

Гавриков В.Е.

Gavrikov V.E.

главный специалист
отдела АКА ДЗЗ и ФКИ
АО «Организация «Агат»
г. Москва

Емелин А.А.

Emelin A.A.

кандидат экономических наук
заместитель генерального директора
по ТЭО программ РКТ
АО «Организация «Агат»
г. Москва

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТОИМОСТИ СОЗДАНИЯ ОРБИТАЛЬНОЙ ГРУППИРОВКИ НА БАЗЕ МОДЕРНИЗИРУЕМЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

BUILDING A MODEL FOR DETERMINING THE COST OF CREATING AN ORBITAL GROUPING BASED ON UPGRADED SPACECRAFT

Аннотация. Данный материал посвящен построению модели определения стоимости создания орбитальной группировки на базе модернизируемых космических аппаратов (КА). В докладе рассматривается модель определения стоимости создания изделий РКТ, учитывающая различные требования потребителей, характеризующая сопоставлением устанавливаемого набора количественных и качественных признаков (частных параметров), рассчитывающая в рамках устанавливаемых допущений (предельные) стоимости изделия, относительно технического уровня ее базового аналога.

Ключевые слова: Стоимость создания орбитальной группировки (ОГ), стоимость изготовления, технический уровень изделия, надежность, модернизируемый космический аппарат, качество.

Abstract. This material is devoted to the construction of a model for determining the cost of creating an orbital constellation based on modernized spacecraft. The report discusses a model for determining the cost of creating RST products, taking into account various consumer requirements, characterizing by comparing an established set of quantitative and qualitative characteristics (partial parameters), calculating, within the framework of established assumptions, the (limit) cost of the product, relative to the technical level of its basic analogue.

Keywords: The cost of creating an orbital constellation (OC), the cost of manufacturing, the technical level of the product, reliability, the spacecraft being upgraded, quality.

В настоящее время российская космическая промышленность переходит на этап интенсивного развития орбитальной группировки (ОГ) КА различного назначения, учитывающего требования отечественных и зарубежных потребителей на рынке космических услуг.

Расширение круга решаемых задач ОГ КА в первую очередь требует приближение ее тактико-технических характеристик и экономических параметров к требованиям конечного потребителя, что является важным этапом, позволяющим обеспечивать высокую степень гибкости, и возможность быстро реагировать на потребности в новых услугах.

В процессе создания перспективной РКТ в условиях расширения требований Заказчиков, возрастает необходимость в проведении ряда сопровождающих мероприятий для достижения оптимальных характеристик технического уровня изделий их качества и надежности, которые в том числе должны учитывать необходимость снижения затрат за счет способности создаваемых базовых КА к их дальнейшей модернизации. Это позволит, в силу заложенных в них технических свойств использовать базовые КА различного спектра целевого применения с учетом выбора наиболее экономичных вариантов модернизации отдельных составных частей (СЧ) КА по схеме деления, достигая требуемые тактико-технические характеристики (ТТХ).

В этом случае, для создания новой продукции, отвечающей рыночным условиям, устанавливаются особые ограничения к стоимости изделия РКТ, которые рассчитываются по критериям, учитывающим заинтересованность потребителей в отдельных характеристиках, модернизируемых КА. Следует отметить, что некоторые характеристики могут быть направлены в том числе и на возможное снижение показателей технического уровня и надежности (например, уменьшение дублирующих элементов системы) отдельных СЧ КА (устройств, комплексов, систем полезной нагрузки (ПН), модуля служебных систем (МСС)), при которых достигается требуемая величина целевой эффективности и устанавливается лимитная стоимость выполняемых задач.

В настоящем материале рассматривается модель определения стоимости создания изделий РКТ, учитывающая различные требования потребителей, характеризующая сравнением определяемого набора

количественных и качественных признаков (частных параметров), рассчитывающая лимитную (предельную) стоимость новой продукции РКП, относительно технического уровня ее базового аналога.

В общем случае модель определения стоимости создания ОГ на базе модернизируемых серийно производимых КА для выхода на рынок (с учётом требований потребителя) будет иметь следующий вид:

$$C_{\text{Общ.}}^M = \sum_{j=1}^L K_{\text{ОКР}_j}^{\text{СЧ}} \times C_{\text{КА}_j}^M + \sum_{j=1}^V \left(k_{\text{п}} \times C_{\text{КА}_j}^M \times N^{-\gamma} \times n_{\text{КА}} \right), \text{ при}$$

$$C_{\text{КА}_j}^M = \sum_{i=1}^N C_{\text{СЧ}_{\text{КА}_i}}^{\text{ан.}} \times k_{c_i} \times k_{n_i} \times k_{y_i} \times k_{\text{ТУ}_i} \times k_{\text{НД}_i}, \quad (1)$$

$K_{\text{ОКР}_j}^{\text{СЧ}}$ – комплексный коэффициент, учитывающий затраты на разработку (модернизацию) j-ых КА ОГ, включая проведение всех видов проектно-конструкторских работ, подготовку производства, изготовление опытных образцов, в том числе и по работам предприятий-кооперации i-ых СЧ КА (устройств, комплексов, систем ПН и МСС) по схеме деления, а также учитывающий интеграцию всех СЧ КА Головным разработчиком-изготовителем, включая проведение НЭО, услуг по транспортировке, подготовке к запуску и др.;

$k_{\text{п}}$ – коэффициент перехода от опытного к серийному производству КА;

$C_{\text{КА}_j}^M$ – стоимость изготовления j-го вида, модернизируемого КА ОГ с учетом требований потребителя;

N – порядковый номер образца для изготовления серийного КА ОГ;

γ – коэффициент, характеризующий снижение затрат на изготовление j-го КА в зависимости от порядкового номера образца;

$n_{\text{КА}}$ – количество серийных образцов КА, предлагаемых к изготовлению в ОГ;

$C_{\text{СЧ}_{\text{КА}_i}}^{\text{ан.}}$ – стоимость изготовления i-ой "базовой" СЧ (устройства, комплексы, системы ПН и МСС) по схеме деления КА-аналога;

k_{c_i} – коэффициент сложности, характеризующий изменение общего числа отдельных СЧ (подсистем, модулей, приборов, устройств и т.д.) входящих в i-ую СЧ КА по схеме деления, в сравнении с "базовой" СЧ КА-аналога;

k_{n_i} – коэффициент новизны, характеризующий изменение количества оригинальных отдельных СЧ (подсистем, модулей, приборов, устройств и т.д.), входящих в i-ую СЧ по схеме деления модернизируемого КА, в сравнении с "базовой" СЧ КА-аналога;

k_{y_i} – коэффициент унификации, характеризующий, во сколько раз изменится количество стандартных, унифицированных и других ранее отдельно разработанных СЧ (подсистем, модулей, приборов, устройств и т.д.) в i-ой СЧ модернизируемого КА за счет заимствования их в "базовой" СЧ КА-аналога;

$k_{\text{ТУ}_i}$ – коэффициент технического уровня, характеризующий тактико-технические характеристики разрабатываемой i-ой СЧ по схеме деления модернизируемого КА, в сравнении с имеющей место "базовой" СЧ КА-аналога;

$k_{\text{НД}_i}$ – коэффициент надежности, характеризующий во сколько раз у i-ой СЧ модернизируемого КА нового типа, изменится нормирование времени безотказной работы (ВБР) по отношению к "базовой" СЧ КА-аналога.

Коэффициенты сложности, новизны, унификации могут быть представлены в виде следующих формул:

$$k_{c_i} = \frac{N_{c_i}^{\text{н}}}{N_{c_i}^{\text{ан.}}}; \quad k_{n_i} = \frac{N_{\text{ориг}_i}^{\text{н}}}{N_{\text{ориг}_i}^{\text{ан.}}}; \quad k_{y_i} = \frac{N_{y_i}^{\text{н}}}{N_{y_i}^{\text{ан.}}}, \quad (2)$$

$N_{c_i}^{\text{н}}, N_{c_i}^{\text{ан.}}$ – общее количество отдельных СЧ в i-ой СЧ модернизируемого КА новой разработки и базовой СЧ КА-аналога;

$N_{\text{ориг}_i}^{\text{н}}, N_{\text{ориг}_i}^{\text{ан.}}$ – количество оригинальных отдельных СЧ в i-ой СЧ модернизированного КА новой разработки и базовой СЧ КА-аналога;

$N_{y_i}^{\text{н}}, N_{y_i}^{\text{ан.}}$ – количество стандартных, унифицированных и других отдельных СЧ в i-ой СЧ модернизированного КА новой разработки и базовой СЧ КА-аналога соответственно.

Коэффициент технического уровня может быть представлен в виде:

$$k_{\text{ТУ}_i} = \sum_{v=1}^V k_{iv}^{\text{век}} \left(\frac{X_v^{\text{н.}}}{X_v^{\text{ан.}}} \right)^{(-1)^\eta} \quad (3)$$

$k_{iv}^{\text{век}}$ – весовой коэффициент влияния v-го технического параметра (ТТХ) на стоимость i-ой СЧ КА. В общем случае определяются на основании статистических данных по КА-аналогам. При установлении коэффициента необходимо соблюдение условия - $\sum k_v^{\text{век}} = 1$;

$X_{iv}^{\text{н.}}$ – значение v-го технического параметра i-вой СЧ КА новой разработки;

$X_{iv}^{\text{ан.}}$ – значение v-го технического параметра i-вой СЧ КА-аналога;

V – количество технических параметров принятых в расчете;

η – характер зависимости потребительской характеристики:

в случае прямой зависимости $\eta = 2$;

в случае обратной зависимости $\eta = 1$;

Коэффициент надежности может быть представлен в виде:

$$k_{нДi} = \frac{\ln(1 - P_i^{тр.})}{\ln(1 - P_i^д.)} \quad (4)$$

$P_i^{тр.}$ - требуемый уровень надежности (нормирования ВБР) в i -ой СЧ модернизируемого КА;

$P_i^д.$ – действительный уровень надежности (нормирования ВБР) в i -ой "базовой" СЧ КА – аналога.

Таким образом, представленная стоимостная модель позволяет подобрать рациональные проектные решения по развитию ОГ в процессе её эксплуатации, за счет способности "базового" КА к его модернизации, с учетом принятых экономических параметров создания отдельных СЧ КА по схеме деления, используя в расчетных моделях фактические значения технико-экономических показателей их близких аналогов, достигая необходимые требования потребителя в части целевой эффективности и стоимости услуг.

Предложенная модель является универсальной и может быть использована на ранних этапах определения стоимостных показателей создания перспективной РКТ различного назначения с учетом требований потребителя к техническому уровню изделия.

Литература

1. Гавриков В.Е., Емелин А.А., Оноприенко В.Д. Разработка прогнозной модели определения стоимости создания российских автоматических космических аппаратов различного назначения // Материалы 55-х научных чтений памяти К.Э. Циолковского. Часть 2. Калуга: ИП Стрельцов И.А. (Изд-во «Эйдос»). 2020. – 326 с.
2. Пособие по методике определения и контроля надежности сложных систем / под ред. доктора технических наук, профессора Червоного А.А., М., изд. «Сов. Радио». 1967.