

УДК 338.512

Экономическое моделирование затрат на запуск космической системы

Economic modeling of the costs of launching a space system

Для сохранения Российской Федерацией лидирующих позиций на рынке космических систем, критически важным является контроль необходимых затрат. Существующие экономические модели не позволяют учесть изменения, происходящие в процессе эксплуатации космической системы.

Основываясь на агрегатном (аддитивном) методе расчета издержек, методах анализа эффективности инвестиций и представлениях о кривой роста производительности (кривой обучения), разработана комплексная модель формирования затрат на запуск космической системы. Модель применима как на начальной стадии периода эксплуатации с целью определения эффективной стоимости запуска, так и в процессе эксплуатации, позволяя учесть фактические затраты прошлых периодов и скорректировать стоимость будущих запусков с учетом изменяющегося числа запусков в год и затрат на модификацию космической системы. Используя экономическую модель затрат можно сформулировать задачу расчета эффективности инвестиционного проекта создания космической системы и определить ее окупаемость.

Определена чувствительность модели к исходным параметрам. Проведено моделирование затрат на запуск многоразовой космической системы Starship. Показано существенное сокращение затрат на запуск при повторном использовании элементов космической системы 1000 раз и увеличении числа запусков в год до тысячи. Затраты на запуск могут составить от 5 млн. долл. до 10 млн. долл.

In order for the Russian Federation to maintain its leading position in the space systems market, it is critically important to control the necessary costs. The existing economic models do not allow us to take into account the changes occurring during the operation of the space system.

Based on the aggregate (additive) method of calculating costs, methods of analyzing the effectiveness of investments and ideas about the productivity growth curve (learning curve), a comprehensive model of the formation of costs for launching a space system has been developed. The model is applicable both at the initial stage of the operational period in order to determine the effective cost of launch, and during operation, allowing you to take into account the actual costs of past periods and adjust the cost of future launches taking into account the changing number of launches per year and the cost of modifying the space system. Using an economic cost model, it is possible to formulate the task of calculating the effectiveness of an investment project to create a space system and determine its payback.

The sensitivity of the model to the initial parameters is determined. A simulation of the costs of launching a reusable Starship space system has been carried out. It shows a significant reduction in launch costs when reusing elements of the space system 1000 times and increasing the number of launches per year to thousands. The launch costs can range from \$5 million to \$10 million.

Ключевые слова: ракета-носитель, снижение стоимости, методы анализа эффективности инвестиций, многоразовые ступени, массовость производства, кривая обучения.

Keywords: launch vehicle, cost reduction, investment efficiency analysis methods, reusable stages, mass production, learning curve.



БАДИКОВ ГРИГОРИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ
к.т.н., доцент кафедры «Экономика и организация производства», МГТУ им. Н. Э. Баумана

BADIKOV GRIGORY
Department «Economics and Organization of Production» (IBM-2) of Bauman Moscow State Technical University, PhD (Technology)



ФАЛЬКО СЕРГЕЙ ГРИГОРЬЕВИЧ
Заведующий кафедрой «Экономика и организация производства» (ИБМ-2) МГТУ им. Н.Э. Баумана, д.э.н., профессор

FALKO SERGEY
Head of the Department «Economics and Organization of Production» (IBM-2) of Bauman Moscow State Technical University, Doctor of Economics, Professor

Введение

Современные космические технологии требуют решения следующих актуальных задач запуска космических объектов^[1]: сокращение стоимости выведения на орбиту 1 кг полезной нагрузки; разработку многократно используемых ракет-носителей (РН), космических кораблей и других элементов космической системы; повышение надежности и эффективности космических систем; сокращение времени межпланетного обслуживания.

Поэтому необходима разработка новой экономической модели формирования затрат на запуск космической системы. Основное ее отличие в учете изменений в процессах изготовления, запуска и эксплуатации космических объектов. Это, прежде всего, изменения спроса на рынке космических услуг и, как следствие, увеличение такого показателя как «количество запусков в год». Учет в затратах модификации космической системы в процессе эксплуатации, изменения внешних экономических условий (инфляция, нарушения поставок, кризис). Существующие экономические модели^[2] не позволяют учесть эти изменения в полной мере.

Запуск космической системы в настоящее время – это не только выведение спутника на орбиту. Так для многоразовых ракет-носителей – это дополнительно возврат на стартовый стол и межпланетное обслуживание. В случае воздушного старта в затраты включается обслуживание самолета, как первой ступени системы. При суборбитальном туризме затраты охватывают все этапы жизненного цикла системы: подготовка, подъем, посадка, межпланетное обслуживание ракеты-носителя и спускаемого аппарата. С появлением спутниковых созвездий запуск системы включает затраты первого этапа, обеспечивающего функционирование системы. Актуальной задачей является снижение затрат на запуск космической системы^[3-5]. Моделирование

с использованием кривой обучения позволяет учесть сокращение затрат при повышении производительности рабочих и преимуществах серийного производства. Затраты на запуск снижаются с использованием ракет-носителей тяжелого и сверхтяжелого классов. Статистическая обработка методом наименьших квадратов в статье^[5] показывает, что цена выведения килограмма полезной нагрузки на околоземную орбиту (y , долл./кг) с увеличением грузоподъемности ракет-носителей (x , т) снижается в соответствии с зависимостью $y = 16008 * e^{(-0,064 * x)}$.

Использование многоразовых ракет-носителей позволяет существенно снизить затраты на запуск^[4,5]. В этом случае затраты на изготовление ракеты-носителя заменяются на амортизацию, которая тем меньше, чем больше число использований ракеты-носителя. Поэтому разработка экономической модели и моделирование таких ракет-носителей является актуальной задачей.

Цель работы. Разработать подходы к экономическому моделированию затрат на запуск космических систем, учитывающих изменения в процессе эксплуатации и позволяющих прогнозировать сокращение затрат в будущем.

Экономическая модель затрат на запуск одноразовых и многоразовых космических систем

Затраты на запуск одноразовой космической системы определяются поэтапно, как сумма затрат на разработку, изготовление, выполнение полета и страхование космической системы. Затраты на разработку возвращаются аналогично возврату кредита в банк с процентами. Для государственных компаний это не практикуется, но для коммерческих компаний это актуально. Наибольшую долю затрат на запуск составляют затраты на изготовление и выполнение полета. Затраты

на страхование могут изменяться в пределах 4% – 15% в зависимости от подтвержденной надежности космической системы.

Предлагаемая модель может быть использована для сравнения стоимости запуска одноразовых и много-разовых космических систем. Модель многократного использования космической системы кроме вышеперечисленных затрат четырех этапов включает стоимость возвращения на Землю и стоимость ремонта. Практика ремонта транспортных средств показывает, что чем больше используется транспорт, тем больше затраты на ремонт. Затраты на изготовление многоразовой космической системы амортизируются обратно пропорционально числу повторных запусков. Целесообразно страховую премию уменьшать пропорционально оставшимся повторным запускам. Вывод формул и примеры использования модели приведены в других работах авторов^[3 – 5].

Чувствительность модели затрат на примере запуска одноразовых ракет-носителей. Анализ чувствительности

После выполнения расчетов стоимости интересно исследовать чувствительность результатов к отклонениям начальных стоимостей для различных входных параметров. Такое исследование позволит разработчикам провести оптимизацию производства и эксплуатации ракет-носителей с целью уменьшения затрат.

В общем виде, если рассматривать произвольные переменные отклика y_i к параметрам x_i , определение чувствительности выглядит следующим образом:

$$S_j = \frac{dy_i}{dx_j} \times \left| \frac{x_i}{y_j} \right|, \quad (6)$$

где i – порядковый номер компонента, по которому рассчитывают чувствительность (% кривой обучения, амортизация, и т.п.); j – порядковый номер суммы затрат (разработка, полет, изготовление и страхование); dy_i – изменение i – ой суммы затрат; dx_j – изменение j – го критерия.

Принято считать чувствительность слабой, если $S_j < 0.3$; средней в случае $0.3 < S_j < 1$; и сильной, когда $S_j > 1$, замечая при этом, что отрицательное значение S_j указывает на уменьшение переменной отклика y_i с ростом параметра x_i .

Итак, будем менять по отдельности входные параметры в модели затрат и вычислять затраты на запуск ракеты-носителя. Наиболее острая конкурентная борьба за коммерческие запуски развернется между ракетами-носителями Союз ФГ, Протон М, Фалькон 9, имеющими преимущество в виде более низких затрат. Эти три ракеты-носителя выбраны для анализа чувствительности предлагаемой экономической модели. В качестве базового выбран расчет затрат на последний запуск в 2016 году.

В таблицах 1, 2, 3 представлено влияние вариаций входных параметров на общие затраты и на составляющие: затраты на разработку, изготовление, полет и страхование. Базовые затраты указаны в верхнем ряду (M\$ – миллионы долларов). Исходные входные значения приведены в скобках. В последнем столбце полученное значение чувствительности – это процентное изменение в общей стоимости деленное на процентное изменение входных значений.

Компонент	Диапазон	Разработка	Изготовление	Полет	Страхование	Итого	Чувствительность
Базовые затраты	-	7,54M\$	20,58M\$	0,35M\$	2,06M\$	30,53M\$	-
87,5% кривой обучения (было 85%)	85 - 99%	7,54M\$	24,90M\$	0,35M\$	2,49M\$	35,29M\$	5,30
Амортизация в течение 25 лет (было 21)	15 - 25	8,19M\$	20,58M\$	0,35M\$	2,06M\$	31,17M\$	0,11
12% процентная ставка (было 15%)	3 - 15%	6,44M\$	20,58M\$	0,35M\$	2,06M\$	29,43M\$	0,18
9 полётов в год (было 6 полётов в год)	1 - 15	14,74M\$	20,58M\$	0,35M\$	2,06M\$	37,72M\$	0,47

Компонент	Диапазон	Разработка	Изготовление	Полет	Страхование	Итого	Чувствительность
на 10% ниже разовая разработка (было 400M\$)	230 – 6000M\$	6,79M\$	20,58M\$	0,35M\$	2,06M\$	29,77M\$	0,25
на 10% ниже стоимость Теор. Первой Единицы (было 60M\$)	15 – 1000M\$	7,54M\$	18,52M\$	0,35M\$	1,85M\$	28,76M\$	0,74
на 10% ниже стоимость операций полёта (было 1M\$)	0,8 – 15M\$	7,54M\$	20,58M\$	0,32M\$	2,06M\$	30,49M\$	0,01
15% страхование (было 10%)	5 – 15%	7,543M\$	20,58M\$	0,35M\$	3,09M\$	31,56M\$	0,07

Табл. 1. Анализ чувствительности для одноразовой ракеты-носителя Протон М

Компонент	Диапазон	Разработка	Изготовление	Полет	Страхование	Итого	Чувствительность
Базовые затраты	-	5,80M\$	23,16M\$	0,39M\$	2,32M\$	31,67M\$	-
87,5% кривой обучения (было 85%)	85 – 99%	5,80M\$	27,44M\$	0,39M\$	2,74M\$	36,38M\$	5,06
Амортизация в течении 25 лет (было 21)	15 - 25	6,32M\$	23,16M\$	0,39M\$	2,32M\$	32,19M\$	0,09
10% процентная ставка (было 15%)	3 – 15%	4,86M\$	23,16M\$	0,39M\$	2,32M\$	30,73M\$	0,09
6 полётов в год (было 3 полёта в год)	1 - 15	17,17M\$	23,16M\$	0,39M\$	2,32M\$	43,04M\$	0,36
на 10% ниже разовая разработка (было 230M\$)	230 – 6000M\$	5,22M\$	23,16M\$	0,39M\$	2,32M\$	31,09M\$	0,18
на 10% ниже стоимость Теор. Первой Единицы (было 60M\$)	15 – 1000M\$	5,80M\$	20,84M\$	0,39M\$	2,08M\$	29,12M\$	0,80

Компонент	Диапазон	Разработка	Изготовление	Полет	Страхование	Итого	Чувствительность
на 10% ниже стоимость операций полёта (было 1M\$)	0,8 – 15M\$	5,80M\$	23,16M\$	0,35M\$	2,32M\$	31,63M\$	0,01
15% страхование (было 10%)	5 – 15%	5,80M\$	23,16M\$	0,39M\$	3,47M\$	32,82M\$	0,07

Табл. 2. Анализ чувствительности для одноразовой ракеты-носителя Союз ФГ

Компонент	Диапазон	Разработка	Изготовление	Полет	Страхование	Итого	Чувствительность
Базовые затраты	-	9,98M\$	18,94M\$	0,46M\$	2,84M\$	32,22M\$	-
93,5% кривой обучения (было 85%)	85 – 99%	9,98M\$	72,14M\$	0,46M\$	10,82M\$	93,40M\$	5,99
Амортизация в течении 25 лет (было 15)	15 - 25	6,29M\$	18,94M\$	0,46M\$	2,84M\$	28,53M\$	-0,17
6% процентная ставка (было 3%)	3 – 15%	12,51M\$	18,94M\$	0,46M\$	2,84M\$	34,75M\$	0,08
10 полётов в год (было 5 полётов в год)	1 - 15	6,01M\$	18,94M\$	0,46M\$	2,84M\$	28,25M\$	-0,12
на 10% ниже разовая разработка (было 400M\$)	230 – 6000M\$	9,16M\$	18,94M\$	0,46M\$	2,84M\$	31,41M\$	0,25
на 10% ниже стоимость Теор. Первой Единицы (было 100M\$)	15 – 1000M\$	9,98M\$	17,05M\$	0,46M\$	2,56M\$	30,04M\$	0,68
на 10% ниже стоимость операций полёта (было 1M\$)	0,8 – 15M\$	9,98M\$	18,94M\$	0,41M\$	2,84M\$	32,17M\$	0,01
10% страхование (было 15%)	5 – 15%	9,98M\$	18,94M\$	0,46M\$	1,89M\$	31,27M\$	0,09

Табл. 3. Анализ чувствительности для одноразовой ракеты-носителя Фалькон 9

Для всех трех ракет-носителей модель проявляет высокую чувствительность к скорости обучения изготовлению (Протон М – 5,30; Союз ФГ – 5,06; Фалькон 9 – 5,99). Ее изменение приводит пятикратному изменению стоимости запуска. Так увеличение скорости обучения на 10% приведет к увеличению затрат на запуск на 50%. Это оправдано, так как в производстве одноразовой ракеты-носителя участвуют много элементов, на которые влияет именно кривая обучения, например, технологии изготовления, модернизация, массовость производства.

Среднюю чувствительность все три ракеты-носителя проявили к затратам на изготовление (теоретической) первой единицы (Протон М – 0,74; Союз ФГ – 0,80; Фалькон 9 – 0,68). Аналогично, чувствительность к числу запусков в год составила: Протон М – 0,47 и Союз ФГ – 0,36. К остальным входным величинам модель оказалась малочувствительна.

Из расчетов видно, что при увеличении процентной ставки больше 6% для Фалькона 9 чувствительность к числу запусков в год увеличивается вплоть до средней при 15%.

Анализ чувствительности дает возможность расположить входные величины в порядке убывания влияния на снижение затрат на запуск:

- скорость обучения изготовлению;
- затраты на изготовление (теоретической) первой единицы;
- число запусков в год;
- разовая разработка;
- процентная ставка;
- срок амортизации;
- % страхования;
- стоимость операций полета.

Изменение затрат на запуск многоразовой космической системы Starship

Для обеспечения полетов на Марс и на Луну создается многоразовая космическая система, включающая корабль Starship, ракету-носитель Super Heavy и башню обслуживания с роботизированными руками. Она сравнима по полезной нагрузке с нашей лунной ракетой-носителем и Сатурном-5, но превосходит их по высоте и совокупной тяге двигателей. Предполагается, что система сможет осуществлять запуски 3 раза в день, а предельные затраты на запуск могут снизиться до величины меньше, чем 5 – 7 млн. долл. На первый взгляд это чистая фантастика, но 5 лет назад никто тоже не верил, что повторное использование первой ступени может быть экономически выгодно. Верхним пределом в этом случае будут ошеломительные 1095 запусков

в год (365 дней в году умноженные на три). Наша модель позволяет проверить, реально ли это? Прежде всего необходимо договориться об условиях моделирования. Предполагаем, что исходные данные, установленные по интервью, презентациям и данным официального сайта SpaceX в период 21 год существенно не изменятся. Поскольку долгосрочный прогноз современной непредсказуемой инфляции сделать затруднительно, примем, что колебания инфляции не превышают 4% и выбранная нами ставка 3% допустима. В расчетах важен порядок использования космических систем. В работе [2] весь парк ракет-носителей вначале изготавливается, а затем используется до их полного износа. В этом случае невозможно проследить изменение затрат каждой конкретной космической системы. В нашем случае ресурс каждой новой системы используется полностью и только потом происходит замена на новую систему.

Исходные данные: совокупные затраты на исследование и разработку (C0) – 5 млрд. долл.; период возврата этих средств (N) – 21 год; процентная ставка (i) – 3%; процент кривой обучения (S%) – 85%; затраты на изготовление первого экземпляра (Z1) – 1,2 млрд. долл.; затраты на выполнение полета первого экземпляра (Z2) – 4 млн. долл.; процент страхования – 0,3%; возврат космической системы на стартовый стол (Cв) – 0,1 от текущих затрат на полет Сп; проверки и восстановление характеристик системы (Cr) по кривой обучения: затраты на ремонт первого экземпляра космической системы (Z_3) – 6 млн. долл.; процент кривой обучения (S%) – 105%. Рассмотрим три варианта реализации космической системы (табл. 4), отличающихся двумя параметрами: числом запусков в год (p) и числом повторных запусков одной и той же космической системы (q). Первый вариант – p=20, q=10; второй – p=100, q=100 и третий – p=1000, q=1000. Представим каждый вариант в трех разрезах: соответственно конец первого, одиннадцатого и двадцать первого года. Результаты моделирования показывают, что затраты на запуск от 5 до 10 млн. долл. достижимы в третьем варианте при числе запусков в год порядка 1000 и таком же числе повторных запусков. В этих условиях существенно меняется структура затрат (рис.3 и 4). 76% всех затрат на запуск приходится на межполетное обслуживание. В тоже время в первом варианте при 20 запусках в год и 10 повторных запусках 70% приходится на изготовление космической системы. Затраты на запуск первого экземпляра космической системы в первом варианте (150,2 млн. долл.) сократилась 24 раза до стоимости запуска последней системы в третьем варианте (6,3 млн. долл.).

За счет чего произошло такое сокращение затрат на запуск? Число запусков за 21 год в каждом варианте

соответственно увеличивается на порядок: 420, 2100 и 21000. Затраты на разработку системы (5 млрд. долл.) раскладываются на большее число запусков. Возврат этой суммы с каждого запуска соответственно сокращается на порядок: 16,2; 3,24 и 0,32 млн. долл. Для выполнения всех этих запусков понадобится соответственно 42, 21 и 21 пара космический корабль и ракета-носитель. Амортизация затрат на изготовление системы с учетом обучения соответственно уменьшается: 102 – 50; 12 – 5,9; 1,2 – 0,59 млн. долл. Затраты на подготовку, выполнение полета и возвращение сокращаются с 4 до 0,5 млн. долл. только по кривой обучения. Интересно меняются затраты на восстановление (межполетное обслуживание). Для каждой конкретной космической системы с увеличением номера повторного запуска затраты межполетного обслуживания растут, а с переходом на новую систему общий их уровень снижается из-за снижения затрат на изготовления новой системы по кривой обучения. Затраты на страхование меняются мало.

Другой подход – моделирование создания и эксплуатации космической системы в виде инвестиционного проекта

Наличие вышеизложенной экономической модели позволяет сформулировать задачу расчета эффективности инвестиционного проекта. Будем считать затраты на разработку космической системы первоначальными инвестициями в нулевой момент инвестиционного проекта и учитывать методом чистого приведенного потока платежей (NPV, Net Present Value). В этом случае весь поток платежей направляется на погашение инвестиций. В этом методе предполагается, что нам известны поступления и выплаты за все годы инвестиционного проекта и они приводятся началу (нулевому моменту) инвестиционного проекта. Расчет поступлений и выплат за год зависит от вида космической системы. Для одно-разовой ракеты-носителя поступления равны произведению цены запуска на число запусков за этот-же год. Выплаты равны затратам за этот год.

	Разработка	Изготовление	Подготовка и полёт	Возвращение	Восстановление	Страхование	Всего
p=20, q=10							
Конец первого года	16,2	102,0	2,1	0,2	6,0	0,3	126,8
Конец одиннадцатого года	16,2	58,2	1,3	0,13	3,4	0,17	79,4
Конец двадцать первого года	16,2	50,0	1,1	0,11	2,9	0,15	70,5
p=100, q=100							
Конец первого года	3,24	12,0	1,5	0,15	8,3	0,36	25,2
Конец одиннадцатого года	3,24	6,8	0,9	0,09	4,7	0,2	15,8
Конец двадцать первого года	3,24	5,9	0,8	0,08	4,1	0,018	14,10
p=1000, q=1000							
Конец первого года	0,32	1,2	0,94	0,094	9,8	0,004	12,3
Конец одиннадцатого года	0,32	0,68	0,60	0,06	5,6	0,002	7,2

	Разработка	Изготовле- ние	Подготовка и полёт	Возвраще- ние	Восстанов- ление	Страхование	Всего
Конец двад- цать перво- го года	0,32	0,59	0,54	0,054	4,8	0,002	6,3

Табл. 4. Затраты на запуск космической системы Starship с разбивкой на составляющие в млн. долл.

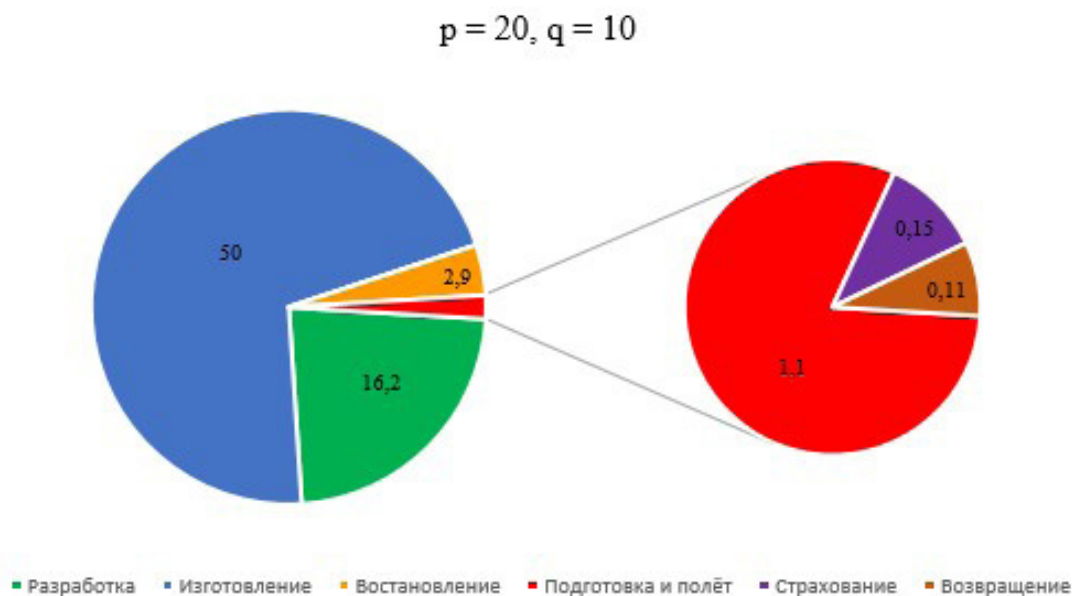


Рис. 1. Структура затрат на запуск Starship в конце двадцать первого года по первому варианту ($p=20, q=10$) в млн. долл.

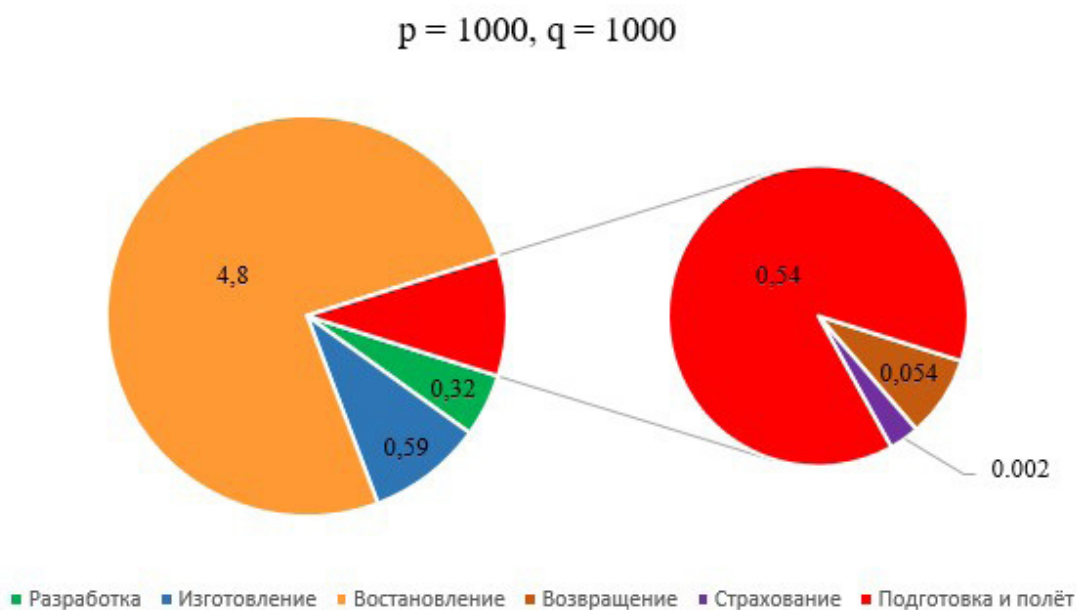


Рис. 2. Структура затрат на запуск Starship в конце двадцать первого года по третьему варианту ($p=1000, q=1000$) в млн. долл.

Для многоразовой ракеты-носителя поступления определяются аналогично, а к выплатам добавляются затраты возвращения на Землю и стоимость ремонта. Затраты на изготовление заменяются амортизацией ракеты-носителя за один полет. Расчеты чистого приведенного потока платежей для Starship представлены в работе [5]. Моделирование показывает, что при числе повторных запусков больше 20 и стоимости выведения 1 кг полезного груза на орбиту Земли порядка 1000 долл. окупаемость инвестиционных проектов может составить 3-5 лет, приемлемых для частного капитала.

Обсуждения

Предлагаемый подход и экономическая модель имеет ограничения. Она применима для космических систем, при создании или эксплуатации которых необходимы повторяющиеся запуски. Это все виды ракет-носителей, воздушный и морской старт, субор-

битальный туризм, создание и эксплуатация созвездий спутников на низкой и средней околоземной орбите, снабжение МКС и тому подобное.

Заключение

Предложенный подход к экономическому моделированию затрат на запуск космической системы учитывает изменение числа запусков в год, затраты на модификацию системы в процессе эксплуатации, изменение ставки инвестиционного проекта в связи с инфляцией. Показано существенное сокращение затрат на запуск при повторном использовании элементов космической системы 1000 раз и увеличении числа запусков в год до тысячи. Затраты на запуск могут составить от 5 млн. долл. до 10 млн. долл. Путем расчета чистой приведенной величины потока платежей возможно определение эффективности существующих и перспективных космических систем и сроков их окупаемости.

Список литературы

1. Феоктистов К.П. Космическая техника. Перспективы развития. – М.: Из – во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 1997. – с. 22 - 23.
2. Джеймс Р. Вертц, Экономическая модель многоразовых и расходоуемых ракет-носителей, Конгресс IAF, Рио-де-Жанейро, Бразилия, 2-6 октября 2000.
3. Фалько С. Г. Концепция построения ситуационного центра в ракетно-космической отрасли. //Иновации в менеджменте. 2018. №4(18). с.2-3.
4. Бадиков, Г. А., Болотских, А. А., & Здоровец, С. А. (2018). Моделирование затрат на запуск ракет-носителей при изменении инфляции. Гуманитарный вестник, (12 (74)), 9.
5. Бадиков, Г.А., Мазурин, Э.Б., Гончаров К.Н. Сокращение затрат на запуск при использовании ракет-носителей тяжелого и сверхтяжелого классов. AIP Conference Proceedings, 2021. - Vol. 2318.- Art.no 180004 DOI:10.1063/5.0036008.

List of literature

1. Feoktistov K.P. Space technology. Prospects of development. – М.: From the Bauman Moscow State Technical University, 1997. – pp. 22-23.
2. James R. Wertz, Economic model of reusable vs. expendable launch vehicles, IAF Congress, Rio de Janeiro, Brazil Oct. 2-6, 2000.
3. Falco S. G. The concept of building a situational center in the rocket and space industry. //Innovations in management. 2018. No.4(18). pp.2-3.
4. Badikov, G. A., Bolotskikh, A. A., & Zdorovets, S. A. (2018). Modeling the costs of launching launch vehicles when inflation changes. Humanitarian Bulletin, (12 (74)), 9.
5. Badikov, G.A., Mazurin, E.B., Goncharov K.N. Reduction of launch costs when using launch vehicles of heavy and superheavy classes. AIP Conference Proceedings, 2021. - Vol. 2318.- Art.no 180004 DOI:10.1063/5.0036008.