

УДК 33

DOI: 10.34670/AR.2022.11.91.014

## Разработка параметрических моделей для прогнозирования стоимости ракетно-космической техники

**Яныгин Владислав Юрьевич**

Кандидат экономических наук,  
Центральный научно-исследовательский институт машиностроения,  
141070, Российская Федерация, Королев, ул. Пионерская, 4;  
e-mail: pl-uran@mail.ru

### Аннотация

Проблема совершенствования методического обеспечения ценообразования является одной из самых актуальных в ракетно-космической промышленности. В целях повышения качества планирования стоимости перспективных образцов ракетно-космической техники представляется целесообразным внедрение на предприятиях отрасли метода стоимостных параметрических моделей. Предметом исследования являются зависимости между отдельными тактико-техническими характеристиками ракетно-космической техники и стоимостью создания, производства отдельных подсистем на примере подсистемы электроснабжения космического аппарата. В исследовании при создании параметрических моделей использовались методы корреляционно-регрессионного анализа и другой известный статистический инструментарий. Для получения зависимостей использовалась степенная функция, рассчитанная стандартным пакетом регрессионного анализа, имеющимся в программе Microsoft Excel. Новизна исследования состоит в том, что впервые в отечественной практике была разработана стоимостная параметрическая модель для подсистемы электроснабжения космического аппарата. В проведенном исследовании учтены следующие параметры: масса космического аппарата, мощность в начале срока службы, площадь солнечной батареи, средняя мощность на орбите, расчетный срок службы, емкость батареи, тип солнечной батареи, тип аккумуляторной батареи и мощность, потребляемая полезной нагрузкой. Полученный в данном исследовании методический и практический опыт разработки и последующей отработки параметрических моделей для одной из подсистем образца космической техники могут быть использованы для разработки аналогичных моделей для других образцов ракетно-космической техники и их подсистем. Полученные в результате исследования эмпирические зависимости могут применяться для оценки стоимости подсистем электроснабжения космических аппаратов на стадии концепции, аванпроекта, эскизного проекта.

### Для цитирования в научных исследованиях

Яныгин В.Ю. Разработка параметрических моделей для прогнозирования стоимости ракетно-космической техники // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2022. Том 12. № 7А. С. 123-133. DOI: 10.34670/AR.2022.11.91.014

**Ключевые слова**

Жизненный цикл, ракетно-космическая техника, производство, кривая опыта, параметрическая модель, планирование расходов, корреляционно-регрессионный анализ, стоимость продукции, тактико-технические характеристики, ценообразование.

**Введение**

Стоимость ракетно-космической техники (РКТ) – это важный фактор, который зависит от тактико-технических характеристик (ТТХ), технологий производства, методов управления, размера, сложности, технологических инноваций, проектного срока службы и других характеристик. Это также функция допустимого риска, стиля управления, требований к документации и средств управления проектом, а также размера организаций-исполнителей. Стоимость часто является критическим фактором, для определения того, будет ли реализован проект создания перспективных образцов РКТ, поэтому планирование данного показателя на первоначальной стадии проекта должно осуществляться с максимально возможной точностью. Кроме того, при сравнении нескольких вариантов проектов необходима методика определения стоимости не только создания образца РКТ, но и его полного жизненного цикла (ЖЦ), поскольку более дешевый вариант в создании и производстве может в итоге оказаться более дорогим с учетом оценки стоимости всего ЖЦ. Это диктует необходимость совершенствования методического обеспечения планирования стоимости при проектировании перспективных образцов РКТ, обеспечивая более активную и интерактивную роль технико-экономических исследований на раннем этапе концептуального проектирования, чтобы определить максимально экономически эффективные решения, соответствующие целевым ТТХ.

В соответствии с порядком государственного регулирования цен на товары, работы, услуги, поставляемые в соответствии с государственными контрактами по государственному оборонному заказу (ГОЗ) для расчета стоимости РКТ установлено два метода: затратный метод, метод сравнимой цены.

При затратном методе (или методе восходящих оценок) идентифицируются и определяются на низком уровне элементы, составляющие ракетный или космический комплекс. Затем оценивается стоимость материалов и труда для разработки и производства каждого элемента. Преимущество этого метода заключается в том, что он четко адаптирован к конкретному проекту и организации, но его основой является доверие к уровню квалификации специалистов, призванных оценить исходные данные, такие как затраты труда, ставки оплаты труда, материальные затраты и накладные расходы. Поскольку этот метод требует много времени и по причине того, что подробные проектные данные обычно недоступны, этот метод меньше всего подходит для предварительных системных исследований. Затратный метод целесообразнее использовать на этапе реализации, после того как детали проекта хорошо известны и большинство технических неопределенностей было устранено во время разработки.

При использовании метода сравнимой цены (или метода аналогов) в качестве базовой ориентировочной стоимости используется стоимость аналогичного изделия, которая корректируется с учетом различий в размере или сложности между аналогом и конкретным изделием РКТ. Этот метод эффективен на любом уровне детализации, но он менее точен, чем восходящая оценка. Этот метод также предполагает, что существует достаточно близкий аналог и что имеются его подробные технические и стоимостные данные, на которых основывается оценка.

РКП – это отрасль, работающая преимущественно по государственному оборонному заказу (ГОЗ) и занимающаяся проектированием и изготовлением высокотехнологичной продукции с длительным циклом изготовления. Выполняя ГОЗ, предприятия РКП работают не по законам рынка, а по правилам, установленным государственной контрактной системой.

Предприятия РКП сталкиваются с существенными проблемами при оценке будущей стоимости изделия, связанными с высокой степенью неопределенности. Механизм заключения государственных контрактов в РФ предусматривает длительные многоэтапные процедуры. Как правило, чтобы проект создания РКТ получил государственное финансирование он должен быть включен в государственную или федеральную целевую программу. Для этого примерно за несколько лет до начала фактически возможного срока реализации необходимо подать по установленной форме справку-обоснование, которая включает оценку стоимости проекта затратным методом. При этом следует учитывать, будущий государственный контракт должен быть заключен на полный цикл проектирования, изготовления и запуска РКТ по фиксированной цене без учета влияния факторов риска и с возможностью пересмотра цены контракта только при изменении его целевых технических характеристик [Емелин, 2016].

Приведенные обстоятельства делают очень условно пригодными методы определения стоимости проекта, регламентируемые современным российским законодательством. Таким образом, проблема совершенствования методического обеспечения ценообразования является одной из самых актуальных в РКП. В целях повышения точности планирования стоимости перспективных образцов РКТ представляется целесообразным для коммерческих контрактов и в качестве дополнительного инструментария для государственных контрактов, разработка и внедрение в РКП других методик ценообразования, отражающих отраслевую специфику, в частности, метода стоимостной параметрической модели.

## Основная часть

При использовании метода стоимостной параметрической модели применяется ряд математических соотношений, связывающих стоимость с физическими, техническими и рабочими параметрами, которые, как известно, сильно влияют на стоимость. Стоимостная параметрическая модель (СПМ) выражает стоимость как функцию технических параметров. Формы функций, определяющих затраты, выбираются на основе сочетания технических параметров и статистического качества результатов регрессии. Также применяются коэффициенты сложности к параметрам для учета технологических изменений.

В 1970-е годы в США, были начаты работы по поиску альтернативных методов оценки стоимости проектов на ранних этапах их жизненного цикла. Такие работы проводились на стыке экономики и высшей математики и привели к созданию новых методов оценки проекта, базирующихся на анализе корреляционных зависимостей стоимости отдельных функциональных модулей изделия от степени зрелости используемых технологий и технических характеристик самого модуля. В дальнейшем эти модели нашли широкое применение для оценки проектов НАСА, и их применение на начальных этапах проекта было закреплено в нормативных документах агентства [там же].

В США существует три вида основных разработчиков СПМ для космической промышленности. Общедоступные модели специального назначения, такие как модель стоимости автоматических космических аппаратов *Unmanned Space Vehicle Cost Model (USCM)*, модель стоимости малых спутников *Small Satellite Cost Model (SSCM)* и модель стоимости

полезной нагрузки связи и бортовой электроники *Communication Payload and Spaceborne Electronics Cost Model (CPCM)*. Такие модели разрабатываются федеральным правительством. Общедоступные модели общего назначения, предлагаются в частном порядке коммерческими организациями, такими как PRICE Systems и SEER Systems. Эти модели общего назначения обычно должны быть откалиброваны для конкретных продуктов и процессов пользователя, прежде чем их можно будет использовать для оценки компонентов космического оборудования и программного обеспечения. Частные модели для конкретных целей, обычно разрабатываются одной конкретной организацией на основе конфиденциальной информации только для оценки систем и компонентов, характерных для данной компании.

Зарубежные производители РКТ применяют СПМ практически на всех этапах создания космических систем. На раннем этапе концептуального проектирования это помогает оценить, будет ли разработка успешной, и определить ключевые проектные решения, которые повлияют на будущие затраты. С помощью СПМ затраты на проект отслеживаются на протяжении всего цикла разработки и, если они намного превышают суммы, предусмотренные в бюджете, их часто приходится пересматривать или даже отменять проект. При этом модели затрат являются достаточно гибкими для того, чтобы их можно улучшить от предварительного проектирования до гораздо более поздних этапов интеграции и испытаний.

Сравнительный анализ основных характеристик вышеуказанных методов планирования стоимости РКТ приведен в таблице 1.

**Таблица 1 - Сравнение основных характеристик у различных методов планирования стоимости РКТ**

Характеристики	Затратный метод	Метод аналогов	Метод СПМ
Этап применения	Рабочий проект, производство, эксплуатация	Аванпроект, эскизный проект	Концепция, аванпроект, эскизный проект
Точность	5-10%	20-30%	~10%
Преимущества	Высокая точность	Быстрый результат	Быстрый результат, возможность сравнения множества вариантов архитектур и максимизации целевых ТТХ при минимизации затрат
Недостатки	Высокая трудоемкость работ, невозможность применения на начальных этапах разработки	Наличие опыта и высокой квалификации исследователей, сложность при использовании технологически устаревших аналогов	Необходимость калибровки модели, наличие опыта и высокой квалификации исследователей, сложности при рассмотрении прорывных технологий

Основное преимущество параметрических моделей заключается в их нисходящем подходе. Системные требования и проектные спецификации верхнего уровня – это все, что требуется для расчета стоимости с помощью параметрической модели. Для оценки стоимости вариантов системных архитектур нет необходимости составлять подробные проекты и графики разработки РКТ. Включение СПМ в инструмент системного проектирования позволяет проводить оценку стоимости на этапе разработки концепции РКТ и поисковых исследований. Таким образом, параметрические модели затрат хорошо подходят для использования в исследованиях соотношения затрат и производительности, которые оценивают, как изменяется стоимость в

зависимости от системных требований, при разработке системных архитектур, схем деления космических комплексов, а также в конкретных программных оценках соотношения затрат и возможностей их чувствительности к отдельным параметрам.

Параметрические модели затрат представляются наиболее перспективными для разработки и внедрения в отечественной РКП. Далее рассмотрены некоторые практические аспекты параметрических моделей затрат, которые целесообразно использовать РКП.

Использование параметрической модели подразумевает несколько допущений. Во-первых, поскольку параметрические модели характеризуют исторические тенденции затрат как математические отношения, предполагается, что будущие затраты будут в некоторой степени отражать эти исторические тенденции. Параметрические модели применимы только к диапазону исторических данных. В тех случаях, когда ожидается значительный технологический прогресс или, когда фундаментальные парадигмы в системной архитектуре меняются, параметрические модели затрат, основанные на старых системах, вполне могут оказаться неприменимыми. Один из примеров этой проблемы возникает, когда модели затрат на основе больших космических аппаратов (КА) используются для оценки стоимости современных малых КА. Такой сдвиг парадигмы и, возможно, технологический сдвиг требуют специальной модели. Не имея новых технологических факторов, СПМ должны быть скорректированы при применении к системам, использующим прорывные технологии. Поскольку СПМ исходит из исторических данных, модели, базирующиеся на существующих технологиях, могут оказаться недостаточно релевантными в долгосрочной перспективе в связи с вероятностью возникновения прорывных технологий.

Второе неявное предположение, сделанное при использовании параметрических моделей затрат, заключается в том, что затраты на программу являются случайными величинами, которые нельзя предсказать со 100% точностью. На затраты влияет гораздо больше параметров, чем может быть включено в набор факторов СПМ, например, такие как уровень квалификации инженеров и техников, возникновение непредвиденных технических проблем, изменения технических требований и результаты проведенных неудачных испытаний. Параметрические модели затрат используют комбинацию параметров, которые объясняют исторические тенденции затрат, сохраняя при этом статистическую достоверность. Влияние всех других переменных проявляется в ошибке оценки, которую часто определяют количественно, используя базовые данные для расчета статистической стандартной ошибки.

Большинство СПМ базируются на концепции ЖЦ продукции. Затраты на РКТ в течение всего ЖЦ (т. е. общая стоимость от планирования до завершения жизненного цикла) делятся на три основных этапа.

Этап исследований, разработки, испытаний и оценки включает проектирование, испытания прототипов и квалификационных единиц. Этот этап не включает разработку технологий для компонентов системы.

Этап производства включает в себя затраты на производство РКТ и их запуск. Определение, используемое для моделирования затрат, это теоретический первая единица (ТПЕ), которая представляет собой первый образец РКТ, готовый к летным испытаниям. Для нескольких единиц РКТ себестоимость производства оценивается с использованием коэффициентов кривой опыта, применяемых к стоимости ТПЕ. РКТ на замену и произведенные после ввода в штатную эксплуатацию полного состава ракетно-космического комплекса не учитываются в расчете планируемой стоимости.

Этап эксплуатации и технического обслуживания состоит из текущих затрат на

эксплуатацию и техническое обслуживание, включая замену блоков КА и обслуживание программного обеспечения. Хотя космический, пусковой и наземный сегменты обычно являются наиболее важными элементами, эксплуатация и техническое обслуживание иногда может быть самым дорогостоящим элементом системы (особенно для космических группировок КА и многоразовых систем). Для большинства КС основными текущими операциями и вспомогательными расходами являются эксплуатация наземных станций и запасные части; для многоразовых систем эта категория затрат состоит из оплаты пусковой бригады и операций по ремонту и техническому обслуживанию ракет-носителей (РН).

Исторически сложилось так, что первоначально большинство РКТ являлись уникальными системами. Однако с распространением спутниковых группировок КА, где повторяющиеся затраты и скорость обучения доминируют в уравнении затрат, при определении цены космических комплексов необходимо учитывать серийность производства.

Если построить СПМ для одной единицы РКТ, то в дальнейшем можно добиться существенного снижения затрат у последующих единиц за счет практической отработки технологий, накопления опыта у персонала и роста общего производственно-технологического задела. Первоначальная СПМ эффективно прогнозирует затраты на разработку прототипа или ТПЕ, но не предназначена для оценки стоимости серийного производства. Персонал, производящий второй или третий однотипный КА, научится выполнять работу лучше и использовать эффект масштаба, который количественно улучшит производительность.

Кривая опыта – это математическая зависимость для учета повышения производительности по мере производства большего количества единиц продукции. Она отражает динамику сокращения затрат между первой производственной единицей и последующими единицами за счет эффекта масштаба, уменьшения времени настройки и обучения человека по мере увеличения количества изделий. Общие производственные затраты на  $N$  единиц моделируются по формулам 1-3 следующим образом:

$$\text{Общие производственные затраты} = \text{ТПЕ} \times L \quad (1)$$

где:

$$L = N^B \quad (2)$$

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

ТПЕ – это теоретическая стоимость первой единицы продукции,  $L$  – коэффициент кривой опыта, а  $S$  – наклон кривой обучения в процентах. Эта форма кривой опыта была выбрана из-за ее соответствия эмпирическим данным [Wright, 1936].

Наклон кривой опыта  $S$  представляет процентное снижение совокупных средних затрат при удвоении количества производственных единиц. Наклон кривой опыта  $S$  устанавливает значение  $B$ .

Зарубежные исследования показали, что скорость обучения для авиакосмической промышленности такова, что в среднем  $N$ -я единица будет стоить дешевле – от 87% до 96% от стоимости предыдущей единицы. С высокой долей вероятности в отечественной РКП должна существовать аналогичная зависимость.

Например, если  $S = 95\%$  и первая единица стоит 1 миллион рублей, то удвоение числа до 2 единиц снижает среднюю стоимость обеих до 95% от первой единицы. Таким образом, две единицы стоят 1,9 миллиона рублей. Стоимость второй единицы составляет 0,9 миллиона рублей. Показатель кривой опыта  $B$  равен 0,926 для  $S = 95\%$ .

Для менее чем 10 единиц рекомендуется применять наклон кривой опыта 95%. Между 10 и

50 единицами подходит кривая опыта 90% и 85% для более 50 единиц. Они могут различаться в зависимости от вида РКТ и того, как организованы производственные и сборочные операции. Модели затрат определяют затраты на первую единицу, поэтому общие производственные затраты определяются путем умножения затрат на ТПЕ на коэффициент кривой опыта.

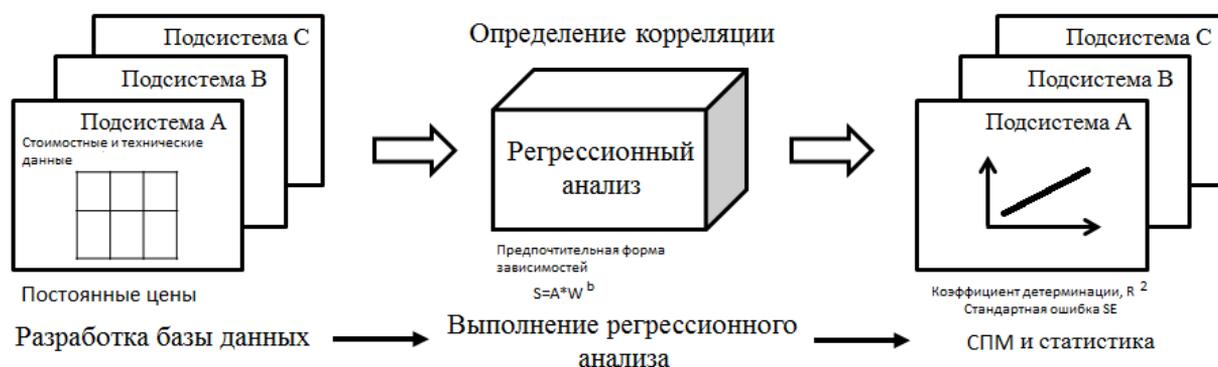
В качестве примера в таблице 2 показано влияние кривой опыта 95 % на удельные затраты. Единичные или предельные издержки представляют собой разницу в издержках производства между N единицами и N-1 единицами. Например, себестоимость пятой единицы – это разница в себестоимости между четвертой и пятой единицами, то есть  $4,44 - 3,61 = 0,83$ .

**Таблица 2 - Пример характеристик кривой опыта с наклоном 95%**

Порядковый номер изделия	Общие затраты, млн. руб.	Средняя стоимость, изделий млн. руб.	Стоимость изделия, млн. руб.
1	1,00	1	1
2	1,90	0,95	0,90
3	2,77	0,92	0,87
4	3,61	0,90	0,84
5	4,44	0,89	0,83

Процесс развития параметрической модели должен включать следующие шаги: установление сферы применения; сбор данных; нормализация данных; анализ данных; применение данных; тестирование; документация.

На рисунке 1 показана процедура разработки СПМ, которая показывает, как стоимостные свойства системы или подсистемы изменяются в зависимости от характеристических параметров.



**Рисунок 1 - Процедура разработки стоимостной параметрической модели**

Первым компонентом в определении набора СПМ является историческая база данных. Необходимы обширные исследования и сбор данных на основе фактических затрат и технических данных. Важно получить как можно больше информации о характерных физических параметрах аналогичных образцах РКТ. Затраты делятся по принадлежности к сопоставимым физическим подсистемам и элементам, которые суммарно составляют стоимость всей системы. Для включения в СПМ рассматриваются проекты, либо уже завершенные, либо ожидающие окончания в течение года. Большинство затрат в базе данных должны быть фактическими затратами по проектам создания РКТ на момент их завершения.

В системе НАСА и Минобороны США декомпозиция работ – Work Breakdown Structure

(WBS) обеспечивает единое определение и единый порядок сбора стоимостной и технической информации. Для этих целей существует стандарт MIL-STD-881B, регулирующий определение WBS на уровне подрядчиков. В отечественной РКП декомпозиция работ осуществляется по «составным частям» согласно «схемы деления» образца РКТ. При этом учет фактических затрат по проектам осуществляется в разрезе «составная часть-этап» [Емелин, 2016].

Также важно нормализовать исторические данные, чтобы они были согласованными – правильно разделенными на единовременные и периодические затраты и в одних и тех же ценах постоянного года. Параметры конструкции или ТТХ, с которыми будут связаны затраты, должны быть выражены в одних и тех же единицах измерения. К ним относятся программные, весовые и другие технические параметры в целом и для каждой из основных подсистем.

После того, как данные о затратах правильно классифицированы и нормализованы, начинается задача разработки СПМ. Чтобы обеспечить достоверный анализ стоимости перспективных РКТ на уровне подсистемы, не требуя детального проектирования, необходимо связать стоимость с техническими характеристиками. Другие факторы, называемые «упаковкой», моделируют нефизические факторы, не включенные в СПМ, такие как разработка системы, управление и обеспечение качества продукции, а также стоимость интеграции и испытаний космической системы. На «упаковку» обычно приходится около 30% стоимости разработки космических систем. Выбор драйверов затрат включает в себя сочетание статистики, технических суждений и часто простого здравого смысла.

Для космических систем (КС) факторами стоимости будут, прежде всего, вес, мощность, требования к ТТХ и другие параметры, которые могут быть получены во время расширенного исследования системы.

В исследовании при создании параметрических моделей использовались методы корреляционно-регрессионного анализа и другой известный статистический инструментарий. Для получения зависимостей использовался степенная функция, рассчитанная стандартными пакетом регрессионного анализа, имеющимся в программе Microsoft Excel.

Новизна исследования состоит в том, что впервые в отечественной практике была разработана стоимостная параметрическая модель для подсистемы электроснабжения космического аппарата.

При разработке СПМ на примере подсистемы электроснабжения в проведенном исследовании учтены следующие факторы: масса космического аппарата, мощность в начале срока службы, площадь солнечной батареи, средняя мощность на орбите, расчетный срок службы, емкость батареи, тип солнечной батареи, тип аккумуляторной батареи и мощность, потребляемая полезной нагрузкой.

Кроме того, поскольку вес часто является ключевым параметром для функции затрат, степенная функция с показателем степени меньше единицы моделирует ожидаемое уменьшение влияния увеличения веса на затраты. Это подчеркивает проблему, о которой нельзя забывать: все СПМ являются упрощениями отношений, которые они имитируют. Например, СПМ, зависящие от веса, подразумевают, что более легкие конструкции стоят дешевле. На самом деле, может быть и обратное. Иногда, когда разработчики намеренно уменьшают вес, они могут увеличить сложность, отказаться от простоты изготовления и интеграции или использовать изначально более дорогие материалы.

При расчете СПМ были получены данные о статистических выбросах и проведены проверки, связаны ли явные расхождения с числовыми ошибками или нетрадиционными способами учета определенных затрат. Была проведена статистического качества полученных

зависимостей. Результатом регрессии являлись уравнение между стоимостью и параметром или параметрами, а также статистика, показывающая, насколько хорошо отношение соответствует данным. Меры согласия включают коэффициент детерминации  $R^2$  и стандартную ошибку SE.  $R^2$  является безразмерным значением в диапазоне от 0 до 1. SE выражается в единицах стоимости или в процентах от оценочной стоимости в зависимости от того, используется ли метод аддитивной или мультипликативной регрессии ошибок. Сильная корреляция представлена при  $R^2$  близкой 1 и SE близкой к 0.

Для обеспечения последовательности в отношении затрат и во избежание проблем при рассмотрении результатов анализа расчет параметрических зависимостей был произведен в постоянных ценах. Затраты сначала были распределены по годам в текущих ценах, а затем преобразованы в цены одного и того же года путем умножения на соответствующий коэффициент инфляции.

### Заключение

Полученный в данном исследовании методический и практический опыт разработки и последующей отработки параметрических моделей для одной из подсистем образца космической техники могут быть использованы для разработки аналогичных моделей для других образцов ракетно-космической техники и их подсистем. Полученные в результате исследования эмпирические зависимости могут применяться для оценки стоимости подсистем электроснабжения космических аппаратов на стадии концепции, аванпроекта, эскизного проекта.

### Библиография

1. Беляков Г.П. Космические проекты в контексте жизненного цикла // Менеджмент социальных и экономических систем. 2016. № 1. С. 4-9.
2. Емелин А.А. Для управления стоимостью высокотехнологичных проектов нужно менять подходы к ценообразованию // Экономика и жизнь. 2016. № 20 (9636). URL: <https://www.eg-online.ru/article/315406>
3. Малыгин Н.А. Управление стоимостью инвестиционно-строительного проекта: параметрическая оценка // Контентус. 2016. № 7 (48). С. 90-96.
4. О государственном регулировании цен на продукцию, поставляемую по государственному оборонному заказу, а также о внесении изменений и признании утратившими силу некоторых актов Правительства Российской Федерации: постановление Правительства Российской Федерации от 2 декабря 2017 г. № 1465.
5. Ростовцев С.А. Основные методы и модели определения стоимости жизненного цикла продукции ОПК // Известия Тульского государственного университета. Экономические и юридические науки. 2017. № 4-1. С. 42-47.
6. Цветков А.Б. Управление стоимостью жизненного цикла проекта и продукта в ракетно-космической промышленности. 2017. URL: <http://www.sms-corp.ru/images/publication/Costmanagement.pdf>
7. Dryden J.A. et al. A Critique of Spacecraft Cost Models. Santa Monica, 1977. 75 p.
8. Drenthe N. et al. Cost estimating of commercial small sat launch vehicles. Acta Astronautica, 2019.
9. George A. et al. Unmanned Spacecraft Subsystem Cost Model for Advance Mission Planning. Saint Louis, 2000. URL: <https://trs.jpl.nasa.gov/handle/2014/15136>
10. Koelle D.E. Handbook of cost engineering for space transportation systems including. TransCostSystems, 2007. 284 p.
11. Wertz R. et al. Space Mission Analysis and Design. Microcosm Press, 2005. 976 p.
12. Wright T.P. Factors affecting the costs of airplanes // Journal of Aeronautical Sciences. 1936. Vol. 3. P. 122.

---

## Designing parametric models for forecasting the cost of spacecraft

**Vladislav Yu. Yanygin**

PhD in Economics,  
Central Research Institute of Mechanical Engineering,  
141070, 4, Pionerskaya str., Korolev, Russian Federation;  
e-mail: pl-uran@mail.ru

### Abstract

The problem of improving the methodological support of pricing is one of the most urgent in the rocket and space industry. In order to improve the quality of planning the cost of promising samples of rocket and space technology, it seems appropriate to introduce the method of cost parametric models at the enterprises of the industry. In the study, when creating parametric models, methods of correlation and regression analysis and other well-known statistical tools were used. To obtain dependencies, we used a power function calculated by the standard regression analysis package available in Microsoft Excel. The novelty of the study lies in the fact that for the first time in domestic practice, a cost parametric model was developed for the spacecraft power supply subsystem. The following parameters were considered in the study: spacecraft mass, power at the beginning of its life, solar array area, average power in orbit, estimated lifetime, battery capacity, solar array type, battery type and power consumed by the payload. The methodological and practical experience gained in this study in the development and subsequent development of parametric models for one of the subsystems of a space technology sample can be used to develop similar models for other samples of rocket and space technology and their subsystems. The empirical dependences obtained as a result of the study can be used to estimate the cost of spacecraft power supply subsystems at the stage of concept, preliminary design, draft design.

### For citation

Yanygin V.Yu. (2022) Razrabotka parametricheskikh modelei dlya prognozirovaniya stoimosti raketno-kosmicheskoi tekhniki [Designing parametric models for forecasting the cost of spacecraft]. *Ekonomika: vchera, segodnya, zavtra* [Economics: Yesterday, Today and Tomorrow], 12 (7A), pp. 123-133. DOI: 10.34670/AR.2022.11.91.014

### Keywords

Life cycle, rocket and space technology, production, experience curve, parametric model, cost planning, correlation-regression analysis, product cost, performance characteristics, pricing.

### References

1. Belyakov G.P. (2016) Kosmicheskie proekty v kontekste zhiznennogo tsikla [Space projects in the context of the life cycle]. *Menedzhment sotsial'nykh i ekonomicheskikh sistem* [Management of social and economic systems], 1, pp. 4-9.
2. Dryden J.A. et al. (1977) *A Critique of Spacecraft Cost Models*. Santa Monica.
3. Drenthe N. et al. (2019) *Cost estimating of commercial small sat launch vehicles*. Acta Astronautica.
4. Emelin A.A. (2016) Dlya upravleniya stoimost'yu vysokotekhnologichnykh proektov nuzhno menyat' podkhody k tseonoobrazovaniyu [To manage the cost of high-tech projects, it is necessary to change approaches to pricing]. *Ekonomika i zhizn'* [Economics and Life], 20 (9636). Available at: <https://www.eg-online.ru/article/315406> [Accessed 06/06/2022]

5. George A. et al. (2000) *Unmanned Spacecraft Subsystem Cost Model for Advance Mission Planning*. Saint Louis. Available at: <https://trs.jpl.nasa.gov/handle/2014/15136> [Accessed 06/06/2022]
6. Koelle D.E. (2007) *Handbook of cost engineering for space transportation systems including*. TransCostSystems.
7. Malygin N.A. (2016) Upravlenie stoimost'yu investitsionno-stroitel'nogo proekta: parametricheskaya otsenka [Management of the cost of an investment and construction project: parametric assessment]. *Kontentus* [Contentus], 7 (48), pp. 90-96.
8. *O gosudarstvennom regulirovanii tsen na produktsiyu, postavlyaemuyu po gosudarstvennomu oboronnomu zakazu, a takzhe o vnesenii izmenenii i priznanii utrativshimi silu nekotorykh aktov Pravitel'stva Rossiiskoi Federatsii: postanovlenie Pravitel'stva Rossiiskoi Federatsii ot 2 dekabrya 2017 g. № 1465* [On state regulation of prices for products supplied under the state defense order, as well as on the introduction of amendments and invalidation of certain acts of the Government of the Russian Federation: Decree of the Government of the Russian Federation of December 2, 2017 No. 1465].
9. Rostovtsev S.A. (2017) Osnovnye metody i modeli opredeleniya stoimosti zhiznennogo tsikla produktsii OPK [Basic methods and models for determining the cost of the life cycle of defense industry products]. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Ekonomicheskie i yuridicheskie nauki* [News of Tula State University. Economic and legal sciences], 4-1, pp. 42-47.
10. Tsvetkov A.B. (2017) *Upravlenie stoimost'yu zhiznennogo tsikla proekta i produkta v raketno-kosmicheskoi promyshlennosti* [Cost management of the project and product life cycle in the rocket and space industry]. Available at: <http://www.sms-corp.ru/images/publication/Costmanagement.pdf> [Accessed 06/06/2022]
11. Wertz R. et al. (2005) *Space Mission Analysis and Design*. Microcosm Press.
12. Wright T.P. (1936) Factors affecting the costs of airplanes. *Journal of Aeronautical Sciences*, 3, p. 122.