2031	Замена	

**Таблица 6.** График выведения группировки «Грифон»

Годы	Число, шт.	Порядок выведения
2024	4	
2025–2026	132	Не определен
Итого	136	

<sup>16</sup> Официальный сайт «Вестник ГЛОНАСС»: Проект «Сфера» (<http://vestnik-glonass.ru/news/intro/proekt-sfera-budet-vklyuchat-bolee-300-ka-uzhe-profinansirovano-sozdanie-162-ka/>); Официальный сайт государственной корпорации «Роскосмос»: Космическая связь (<https://www.roscosmos.ru/32892/>), Ракета-носитель «Союз-2.1б» (<https://www.roscosmos.ru/36316/>), Ракета-носитель «Протон-М» (<https://www.roscosmos.ru/465/>), Ракета-носитель «Ангара-1.2» (<https://www.roscosmos.ru/36319/>), Ракета-носитель «Рокот» (<https://www.roscosmos.ru/469/>).

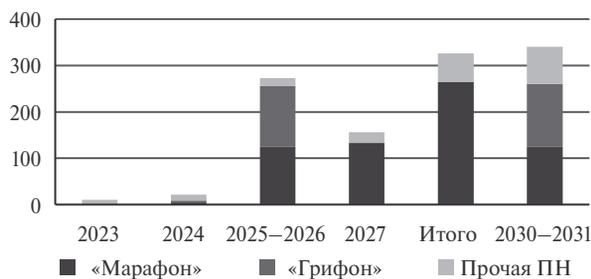


Рис. 3. Структура полезной нагрузки (в ед.) в период с 2024–2031 гг.

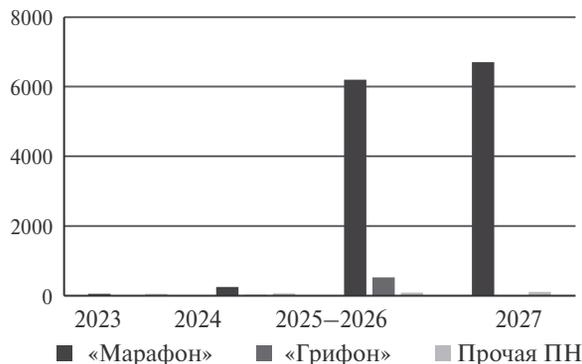


Рис. 4. Структура полезной нагрузки (в кг) в период с 2024–2031 гг.

Что касается небольших спутников частных компаний, университетов и др., то востребованность таких аппаратов не подлежит сомнению. Для прогнозирования числа спутников можно воспользоваться опытом Китая. По данным [spacenews.com](https://spacenews.com)<sup>17</sup>, в 2020 г. частная космическая индустрия Китая привлекла инвестиций в объеме 933 млн долл., что в 3 раза больше, чем годом ранее. Больше всего инвестиций получила компания Changguang Satellite, которая занимается дистанционным зондированием Земли, — 375 млн долл. За ней следуют предприятия, запускающие ракеты в космос, — LandSpace (175 млн долл.), iSpace (173 млн долл.) и Galactic Energy (21,5 млн долл.). Последние в 2019 г. получили от правительства пожелание развивать небольшие многоразовые ракеты, отправляющие грузы на высоту до 200 км. Миниатюрными стремятся сделать и спутники. Миниатюризация заметно снизит стоимость запусков и откроет возможности развития для не связанных с космосом секторов, например IT и телекоммуникаций.

В целом объем частных китайских инвестиций в космос отстает только от американского. На США приходится 47% всех инвестиций в эту сферу с 2011 г. до настоящего момента, а на КНР — 29%. Причем в Китае частные инвесторы появились только в 2014 г. Однако в КНР государственных инвестиций в компании намного больше, чем в США. С 2019 г. по 2022 г. (в КНР) можно констатировать 300%-ный рост полезных нагрузок массой до 150 кг.

Таким образом, если заложить число небольших спутников частных компаний в пессимистические 30% общего объема полезных нагрузок, то можно получить результат, показанный на рис. 3–4.

Кроме того, как указано в табл. 4, массы некоторых спутников «Беркут» соответствуют возможностям буксиров, и на их замену также может быть использован буксир. В систему «Сфера» будут входить четыре вида аппаратов: для обзорной («Беркут-О») и высокодетальной съемки в оптическом диапазоне («Беркут-ВД»), а также для радиолокационной съемки («Беркут-Х», «Беркут-XLP»). Масса аппаратов составит от 150 кг до 600 кг. Ожидается, что в общей сложности на орбиту будет выведено свыше 200 таких аппаратов. Даже если 5% (10 шт.) спутников «Беркут» будут массой 150 кг, то понадобится 10 буксиров на выведение таких спутников. Итого на период 2024–2030 гг. можно предположить потребность в буксирах, показанную в табл. 7.

Таблица 7. Источники полезной нагрузки на период 2024–2030 гг.

Источник полезной нагрузки	Число, ед.	Масса, кг	Число буксиров
«Марафон-ЮТ»	264	7146	7146/150 ≈ 48
«Грифон»	136	544	544/150 ≈ 4
ПН	22	110	110/150 ≈ 1
«Беркут»	~10	1500	150/150 ≈ 10
Итого			Свыше 60 буксиров

<sup>17</sup> <https://spacenews.com/chinas-commercial-sector-finds-funding-and-direction/>

Учитывая, что по статистике 3% спутников перестают работать сразу после выпуска, а 10% — ранее установленного срока, то на замену спутников может быть использовано дополнительно 5–6 буксиров. Таким образом, за 5–6 лет могло бы быть востребовано 65–66 аппаратов, т.е. примерно 10 штук в год.

В основе **четвертого подхода** лежит идея пролонгации жизненного цикла изделия. Это означает, что после выполнения целевых услуг — выведения полезной нагрузки на орбиту, фазирования и др., — буксир продолжит существование. Такие услуги могут быть оказаны, если данный аппарат можно *дополнительно использовать* как:

– двигательный модуль маневрирующего аппарата — перспективные проекты находятся в стадии поисковых НИР Breakthrough Starshot: около 20 лет, например 5–10 млрд долл. (в том числе начальный этап НИР — 100 млн долл. на 5–10 лет);

– малый научно-производственный спутник типа «Бион» и «Фотон» со спускаемым аппаратом. К настоящему времени в космос успешно запущено 11 биоспутников «Бион», именуемых в научной литературе как биоспутники «Космос», «Биокосмос» или просто «Бион»;

– низкоорбитальный аппарат (высота 200 км), который необходимо поддерживать на нужной орбите (а это могут быть «Марафоны», «Беркуты» и т.д.);

– часть космической инфраструктуры: малая платформа для орбитального обслуживания/удаления мусора. В отчете компании «NSR» прогнозируется, что в следующие восемь лет развивающийся рынок обслуживания спутников оценивается более чем в 4,5 млрд долл. (Катькалов, Морозова, 2022).

– часть космической инфраструктуры: размещение на буксирах неотделяемой полезной нагрузки (например, серверов и т.п., которые могут собирать данные с выведенных им спутников, интегрировать их данные и передавать пользователям на Земле);

– аренда космической техники.

Однако это — периферийные (дополнительные) услуги. В данном случае можно использовать концепцию двойного использования космических аппаратов М.И. Кислицкого (Рыжикова и др., 2022). В таком случае выходной эффект (обозначен индексом «вых») будет представлять собой сумму эффектов:  $\mathcal{E}_{\text{вых}} = \mathcal{E}_{\text{осн}} + \mathcal{E}_{\text{доп}}$ ; основной эффект — ( $\mathcal{E}_{\text{осн}} = \mathcal{C}_{\text{МРБ}} - \mathcal{Z}_{\text{МРБ}}$ ); дополнительный эффект — ( $\mathcal{E}_{\text{доп}} = \text{Цена услуги} - \text{Затраты на услугу}$ ).

Здесь стоит поспорить с М.И. Кислицким (Кислицкий, 2010). Он считает, что «стоимость получения космического целевого эффекта определяется затратами на разработку, изготовление, выведение спутников на орбиту и эксплуатацию всех составных частей космической системы. При этом весьма значительная доля затрат приходится на разработку аппаратов — главного звена при решении поставленных перед космической системой целевых задач». В качестве затрат здесь следует учесть лишь то, что относится к дополнительным услугам, так как основной эффект получается от доставки на орбиту полезной нагрузки (Рыжикова и др., 2022; Шаповалов, Щеглов, 2023; Рыжикова, Щеглов, Шаповалов, 2023). А адаптация буксиров к дополнительной услуге и ее реализация позволяет получить дополнительный эффект. Достижимый уровень технических характеристик буксиров существенно зависит от располагаемого объема финансовых средств, выделяемых на его создание и эксплуатацию. Совокупность выходных параметров характеризует технический уровень космической техники, т.е. его способность решать поставленную целевую задачу в соответствии с требуемым качеством.

Вышеперечисленные подходы предполагают два вектора расчета емкости рынка малых космических буксиров.

1. Через потенциальных клиентов, которые нуждаются в подобных услугах, — расчет рыночного **потенциала** данной услуги.

2. Через число пользователей одного решения:  $S_i = P_N(t)N/w$ , где  $N$  — число потенциальных заказчиков (10–100);  $W$  — число потенциальных клиентов на один буксир (3–10);  $P_N(t)$  — вероятность использования буксиров для указанных целей за период времени. Таким образом, сумма по всем шести направлениям составит  $S = \sum_{j=1}^{n=6} P_N(t)N / w$ .

## ВЫВОДЫ

Миссии «Transporter» компании «SpaceX» практически закрыли для России рынок выведения малых полезных нагрузок. В то же время доля российской полезной нагрузки, доставленной в 2022 г., в общем объеме составила менее 0,1%.

Доля стран БРИКС в 2022 г. — 6492 кг, что составило 1% общего объема и четверть (25%) нагрузки до 150 кг, что соответствует потребности в 46 буксиров. Однако Китай использует свою ракетную технику, а остальные — возможности «SpaceX».

Рассматривая полезные нагрузки проекта «Сфера» за 5–6 лет, могло бы быть востребовано 65–66 буксиров, или примерно 10 аппаратов в год.

Многие оставляющие логистической космической системы предполагают манипуляции полезной нагрузкой, однако инвестиции в данную сферу пока еще не столь интенсивны.

Важной проблемой, в решении которой будет востребован малый космической буксир, является проблема *техногенного засорения космического пространства*. «По мере увеличения числа космических аппаратов на орбитах будет обостряться проблема космического мусора. Может наступить так называемый каскадный эффект — эффект Кesslerа. Он возникает, когда в результате цепной реакции «саморазмножения» фрагментов космического мусора любое выведение спутников на орбиту будет заканчиваться столкновением с техногенным обломком» (Викторов и др., 2023). В этом случае число буксиров, необходимых для выведения спутников, будет зависеть от необходимости замены умерших спутников в группировках, утилизации старых и выведения и фазирования новых.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Викторов Е.А., Бурлаков С.О., Якушенко С.А., Вахненко И.В., Егрусев В.Е., Веркин С.С., Антонов В.В.** (2023). Научно-технические проблемы создания и применения группировок военных малых космических аппаратов связи для информационного обеспечения боевых действий // *Международный журнал гуманитарных и естественных наук*. № 3–2 (78). Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/nauchno-tehnicheskie-problemy-sozdaniya-i-primeneniya-gruppirovok-voennyh-malyh-kosmicheskikh-apparatov-svyazi-dlya-informatsionnogo> [Viktorov E.A., Burlakov S.O., Yakushenko S.A., Vakhnenko I.V., Egrushev V.E., Verkin S.S., Antonov V.V. (2023). Scientific and technical problems of creation and application of groupings of military small communication space vehicles for information support of combat actions. *International Journal of Humanities and Natural Sciences*, 3–2 (78). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/nauchno-tehnicheskie-problemy-sozdaniya-i-primeneniya-gruppirovok-voennyh-malyh-kosmicheskikh-apparatov-svyazi-dlya-informatsionnogo> (in Russian).]
- Кислицкий М.И.** (2010). Концепция двойного использования космических аппаратов // *Решетневские чтения*. № 14. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/kontseptsiya-dvoynogo-ispolzovaniya-kosmicheskikh-apparatov-1> [Kislitsky M.I. (2010). Dual-use of spacecrafts conception. *Reshetnev's Readings*, 14. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/kontseptsiya-dvoynogo-ispolzovaniya-kosmicheskikh-apparatov-1> (in Russian).]
- Котегов М., Бабошкин Г., Матвеев С.** (2023). *О структуре рисков своевременной реализации программы «Сфера»*. Режим доступа: <http://controlling.ru/files/202.pdf> [Kotegov M., Baboshkin G., Matveev S. (2023). *On the structure of risks of timely implementation of the «Sphere» program*. Available at: <http://controlling.ru/files/202.pdf> (in Russian).]
- Макаров Ю.Н., Симонов М.П., Хрусталёв Е.Ю.** (2015). Особенности реализации государственно-частного партнерства в оборонно-промышленном комплексе и в сфере военной безопасности // *Вооружение и экономика*. № 1 (30). С. 62–73. [Makarov Yu.N., Simnov M.P., Khrustalev E.Yu. (2015). Features of public-private partnerships realization in the defense industry and military security. *Armament and Economics*, 1 (30), 62–73 (in Russian).]
- Макарова Д.Ю., Хрусталев Е.Ю., Хрусталёв О.Е.** (2015). Семантическая методология анализа и прогнозирования развития ракетно-космической промышленности // *Аудит и финансовый анализ*. № 3. С. 88–93. [Makarova D. Yu., Khrustalev E. Yu., Khrustalev O.E. (2015). Semantic methodology for analyzing and forecasting of aerospace industry development. *Audit and Financial Analysis*, 3, 88–93 (in Russian).]
- Каткалов В.Б., Морозова М.Л.** (2022). Обслуживаемый космос. Новые достижения и перспективы. // *Космические аппараты и технологии*. № 3 (41). Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/obsluzhivaemyy-kosmos-novye-dostizheniya-i-perspektivy> (дата обращения: 12.01.2025). [Katkalov V.B., Morozova M.L. (2022). Serviced space. New achievements and prospects. *Spacecrafts & Technologies*, 3 (41). Available at: <https://espi.or.at/publications/espi-publicreports/category/2-public-espi-reports> (in Russian).]

- Рыжикова Т.Н., Старожук Е.А., Шаповалов А.В., Щеглов Г.А.** (2022). Анализ эффективности периферийных пусковых услуг выведения полезных нагрузок малым разгонным блоком «БОТ» // *Экономика космоса*. № 1 (1). С. 46–56. [Ryzhikova T.N., Starozhuk E.A., Shapovalov A.V., Shcheglov G.A. (2022). Efficiency analysis of peripheral launch services using «BOT» small upper stage. *Space Economics*, 1 (1), 46–56 (in Russian).]
- Рыжикова Т.Н., Щеглов Г.А., Шаповалов А.В.** (2023). Создание коммерческого сегмента космических услуг: задачи, условия, экономика // *Экономический анализ: теория и практика*. Т. 22. Вып. 10. С. 1850–1863. [Ryzhikova T.N., Shcheglov G.A., Shapovalov A.V. (2023). Creation of a commercial segment of space services: Tasks, conditions, economy. *Economic Analysis: Theory and Practice*, 22, 10, 1850–1863 (in Russian).]
- Шаповалов А.В., Щеглов Г.А.** (2023). Синтез рациональной компоновки малого разгонного блока на газобразных компонентах топлива // *Вестник Московского авиационного института*. Т. 30. № 2. С. 70–77. [Shapovalov A.V., Shcheglov G.A. (2023). Rational layout synthesis of the upper stage running on gaseous components. *Aerospace MAI Journal*, 30, 2, 70–77 (in Russian).]
- In-Orbit Servicing & Space Situational Awareness Markets, 4th* (2022). Available at: <https://www.nsr.com/?research=in-orbit-servicing-space-situational-awareness-markets-4th-edition>

## Searching for ways to efficiently use small space tugs in the process of commercial use of space

© 2025 T.N. Ryzhikova, G.A. Shcheglov

**T.N. Ryzhikova,**

*Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia; e-mail: tnr411@yandex.ru, ryzhikova@bmstu.ru*

**G.A. Shcheglov,**

*Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia; e-mail: shcheglov\_ga@bmstu.ru*

Received 02.04.2024

*The study was carried out within the framework of the implementation of the development program of the advanced engineering school “Systems Engineering of Rocket and Space Technology” of the Bauman Moscow State Technical University.*

**Abstract.** The article examines the problem of assessing the market for small space tugs. The purpose of the article is to analyze the development trends of the commercial segment of the space services' market associated with the emergence of new space technology, the improvement of space technologies, the need to explore deep space and the problems of attracting funds of private investors. The method of researching assessment of the market for small space tugs is a consistent analysis of the market structure, segments and conditions of use, which is the necessary basis for the study. The analysis of the small space tugs market used in the authors' study is based on an in-depth analysis of various approaches used in the economics of space activities, and also allows for a visual presentation of results of the data obtained. The article examines both the practical and theoretical studies of the problem, and proposes an approach to ensuring consistency in the process of assessing and analyzing the market for small space tugs. The main trends in the development of space technologies are associated with this final commercial segment. The article analyzes the structure of the small space tugs market, identifies and substantiates approaches to assessing the capacity of small space tugs, taking into account the characteristics of the space market, the search for investment attractiveness and extending their life in orbit. Services provided by small space tugs can be divided into two groups: with a short and extended life cycle. The costs of such services may be taken into account depending on the life cycle of the products.

**Keywords:** space activity economics, commercial space services, small space tugs.

**JEL Classification:** M11, D81, G32, M21, M49.

**UDC:** 338.22.021.1.

For reference: **Ryzhikova T.N., Shcheglov G.A.** (2025). Searching for ways to efficiently use small space tugs in the process of commercial use of Space. *Economics and Mathematical Methods*, 61, 1, 56–69. DOI: 10.31857/S0424738825010067 (in Russian).