

Алгоритм формирования энергетического и массового запаса для космических аппаратов комплексного назначения

Гусаков Н.В.

к.т.н.

Соколов В.М.

к.т.н., старший научный сотрудник, ОАО «РКК Энергия им. С.П. Королев», г. Королёв, Московской обл.

Аннотация

В данной статье приводятся количественные оценки энергетического и массового запаса космических аппаратов комплексного назначения, базирующиеся на полученных методами статистических испытаний, статистической обработки и использовании динамических рядов оценках; на базе полученных количественных оценок приводится комплексный алгоритм оценки запаса космического аппарата.

Ключевые слова: космический аппарат; энергетический запас; массовый запас; адаптивная структура; механизм адаптации.

Введение

В настоящее время активно развивается направление, связанное с созданием космических аппаратов комплексного назначения (КА КН). Это связано, в первую очередь, с расстановкой приоритетов для обеспечения превосходства в космической деятельности над странами-конкурентами в различных секторах рынка космических услуг [1-5].

Первый путь развития данного направления предусматривает синтез структуры системы комплексного назначения на основе решения многокритериальной задачи, позволяющей в конечном итоге сформировать структуру, которая является оптимальной в «среднем» для решения всей совокупности задач с учетом их значимости. Второй путь предусматривает создание космической системы с адаптивной структурой, обеспечивающей наиболее эффективное решение актуальных задач на рассматриваемых интервалах времени, а также механизма адаптации структуры при изменении обстановки.

При обосновании схмотехнических решений проектируемой сложной технической системы в общем случае имеется достаточно большое множество проектных параметров, характеризующих функционирование исследуемого объекта. Множество объективных технических параметров определяют облик КА КН, оказывая непосредственное влияние на результативность решения целевых задач. В частности, к ним относятся: точностные характеристики бортового комплекса управления; параметры орбит наблюдения; период жизненного цикла; срок активного существования; продолжительность проведения измерений; информативность радиолинии; параметры системы терморегулирования; системы единого питания. Необходимо отметить, что, в конечном итоге, все эти параметры определяются величинами располагаемой для их реализации массы и выделяемой энергии ($m_{\text{мод}i}, E_{\text{мод}i}$).

В связи с вышеуказанным, задача определения их номинальных значений ($m_{\text{мод}i}^{\text{ном}}, E_{\text{мод}i}^{\text{ном}}$), а также значений с учетом необходимого резерва, требуемого для парирования рисков, связанных с новизной проектируемого КА КН, является одной из основополагающей при формировании схмотехнических решений КА КН, оценке и выборе предпочтительной альтернативы.

Комплексный алгоритм определения запаса КА КН

Учитывая модульный принцип построения космических систем (комплексов), при формировании проектного облика КА КН, а, в частности, рациональной расчетной структуры, разработчик формирует

ее из n -го количества модулей (блоков, узлов) с отличающимися свойствами, каждый раз осуществляя итерационный выбор между заимствуемыми и вновь разрабатываемыми модулями, оценивая их применение по заданным критериям эффективности.

Заимствуемые модули обладают такими преимуществами, как относительно низкая стоимость, реально подтвержденные безопасность, надежность, уровень качества и эксплуатационные характеристики, строго определенные проектные параметры.

Вновь проектируемые модули в большинстве случаев являются более выгодными с точки зрения массы и энергопотребления по сравнению с заимствуемыми, но более дорогостоящими и обладающими некоторым уровнем неопределенности проектируемых параметров.

Отличия в свойствах различных типов модулей, в первую очередь, определяется уровнем их новизны, который можно охарактеризовать коэффициентом K_H . Определение уровня новизны – задача нетривиальная, требующая соответствующего определенного методического подхода и навыков разработчика, использования статистической базы данных, применения принципов декомпозиции структуры КА КН и составляющих его систем, методов экспертных оценок.

Если существует практическая возможность структурной декомпозиции модуля на модуль – компоненты более низкого, элементарного уровня, коэффициент новизны целесообразно определить по формуле:

$$K_H = \frac{\sum_{j=1}^p m_{\text{эле}j}^{\text{нов}}}{m_{\text{мод}i}}, \quad j = 1, 2, \dots, p, \quad (1)$$

где $m_{\text{эле}j}^{\text{нов}}$ – масса нового j -го компонента, входящего в i -ый модуль;

$m_{\text{мод}i}$ – масса i -го модуля;

p – общее число компонентов.

В случае отсутствия возможности декомпозиции уровень новизны определяется на основании экспертных аналитических оценок по изделиям-аналогам (модулям-аналогам). Как показывает практика проектирования космических комплексов и систем, наиболее распространенный и апробированный способ парирования рисков, связанных с новизной разработки – формирование запаса (резерва). Таким образом, задача определения коэффициентов запаса по массе (K_3) как функции коэффициента (уровня) новизны (K_H) $K_3^m = f(K_H)$ является весьма актуальной.

В настоящее время одним из наиболее достоверных методов определения количественной величины ресурса (запаса) является статистический анализ результатов предыдущих разработок. Расчет массы КА, его отдельных элементов (агрегатов) и систем является одной из ключевых задач на этапе формирования концепции. Это связано с тем, что результаты расчета позволяют сделать оценки о реализуемости предложенного варианта КА КН, а также сделать вывод о его конкурентоспособности.

Учитывая, что КА КН структурно состоит из различных типов модулей, обладающих разным уровнем новизны, его массу ($M_{КА}$) представим в виде:

$$M_{КА} = \sum_{i=1}^n m_{\text{мод}i}, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (2)$$

где $m_{\text{мод}i}$ – масса i -го модуля;

n – количество анализируемых модулей.

При определении массы КА в соответствии с выражением (2), массу единичного i -го модуля с учетом необходимого ресурса можно представить в виде:

$$m_{\text{мод}i} = (1 + K_{3i}^m) \cdot m_{\text{мод}i}^{\text{ном}}, \quad (3)$$

где $m_{\text{мод}i}^{\text{ном}}$ – номинальная масса i -го модуля;

K_{3i}^m – коэффициент запаса i -го модуля, учитывающий увеличение массы i -го модуля.

Определение количественной величины коэффициента массового запаса – одна из важнейших задач системного проектирования в ракетно-космической отрасли. На основании статистических данных и имеющегося опыта проектирования КА различного назначения, путем аппроксимации исходных данных можно сформировать зависимость коэффициента запаса по массе от уровня новизны модуля

$$K_3^m(K_H) = 0.01 \cdot e^{4 \cdot K_H} \quad (4)$$

На рисунке 1 представлена зависимость коэффициента запаса K_3^m по массе от уровня новизны проектируемого модуля (K_H).

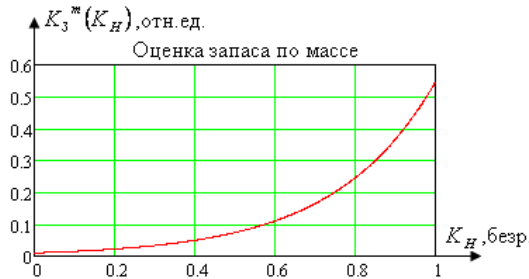


Рис. 1. Зависимость коэффициента запаса K_3^m по массе от уровня новизны проектируемого модуля K_H

Как показано на рис. 1, с увеличением уровня новизны проектируемого КА увеличивается требуемый запас по массовым характеристикам. Так, в предельном случае создания абсолютно нового КА, не имеющего аналогов в мире, запас по массе составит не менее половины значения массы существующих КА. При конструктивном обновлении в пределах 50 % запас по массе увеличивается в целом на относительно небольшую величину.

Энергетические возможности КА оказывают значительное влияние на решение целевых задач. Так, при недостаточном уровне энергетики бортового специального комплекса зачастую оказывается невозможным выполнение поставленной задачи в силу слабого уровня сигнала на наземном комплексе приема информации. С другой стороны, чрезмерный запас по энергетике приводит к неоправданному увеличению массогабаритных характеристик КА, что приводит к необходимости уменьшения массы его полезной нагрузки. Зависимость коэффициента запаса K_3^e по энергетике от уровня новизны проектируемого модуля K_H представлена на рис. 2.

$$K_3^e(K_H) = 0.02 \cdot e^{3 \cdot K_H} \quad (5)$$



Рис. 2. Зависимость коэффициента запаса K_3^e по энергетике от уровня новизны проектируемого модуля K_H

Реальное энергопотребление систем КА оценивается:

$$E_{\text{мод}i} = (1 + K_{3i}^e) \cdot E_{\text{мод}i}^{\text{ном}}, \quad (6)$$

где $E_{\text{мод}i}^{\text{ном}}$ – номинальное энергопотребление i -го модуля;

K_{3i}^e – коэффициент запаса по энергетике.

Комплексный алгоритм формирования запаса по энергетическим и массовым показателям при проектировании КА КН представлен на рисунке 3.

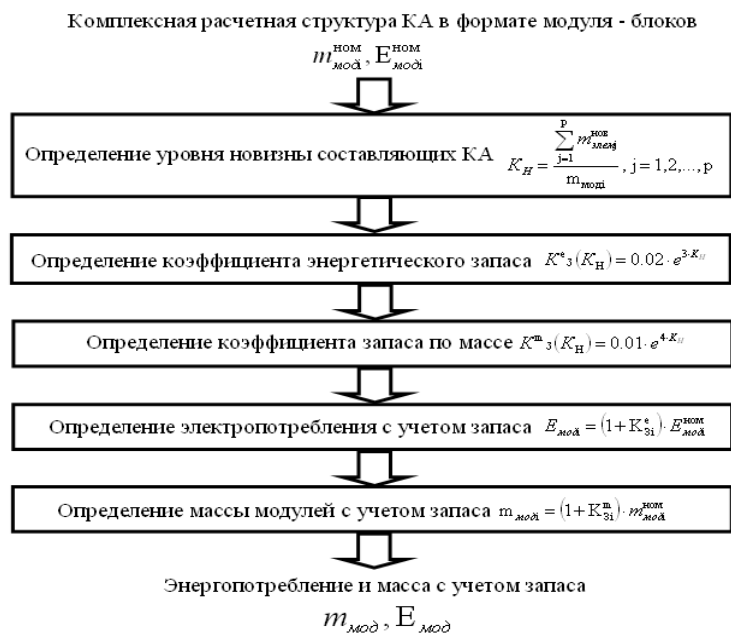


Рис. 3. Комплексный алгоритм формирования запаса по энергетическим и массовым показателям при проектировании КА КН

Заключение

Представленный алгоритм формирования энергетического и массового ресурса при разработке КА КН позволяет оценить требуемые массогабаритные характеристики, разработать комплекс мероприятий и предложений для формирования программы обеспечения безопасности, программы обеспечения надежности, комплексной программно-экспериментальной отработки.

Литература

1. Пантенков Д.Г. «Итерационная модель оценки целесообразности проектирования космических аппаратов двойного назначения», журнал «Актуальные вопросы проектирования космических систем и комплексов»/ФГУП НПО им. С.А. Лавочкина. Выпуск 11. Химки. 2011г. С. 25–40.
2. Пантенков Д.Г., Литвиненко В.П. «Методика оценки целесообразности комплексирования задач при создании космических аппаратов», «Вестник Воронежского государственного технического университета». 2011. том 7. №6. С. 108–112.

Для цитирования:

Гусаков Н.В., Соколов В.М. Алгоритм формирования энергетического и массового запаса для космических аппаратов комплексного назначения // i-methods. 2010. Т. 2. № 1. С. 5–9.

The algorithm of formation of energy and mass margin for spacecraft for multiple uses

Gusakov N.V.

Ph.D.

Sokolov V.M.

Ph.D., senior researcher, JSC "rocket and space Corporation Energia. S. P. Korolev RSC Energia", Korolev, Moscow region

Abstract

This article provides a quantitative assessment of energy and mass margin spacecraft for multiple uses, based on the data obtained by means of statistical tests, statistical processing and using time series estimates; on the basis of the quantitative assessments is a complex algorithm of estimation of a spacecraft.

Keywords: spacecraft; energy supply; mass stock; adaptive structure; adaptation mechanism.

References

1. Panchenkov D.G. "Iterative estimation model feasibility design space vehicles of double purpose", the magazine "the Topical issues of designing of space systems and complexes"/FGUP NPO im. S. A. Lavochkin. Issue 11. Khimki. 2011. Pp. 25–40.
2. Panchenkov D.G., Litvinenko, V.P., "Methodology for assessing the appropriateness of aggregation of tasks during the creation of spacecraft", "Herald of the Voronezh state technical University for the Humanities". 2011. volume 7. No. 6. Pp. 108–112.

For citation:

Gusakov N.V. Sokolov V.M. The algorithm of formation of energy and mass margin for spacecraft for multiple uses // *i-methods*. 2010. Vol. 2. No. 1. Pp. 5–9.