

## Моделирование затрат на запуск ракет-носителей при изменении инфляции

© Г.А. Бадиков, А.А. Болотских, С.А. Здоровец

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Для сохранения Российской Федерацией лидирующих позиций на рынке ракет-носителей критически важным является контроль необходимых затрат. Существующие экономические модели не позволяют учесть изменения, происходящие в процессе эксплуатации ракеты-носителя. В статье предложено дополнение модели, учитывающее изменение количества запусков в год и затраты на модификацию ракеты-носителя. Эта модель использована для сравнительного моделирования затрат на запуск современных ракет-носителей: Протон-М, Союз-ФГ, Ариан-5, Фалькон-9, Атлас V401, Дельта Хеви. Делается вывод, что наиболее острая конкурентная борьба за коммерческие запуски в ближайшие годы развернется между ракетами-носителями Союз-ФГ, Протон-М и Фалькон-9, имеющими преимущество в виде более низких затрат. Изменение инфляции от 0 до 25 % с ошибкой не более 1,6 % можно учитывать изменяющейся процентной ставкой инвестиционного проекта, где в качестве инвестиций рассматриваются затраты на разработку. Моделирование затрат на запуск современных ракет-носителей (Протон-М, Фалькон-9, Атлас V401) показало, что при изменении инфляции от 4 до 25 % необходимо использовать предлагаемую в статье модель. Если инфляция составляет 0...4 %, более простая модель дает аналогичные результаты.*

**Ключевые слова:** *ракета-носитель, снижение стоимости, методы анализа эффективности инвестиций, многоуровневые ступени, массовость производства, кризисная обстановка, учет инфляции в экономической модели*

**Введение.** Расчет затрат является важной составляющей проекта космической системы. Величина затрат определяется размерами и массой системы, сложностью и новизной технических решений, планированием и жизненным циклом ее элементов, риском и методами снижения риска. Большую роль играет массовость производства элементов системы, методы управления предприятием и использование средств управления проектами.

Самым востребованным элементом космической системы является ракета-носитель, поэтому требуется разработка адекватной экономической модели затрат на запуск ракеты-носителя, учитывающей изменения в процессе эксплуатации. Это прежде всего конструктивные изменения в связи с появлением новых технологий, новых материалов, нового оборудования, а также изменения количества запусков в год, финансовых условий работы предприятия, спроса на рынке космических запусков. Существующие модели не позволяют учесть перечисленные факторы [1].

В работе [2] предложено дополнение модели [1], учитывающее изменение количества запусков в год и затраты на модификацию ракеты-носителя. Эта экономическая модель [3] использована для моделирования затрат на запуск современных ракет-носителей Протон-М [4], Союз-ФГ [5], Ариан-5 [6], Фалькон-9, Атлас V401, Дельта Хеви [7]. Актуальной задачей является учет изменяющейся инфляции, увеличение которой может свести на нет сокращение затрат, получаемое за счет увеличения производительности труда и массовости производства.

**Цель работы.** Разработать экономическую модель затрат на запуск ракеты-носителя, учитывающую изменение годовой инфляции. Выполнить моделирование затрат на запуск современных ракет-носителей. Определить границы, в которых целесообразно использовать новую экономическую модель.

**Инфляция в странах, осуществляющих запуски ракет-носителей.** Инфляция определяется как общий процент роста цен типичной потребительской корзины. Для разных продуктов инфляция изменяется по-разному. Используем наиболее доступные данные государственной статистики [8]. Анализ годовой инфляции показывает, что страны, способные выводить грузы на орбиту Земли, подразделяются на две группы. В одних странах с начала века инфляция составляла менее 4 % в год: это Евросоюз, США, Япония, Китай, в других — Россия, Индия — более 4 %. Наибольшие колебания инфляции в России — от 3 до 20 %. Таким образом, учет изменения инфляции необходим для сравнения затрат на запуск ракет-носителей в разных странах. В первую очередь надо правильно учитывать инфляцию в расчетах эффективности инвестиционного проекта.

Рассмотрим пример с нулевой инфляцией. В этом случае процентная годовая ставка  $r$  % (ставка рефинансирования) представляет собой нормальную прибыль (1-2 %) и риски центрального банка страны. Будущую сумму ( $C_1$ ), получаемую через год, приведем к настоящему времени  $H$  по формуле

$$H = C_1 / (1 + r).$$

Предположим, что в этот год случилась инфляция  $u$  %. Для расчетов в сопоставимых ценах с учетом инфляции имеем

$$C_{1u} = C_1 / (1 + u); H = C_{1u} / (1 + r) = C_1 / [(1 + u)(1 + r)];$$

$$(1 + u)(1 + r) = 1 + u + r + ur,$$

или при  $ur < 0,016$

$$(1 + u)(1 + r) = 1 + u + r.$$

Условие  $ur < 0,016$  выполняется в 99 % случаях. Из представленных в табл. 1 данных следует, что сумма ( $u$  % +  $r$  %) не превышает 25 % (Россия, 2001 г.). Поэтому  $\max(ur) = 0,0156 < 0,016$ .

Таким образом, влияние инфляции можно учитывать изменяющейся процентной ставкой инвестиционного проекта, включающей три компонента: инфляцию, нормальную прибыль и риски инвестора.

**Изменения процентной ставки.** Процентную ставку ( $r_1$ ) центральный банк страны обычно устанавливает на несколько процентов выше годовой инфляции ( $u$ ). Изменения процентной ставки необходимо осуществлять плавно, постепенно, чтобы экономика успевала к ним адаптироваться. Но в отдельных случаях, чаще всего связанных с кризисами, инфляция превышает процентные ставки. Положим на риск инвестора 30–60 % от максимума из двух величин: процентной ставки центробанка и инфляции за год. Таким образом, получим интервал ( $r_2, r_3$ ), в котором могут находиться процентные ставки инвестиционного проекта:

$r_2 = 1,3 \max(u; r_1)$  — нижняя граница интервала;

$r_3 = 1,6 \max(u; r_1)$  — верхняя граница интервала.

Данные об изменении инфляции, процентной ставки и границ интервала процентной ставки инвестиционного проекта в США и России в период 2001–2019 гг. представлены в табл. 1.

Таблица 1

**Инфляция, процентная ставка и границы интервала процентной ставки инвестиционного проекта, %**

Годы	США				Россия			
	$u$	$r_1$	$r_2$	$r_3$	$u$	$r_1$	$r_2$	$r_3$
2001	1,55	4,0	5,2	6,4	18,82	25,0	32,5	40,0
2002	2,38	1,25	3,09	3,81	15,06	21,0	27,3	33,6
2003	1,88	1,0	2,44	3,01	11,99	16,0	20,8	25,6
2004	3,26	1,25	4,24	5,22	11,74	13,0	16,9	20,8
2005	3,42	3,5	4,55	5,6	10,91	12,0	15,6	19,2
2006	2,54	5,0	6,5	8,0	9,0	11,0	14,3	17,6
2007	4,08	4,5	5,85	7,2	11,87	10,0	15,43	18,99
2008	0,09	2,0	2,6	3,2	13,28	13,0	17,26	21,25
2009	2,72	0,25	3,536	4,35	8,8	10,0	13,0	16,0
2010	1,5	0,25	1,95	2,4	8,78	8,25	11,41	14,05
2011	2,96	0,25	3,848	4,74	6,1	8,25	10,73	13,2
2012	1,74	0,25	2,262	2,78	6,58	8,25	1,73	13,2
2013	1,5	0,25	1,95	2,4	6,45	5,5	8,39	10,32
2014	0,76	0,25	0,988	1,22	11,36	10,5	14,77	18,18
2015	0,73	0,25	0,949	1,17	12,91	15,0	19,5	24,0
2016	2,07	0,5	2,691	3,31	5,38	11,0	14,3	17,6
2017	2,17	1,25	2,821	3,47	3,0	9,0	11,7	14,4
2018	2,0	1,25	2,6	3,2	3,0	8,0	10,4	12,8
2019	2,0	1,25	2,6	3,2	3,0	8,0	10,4	12,8

Из табл. 1 следует, что значение процентной ставки практически всегда выше инфляции. Но в отдельных случаях, чаще всего связанных с кризисами, инфляция превышает процентные ставки. Положим на риск инвестора 30...60 % от максимума из двух величин — процентной ставки центрального банка и инфляции за год. Таким образом, получим зону интервалов, в которых могут находиться процентные ставки инвестиционного проекта:  $1,3\max(u; r_2) - 1,6\max(u; r_2)$ .

**Экономическая модель.** На основе агрегатного метода расчета издержек, методов анализа эффективности инвестиций и представлений о кривой роста производительности (кривой обучения) разработана комплексная модель затрат на запуск ракеты-носителя. Модель применима как на начальной стадии периода эксплуатации с целью определения эффективной стоимости запуска, так и в процессе эксплуатации, что позволяет учесть фактические затраты прошлых периодов и скорректировать стоимость будущих запусков. В модели естественным образом учитываются затраты на модификацию ракеты-носителя, изменяющееся число запусков в год и изменяющаяся процентная ставка.

Затраты на запуск ракеты-носителя ( $C_3$ ) определяются как сумма затрат на разработку, изготовление, выполнение полета и страхование ракеты-носителя:

$$C_3 = C_p + C_{и} + C_{п} + C_c,$$

где  $C_p$  — часть затрат на разработку ракеты-носителя, возвращаемая после запуска;  $C_{и}$  — затраты на изготовление ракеты-носителя;  $C_{п}$  — затраты на обеспечение полета;  $C_c$  — затраты на страхование ракеты-носителя.

**Возврат затрат на разработку ракеты-носителя.** Пусть  $k$  — число лет фактического использования (эксплуатации) ракеты-носителя. Тогда перед началом использования при  $k = 0$  затраты на разработку определяются с помощью метода аннуитета [1]:

$$C_p = C_1 = C_0 \left[ i / \left( 1 - (1+i)^{-N} \right) \right] / L_{1,пл}, \quad (1)$$

где  $C_0$  — все затраты на разработку ракеты-носителя до начала изготовления;  $i$  — процентная ставка инвестиционного проекта;  $N$  — число лет, в течение которых планируется возврат всех затрат;  $L_{1,пл}$  — количество запланированных запусков в год.

В формуле (1) предполагается постоянство величин  $i$  и  $L$  на протяжении всего периода  $N$ . Затраты на модификацию ракеты-носителя также нигде не учитываются. Через  $k$  лет эксплуатации, где  $1 \leq k \leq N-1$ , будут известны число фактических запусков в эти годы  $L_1, L_2, \dots, L_k$ ,  $1 \leq m \leq k$ , годовые процентные ставки  $i_1, i_2, \dots, i_k$ ,  $1 \leq m \leq k$ , и затраты

на модификацию  $S_1, S_2, \dots, S_k, 1 \leq m \leq k$ . Тогда возврат затрат на разработку с каждого запуска, начиная с  $(k + 1)$ -го года, будет составлять

$$C_{k+1} = \frac{1}{L_{k+1, \text{пл}}} \frac{C_0 \prod_{m=1}^k (1+i_m) + \sum_{m=1}^k \left( (S_m - C_m L_m) \prod_{s=m+1}^k (1+i_s) \right)}{\sum_{j=k+1}^N \left( 1 / \left( \prod_{s=k+1}^j (1+i_s) \right) \right)},$$

где  $L_{k+1, \text{пл}}$  — планируемое число запусков на  $(k + 1)$  год;  $m$  — номер года, пробегающий значения от 1 до  $k$ ;  $C_m$  — возврат затрат в  $m$ -й год за один запуск;  $i_{k+1}, i_{k+2}, \dots, i_N, k + 1 \leq s \leq N$  — планируемые процентные ставки.

**Затраты на изготовление ракеты-носителя.** Эти затраты определяются по кривой обучения. Кривая роста производительности (кривая обучения) показывает сокращение суммарных затрат на изготовление  $t$  экземпляров ракет-носителей, начиная с самого первого:

$$C_s = Z_1 t^B; B = 1 - \ln(100 \% / S \%) / \ln 2, \quad (2)$$

где  $Z_1$  — затраты на изготовление первого экземпляра ракеты-носителя;  $S \%$  — процент кривой обучения, обычно выбирается значение 95 % для менее 10 единиц продукции, 90 % для 10–50 единиц и 85 % для 50 или более единиц.

Как правило, ракета-носитель создается для осуществления более 50 пусков. Будем считать, что  $S \% = 85 \%$ . Тогда

$$C_{u,t} = \text{Средняя стоимость } t \text{ единиц} = Z_1 t^B / t. \quad (3)$$

Изменение затрат на изготовление в связи с модификацией ракеты-носителя в (3) тоже не учитывается. Примем, что  $P_1, P_2, \dots, P_k, 1 \leq m \leq k$ , — дополнительные затраты, связанные с модификацией ракеты-носителя в 1-й, 2-й, ...,  $k$ -й год эксплуатации. Тогда затраты на изготовление ракеты-носителя с номером  $t$  будут составлять

$$C_{u,t} = \text{Средняя стоимость } t \text{ единиц} = \left( Z_1 + \sum_{m=1}^k P_m \right) t^B / t. \quad (4)$$

**Операционные затраты на подготовку и выполнение полета.**

Эти затраты также определяются по кривой обучения. Аналогично затратам на изготовление ракеты-носителя затраты на подготовку и выполнение полета ракеты-носителя с номером  $t$  будут составлять

$$C_{n,t} = \text{Средняя стоимость } t \text{ единиц} = \left( Z_2 + \sum_{m=1}^k P_{1,m} \right) \times t^B / t, \quad (5)$$

где  $Z_2$  — затраты на подготовку и выполнение полета первого экземпляра ракеты-носителя;  $P_{1,m}$  — дополнительные затраты, связанные с модификацией ракеты-носителя.

**Затраты на страхование.** Они составляют фиксированный процент от текущей стоимости изготовления ракеты-носителя. Обычно это 8...15 % в зависимости от подтвержденной надежности ракеты-носителя. Примем 15 % для ракеты-носителя Протон-М; 4 % для Фалькон-9 и Атлас V401.

**Выбор ракет-носителей для моделирования.** Были выбраны постоянно используемые с начала века без больших перерывов ракеты-носители: это Протон-М [4], Фалькон-9 [9], Атлас V401 [10]. Большое влияние на выбор оказала доступность исходных данных.

**Исходные данные для моделирования.** Источником исходных данных модели послужили договорные цены на запуск ракет-носителей, страховые выплаты, закупочные цены на изготовление ракет-носителей и их компонентов. В табл. 2 приведены исходные данные, сформированные по выбранным ракетам-носителям, в табл. 3 — количество осуществленных запусков в год, в табл. 1 — изменяющиеся процентные ставки.

Затраты на модификацию ракеты-носителя Фалькон-9 составили, млн долл. США:

в 2014 г. для Фалькон-9 v1.1 —  $S = 40$ ;  $P = 5$ ;  $P_1 = 0,25$ ;

в 2016 г. для Фалькон-9 v1.2 —  $S = 40$ ;  $P = 5$ ;  $P_1 = 0,25$ ;

в 2017 г. для Фалькон-9 v1.4(B5) —  $S = 40$ ;  $P = 5$ ;  $P_1 = 0,25$ .

Таблица 2

Исходные данные моделей ракет-носителей

Параметр	Протон-М	Атлас V401	Фалькон-9 v1.2
Масса полезного груза, т	22,4	9,8	22,8
Стартовая масса, т	705	334,5	541,3
Общие затраты на разработку, млн долл. США	400	300	400
Продолжительность инвестиционного проекта, годы	21	21	15
Ставка проекта, %	15	3	3
Количество запусков в год, шт.	6	3	10
Затраты на изготовление первого экземпляра, млн долл. США	60	120	100
Затраты на полет первого экземпляра, млн долл. США	1	1	1
Страхование, %	10	4	4
Цена, млн долл. США	65	109–137	62

Таблица 3

Количество запусков ракет-носителей в год

Годы	Протон-М	Атлас V401	Фалькон-9 v1.2
2001	1	–	–
2002	1	1	–
2003	0	1	–
2004	4	–	–
2005	4	1	–
2007	6(1)	3	–
2008	9(1)	–	–
2009	9	3	–
2010	12(1)	1	2
2011	9(1)	1	0
2012	10(1)	3	2
2013	10(1)	5	3
2014	8(1)	7	6 для v1.1
2015	6(1)	4	6
2016	3	3	9 для v1.2
2017	6	4	18 для v1.4 (B5)
2018	6	1	18
2019	6	3	10

*Примечание.* В скобках указаны неудачные запуски.

**Результаты моделирования.** Для определения влияния инфляции на моделирование затрат выбраны ракеты-носители Фалькон-9 и Атлас V401, относящиеся к группе стран с инфляцией до 4 %, и Протон-М, представляющий группу стран с инфляцией больше 4 %. Рассмотрены изменения затрат на запуск ракет-носителей при изменяющейся и постоянной процентной ставке инвестиционного проекта. Результаты моделирования запусков ракеты-носителя Протон-М (рис. 1), полученные по предлагаемой модели, показывают увеличение затрат по сравнению с затратами, сформированными по модели с постоянной процентной ставкой [2]. Это объясняется повышенной инфляцией (20...18 %) и недостаточным количеством запусков в год в 2001, 2002 гг.

Когда к 2016 г. инфляция уменьшилась до 10 %, затраты на запуск практически сблизилась с затратами, полученными при постоянной процентной ставке 15 %. Таким образом, экономическая модель отражает реальную ситуацию: с увеличением инфляции затраты на запуск увеличиваются. Очевидно, что повышение инфляции может свести на нет сокращение затрат, получаемое за счет увеличения производительности труда и массовости производства. Необходимо отметить еще один важный момент: предлагаемая модель не только гарантирует возврат затрат на разработку, но и позволяет вернуть эти затраты с учетом изменяющейся инфляции.

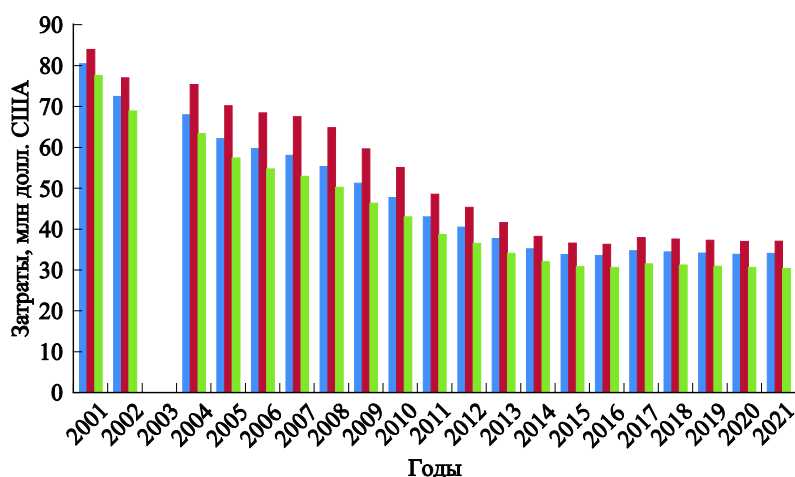


Рис. 1. Среднегодовые затраты на запуск ракеты-носителя Протон-М:  
 ■ —  $1,3\max(u; r_2)$ ; ■ —  $1,6\max(u; r_2)$ ; ■ — постоянная процентная ставка 15 %

Результаты моделирования запусков ракеты-носителя Фалькон-9 представлены на рис. 2. Затраты на запуск, полученные по предлагаемой модели, показывают практически полное совпадение затрат с полученными по модели с постоянной ставкой [2]. Это объясняется небольшой инфляцией (0,7...2,9 %) в 2010–2016 гг. Таким образом, при изменении инфляции от 0 до 4 % предлагаемую модель можно не использовать и обойтись более простой моделью [2].

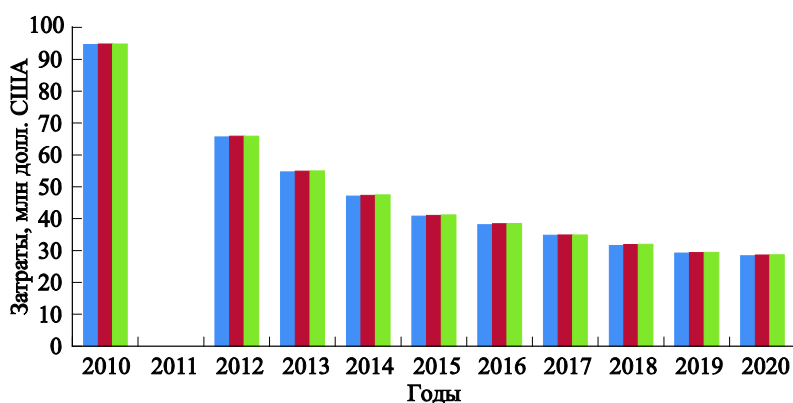


Рис. 2. Среднегодовые затраты на запуск ракеты-носителя Фалькон-9:  
 ■ —  $1,3\max(u; r_2)$ ; ■ —  $1,6\max(u; r_2)$ ; ■ — постоянная процентная ставка 3 %



Ракету-носитель Фалькон-9 начали запускать с 2010 г., при этом изменения инфляции в США были на уровне 3-4 % и соответственно процентной ставки в пределах 1...5 % наблюдались в 2002–2008 гг. Влияние инфляции в затратах на запуск ракеты-носителя Атлас V401 в период с 2002 по 2021 гг. показано на рис. 3. Результаты моделирования подтверждают, что инфляция 4...5 % существенно не меняет затраты.

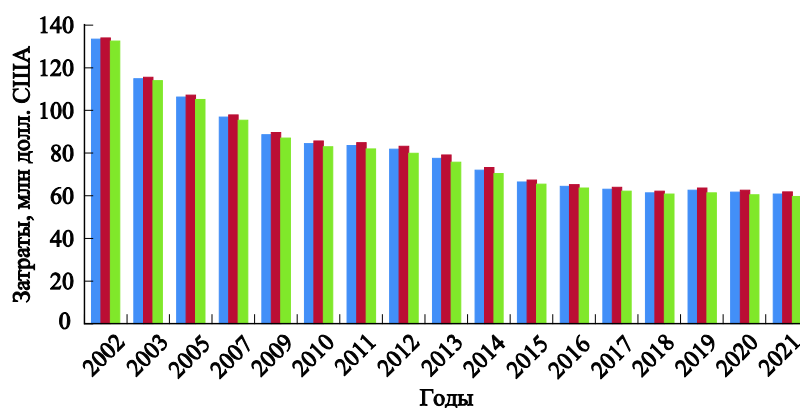


Рис. 3. Среднегодовые затраты на запуск ракеты-носителя Атлас V401:  
■ — 1,3таx (u; r<sub>2</sub>); ■ — 1,6таx (u; r<sub>2</sub>); ■ — постоянная процентная ставка 3 %

### Выводы

1. Влияние инфляции, не превышающей 25 %, можно учитывать изменяющейся процентной ставкой инвестиционного проекта, включающей три компонента: инфляцию, нормальную прибыль и риски инвестора.

2. Экономическая модель позволяет учесть модификацию ракеты-носителя, изменение числа запусков и изменение инфляции в процессе эксплуатации.

3. Учет изменения инфляции в пределах 0...4 % (Фалькон-9) практически не отражается на результатах моделирования. Изменения инфляции в пределах 5...20 % (Протон-М) приводят к существенному увеличению затрат на запуск, и в этом случае необходимо применять предлагаемую модель.

4. Предлагаемая модель не только гарантирует возврат затрат на разработку, но и позволяет вернуть эти затраты с учетом меняющейся инфляции.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Вертц Дж.Р. Экономическая модель многоразовых и расходных ракет-носителей. *Конгресс МАФ*. Рио-де-Жанейро, Бразилия, Октябрь 2–6, 2000.
- [2] Бадиков Г.А., Зуев А.Г., Левашов Р.Д. Экономическое моделирование затрат на запуск ракеты-носителя. *Труды секции 22 им. академика В.Н. Челомея Академических чтений по космонавтике «Ракетные комплексы и ракетно-космические системы. Проектирование, экспериментальная отработка, летные испытания, эксплуатация»*. Москва, АО «ВПК «НПО машиностроения», 2017, с. 29–36.
- [3] Бадиков Г.А., Бурнашова Е.В., Левашов Р.Д. Анализ чувствительности экономической модели затрат на запуск современных ракет-носителей. *Труды секции 22 им. академика В.Н. Челомея Академических чтений по космонавтике «Ракетные комплексы и ракетно-космические системы. Проектирование, экспериментальная отработка, летные испытания, эксплуатация»*. Москва, АО «ВПК «НПО машиностроения», 2018, с. 27–39.
- [4] *Официальный сайт ГКНПЦ им. М.В. Хруничева*. URL: <http://khrunichev.com/main.php?id=42> (дата обращения 15.09.2018).
- [5] *Официальный сайт компании АО «РКЦ «Прогресс»*. URL: [https://www.samspace.ru/products/launch\\_vehicles/rn\\_soyuz\\_fg/](https://www.samspace.ru/products/launch_vehicles/rn_soyuz_fg/) (дата обращения 5.09.2018).
- [6] *Официальный сайт компании Airbus*. URL: <https://www.airbus.com/space/launchers-deterrence/ariane-5.html> (дата обращения 9.09.2018).
- [7] *Официальный сайт компании ULA (ракета-носитель Дельта Хеви)*. URL: <https://www.ulalaunch.com/missions/-in-category/categories/rocket/delta-4> (дата обращения 15.09.2018).
- [8] *Таблицы месячной и годовой инфляции*. URL: <https://www.statbureau.org/ru/united-states/inflation-tables/> (дата обращения 10.10.2018).
- [9] *Официальный сайт компании SpaceX*. URL: [www.spacex.com/about/capabilities](http://www.spacex.com/about/capabilities) (дата обращения 20.09.2018).
- [10] *Официальный сайт компании ULA*. URL: <https://www.ulalaunch.com/rockets/atlas-v> (дата обращения 20.09.2018).

Статья поступила в редакцию 20.10.2018

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Бадиков Г.А., Болотских А.А., Здоровец С.А. Моделирование затрат на запуск ракет-носителей при изменении инфляции. *Гуманитарный вестник*, 2018, вып. 12. <http://dx.doi.org/10.18698/2306-8477-2018-12-582>

**Бадиков Григорий Александрович** — канд. техн. наук, доцент кафедры «Экономика и организация производства» МГТУ им. Н.Э. Баумана.  
e-mail: [grigori.badikov@rambler.ru](mailto:grigori.badikov@rambler.ru)

**Болотских Антон Александрович** — студент МГТУ им. Н.Э. Баумана.  
e-mail: [79161424838@yandex.ru](mailto:79161424838@yandex.ru)

**Здоровец Сергей Андреевич** — студент МГТУ им. Н.Э. Баумана.  
e-mail: [Ws4415@yandex.ru](mailto:Ws4415@yandex.ru)

## **Simulation of costs for launching carrier rocket when inflation changes**

© G.A. Badikov, A.A. Bolotskikh, S.A. Zdorovets

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 105005, Russia

*To maintain the Russian Federation's leading position in the carrier rocket market, it is crucial to control the necessary costs. Existing economic models do not allow to take into account the changes occurring during the operation of the launch vehicle. The article proposed the addition of a model that takes into account the change in the number of launches per year and the cost of modifying the carrier rocket. This model is used for comparative modeling of costs for launching modern carrier rockets: Proton-M, Soyuz-FG, Arian-5, Falcon-9, Atlas V401, Delta Heavy. It is concluded that the most intense competition for commercial launches in the coming years will be between the Soyuz-FG, Proton-M and Falcon-9 carrier rockets, which have the advantage of lower costs. The change in inflation from 0 to 25 % with an error of no more than 1.6 % can be taken into account by the changing interest rate of the investment project, where development costs are considered as investments. Modeling the cost of launching modern carrier rockets (Proton-M, Falcon-9, Atlas V401) showed that when inflation changes from 4 to 25 %, it is necessary to use the model proposed in the article. If inflation is 0 ... 4 %, a simpler model gives similar results.*

**Keywords:** carrier rocket, cost reduction, investment analysis methods, reusable stage, production quantity, learning curve, accounting for inflation in the economic model

### REFERENCES

- [1] Wertz J.R. *Economic model of reusable vs. expendable launch vehicles*. IAF Congress, Rio de Janeiro, Brazil, Oct. 2–6, 2000.
- [2] Badikov G.A., Zuev A.G., Levashov R.D. Ekonomicheskoe modelirovanie zatrat na zapusk rakety-nositelya [Economic simulation of carrier rocket launch costs]. *Trudy sektsii 22 imeni akademika V.N. Chelomeya Akademicheskikh chteniy po kosmonavtike "Raketnye komplekсы i raketno-kosmicheskie sistemy. Proektirovanie, eksperimentalnaya otrabotka, letnye ispytaniya, ekspluatatsiya"* [Proceedings of academician V.N. Chelomey section 22 of Academic readings on cosmonautics "Rocket systems and rocket-space systems. Design, experimental development, flight tests, operation"]. Moscow, JSC "MIC "NPO mashinostroyeniya" Publ., 2017, pp. 29–36.
- [3] Badikov G.A., Burnashova E.V., Levashov R.D. Analiz chuvstvitelnosti ekonomicheskoy modeli zatrat na zapusk sovremennykh raket-nositeley [Analysis of sensitivity of the economic model of current carrier rocket launch costs]. *Trudy sektsii 22 imeni akademika V.N. Chelomeya Akademicheskikh chteniy po kosmonavtike "Raketnye komplekсы i raketno-kosmicheskie sistemy. Proektirovanie, eksperimentalnaya otrabotka, letnye ispytaniya, ekspluatatsiya"* [Proceedings of academician V.N. Chelomey section 22 of Academic readings on cosmonautics "Rocket systems and rocket-space systems. Design, experimental development, flight tests, operation"]. Moscow, JSC "MIC "NPO mashinostroyeniya" Publ., 2018, pp. 27–39.
- [4] *The Khronichev Space Center*. Available at: <http://khrunichev.com/main.php?id=42> (accessed September 15, 2018).

- [5] *The Progress Rocket Space Centre JSC*. Available at: [https://www.samspace.ru/products/launch\\_vehicles/rn\\_soyuz\\_fg/](https://www.samspace.ru/products/launch_vehicles/rn_soyuz_fg/) (accessed September 15, 2018).
- [6] *Airbus*. Available at: <https://www.airbus.com/space/launchers-deterrence/ariane-5.html> (accessed September 9, 2018).
- [7] *ULA* (carrier rocket Delta Heavy). Available at: <https://www.ulalaunch.com/missions/-in-category/categories/rocket/delta-4> (accessed September 15, 2018).
- [8] *Monthly and annual inflation tables*. Available at: <https://www.statbureau.org/ru/united-states/inflation-tables/> (accessed October 10, 2018).
- [9] *SpaceX*. Available at: [www.spacex.com/about/capabilities](http://www.spacex.com/about/capabilities) (accessed September 20, 2018).
- [10] *ULA* (Atlas V). Available at: <https://www.ulalaunch.com/rockets/atlas-v> (accessed September 20, 2018).

**Badikov G.A.**, Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, Department of Industrial Management, Bauman Moscow State Technical University.  
e-mail: [grigori.badikov@rambler.ru](mailto:grigori.badikov@rambler.ru)

**Bolotskikh A.A.**, student, Bauman Moscow State Technical University.  
e-mail: [79161424838@yandex.ru](mailto:79161424838@yandex.ru)

**Zdorovets S.A.**, student, Bauman Moscow State Technical University.  
e-mail: [Ws4415@yandex.ru](mailto:Ws4415@yandex.ru)