

# Технико-экономический анализ модификаций ракет-носителей сверхлегкого класса с учетом обеспечения экономической эффективности вариантов их использования

## *Technical and economic analysis of modifications for ultra-light launch vehicles considering the economic efficiency of options for their usage*

*Применение модификаций ракет-носителей сверхлегкого класса, создаваемых на основе снимаемых с дежурства межконтинентальных баллистических ракет, позволит экономически эффективно восполнять орбитальные группировки сверхмалых космических аппаратов. Предложены зависимости для определения затрат на проведение опытно-конструкторских работ по созданию ракет-носителей данного класса и их изготовление.*

*Расчеты, проведенные на основе предложенных зависимостей, иллюстрируют необходимость их использования на этапе выбора основных технических решений при создании ракет-носителей сверхлегкого класса.*

*The use of modifications for ultra-light launch vehicles created on the basis of decommissioned intercontinental ballistic missiles will make it possible to cost-effectively replenish the orbital groupings of ultra-small spacecraft. Proposed detailed report will provide the costs of conducting research and development work on the creation of launch vehicles of this class and their manufacturing.*

*Calculations carried out on the basis of the proposed report will illustrate the need for their use at the stage of selecting the main technical solutions for the creation of ultra-light launch vehicles.*

**Ключевые слова:** модификация, стоимость пуска, масса полезной нагрузки, технико-экономический анализ, затраты на реализацию проекта

**Keywords:** modification, launch cost, payload mass, technical and economic analysis, project implementation cost



### КОВАЛЕВСКАЯ ОЛЬГА ВАЛЕРЬЕВНА

К.т.н., ведущий специалист отдела управления проектами и методологии Управления проектными компетенциями, АО «Организация «Агат»

ORCID: 0009-0002-4464-9402

E-mail: KovalevskayaOV@agat-roscosmos.ru

### KOVALEVSKAYA OLGA

Ph.D. in Engineering, leading specialist of Project Management and Methodology Department of Project Competences Directorate, JSC "Organization "Agat"

**ЕМЕЛИН АНДРЕЙ АЛЬБЕРТОВИЧ**

К.э.н., заместитель генерального  
директора по ТЭО программ РКТ,  
АО «Организация «Агат»

E-mail: [EmelinAA@agat-roscosmos.ru](mailto:EmelinAA@agat-roscosmos.ru)

**EMELIN ANDREY**

Ph.D. in Economics, Deputy CEO for Feasibility Study of Rocket  
and Space Technology Programs, JSC "Organization "Agat"

Для цитирования: Ковалевская О.В. Технико-экономический анализ модификаций ракет-носителей сверхлегкого класса / О.В. Ковалевская, А.А. Емелин // «Экономика космоса». 2024. № 8. С. 13-19. DOI: 10.48612/agat/space\_economics/2024.03.08.02

**Введение**

В настоящее время в развитии мирового космического рынка, в том числе и в отечественном сегменте, имеется явная тенденция к увеличению потребности в выведении малых космических аппаратов (далее – КА) на низкие околоземные орбиты [1; 2]. В значительной степени данная тенденция обусловлена миниатюризацией и удешевлением компонентной базы как для самих КА, так и для потребителей (абонентов) услуг, предоставляемых с использованием данных КА (услуги связи, дистанционного зондирования Земли, навигации). Подобные КА часто составляют кластеры или орбитальные группировки, насчитывающие сотни и даже тысячи малых КА. Наиболее эффективным путем развертывания группировок таких КА является их кластерное выведение на ракетах-носителях (далее – РН) легкого и среднего классов [3]. В то же время такое выведение имеет ряд недостатков:

- из-за задержки создания основной полезной нагрузки сроки запуска попутных грузов могут сдвигаться. Соблюдение графиков важно при развертывании орбитальных группировок, которые состоят из небольшого количества аппаратов;
- при выведении попутным грузом приходится идти на компромиссы по выбору параметров орбиты, так как в основном они задаются заказчиком выведения основного груза и являются весьма важными для целевого использования КА. Довыведение на рабочую орбиту часто требует расходования рабочего тела корректирующей двигательной установки (далее – КДУ) самого КА, что ведет либо к увеличению его массы за счет топлива КДУ, либо к снижению срока его активного существования из-за снижения количества рабочего тела КДУ.

Решением для устранения данных недостатков при выведении малых КА может служить использование РН сверхлегкого класса [4; 5]. Их использование позволяет экономично решать оперативные задачи пополнения и восполнения группировок, связанные с отказами отдельных аппаратов.

Конкурентоспособность на рынке ракет-носителей определяется такими параметрами как стоимость пуска РН и стоимость доставки 1 кг полезной нагрузки (далее – ПН) на орбиту. Следует подчеркнуть, что в настоящее время запуск сверхлегкой ракеты обходится гораздо дешевле, чем ракеты любого другого класса, однако стоимость килограмма ПН при выведении на них пока выше, что связано с проявлением эффекта масштаба [4].

На сегодняшний день в мире разработан ряд сверхлегких РН. Такие проекты имеются в США («Пегас», «Минотавр», «Антарес», «Электрон»), Японии («Эпсилон»), КНР («Long March 11», «Zhuque-1»), Европейском Союзе (РН «Вега»), в России (РН «Старт-1») [6].

Дальше всех продвинулась в направлении создания таких РН частная новозеландско-американская компания Rocket Lab с РН «Электрон»<sup>1</sup>. Компания производит коммерческие пуски с ноября 2018 года. При этом достигнута стоимость выведения 1 кг ПН на уровне 6 тыс. долларов США. По этому показателю РН «Электрон» считается самой эффективной РН сверхлегкого класса в мире.

Одним из актуальных направлений для отечественных условий является создание РН сверхлегкого класса на основе доработок межконтинентальных баллистических ракет (далее – МБР), снимаемых с боевого дежурства, путем их модификации [6; 7].

<sup>1</sup> Электрон [Электронный ресурс] // Rocket Lab: [сайт]. [2024]. URL: <https://www.rocketlabusa.com/launch/electron/> (дата обращения: 03.03.2024).

Преимущества таких модификаций связаны как с непосредственной экономией затрат на изготовление РН за счет использования большинства компонентов базовой МБР (двигательная установка, отсеки, элементы стартового комплекса, технического и технологического оборудования), так и за счет использования отработанных систем и агрегатов, сокращения сроков и объемов наземной отработки новых элементов РН и летных испытаний.

В связи с вышеизложенным интерес представляет расчет стоимости проведения модификаций МБР для создания РН сверхлегкого класса и определение стоимости выведения 1 кг полезной нагрузки с использованием РН данного типа.

При прогнозировании затрат на реализацию проектов по созданию РН и их модификаций могут использоваться различные технико-экономические модели [8], в том числе построенные на основе статистического метода, когда используются данные по прототипам.

В статье представлена расчетная модель затрат на модернизацию ракетного комплекса (далее – РК) в части создания модификаций РН сверхлегкого класса, проведена оценка стоимостных характеристик РН, разработанных на основе МБР. Дана оценка стоимости

выведения одного килограмма ПН с помощью рассматриваемой РН.

**Задача оптимизации технико-экономических характеристик модифицированных РН сверхлегкого класса, создаваемых на основе снятых с вооружения МБР**

Следует отметить, что создание модифицированной РН на основе снимаемой МБР несет за собой необходимость доработки РК, что связано с определенными затратами, которые также должны быть учтены [9].

Если модификацию РН рассматривать как j-й уровень разработки, то задачу модернизации РК можно отнести к j-1 уровню управления разработкой. Системы, составляющие РН, будут системами j+1 управления разработкой. Такой подход показывает, что задачи модификации РН и модернизации РК в целом должны решаться совместно.

Связь задачи модификации РН и модернизации РК представлена на рис. 1.

В общем случае проектная задача оптимизации параметров модификации РН на j-м уровне управления состоит в поиске вектора основных проектных параметров  $\Pi = (\mu_{\text{тн}}, n_{\text{oi}}, P_{\text{yoi}}, d_1)^T$ , а также программы выведения  $\theta(t)$  для РН, предназначенной для выведения ПН (КА)

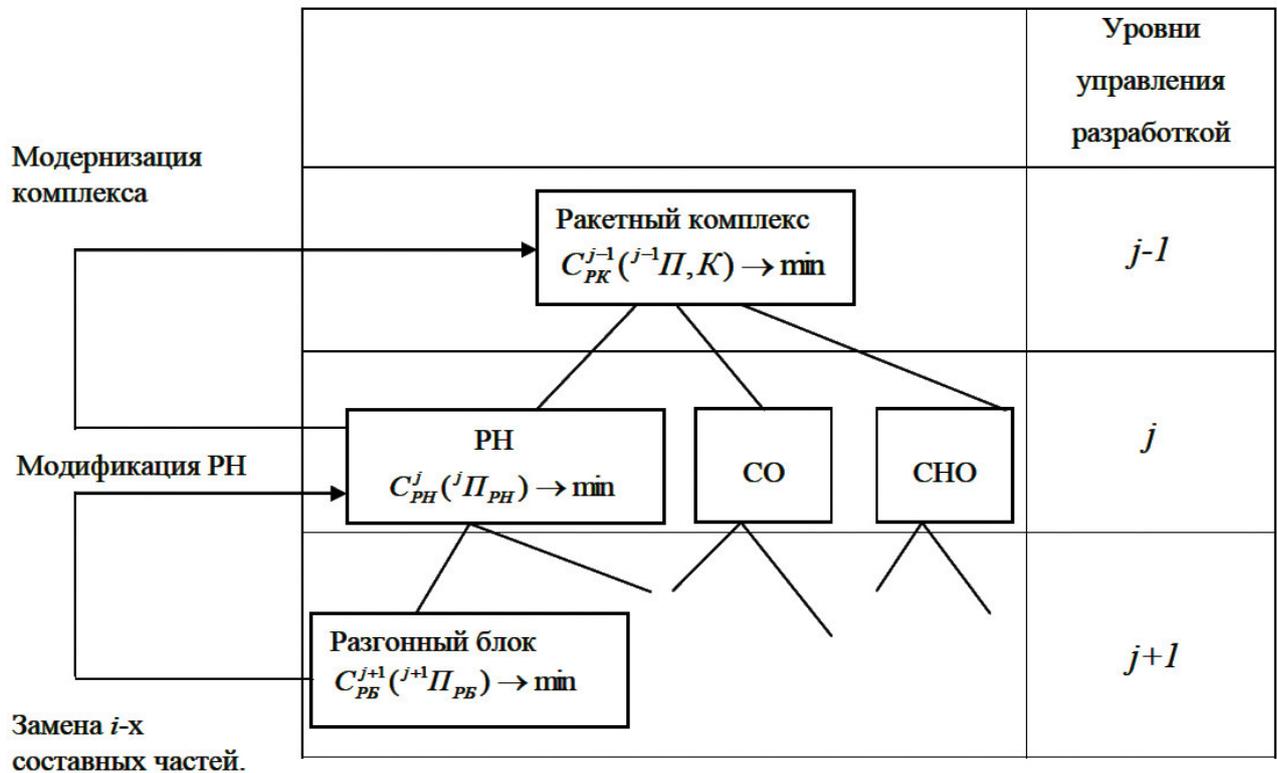


Рис. 1. Связь модернизации РК и модификации РН (управление проектной разработкой), где С – стоимость, СО – средства оснащения, СНО – средства наземного оборудования,  $\Pi$  и  $K$  – основные проектные параметры. Источник: составлено авторами по результатам исследования

$m_{КА}$  на орбиту высотой  $H^{зад}$ , достигающих минимум функции стоимости модификации РН  $C_{РН}$ :

$$C_{РН}(\Pi) \rightarrow \min,$$

При этом должны выполняться ограничения:

- связанные с назначением:

$$H_A(\Pi, \theta(t), m_{КА}) \rightarrow H^{зад},$$

- связанные с траекторией выведения:

$$n_{\max}(\Pi, \theta(t), m_{КА}) \leq n_{\max}^{зад},$$

$$q_{\max}(\Pi, \theta(t), m_{КА}) \leq q_{\max}^{зад},$$

а также другие ограничения, например:

- выражающие обеспечение полей падения для ступеней РН;
- связанные с применением стартового комплекса:

$$m_0(\Pi, m_{КА}) \leq m_0^{зад},$$

$$l_{РН}(\Pi) \leq l_{РН}^{зад},$$

- прочие ограничения.

В соотношениях приняты следующие обозначения:

1. индекс  $i$  обозначает номер ступени РН (заменяемого разгонного блока (далее – РБ) при создании модификации РН);
2.  $\Pi^T = (\mu_{Ti}, n_{oi}, P_{ydi}, d_i)$  – вектор варьируемых параметров, включает относительные веса топлива, начальные перегрузки, диаметр и удельную тягу ступеней;
3.  $l_{РН}$  – длина РН;
4.  $n_{\max}$  – максимальная перегрузка;
5.  $q_{\max}$  – скоростной напор.

**Зависимости для определения экономических показателей создания модификации РН**

Затраты на реализацию проекта (создание модификации РН на основе МБР) и изготовление РН в количестве  $N$  штук, необходимых для выведения заданной совокупности ПН, могут быть выражены следующим образом:

$$C_{\Sigma} = C_{ОКР}(\cdot) + (C_{НК}^1(\cdot) \frac{1}{N^*} + C_{ЭК}^1(\cdot))(N-1) + C_{РН}^1(\cdot) \frac{(N-1)^{1-\alpha}}{1-\alpha}, \quad (1)$$

где  $C_{НК}^1(\cdot)$  – затраты на опытно-конструкторские работы (далее – ОКР);

$C_{НК}^1(\cdot)$  – затраты на доработку наземного комплекса (далее – НК);

$C_{ЭК}^1(\cdot)$  – затраты на эксплуатацию;

$C_{РН}^1(\cdot)$  – затраты на производство модификаций РН заданной номенклатуры.

Таким образом, затраты на проект включают:

Затраты на ОКР по созданию модификации РН, которые представляют собой сумму затрат по следующим этапам работ:

$$C_{ОКР} = \sum_{i=1}^{N_{КР}} (C_{ПКР}(\cdot) + C_{НЭО}(\cdot) + C_{ОКР}^{ДВ}(\cdot) + C_{ОКР}^{ОБ}(\cdot) + C_{ОКР}^{К}(\cdot)) + (C_{РН}^1(\cdot) + C_{НК}^1(\cdot) \frac{1}{N^*} + C_{ЭК}^1(\cdot)) K_{ПР} \quad (2)$$

где  $C_{ПКР}(\cdot)$  – затраты на проектно-конструкторские

работы – работы головного разработчика, связанные с проектированием (разработка технического предложения (далее – ТП), эскизного проекта (далее – ЭП)), участие в испытаниях, разработка рабочей конструкторской документации (далее – РКД) на модификацию опытных образцов изделий и макетов и развертывание производства;

$C_{НЭО}(\cdot)$  – затраты на наземную экспериментальную обработку изделия;

$C_{ОКР}^{ДВ}(\cdot)$  – стоимость создания двигательных установок;

$C_{ОКР}^{К}(\cdot)$  – стоимость создания конструкции;

$C_{ОКР}^{ОБ}(\cdot)$  – стоимость создания бортовой аппаратуры (системы управления и системы телеметрических измерений).

Затраты на производство первого образца модификации РН, которые предусматривают:

$C_{РН}^1(\cdot)$  – затраты на производство первого образца модификации РН;

$N$  – количество производимых РН для выполнения транспортных операций;

$\alpha$  – коэффициент, определяющий снижение стоимости производства при выпуске продукции;

$N^*$  – количество запусков с одного НК;

$K_{ПР}$  – коэффициент, учитывающий дополнительные затраты, связанные с корректировкой эксплуатационной документации, доработкой документации по результатам испытаний, сопровождением работ и др.

Затраты на доработку НК, состоящие из:

$C_{НК}^1(\cdot)$  – затраты на доработку НК включают в себя:

$$C_{РН}^1(\cdot) = (C_{ТО}^{1РН}(\cdot) + C_{ТО}^{1НК}(\cdot) + C_{ВР}^1(\cdot)), \quad (3)$$

где  $C_{РН}^1(\cdot)$  – затраты на техническое обслуживание;

$C_{ТО}^{1РН}(\cdot)$  – затраты на дооснащение НК;

$C_{ВР}^1(\cdot)$  – затраты на доработку ракетного полигона.

$C_{ЭК}^1(\cdot)$  – затраты на эксплуатацию на один пуск, которые включают в себя:

$$C_{ЭК}^1(\cdot) = (C_{ТЭ}^1(\cdot) + C_{ОБ.Э}^1(\cdot)), \quad (4)$$

где  $C_{ТЭ}^1(\cdot)$  – затраты на техническую эксплуатацию;

$C_{ОБ.Э}^1(\cdot)$  – затраты на обеспечение эксплуатирующих подразделений.

Выделенные затраты зависят от особенностей проектных решений, проектных параметров модификации РН. Получение соответствующих зависимостей представляет самостоятельную задачу.

**Пример использования экономических зависимостей для создания модификаций РН**

В качестве примера использования представленных зависимостей приведем результаты сравнения возможных вариантов создания двух модификаций РН сверхлегкого класса на базе твердотопливной МБР:

Наименование, характеристики	РН «М1»	РН «М2»
Диаметр D, м	1,8	
Длина ракеты, $l_{МБР}^{max}$ , м	22	
Высота целевой орбиты, км	400	
Масса РБ <sub>1</sub> (в т.ч. топливо), кг	28030 (25180)	
Масса РБ <sub>2</sub> (в т.ч. топливо), кг	11727 (10180)	
Масса РБ <sub>3</sub> (в т.ч. топливо), кг	4863 (4200)	4749 (4152)
Масса выводимого КА, кг	333,4	371,9
Масса РН $m_{0r}$ , кг	46820	46820
Затраты на ОКР, млн руб.	1013	1681
Затраты на производство первого образца модификации РН $C_{НК}^1$ , млн руб.	336,5	555,2
Стоимость программы по разработке модификации РН и проведению 20 пусков, С (:), млн руб.	6037	9687
Суммарная масса КА на 20 РН, кг	6668	7438
Стоимость выведения 1 кг ПН, млн руб.	0,9	1,3

Табл. 1. Сравнительный анализ технико-экономических показателей рассматриваемых РН «М-1» и РН «М-2» (приведены условные значения технико-экономических показателей).

Источник: составлено авторами по результатам исследования

**1 вариант:** создание РН «М1» – маршевые ступени базовой МБР не меняются и используется дополнительная апогейная ступень для выведения ПН на низкую околоземную орбиту;

**2 вариант:** создание РН «М2» – на базовой МБР производится замена разгонного блока третьей ступени и используется дополнительная апогейная ступень для выведения ПН на низкую околоземную орбиту.

При расчете технических характеристик вариантов модификации создания РН «М1» и «М2» использовались соотношения (модели), полученные в пособии Ю.М. Николаева и др. [10].

Основные характеристики, определяющие облик вариантов РН, а также сравнение стоимостных показателей вариантов РН представлены в табл. 1.

Результаты сравнения двух представленных вариантов РН показывают, что при создании модификации РН «М2» (замена третьего разгонного блока и дополнительной апогейной ступени) масса ПН увеличивается по сравнению с модификацией РН «М1» (где разрабатывается только апогейная ступень) примерно на 11,5%. Такое увеличение происходит за счет рационального распределения массы топлива на третьей и апогейной ступени. Однако затраты на ОКР по созданию такой

модификации РН увеличатся примерно на 39,7% из-за необходимости разработки не только апогейной ступени, но и РБ третьей ступени. Кроме того, на 65% возрастает стоимость изготовления РН. Соответственно, по критерию стоимости выведения одного килограмма ПН, определенного на основе стоимости всей программы пусков, включающей в себя как стоимость изготовления общего количества РН, так и ОКР по ее созданию, первый вариант, при полученной стоимости выведения 1 кг ПН 0,9 млн руб., представляется более экономичным по отношению со вторым вариантом в 1,4 раза.

Рассмотренный пример носит методический характер, иллюстрирует возможность использования предложенной расчетной модели для проведения укрупненных оценок на начальном этапе проектирования РН сверхлегкого класса на базе МБР, снимаемых с боевого дежурства.

#### Заключение

Одним из направлений создания РН сверхлегкого класса является разработка модифицированных РН на базе МБР, снимаемых с боевого дежурства. При этом, как правило, при модификации необходимо дооборудование МБР апогейными ступенями, замена системы

управления, телеметрического оборудования.

Представленные в статье примеры иллюстрируют, что расширение состава замены подсистем базовой МБР обеспечивает увеличение массы ПН, выводимой РН, однако ведет к увеличению объема работ при разработке модификаций РН, а также приводит к «ухудшению» показателя стоимости выведения 1 кг ПН на рабочую орбиту.

Применение представленных в статье экономических моделей при создании модификаций РН на основе снимаемых с боевого дежурства МБР позволяет провести выбор рационального состава и основных проектных параметров новой РН с учетом сопоставления возможности увеличения ПН и затрат на их разработку, изготовление и проведение пусков.

#### Список литературы

1. Алифанов О. М. Малые космические аппараты как эволюционная ступень перехода к микро и наноспутникам / О. М. Алифанов, А. А. Медведев, В. П. Соколов. – Текст: электронный // Электронный журнал «Труды МАИ». – 2011. – № 49. – URL: <https://mai.ru/upload/iblock/3bf/malye-kosmicheskie-apparaty-kak-evolyutsionnaya-stupen-perekhoda-k-mikro-i-nanosputnikam.pdf> (дата обращения: 01.03.2024).
2. Волгин Д. А. Перспективы развития малых космических аппаратов / Д. А. Волгин. – Текст: электронный // Молодой ученый. – 2023. – № 40 (487). – С. 11-15. – URL: <https://moluch.ru/archive/487/106412/> (дата обращения: 29.02.2024).
3. Сенкевич В. П. Космонавтика: системный анализ, информация, прогнозы / В. П. Сенкевич. – Королев: ЦНИИмаш, 2000. – 568, [4] с., [6] л. ил., портр.: ил. табл.; 22 см. – ISBN 5-85162-028-5. – Текст: непосредственный.
4. Ключников В. Ю. Ракеты-носители сверхлегкого класса: ниша на рынке пусковых услуг и перспективные проекты / В. Ю. Ключников. – Текст: непосредственный // Воздушно-космическая сфера. – 2019. – № 3 (100). – С. 58-71.
5. Козедра П. А. Оценка возможности проекта ракеты-носителя сверхлегкого класса для формирования спутниковых группировок / П. А. Козедра, Ю. А. Матвеев, А. А. Позин, Ю. В. Чикачева, В. М. Шершаков. – Текст: непосредственный // Инженерный журнал: наука и инновации. – 2021. – № 2 (110). – С. 1-17.
6. Космические ракетные комплексы с твердотопливными ракетами «Старт» и «Старт-1» / Ю. С. Соломонов, А. П. Сухадольский, С. М. Зинченко [и др.]; Науч.-техн. центр «Комплекс-МИТ». – М.: Универсум, 2000. – 431 с., [8] л. цв. ил.: ил.; 22 см. – ISBN 5-89157-030-0. – Текст: непосредственный.
7. Ковалевская О. В. Прогнозирование характеристик модификаций летательного аппарата с ракетным двигателем твердого топлива / О. В. Ковалевская, Ю. А. Матвеев. – Текст: электронный // Электронный журнал «Труды МАИ». – 2013. – № 67. – URL: <https://mai.ru/upload/iblock/5a1/5a187866774a6704c0ce8d284b2fe657.pdf> (дата обращения: 04.03.2024).
8. Матвеев Ю. А. Экономическая оценка реализации проектов ракетно-космической техники: учеб. пособие / Ю. А. Матвеев, Д. Н. Щеверов. – М.: Изд-во МАИ, 2005. – 95 с. – (Учебное пособие). – Библиогр.: с. 93 (12 назв.). – 250 экз. – ISBN 5-7035-1532-7: Б. ц. – Текст: непосредственный.
9. Ковалевская О. В. Анализ процесса согласования проектных решений при оптимизации параметров модификации летательного аппарата и заменяемых подсистем / О. В. Ковалевская, Ю. А. Матвеев. – Текст: непосредственный // Журнал «Вестник МАИ». – 2013. – Т. 20, № 2. – С. 80-89.
10. Основы проектирования твердотопливных управляемых баллистических ракет: учеб. пособие / Ю. М. Николаев, С. Д. Панин, Ю. С. Соломонов, М. П. Сычев; МГТУ им. Н. Э. Баумана. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана. – Ч. 1. – 1998. – 103 с.: ил. – Библиогр. в конце кн.

**List of literature**

1. Alifanov, O. M. Small spacecraft as an evolutionary stage of transition to micro and nanosatellites / O. M. Alifanov, A. A. Medvedev, V. P. Sokolov. – Text: electronic // Electronic journal "Proceedings of MAI". – 2011. – No. 49. – URL: <https://mai.ru/upload/iblock/3bf/malye-kosmicheskie-apparaty-kak-evolyutsionnaya-stupen-perekhoda-k-mikro-i-nanosputnikam.pdf> (accessed: 01.03.2024).
2. Volgin, D. A. Prospects for the development of small spacecraft / D. A. Volgin. – Text: electronic // Young scientist. – 2023. – № 40 (487). – pp. 11-15. – URL: <https://moluch.ru/archive/487/106412/> (accessed: 29.02.2024).
3. Senkevich, V. P. Cosmonautics: system analysis, information, forecasts / V. P. Senkevich. – Korolev: TsNIIMash, 2000. – 568, [4] p., [6] L. ill., portr.: ill. table; 22 cm. – ISBN 5-85162-028-5. – Text: direct.
4. Klyushnikov, V. Y. Ultralight launch vehicles: niche in the market of launch services and promising projects / V. Y. Klyushnikov. – Text: direct // The aerospace sphere. – 2019. – № 3 (100). – pp. 58-71.
5. Kozedra, P. A. Assessment of the feasibility of an ultralight class launch vehicle project for the formation of satellite groupings / P. A. Kozedra, Yu. A. Matveev, A. A. Pozin, Yu. V. Chikacheva, V. M. Shershakov. – Text: direct // Engineering Journal: Science and Innovation. – 2021. – № 2 (110). – pp. 1-17.
6. Space rocket complexes with solid-fuel rockets "Start" and "Start-1" / Y. S. Solomonov, A. P. Sukhadolsky, S. M. Zinchenko [et al.]; Scientific-technical The Complex-MIT Center. – Moscow: Universum, 2000. – 431 p., [8] L. color. ill.: ill.; 22 cm. – ISBN 5-89157-030-0. – Text: direct.
7. Kovalevskaya, O. V. Forecasting the characteristics of modifications of an aircraft with a solid fuel rocket engine / O. V. Kovalevskaya, Yu. A. Matveev. – Text: electronic // Electronic journal "Proceedings of MAI". – 2013. – No. 67. – URL: <https://mai.ru/upload/iblock/5a1/5a187866774a6704c0ce8d284b2fe657.pdf> (accessed: 04.03.2024).
8. Matveev, Yu. A. Economic assessment of the implementation of rocket and space technology projects: textbook / Yu. A. Matveev, D. N. Shcheverov. – M.: Publishing House of MAI, 2005. – 95 p. – (Textbook). – Bibliogr.: p. 93 (12 titles). – 250 copies. – ISBN 5-7035-1532-7: B. C. – Text: direct.
9. Kovalevskaya, O. V. Analysis of the process of approving design solutions for optimizing the parameters of aircraft modification and subsystems to be replaced / O. V. Kovalevskaya, Yu. A. Matveev. – Text: direct // Journal "Bulletin of MAI". – 2013. – Vol. 20, No. 2. – pp. 80-89.
10. Fundamentals of the design of solid-fuel guided ballistic missiles: textbook / Yu. M. Nikolaev, S. D. Panin, Yu. S. Solomonov, M. P. Sychev; Bauman Moscow State Technical University. – M.: Publishing House of Bauman Moscow State Technical University. – Part 1. – 1998. – 103 p.: ill. – Bibliogr. at the end of the book.

Рукопись получена: 20.03.2024

Рукопись одобрена: 20.06.2024