

УДК 33

DOI: 10.34670/AR.2023.84.94.023

Методология оценки стоимости ракетно-космической техники с учётом затрат на технологическую подготовку производства

Яныгин Владислав Юрьевич

Кандидат экономических наук,
Центральный научно-исследовательский институт машиностроения,
41070, Российская Федерация, Королев, ул. Пионерская, 4;
e-mail: pl-uran@mail.ru

Аннотация

В настоящее время в ракетно-космической промышленности актуальным является развитие методологии технико-экономического обоснования проектов создания ракетно-космической техники. В известных методиках технико-экономического обоснования проектов создания ракетно-космической техники при расчете стоимости, как правило, не учитываются затраты на технологическую подготовку производства и некоторые другие виды затрат. Предлагается новый методический подход, в котором учитываются затраты на технологическую подготовку производства, а также местные производственно-технологические факторы, численность работников предприятия, загрузка производственных мощностей, которые существенно влияют на общие тенденции в выборе альтернативных вариантов по сравнению с известными моделями затрат. Новый методический подход оценки стоимости ракетно-космической техники может быть использован при технико-экономическом обосновании проектов создания ракетно-космической техники на этапах обоснования предложений в государственные и федеральные программы, а также на стадиях разработки аванпроекта, эскизного проекта по созданию ракетно-космической техники с одноразовыми и многоразовыми ракетносителями.

Для цитирования в научных исследованиях

Яныгин В.Ю. Методология оценки стоимости ракетно-космической техники с учётом затрат на технологическую подготовку производства // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2023. Том 13. № 3А. С. 219-225. DOI: 10.34670/AR.2023.84.94.023

Ключевые слова

Государственная программа, методика оценки стоимости, производственно-технологические факторы, развитие ракетно-космической промышленности, ракетно-космическая техника, ракеты-носители, стоимость производства, технологическая подготовка производства.

Введение

В настоящее время в ракетно-космической промышленности (далее – РКП) актуальным является развитие методологии технико-экономического обоснования (далее – ТЭО) проектов создания ракетно-космической техники (далее – РКТ) на этапах разработки предложений в государственные и федеральные программы.

Анализ известных методик ТЭО проектов создания РКТ показал, что при расчете стоимости изделий, как правило, не учитываются затраты на технологическую подготовку производства (далее – ТПП) и некоторые другие виды затрат, что является существенным недостатком, поскольку в отдельных случаях может привести к ложным выводам об экономической целесообразности реализации высокорисковых и затратных проектов, неэффективному расходованию бюджетных средств.

Для устранения указанного недостатка представляется актуальным и целесообразным разработка методики предварительной оценки стоимости РКТ в которой учитывались бы затраты на ТПП, а также влияние отдельных факторов, таких как размер предприятия, доля накладных расходов в цене продукции, загрузка производственных мощностей и др. Для оценки экономической эффективности создания образцов РКТ предлагается использовать новый показатель – показатель конечной стоимости. Плановая конечная стоимость образца РКТ – это стоимость единицы серийного производства образца РКТ с учетом затрат на разработку, ТПП, производство данного образца и других затрат.

Основная часть

Рассмотрим расчет показателя конечной стоимости на примере ракет-носителей (далее – РН), который также может быть использован для обоснования целесообразности разработки и производства многоразовых РН (далее – МРН) как способа снижения стоимости выведения на орбиту полезных грузов по сравнению с обычными-одноразовыми РН (далее – ОРН).

В настоящее время для оценки затрат на проектных этапах создания образца РКТ известна формула расчета стоимости запуска РН, которая применима для планирования затрат как для ОРН, так и для МРН [Wertz, 2000].

В соответствии с указанной формулой, общая стоимость запуска РН рассчитывается как сумма шести составляющих:

$$C_{п} = C_{срзр} + C_{спр} + C_{сп} + C_{срем} + C_{сз} + C_{с} \quad (1)$$

где:

$C_{п}$ – общая стоимость запуска (без учета инфляции);

$C_{срзр}$ – амортизация единовременных затрат на разработку;

$C_{спр}$ – МРН: амортизация стоимости производства единицы РН;

– ОРН: стоимость единицы РН серийного производства с учетом кривой роста производительности в зависимости от объема производства (далее – КРП);

$C_{сп}$ – стоимость пусковых операций;

$C_{срем}$ – стоимость ремонта и технического обслуживания РН и компонентов (только для МРН);

$C_{сз}$ – стоимость полной замены отдельных компонентов в случае невозможности или

нецелесообразности их ремонта (только для МРН);

C_c – стоимость страховки пуска.

Стоимость единицы РН серийного производства с учетом кривой роста производительности в зависимости от объема производства рассчитывается по формуле:

$$C_{\text{спр}} = \text{TFU} * B \quad (2)$$

где TFU – стоимость производства первого серийного изделия,

$$B = 1 - \frac{\ln\left(\frac{100\%}{S}\right)}{\ln 2} \quad (3)$$

где S – процент КРП, который принимается равным 95% для менее чем 10 единиц продукции, 90% – для 10-50 единиц и 85% для 50 или более единиц [Wertz, 2000].

Приведенная выше формула затрат РН без корректировок была использована в МГТУ им. Н.Э. Баумана в работах [Бадиков, Болотских, Здоровец, 2018; Бадиков, Сталина, 2020; Бадиков, Каршина, 2020].

Проведенный анализ структуры указанной формулы позволил выявить следующие недостатки:

- не учитывается стоимость единовременных затрат на ТПП;
- не обоснованы значения процентов КРП, в частности, не учитывается влияние на стоимость серийного производства доли накладных расходов, размера предприятия-изготовителя, наличия резерва незагруженной производственной мощности.

Для этого предлагаются следующие методические новации.

1. Уточнить формулу (1) следующим образом:

$$C_{\text{п}} = C_{\text{сразр}} + C_{\text{стп}} + C_{\text{спр}} + C_{\text{сп}} + C_{\text{спрем}} + C_{\text{сз}} + C_{\text{с}} \quad (4)$$

где $C_{\text{стп}}$ – амортизация единовременных затрат на ТПП.

ТПП в РКП осуществляется за свой счет и за счет средств федерального бюджета, включает мероприятия двух видов:

- научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по разработке промышленных базовых и критических технологий;
- капитальные вложения по реконструкции и техническому перевооружению производственной базы и внедрению технологий.

Понятие «единовременные затраты на ТПП» (далее – ЕЗТПП) в данном случае достаточно условное, поскольку указанные затраты осуществляются, как правило, в течение нескольких лет до момента начала серийного производства.

Для включения ЕЗТПП в стоимость РН следует применять амортизацию – распределять расходы равномерно по общему количеству запусков на равные фиксированные (аннуитетные) платежи. Предполагается, что сумма ЕЗТПП ($C_{\text{стп.ед.}}$) выплачивается N равными платежами по годовой процентной ставке i согласно следующей формуле:

$$C_{\text{стп}} = C_{\text{стп.ед.}} * \frac{\left(\frac{i}{1-(1+i)^{-N}}\right)}{L_{\Gamma}} \quad (5)$$

где L_g – количество запусков в год.

2. Процент КРП предлагается рассчитывать по следующей формуле:

$$S = 100 - 2,5 * V^{0,37} * [1 + K_1 * (1 + K_2 * M_p) * Ч^{K_3}] \quad (6)$$

где V – объем серийного производства, ед.;

$Ч$ – численность работников фирмы, ед.;

M_p – резерв производственной мощности фирмы, доля ед.;

$K_1 = 0,01$; $K_2 = 0,5$; $K_3 = 0,5$.

Значения коэффициентов K_1 , K_2 , K_3 в формуле (6) на данном этапе исследований рассчитаны приблизительно и требуют дополнительного уточнения при наличии достаточного объема статистических данных.

Апробация методического подхода позволила выявить следующие выводы, которые существенно влияют на общие тенденции в выборе альтернативных вариантов создания перспективных РН.

1. При прочих равных условиях для большего предприятия (далее – большей фирмы) экономически более целесообразно крупносерийное производство ОРН, для меньшего предприятия (далее – меньшей фирмы) экономически более целесообразно мелкосерийное производство МРН из-за влияния следующих факторов.
 - 1.1. ЕЗТПП, как правило, напрямую зависят от объема серийного производства, следовательно, как правило, они будут больше для ОРН и меньше в случае МРН;
 - 1.2. ЕЗТПП имеют, как правило, обратную зависимость по отношению к размеру фирмы и наличию резерва незагруженной производственной мощности, следовательно, для большей фирмы более экономически целесообразным является серийное производство ОРН, соответственно, для меньшей фирмы более экономически целесообразным является серийное производство МРН.
2. При серийном производстве любых видов РН эффект роста производительности от масштаба производства будет в большей степени проявляться в большей фирме, по сравнению с меньшей фирмой, при этом значения процентов КРП будут больше для меньшей фирмы. Большой объем серийного производства более экономически целесообразно реализовывать в большей фирме.

Величина влияния эффекта масштаба на стоимость серийного производства должна напрямую зависеть от размера фирмы из-за влияния следующих факторов:

- 2.1 Чем больше фирма, тем, как правило, выше доля постоянных (накладных) расходов в стоимости продукции. При повышении объемов производства большая фирма, как правило, имеет некоторый запас прочности, чтобы сохранить накладные расходы в абсолютном значении на прежнем уровне. Меньшая фирма такого резерва, как правило, не имеет, поэтому ей, скорее всего, придется повышать накладные расходы практически пропорционально росту объемов производства.
- 2.2 У большей фирмы имеются большие возможности роста эффективности серийного производства за счет больших возможностей повышения уровня разделения труда работников.

Обобщенное сравнение вариантов ОРН и МРН и отдельных составляющих (факторов) стоимости по предлагаемой модели приведено в таблице 1.

Таблица 1 - Сравнение одноразовых и многоразовых факторов стоимости запуска.

Фактор стоимости	ОРН	МРН	Комментарий
Амортизация единовременных затрат на разработку	+	+	Выше для МРН из-за более высокой стоимости единовременных затрат на разработку*
Амортизация единовременных затрат на ТПП	+	+	Выше для ОРН из-за более высокой стоимости единовременных затрат на ТПП, обусловленной большим по сравнению с МРН объемом производства, особенно это касается меньшей фирмы
ОРН: Текущие производственные затраты МРН: Амортизация производственных затрат	+	+	ОРН: – в случае большей фирмы дешевле, чем МРН за счет использования преимущества серийного производства (эффект масштаба); – в случае меньшей фирмы дороже, чем МРН. МРН: – в случае большей фирмы дороже в производстве, чем ОРН; – в случае меньшей фирмы дешевле в производстве, чем ОРН
Стоимость восстановления		+	0 для ОРН
Стоимость ремонта		+	Может быть существенным для МРН; 0 для ОРН
Пусковые расходы	+	+	МРН имеет более сложные системы; более дорогой запуск и восстановление
Страхование	+	+	Зависит как от стоимости полной замены аварийных РН их надежности; могут быть дешевле (дороже) как ОРН, так и МРН

* Затраты на доработку РН «Фалкон 9» в МРН составили 1 миллиард долларов США, что почти в 3 раза больше, чем затраты на первоначальную разработку РН «Фалкон 9» в качестве ОРН (360 миллионов долларов США) [How much does it cost to launch a reused Falcon 9?, www].

Заключение

Предлагаемый методический подход на основе показателя конечной стоимости может быть использован при технико-экономическом обосновании проектов создания ОРН, МРН, элементов РКТ на этапах обоснования предложений в государственные и федеральные программы, на стадиях разработки аванпроекта, эскизного проекта, а также в качестве основы для разработки методик оценки конечной стоимости РКТ.

Библиография

1. Бадиков Г.А., Болотских А.А., Здоровец С.А. Моделирование затрат на запуск ракет-носителей при изменении инфляции // Гуманитарный вестник. 2018. Вып. 12.
2. Бадиков Г.А., Каршина А.А. Сравнительное моделирование затрат на запуск ракет-носителей частных китайских компаний // Сборник научных трудов IX международной конференции по контроллингу, посвященной 190-летию МГТУ им. Н.Э. Баумана «Контроллинг в экономике, организации производства и управлении: информационная и методическая поддержка менеджмента». М.: Объединение контроллеров, 2020. С. 10-19.
3. Бадиков Г.А., Сталина Я.В. Моделирование затрат на запуск современных ракет-носителей Индии // Сборник научных трудов IX международной конференции по контроллингу, посвященной 190-летию МГТУ им. Н.Э. Баумана «Контроллинг в экономике, организации производства и управлении: информационная и методическая поддержка менеджмента». М.: Объединение контроллеров, 2020. С. 25-33.

4. Белянин Д.Г., Грибакин В.А., Перфильев А.С., Пирогов С.Ю. Оценка технико-экономического эффекта применения многоразовых элементов конструкции ракет-носителей // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. 2018. № 660. С. 138-145.
5. Вейко А.В. Уточнение модели стоимости создания средств выведения в современных условиях // Космонавтика и ракетостроение. 2013. № 2 (71). С. 160-164.
6. Келле Д.Е. Модели стоимости в ракетно-космической технике // Вопросы ракетной техники. Теория и практика ракетостроения за рубежом. 1972. № 12/216.
7. How much does it cost to launch a reused Falcon 9? URL: <https://www.elonx.net/how-much-does-it-cost-to-launch-a-reused-falcon-9-elon-musk-explains-why-reusability-is-worth-it/>
8. Wertz J.R. Economic model of reusable vs. expendable launch vehicles // IAF Congress. Rio de Janeiro, Brazil. 2000.
9. Batkovskiy A. M. et al. Economic protection of secure operation and development of companies in the rocket and space industry //Mediterranean Journal of Social Sciences. – 2015. – Т. 6. – №. 4. – С. 414.
10. Freeh J. E., Pratt J. W., Brouwer J. Development of a solid-oxide fuel cell/gas turbine hybrid system model for aerospace applications //Turbo Expo: Power for Land, Sea, and Air. – 2004. – Т. 41723. – С. 371-379.

Modeling the cost of rocket and space technology, taking into account the costs of technological preparation of production

Vladislav Yu. Yanygin

PhD in Economics,
Central Mechanical Engineering Research Institute,
41070, 4 Pionerskaya st., Korolev, Russian Federation;
e-mail: pl-uran@mail.ru

Abstract

Currently, in the rocket and space industry, the development of a methodology for the feasibility study of projects for the creation of space technology is relevant. In the well-known methods of feasibility study of projects for the creation of rocket and space technology, when calculating the cost, as a rule, the costs of technological preparation of production and some other types of costs are not taken into account. A new methodological approach is proposed, which takes into account the costs of technological preparation of production, as well as local production and technological factors, the number of employees of the enterprise, the utilization of production capacities, which significantly affect the general trends in the choice of alternative options compared to known cost models. A new methodological approach to estimating the cost of rocket and space technology can be used in the feasibility study of projects for the creation of space technology at the stages of substantiating proposals for state and federal programs, as well as at the stages of developing a preliminary design, a preliminary design for the creation of rocket and space technology with disposable and reusable launch vehicles.

For citation

Yanygin V.Yu. (2023) Metodologiya otsenki stoimosti raketno-kosmicheskoi tekhniki s uchetom zatrat na tekhnologicheskuyu podgotovku proizvodstva [Modeling the cost of rocket and space technology, taking into account the costs of technological preparation of production]. *Ekonomika: vchera, segodnya, zavtra* [Economics: Yesterday, Today and Tomorrow], 13 (3A), pp. 219-225. DOI: 10.34670/AR.2023.84.94.023

Keywords

State program, cost estimation methodology, production and technological factors, development of the rocket and space industry, rocket and space technology, launch vehicles, production cost, technological preparation of production.

References

1. Badikov G.A., Bolotskikh A.A., Zdorovets S.A. (2018) Modelirovanie zatrat na zapusk raket-nositelei pri izmenenii inflyatsii [Modeling the cost of launching launch vehicles when inflation changes]. *Gumanitarnyi vestnik* [Humanitarian Bulletin], 12.
2. Badikov G.A., Karshina A.A. (2020) Sravnitel'noe modelirovanie zatrat na zapusk raket-nositelei chastnykh kitayskikh kompanii [Comparative modeling of the costs of launching launch vehicles of private Chinese companies]. On: *Sbornik nauchnykh trudov IX mezhdunarodnoi konferentsii po kontrollingu, posvyashchennoi 190-letiyu MGTU im. N.E. Baumana «Kontrolling v ekonomike, organizatsii proizvodstva i upravlenii: informatsionnaya i metodicheskaya podderzhka menedzhmenta»* [Proc. Int. Conf. "Controlling in the economy, organization of production and management: information and methodological support for management."]. Moscow: Ob"edinenie kontrollerov Publ., pp. 10-19.
3. Badikov G.A., Stalina Ya.V. (2020) Modelirovanie zatrat na zapusk sovremennykh raket-nositelei Indii [Modeling the costs of launching modern launch vehicles in India]. In: *Sbornik nauchnykh trudov IX mezhdunarodnoi konferentsii po kontrollingu, posvyashchennoi 190-letiyu MGTU im. N.E. Baumana «Kontrolling v ekonomike, organizatsii proizvodstva i upravlenii: informatsionnaya i metodicheskaya podderzhka menedzhmenta»* [Proc. Int. Conf. "Controlling in the economy, organization of production and management: information and methodological support for management."]. Moscow: Ob"edinenie kontrollerov Publ., pp. 25-33.
4. Belyanin D.G., Gribakin V.A., Perfil'ev A.S., Pirogov S.Yu. (2018) Otsenka tekhniko-ekonomicheskogo efekta primeneniya mnogorazovykh elementov konstruksii raket-nositelei [Evaluation of the technical and economic effect of the use of reusable structural elements of launch vehicles]. In: *Trudy voenno-kosmicheskoi akademii imeni A.F. Mozhaiskogo* [Proceedings of the Military Space Academy named after A.F. Mozhaisky], 660, pp. 138-145.
5. *How much does it cost to launch a reused Falcon 9?* Available at: <https://www.elonx.net/how-much-does-it-cost-to-launch-a-reused-falcon-9-elon-musk-explains-why-reusability-is-worth-it> [Accessed 16/02/2023]
6. Kelle D.E. (1972) Modeli stoimosti v raketno-kosmicheskoi tekhnike [Models of cost in rocket and space technology]. *Voprosy raketnoi tekhniki. Teoriya i praktika raketostroeniya za rubezhom* [Questions of rocket technology. Theory and practice of rocket science abroad], 12/216.
7. Veiko A.V. (2013) Utochnenie modeli stoimosti sozdaniya sredstv vyvedeniya v sovremennykh usloviyakh [Refinement of the model of the cost of creating launch vehicles in modern conditions]. *Kosmonavtika i raketostroenie* [Cosmonautics and rocket science], 2 (71), pp. 160-164.
8. Wertz J.R. (2000) Economic model of reusable vs. expendable launch vehicles. *IAF Congress*. Rio de Janeiro, Brazil.
9. Batkovskiy, A. M., Makarov, Y. N., Semenova, E. G., Fomina, A. V., & Khrustalev, E. I. (2015). Economic protection of secure operation and development of companies in the rocket and space industry. *Mediterranean Journal of Social Sciences*, 6(4), 414.
10. Freeh, J. E., Pratt, J. W., & Brouwer, J. (2004, January). Development of a solid-oxide fuel cell/gas turbine hybrid system model for aerospace applications. In *Turbo Expo: Power for Land, Sea, and Air* (Vol. 41723, pp. 371-379).