

Бібліографічні посилання

1. Проектування та конструкція ракет-носіїв: *підручник* / [В. В. Близниченко, Є. О. Джур, Р. Д. Краснікова, Л. Д. Кучма та ін.]; *за ред. акад. С. М. Конюхова*. – Д.: ДНУ, 2007. – 504 с.
2. Прочность ракетных конструкций: *пособ. для студ. вузов* / [В. И. Моссаковский, В. И. Макаренко, П. И. Никитин и др.]. – М.: Высшая школа, 1990. – 359 с.
3. Лизин В. Т. Проектирование тонкостенных конструкций: *учебн. пособ. для вузов* / В. Т. Лизин, В. А. Пяткин. – Москва: Машиностроение, 1995. – 384 с.

Надійшла до редколегії 23.01.2013

УДК 629.764

А. К. Линник, А. А. Балдин

Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ О СТОИМОСТНОЙ ИНЖЕНЕРИИ

Стаття присвячена проблемі зниження вартості виробів ракетно-космічної техніки. Досліджені існуючі підходи до вирішення цієї проблеми, обґрунтована необхідність їх удосконалення та доповнення. Запропоновано нетрадиційний підхід до вибору критеріїв проектування та конструювання, що базується на домінуванні економічної ефективності та моделюванні вартості. Запропоновано шлях вирішення задачі, сформульовано конкретний алгоритм вирішення.

Ключові слова: вартісна інженерія, вартість ракет-носіїв, моделювання вартості.

Статья посвящена проблеме снижения стоимости изделий ракетно-космической техники. Исследованы существующие подходы к решению этой проблемы, обоснована необходимость их совершенствования и дополнения. Предложен нетрадиционный подход к выбору критериев проектирования и конструирования, основанный на главенстве экономической эффективности и моделировании стоимости. Предложен путь решения задачи, сформулирован конкретный алгоритм решения.

Ключевые слова: стоимостная инженерия, стоимость ракет-носителей, моделирование стоимости.

The paper is dedicated to problem of rocket and space engineering cost reduction. Existing approaches to the problem solution are researched, necessity of their improvement and complement is proved. An unconventional approach to designing criterion choice, which is based on economical efficiency domination, is suggested. The method of problem solution is suggested, algorithm of solution has been formulated.

Keywords: cost engineering, launch vehicle cost, modeling of cost.

Введение. Последние десятилетия одной из наиболее актуальных в ракетной технике является проблема системного снижения затрат. Ее актуальность обусловлена, прежде всего, масштабной коммерциализацией космической деятельности, когда в условиях конкурентной борьбы преимущество получают те компании, чьи услуги, при неизменном качестве и надежности, имеют меньшую стоимость. Важен и другой аспект проблемы: в условиях нестабильности экономик даже ведущих мировых держав набирает силу вопрос о целесообразности дальнейшего развития космонавтики как вида деятельности. Технологий нынешнего уровня вполне достаточно для удовлетворения основных космических потребностей человечества, причем без привлечения значительных капиталов. В свою очередь, перспективные будущие космические проекты, в силу своей чрезвычайной технической сложности, и, как следствие, высочайшей стоимости, находятся под угрозой невыполнимости.

Технический аспект решения проблемы снижения затрат в космической деятельности упирается в решение двух ключевых задач относительно ракетно-космических комплексов и их составных частей (далее – РКК):

1. Задача снижения потенциальной* стоимости.
2. Задача корректной оценки стоимости.

Снижение потенциальной стоимости означает принятие определенных мер, которые, сохраняя важнейшие ключевые качества создаваемых образцов техники, понижают их будущую стоимость. Эффективное принятие подобных мер зачастую возможно лишь на ранних этапах создания РКК.

Качественная и своевременная *оценка стоимости* важна, прежде всего, для оценки жизнеспособности проекта в целом, а также для выбора альтернативных вариантов при решении задачи снижения потенциальной стоимости.

Формулирование сущности, этапов разработки и ключевых задач. В мировой и отечественной практике сформировался ряд подходов к решению ключевых задач снижения затрат в РКТ [1–6]. Так, для *снижения потенциальной стоимости РКК*, и, в частности, РН чаще всего прибегают к таким **приемам**:

- **выбор оптимальной архитектуры РН** (варьируются количество, размер и расположение ступеней, тип двигательной установки и топлива, тип органов управления и так далее);
- **унификация** (применяются стандартизированные и унифицированные элементы конструкции, вплоть до баков и двигателей);

* – Создаваемые образцы техники до момента их фактического изготовления не имеют реальной стоимости, поэтому на начальных этапах создания справедливо говорить о стоимости **потенциальной**.

- применение **многоразовых** летательных аппаратов или их элементов;
- **оптимизация надежности** двигательной установки и других систем РН (применение теоретических методов подтверждения надежности для сокращения стендовых испытаний; организация возможности работы ступени при выходе из строя одной из камер сгорания).

Для *оценки стоимости* вновь создаваемых образцов ракетно-космической техники, в основном, пользуются следующими **приемами**:

- **статистическая оценка** (стоимость нового изделия определяется, исходя из статистических данных по существующим аналогам);
- **приравнивание** массы топлива и / или конструкции к ее **стоимости** (предполагается, например, что сухая масса изделия по определенному закону пропорциональна его стоимости);
- введение **обобщенных показателей стоимости** (вводятся относительные или абсолютные величины, характеризующие трудоемкость производства, сложность конструкции, стоимость эксплуатации и так далее).

Минимизация стоимости вновь разрабатываемого изделия нередко упоминается в качестве одного из критериев проектирования [2]. Однако даже в такой формулировке традиционные методики снижения стоимости РН и РКК, в конечном итоге, сводятся к описанным выше приемам. Тем не менее, несмотря на многочисленность различных способов оценки и снижения затрат в РКТ, последние остаются неизменно большими. Так, даже при экономически оптимальной архитектуре РН ее составные системы (двигатели, конструкция, система управления), которые формируют эту архитектуру, остаются очень дорогими.

Для решения указанной проблемы предлагается нетрадиционный подход, основанный на пересмотре фундаментального критерия проектирования в РКТ. Дело в том, что главенствующим в классических методиках проектирования является критерий достижения максимальных энергетических характеристик ЛА. Причем этому критерию подчинены все составные элементы изделия на всех иерархических уровнях. Даже когда речь заходит о минимизации стоимости, **энергетический критерий незримо остается ключевым**, а стоимость минимизируется принятием альтернативных (наиболее экономически эффективных) решений на уровне архитектуры РН. Таким образом, задача состоит в том, чтобы при проектировании ЛА заменить существующий главенствующий критерий максимизации энергетических характеристик многокритериальным проектированием, во главе которого стоит экономическая эффективность. При этом важно, чтобы экономическому критерию были подчинены не только основные системы РН, но и подсистемы, вплоть до отдельных агрегатов.

Предлагаемый подход призван дополнить существующую идеологию создания изделий ракетно-космической техники. Стоимость должна рассматриваться не только, как следствие того или иного технического решения, но и как

неотъемлемое свойство изделия. Инженер, принимая то или иное техническое решение, должен *осознанно оперировать свойством стоимости* создаваемого изделия, сохраняя во внимании его ключевые характеристики. В качестве пути к реализации предлагаемого подхода на практике рассматривается создание такой модели РН, которая позволит *увязать в единую иерархическую структуру ее технические и экономические параметры*. Подобную модель условимся называть *стоимостной*, а процесс создания новых образцов техники по критерию минимальной стоимости будем называть *стоимостной инженерией* [6]. Имея в виду вышесказанное, можем сформулировать определение стоимостной модели РН:

Стоимостной называется такая модель ракеты-носителя, в которой конкретным группам технических составляющих по определенному закону присваивается присущая им характеристика стоимости.

При такой постановке вопроса ключевую позицию занимает именно создание стоимостной модели РН, или, другими словами, моделирование ее стоимости. Иерархическая структура стоимости РН в общем случае не совпадает с ее физической структурой. То есть, взаимосвязь между составными элементами РН, удельный вес и группировка этих элементов в стоимостной структуре могут отличаться физической структурой изделия. Сложность моделирования стоимости РН состоит в том, что необходимо не только обеспечить увязку разных по природе характеристик одного изделия, но и корректно отразить стоимостную иерархию.

Именно использование стоимостных моделей в процессе создания новых РН обуславливает суть предлагаемого подхода. Такой подход может быть представлен в качестве новой методики проектирования РН, дополненной стоимостным моделированием изделия и первоочередностью экономического критерия. *Ключевыми этапами* разработки новой методики являются:

1. ***Введение и обоснование области применения стоимостной модели.*** Данный этап подразумевает обоснование и утверждение границ применимости стоимостной модели в разных аспектах.
2. ***Разработка логической структуры стоимостной модели РН.*** Данный этап определяет логику и инструментарий работы модели.
3. ***Разработка и реализация методов оценки справедливости стоимостной модели.*** На данном этапе должны быть предложены и в дальнейшем использованы методы оценки адекватности и применимости созданной стоимостной модели РН.

Каждый из этапов, в свою очередь, состоит из перечня конкретных задач. Их последовательное решение означает завершение соответствующего этапа, а завершение трех ключевых этапов означает готовность к применению предлагаемой методики. Таким образом, создание новой методики сводится к последовательному решению конкретных задач. Сформулируем эти задачи:

1. Задачи этапа введения и обоснования области применения

- 1.1. Определение этапов разработки РН, на которых эффективна стоимостная модель (СМ).
- 1.2. Определение границ универсальности СМ в части изделий РКТ.

1.3. Определение верхней и нижней границ детализации СМ.

1.4. Определение этапов жизненного цикла РН, которые описываются в СМ.

2. Задачи этапа формирования логической схемы

2.1. Описание основных гипотез, допущений и упрощений в части техники.

2.2. Описание основных гипотез, допущений и упрощений в части стоимости.

2.3. Описание технической иерархической структуры.

2.4. Создание стоимостной иерархической структуры.

2.5. Описание возможностей декомпозиции, синтеза и анализа нескольких СМ.

3. Задачи этапа оценки эффективности

3.1. Разработка критериев адекватности СМ.

3.2. Разработка критериев эффективности СМ.

3.3. Описание путей корректировки СМ, алгоритма ее калибровки.

Выводы

В статье показаны актуальность проблемы снижения стоимости в РКТ и необходимость дополнения классического понимания проектно-конструкторского критерия экономической эффективности. В качестве предлагаемого пути решения поставленной задачи предлагается создать стоимостные модели РН, позволяющие увязать технические и экономические свойства изделия. Отражена проблематика создания стоимостных моделей, сформулированы требования к ним. Предложен план разработки стоимостной модели.

Библиографические ссылки

1. Проектування та конструкція ракет-носіїв: *підручник* / В. В. Близниченко, Є. О. Джур, Р. Д. Краснікова, Л. Д. Кучма [та ін]; *за ред. акад. С. М. Конюхова*. – Д.: ДНУ, 2007. – 504 с.
2. Дракин И. И. Основы проектирования беспилотных летательных аппаратов с учетом экономической эффективности / И. И. Дракин. – М.: Машиностроение, 1973. – 224 с.
3. Лебедев В. Г. Экономическое моделирование автоматизированной техники // В. Г. Лебедев, В. Г. Машенцев и др. – М.: Мысль, 1974. – 255 с.
4. Мишин В. П. Основы проектирования летательных аппаратов (транспортные системы): *учебник* // В. П. Мишин, В. К. Безвербный, Б. М. Панкратов и др. – М.: Машиностроение, 1985. – 360 с., ил.
5. Alexander R. V. Cost and weight optimization for multistage rockets / R. V. Alexander, J. S. Gray // *Journal of Spacecraft and Rockets*. – 1964. – № 1. – 7 p.
6. Koelle Dietrich E. Cost engineering – the new paradigm for space launch vehicle design / Koelle Dietrich E. // *Journal of Reducing space mission cost*, 1998. – № 1. – 14 p.

Надійшла до редколегії 15.04.2013