

УДК 629.78.01..001.89.003

Поисковые исследования в области оценки проектного параметра космических аппаратов по затратам на проведение ОКР

А.В. Анкудинов¹, И.В. Болдина¹, Г.В. Двирный¹, Д.А. Матроницкий², С.П. Ереско³¹ОАО «Информационные спутниковые системы»²Балтийский государственный технический университет им. Д.Ф. Устинова, ул. 1-я Красноармейская 1, Санкт-Петербург, Россия.³Сибирский государственный аэрокосмический университет им. М.Ф. Решетнева, пр. им. г-ты «Красноярский рабочий» 31, Красноярск, Россия. E-mail: eresko07@mail.ru

Статья поступила 26.12.2012, принята 4.05.2012

Предложен проектный параметр коэффициента сравнения, позволяющий получить более объективные сравнительные характеристики проектов космических аппаратов (КА). Проектный параметр космического аппарата в виде затрат на ОКР предполагается вводить при сравнении проектов. Проектный параметр представляет собой коэффициент сравнения, который чем больше, тем проект предпочтительней. Параметр предложен в виде дроби, где в числитель входят срок активного существования, количество транспондеров, а в знаменатель – затраты на опытно-конструкторские работы. Предложены методы оценки затрат на опытно-конструкторские работы, за основу которых взяты, как использование экспертных оценок, так и статистическая обработка информации. Приведен анализ следующих методов оценки затрат на проведение опытно-конструкторских работ: метод линейного коэффициента торможения; метод степенного коэффициента (метод «параметр-цена»); метод прямого сравнения с аналогом (метод удельной дельты); метод удельных показателей, в т. ч.: по ценообразующей характеристике изделия; по составной (конструктивной) части изделия (метод экстраполяции по характеристике определяющего элемента); по технологической операции; балловый метод; метод регрессивного анализа; агрегатный метод; нормативно-калькуляционный метод. Более подробно рассмотрен балловый метод, где используются данные экспертного опроса. Приведена краткая характеристика методов оценки затрат на разработку космических аппаратов в виде затрат на опытно-конструкторские работы для сравнения проектов; данные сведены в таблицу. Для более объективных сравнительных характеристик проектов применим предложенный обобщенный проектный параметр. Ориентируясь на него, лицо, принимающее решение, выбирает более оптимальный проект не только с точки зрения стоимости, но и основных характеристик.

Ключевые слова: агрегированный метод, нормативно-калькуляционный метод, коэффициент сравнения, корреляция, экстраполяция, удельные показатели.

Exploratory research in spacecraft design parameter evaluation field by costs for development activities.

A. V. Ankudinov¹, I. V. Boldina¹, G. V. Dvirny¹, D. A. Matronitsky², S. P. Eresko³¹JSC "Information Satellite Systems"²Baltic State Technical University, 1 1st Krasnoarmeyskaya str., St. Petersburg, Russia³Siberian State Aerospace University, 31 Krasnoyarsky rabochy av., Krasnoyarsk, Russia, E-mail: eresko07@mail.ru

Received 26.12.2012; Accepted 4.05.2012

Project parameter of coefficient comparison, which provides more objective comparison characteristics of SC projects is presented. Project parameter as the cost for development activities of spacecraft is supposed to include at project comparison stage.

The project parameter it is a correlation index; the higher correlation index is more preferred project is. The correlation index is given as quotient, where numerator contains operation life parameters, the number of transponders; and denominator contains development work costs. There was offered methods of development work costs estimation, which based on application of scientific assessments and statistical data processing. There was given an analysis of the following development work costs estimation: linear breaking coefficient method; degree coefficient method ("parameter-price" method); prototype direct comparison method (specific delta method); specific indicator method, including: price-determining factor of the item, component (constructional) part of the item (extrapolation method according to the vaster unit characteristic); processing step; method by points; regression analysis method; aggregate method, normative cost-accounting method. The method by points is given with more details, there were used an expert questionnaire data. Also, there is a brief description of cost estimation methods for SC development as a development work costs for the projects comparison; all the information are given in table. The combined parameter, that was suggested, can be applied for to obtain rather objective project comparison. According to the following parameter, a person, who will decide, supposed to choose rather optimal project not only because of costs, but major characteristics. The comparative factor of design objective, enabling to obtain a rather objective space craft projects comparative characteristics is proposed. The space craft design objective in terms of development research costs is planning to involve during project comparison.

Keywords: aggregate method, the regulatory calculation method, factor comparison, correlation, extrapolation, specific indicators.

В зависимости от имеющейся информации о техническом облике перспективных разрабатываемых образцов космических средств (КСр), применяемых материалах и элементной базе, новизны используемых технических решений при оценке затрат на проведение опытно-конструкторских работ (ОКР) могут применяться различные методы, которые условно по степени детализации оценок можно разделить на три группы: агрегированные, дифференцированные и детальные. Проектный параметр космического аппарата в виде затрат на ОКР предполагается вводить при сравнении проектов. Например, за коэффициент сравнения КСр можно принять

$$K_{Cp} = \frac{C_{AC}}{C_{окр}},$$

где C_{AC} – срок активного существования, $C_{окр}$ – затраты на ОКР.

И чем больше КСр, тем проект лучше. В числитель можно ввести количество транспондеров для спутниковой связи и др.

По мере накопления и детализации данных при переходе к каждой последующей стадии разработки существует объективная возможность уточнения ранее полученных оценок затрат на проведение ОКР на основе постепенного перехода от агрегированных к дифференцированным и далее к детальным методам.

Агрегированные методы могут использоваться для прогнозирования затрат на проведение ОКР по созданию образцов верхних уровней конструктивной сложности на начальной стадии разработки. Методы базируются как на использовании экспертных оценок, так и на статистической обработке информации. Ряд методов предполагает использование отдельных методических приемов, позволяющих компенсировать недостаток информации для расчета затрат на ОКР по созданию образцов КСр. К числу таких приемов относится расчет затрат на ОКР (этап ОКР) по созданию образца КСр по затратам на разработку одной из его составных частей, по затратам на проведение одного из этапов ОКР и др.

В случае, когда имеется более полная информация, появляется возможность перехода к оценке затрат на ОКР по созданию образцов КСр на основе оценки затрат на разработку их составных частей, т. е. оценка проводится дифференцированно по каждому элементу.

Применение детальных методов для прогнозирования затрат на проведение ОКР по созданию перспективных образцов ограничено.

В дальнейшем анализ методов, учитывая, что они могут применяться как для оценки затрат на ОКР, так и затрат на изготовление изделий, а также то обстоятельство, что затраты на изготовление опытных образцов для проведения различных видов испытаний составляют весомую долю затрат на ОКР, предложено проводить безотносительно к стадии жизненного цикла.

Методы прогнозирования стоимостных показателей КСр (далее стоимости) по способу проведения расчетов подразделяются на две большие группы: прямые и косвенные.

Прямые методы расчета требуют, как правило, большого объема информации и применяются в тех случаях, когда имеются детализированные сведения.

Косвенные методы основаны на разработке и применении при расчетах зависимостей между стоимостью изделия и его основными ценообразующими параметрами, для ряда методов дополнительно и параметрами прототипа (аналога). К числу косвенных методов, в частности, относятся методы удельных экономических показателей, метод линейного (степенного) коэффициента торможения, экспертно-аналоговый метод, метод парной (множественной) корреляции и т. д.

Актуальность задачи оценки стоимости изделий возрастает по мере перехода к более ранним стадиям их создания. При этом расширяется область применения косвенных методов оценки и становится все более проблематичным использование прямых методов расчета.

Среди косвенных методов оценки наибольшую точность расчетов имеет метод множественной корреляции. Остальные методы, в связи с тем, что являются, как правило, однопараметрическими и в их основе лежат значительные упрощения и допущения, дают большую погрешность расчета.

Оценка затрат на проведение ОКР по созданию любых видов изделий, в том числе и образцов космических средств, может проводиться методами целостной оценки: методом линейного коэффициента торможения; методом степенного коэффициента (методом «параметр-цена»); методом прямого сравнения с аналогом (метод удельной дельты); методом удельных показателей, в т. ч.: по ценообразующей характеристике изделия; по составной (конструктивной) части изделия (метод экстраполяции по характеристике определяющего элемента); по технологической операции; балловый метод; методами регрессионного анализа; агрегатным методом; нормативно-калькуляционным методом.

Следует отметить, что названия методов не всегда соответствует их содержанию, что вносит определенную неоднозначность в их толкование. Так, например, метод линейного коэффициента торможения и метод прямого сравнения с аналогом по существу относятся к методам удельных показателей. В то же время, наряду с ними существует отдельно метод удельных показателей.

Для практического применения нами предложены вышеперечисленные методы.

В *методе линейного коэффициента торможения* величина затрат на проведение ОКР по созданию образца КСр с параметром (показателем эффективности космического аппарата (КА)) P определяется исходя из затрат на проведение ОКР по созданию изделий аналогов.

Линейный коэффициент торможения определяется из соотношения удельных затрат.

Для применения метода должны быть известны затраты на проведение ОКР и основные параметры двух прототипов.

Метод имеет приемлемую точность только при доминирующем влиянии на затраты на ОКР по созданию образца одной ценообразующей характеристики. Реко-

мендуется применять при незначительном отличии (менее 15 %) основного ценообразующего параметра разрабатываемого изделия от аналога.

Метод степенного коэффициента. Данный метод, как и *метод линейного коэффициента торможения*, не имеет практического значения при влиянии на затраты на ОКР двух и более ценообразующих характеристик. В отличие от метода линейного коэффициента торможения, практически не имеет ограничений к применению в отношении величины отклонения основной ценообразующей характеристики разрабатываемого изделия от характеристики его прототипа.

Метод прямого сравнения с аналогом. Данный метод, как и *метод линейного коэффициента торможения*, не имеет практического значения при влиянии на затраты на ОКР двух и более ценообразующих характеристик. В отличие от метода линейного коэффициента торможения, практически не имеет ограничений к применению в отношении величины отклонения основной ценообразующей характеристики разрабатываемого изделия от характеристики его прототипа.

Метод прямого сравнения с аналогом. При расчете затрат данным методом принимается допущение о наличии прямой пропорциональной зависимости между затратами на проведение ОКР по созданию образца и его основным ценообразующим параметром.

Метод имеет приемлемую точность и практическую значимость для оценки затрат на ОКР по созданию таких образцов, для которых характерно доминирующее влияние на затраты только одной ценообразующей характеристики.

Метод удельных показателей по ценообразующей характеристике. Для оценки затрат на проведение ОКР по созданию образца методом удельных показателей по ценообразующей характеристике требуется следующая исходная информация: затраты на ОКР по созданию образца-аналога; значение основного ценообразующего параметра образца-аналога; коэффициент увеличения затрат на ОКР по созданию изделия по сравнению с аналогом, обусловленных применением новых материалов и элементной базы, усложнением технических решений, конструкторско-технологическими особенностями, усложнением технологии изготовления изделий и т. п.

В ряде случаев вместо удельных затрат на единицу основного ценообразующего параметра образца-аналога используется усредненный удельный показатель, рассчитанный на основе данных ряда ранее разработанных образцов прототипов.

Коэффициент увеличения затрат может определяться как функция времени при сохранении современных направлений и темпов совершенствования КА, либо определяться экспертно.

Коэффициент снижения затрат за счет преимущественности конструктивно-схемных решений принимается, как правило, экспертно, на основе качественной оценки уровня заимствования известных проектно-конструкторских решений.

В отличие от изложенных выше методов удельных показателей по ценообразующей характеристике, имеет меньшую точность. Однако для его практического

применения требуются данные о затратах на ОКР и главном параметре только одного аналога.

Метод экстраполяции по характеристике определяющего элемента. Расчет затрат на ОКР методом экстраполяции по характеристике определяющего элемента может быть произведен в случае, когда структура изделия мало изменяется по сравнению с аналогом, а затраты на его разработку существующим образом определяются затратами на разработку элемента, составляющего основу изделия. При использовании данного метода в качестве определяющего элемента принимается наиболее весомый элемент как с точки зрения затрат на его разработку, так и в конструктивном отношении.

Для прогнозирования затрат на ОКР методом экстраполяции по характеристике определяющего элемента требуется следующая исходная информация: затраты на ОКР образца аналога (C_a); затраты на разработку определяющего элемента образца аналога (C_a); затраты (оценка затрат) на разработку нового определяющего элемента изделия, определяемые одним из изложенных в данном разделе методов ($C_{нэ}$).

Для практического применения метода требуются данные только по одному аналогу (затраты на разработку аналога и его определяющего элемента). Как и *метод удельных показателей по ценообразующей характеристике*, не отличается высокой точностью. Кроме того, требуется прогноз затрат на разработку нового определяющего элемента.

Метод удельных показателей по технологической операции (этапу разработки). По существу, достоинствам и недостаткам данный метод идентичен *методу экстраполяции по характеристике определяющего элемента*.

Балловый метод. Метод, по существу, является развитием *метода прямого сравнения с аналогом* или *метода удельных показателей аналога по ценообразующей характеристике*. В отличие от этих методов, балловый метод является многопараметрическим, где степень влияния каждой из характеристик на стоимость определяется на основе экспертных балльных оценок.

Практическая реализация метода предполагает использование модели удельных приращений параметров или модели индексов параметров изделий.

Модель удельных приращений параметров изделий имеет вид:

$$C = C_a \cdot \left(1 + \sum_{i=1}^m Vb_i \cdot \frac{\Delta P_i}{P_a}\right), \quad (1)$$

а модель индексов параметров – вид:

$$C = C_a \cdot \sum_{i=1}^m Vb_i \cdot P_{i\text{отн}}, \quad (2)$$

где C_a – стоимость разработки изделия аналога; ΔP_i – приращение i -го параметра разрабатываемого изделия по сравнению с прототипом; $\Delta P_{i\text{отн}}$ – величина относительного изменения i -го параметра разрабатываемого изделия по отношению к прототипу; Vb_i – нормированная балльная оценка i -го параметра, учитывающая

удельное (долевое) влияние i -го параметра на стоимость разработки изделия.

Нормированная балльная оценка i -го параметра определяется по зависимости:

$$Vb_i = \frac{\omega_i}{\sum_{i=1}^m \omega_i}, \quad (3)$$

где ω_i – величина балльной оценки степени влияния i -го параметра, данная всеми экспертами.

Для определения величины ω_i рекомендуется использовать метод парных сравнений. Каждый k -ый эксперт при сравнении i -го и j -го параметров ставит оценку в баллах. При этом если параметр, стоящий в i -ой строке, по сравнению с параметром, стоящим в j -ом столбце, признается более значимым, то ему дается оценка $\omega_{ij} k > 5$. В этом случае $\omega_{ji} k = 10 \omega_{ij} k$.

После проведения экспертного опроса данные таблиц обобщаются. Рассчитываются используемые для определения нормированной балльной оценки сумма баллов, установленных k -ым экспертом по каждой i -ой строке ($\omega_i k$, $i=1, m$), и сумма баллов, установленных всеми экспертами (ω_i , $I=1, m$):

$$\omega_i k = \sum_{j=1}^m \omega_{ij} k \quad (4)$$

Регрессионный анализ. Определение затрат на ОКР осуществляется на основе регрессионных зависимостей между затратами на проведение ОКР по созданию КСр и ценообразующими характеристиками образцов. Разработка таких зависимостей возможна при наличии достаточного объема статистической информации о затратах на ОКР и основных параметрах образцов аналогичного назначения.

Использование регрессионного анализа, как и других параметрических методов, предполагает выбор изделий аналогов и перечня характеристик, оказывающих существенное влияние на стоимость разработки изделия. За изделия аналоги принимают ранее разработанные образцы, наиболее полно отражающие те признаки, по которым имеются данные о затратах на разработку. Выбор изделий аналогов проводится либо экспертно, либо с использованием соответствующего математического аппарата, например, кластерного анализа и т. п. Перечень основных ценообразующих характеристик также устанавливается экспертно, либо с использованием факторного и корреляционного анализа.

В общем случае по результатам регрессионного анализа разрабатываются либо парная (однофакторная) модель, когда на затраты на разработку изделия существенное влияние оказывает один доминирующий параметр, либо многофакторная модель – при влиянии на затраты на ОКР нескольких параметров.

Рассмотрим агрегированный метод, который по способу проведения расчетов в разрезе классификации по степени детализации относится к дифференцированным методам.

В отличие от предыдущих методов, когда непосредственно определялись затраты на разработку изделия в

целом, данный подход предполагает вначале с использованием вышеизложенных методов определение затрат на разработку элементов изделия или по стадиям ОКР, и только после этого расчет затрат на разработку изделия в целом.

При этом используются различные способы разбиения изделия на составные элементы: а) унифицированные и заимствованные элементы; оригинальные элементы; б) дорогостоящие элементы; остальные, как правило, конструктивные элементы; в) другие принципы декомпозиции системы.

Разбиение системы на элементы проводится с учетом методов, применяемых для оценки затрат на их разработку.

В ряде методик конструктивные элементы объединяются в «единый элемент» – конструкцию, затраты на разработку которой определяются, как правило, через удельные затраты на разработку единицы массы конструкции.

Метод более трудоемкий. Точность, преимущества и недостатки определяются методами, применяемыми для оценки затрат на разработку структурных элементов изделия.

При оценке затрат на ОКР по созданию образцов КСр приведенные выше методы могут использоваться как самостоятельно, так и в комплексе.

Нормативно-калькуляционный метод относится к детальным методам оценки затрат на ОКР. Оценка затрат на ОКР данным методом производится исходя из нормативных затрат по основным статьям калькуляции. Расчет данных затрат производится по формуле:

$$C_{\text{окр}} = C_{\text{мат}} + C_{\text{СО}} + C_{\text{ЗП}} + C_{\text{накл}} + C_{\text{проч}} + C_{\text{КА}}, \quad (5)$$

где $C_{\text{мат}}$ – собственные затраты на материалы и покупные изделия для выполнения ОКР; $C_{\text{СО}}$ – собственные затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) целей; $C_{\text{ЗП}}$ – собственные трудовые затраты (зарплата) на ОКР, включая обязательные отчисления во внебюджетные фонды; $C_{\text{накл}}$ – накладные расходы; $C_{\text{проч}}$ – прочие прямые расходы; $C_{\text{КА}}$ – контрагентские расходы на ОКР.

Затраты на материалы, покупные изделия, специальное оборудование для научных (экспериментальных) целей определяются в соответствии с техническим заданием и особенностями выполнения работ с учетом их прогнозируемых объемов и стоимостных оценок. Собственные трудовые расходы определяются согласно действующим нормам трудозатрат на выполнение работ. Затраты по остальным статьям расходов рассчитываются в соответствии с действующим порядком и нормативами отчислений. При формировании элементов затрат учитываются требования по составу и величине затрат, подлежащих включению в себестоимость научно-технической продукции, установленные главой 25 Налогового Кодекса.

Среди рассмотренных методов для оценки затрат разработку изделий на ранних стадиях их жизненного цикла (стадии исследования и обоснования разработки

и др.) предложено применять первые шесть представленных в таблице методов. Они относятся либо к экспертно-аналоговым методам, либо к методам удельных показателей, либо к тем и другим одновременно.

Краткая характеристика методов оценки затрат на разработку изделий представлена в таблице 1

Таблица 1

№ n/n	Наименование метода	Характеристика точности метода	Требуемая исходная информация для применения (разработки) метода	Основные недостатки метода
1	Линейного коэффициента торможения	Невысокая	Затраты на разработку и основные параметры двух аналогов	Однопараметрический, применяется при незначительном отличии (менее 15 %) основного ценообразующего параметра разрабатываемого изделия от аналога
2	Степенного коэффициента	Невысокая (более точный по сравнению с методом линейного коэффициента торможения)	Затраты на разработку и основные параметры двух аналогов	Однопараметрический
3	Прямого сравнения с аналогом	Невысокая (менее точный по сравнению с методом линейного коэффициента торможения)	Затраты на разработку и основные параметры двух аналогов	Однопараметрический, допущение о наличии прямой пропорциональной зависимости между затратами на проведение ОКР по созданию образца и его основным ценообразующим параметром.
4	Удельных показателей по ценообразующей характеристике изделия	Невысокая (менее точный по сравнению с первыми тремя методами)	Затраты на разработку и значение основного ценообразующего показателя двух аналогов, коэффициенты увеличения стоимости работ, обусловленные усложнением изделий, инфляционными процессами, коэффициент снижения затрат вследствие унификации составных элементов.	Однопараметрический, субъективизм в определении поправочных коэффициентов, учитывающих удорожание работ и использование заимствованных элементов из других разработок.
5	Экстраполяции по характеристике определяющего элемента	Низкая (определяется точностью применяемого метода для расчета затрат на разработку определяющего элемента, но менее точный по сравнению с методом расчета затрат на разработку определяющего элемента)	Затраты на разработку одного аналога и его определяющего элемента, затраты на разработку нового определяющего элемента изделия, коэффициент, учитывающий изменение затрат на разработку изделия по элементам	Однопараметрический

Продолжение таблицы 1

6	Удельных показателей по технологической операции	Низкая (определяется точностью применяемого метода для расчета затрат на этап ОКР, но менее точный по сравнению с методом расчета затрат на этап ОКР)	Затраты на один из этапов разработки и разработку в целом одного аналога. Оценка затрат на один из этапов разработки перспективного изделия, коэффициент, учитывающий изменения структуры затрат по этапам разработки	Однопараметрический
7	Балловый метод	Сравнительно высокая	Затраты на разработку одного аналога, сведения об основных параметрах аналога и разрабатываемого изделия, данные экспертного опроса	Допущение о наличии пропорциональной зависимости между затратами на проведение ОКР по созданию образца и его основными ценообразующими параметрами, использование упрощенных методов экспертного опроса и обработки его результатов
8	Регрессионного анализа	Сравнительно высокая	Значительный объем статистической информации о затратах на разработку и основных параметрах образцов аналогичного назначения (как правило, не обеспечивается в современных условиях снижения интенсивности разработки образцов ВВТ)	

Оценка затрат на разработку изделий на основе более точных многопараметрических моделей при традиционном подходе к их построению в современных условиях проблематична.

Таким образом, в настоящее время существует задача разработки современных новых методов оценки и прогнозирования затрат на проведение ОКР по созданию образцов космических средств, обеспечивающих более высокую точность прогноза по сравнению с экспертно-аналоговыми методами [2] и методами удельных показателей. Кроме того, требуется совершенствование применяемых в настоящее время методов удельных показателей по ценообразующей характеристике и баллового метода.

Предложенный проектный параметр КСр позволяет получить более объективные сравнительные характеристики проектов КА.

Литература

1. Косенко В.Е., Анкудинов А.В., Болдина И.В., Двирный В.В., Туркенич Р.П., Двирный Г.В., Матроницкий Д.А., Голованова В.В. Возможные базовые организационные структуры управления развитием инноваций предприятия // Интеллект и наука: тр. XI Междунар. науч.-практ. конф. Железногорск. 2011 С. 281-283.
2. Ереско, С.П. Технико-экономическое обоснование вариантов технических решений в проектировании строительных машин / С.П. Ереско // Транспортные Средства Сибири (состояние и проблемы) Красноярск: ИТТ КГТУ, 1995, с.-321-323.

References

1. Kosenko V.E., Ankudinov A.V., Boldina I.V., Dvirny V.V., Turkenich R.P., Dvirny G.V., Matronitsky D.A., Golovanova V.V. Probable baseline organizational management structures for enterprises innovation development. // Intellect i nauka, Trudy XI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. P. 281-283.
2. Eresko, S.P. Feasibility study of options for technical solutions in the design of construction machinery / S.P. Eresko // Siberia Vehicles (status and problems) Krasnoyarsk: IT & T KGTU, 1995, P.-321-323.