УДК 004.052

МЕТОДЫ УСКОРЕННОЙ ЛЕТНОЙ КВАЛИФИКАЦИИ НОВЫХ КОСМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ

Мельдер М.И., Ступина А.А., Верхорубов А.И.

ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М.Ф. Решетнёва» (Красноярск, Россия (660014, Красноярск, пр. им. газ. «Красноярский рабочий, 31), e-mail: saa55@rambler.ru

В работе представлена идея поэтапной реализации дополнительных задач в виде упреждающего размещения на космических аппаратах (КА) дополнительной полезной нагрузки в различных вариантах. На основе анализа существующих методов рационального проектирования КА разработана структурная схема рационального проектирования навигационного КА, реализующая ускоренную летную квалификацию новых космических технологий, включающая следующую последовательность операций выбора проектных параметров КА: - определение и выбор номинальных параметров КА по критерию: минимум затрат массы на обеспечение заданной эффективности; - проектирование КА на предельную энергетику, реализуемую системой электропитания на всех этапах функционирования; - проектирование КА на предельную массу по критерию: создание максимальных резервов ресурсов КА для размещения ДПН, реализующей функции новых космических технологий.

Ключевые слова: дополнительная полезная нагрузка, космические аппараты, системный подход

METHODS OF THE ACCELERATED FLIGHT QUALIFICATION OF NEW SPACE TECHNOLOGIES

Melder M.I., Stupina A.A., Verhorubov A.I.

Siberian State Aerospace University named after M.F. Reshetnev, Krasnoyarsk, Russia (660014, Krasnoyarsk, KrasnoyarskiRabochiy, 31), e-mail: saa55@rambler.ru

The paper presents the idea of phased implementation of the additional problems in the form of proactive allocation in spacecrafts (SC) the additional payload in different versions. Based on the existing methods analysis of the SC rational design we developed a structural scheme of rational navigation SC design implementing the accelerated flight qualification of new space technologies, including the following choice sequence of the SC design parameters: - identification and selection of nominal SC parameters according to the criterion: a minimum of expenses to guarantee the set efficiency; - SC design on the marginal energy realized by a sold-supply system at all stages of its functioning; - SC design on the limited mass according to the criterion: the establishment of a maximum of resources reserves for the allocation of cash flow to realize functions of new space technologies

Keywords: additional payload, spacecrafts, system approach

Опыт проектирования современных сложных технических систем, показывает, что выполнение всех мероприятий по созданию космического аппарата (КА) на начальных этапах проектирования представляет собой в техническом и организационном отношениях весьма трудоемкий, длительный и многоэтапный процесс. Главные трудности в решении задачи выбора оптимальных параметров технической системы, особенно на ранних стадиях ее проектирования, связаны не столько с применением математических методов оптимизации, сколько с формулировкой задачи, выбором критериев, а также достаточно точным построением математической модели.

В общем случае процесс проектирования и разработки космического аппарата навигационного обеспечения, оптимизация его выходных характеристик – задача комплексная, многопараметрическая и часто выполняется совместно и одновременно с разработкой и созданием бортовой специальной аппаратуры.

Системный подход к проектированию требует от проектантов более глубокой и многовариантной научно-технической проработки проекта, всестороннего анализа возможных альтернативных решений и на их основе синтезирования облика навигационного КА с оптимальными проектными параметрами.

КА в конструктивном отношении представляет собой комплекс приборов и агрегатов, установленных на некоторой общей конструктивной базе и соединенных общей кабельной сетью. В составе КА имеется часть приборов и агрегатов, требующих для своего функционирования непосредственного контакта с окружающим космическим пространством. Размещение приборов и агрегатов на КА должно гарантировать их нормальное функционирование: отсутствие попадания элементов конструкций в поле зрения оптических датчиков, отсутствие газящих элементов рядом с приборами, сохранение заданной выставки приборов относительно плоскости стабилизации КА.

В процессе разработки бортовая аппаратура (БА) специального и обеспечивающего назначения оказывает влияние на проектный облик КА наряду с тем, что в это же время целевое назначение КА, его компоновка и конструкция налагают ряд требований на бортовую аппаратуру и ее характеристики.

Так в частности конструктивно-компоновочная схема КА в значительной мере определяется:

составом БА, особенностями его размещения и функционирования;

взаимным расположением составляющих блоков БА и их количеством;

тепловым рассеиванием БА и требованиями по термостабилизации;

выбором оптимальной схемы размещения блоков БА с учетом магнитных полей, рациональной силовой схемы, взаимным расположением отдельных элементов конструкции для защиты БА от воздействия факторов космического пространства;

требованиями по технологичности сборки и испытаниям БА в составе КА;

возможностью замены вышедших из строя при испытаниях приборов и узлов без подрегулировки других приборов и узлов;

возможностью удобного доступа к приборам, устройствам и разъемам;

безопасностью работ при проведении испытаний и т.д.

В то же самое время космический аппарат накладывает ряд требований на БА, из которых в качестве основных можно выделить:

точностные характеристики в соответствии с техническим заданием;

малые массы и габаритные размеры;

пониженное энергопотребление;

повышенный срок активного существования;

выполнение требований по тепловому проектированию БСУ;
сжатые сроки разработки и изготовления;
приемлемая стоимость и т. д.

Вся перечисленная выше номенклатура требований является основой для разработки тактико-технических требований на разработку космического аппарата. Эти основные положения мы и будем использовать в качестве основополагающих требований при детальном рассмотрении принципов и методов упреждающей отработки новых технологий и реализации новых функций.

Известно, что при создании КА ищется компромисс между использованием новых составных элементов КА и применением унифицированных (заимствованных) приборов, уже квалифицированных для космических условий[4].

Применение новых составных элементов на КА создает определенный риск появления отказов, преждевременного выхода из строя летного КА и затягивание летных испытаний в целом.

Для парирования указанных рисков предлагается организовать возможность размещения на КА в качестве дополнительной полезной нагрузки (ДПН) перспективных узлов и приборов и осуществить их упреждающую летную отработку и квалификацию. При этом качество их работы не должно влиять на целевое функционирование КА.

С целью создания возможностей для упреждающей отработки новых технологий и реализации новых функций на КА были разработаны и предложены основные принципы модернизированного подхода к проектированию и созданию КА навигационного назначения, постулаты которого изложены ниже [1]:

1. При разработке КА не нарушается общий системный поход проектирования КА.
2. Предлагается изменить методологический подход на начальных этапах проектирования КА (при разработке исходных данных на проектирование и разработку КА), заключающийся в следующем:

в части реализации новых функций

- предусматривать в составе КА дополнительную полезную нагрузку. В качестве ДПН может выступать типовая целевая аппаратура, по которой имеется положительное техническое Заключение Генерального Заказчика по результатам разработки технических предложений и эскизного проектирования и окончательное решение о введении в состав КА, который либо находится в стадии финансово-экономического согласования, либо сроки разработки бортовой аппаратуры не совпадают со сроками разработки и создания КА;

размещение и адаптацию ДПН на КА проводить из условия «реального наличия» в составе космического аппарата указанной аппаратуры, при этом предусмотрев для нее следующее:

1. выделение парциальной части бортовых ресурсов КА для ДПН как для штатной целевой аппаратуры, в том числе резервов в бортовом программном обеспечении и возможность их модернизации и замены при летных испытаниях;
2. проведение теплового, электрического и механического проектирования КА в целом с учетом требований по функционированию ДПН в реальных условиях по штатной циклограмме;
3. разработку и создание габаритно-весовых имитаторов ДПН и конструктивно-технологическую их увязку и адаптацию в механическую и тепловую архитектуру КА;
4. возможность «безболезненной» адаптации ДПН, изготовленной и поставленной по штатной конструкторской документации и имеющей некие отличия от проектных данных;

предусматривать обязательное наличие проектных запасов КА, исключающих неопределенности на ранних этапах с ДПН и необходимость существенных доработок КА или коренного пересмотра его архитектуры.

в части упреждающей отработки новых технологий предусмотреть в конструктивной схеме космического аппарата и его силовой архитектуры наличие стандартного унифицированного конструктивно-механического интерфейса для размещения экспериментальной аппаратуры, реализующего два типа размещения аппаратуры на космических аппаратах различного исполнения:

1. стандартное размещение аппаратуры по типу КА негерметичного исполнения;
2. размещение аппаратуры с имитацией реальных условий функционирования бортовой специальной аппаратуры на КА негерметичного исполнения;

дополнительно разработать стратегию и технологию реализации унифицированного интерфейса с учетом осредненных требований экспериментальной аппаратуры различного функционального назначения, в том числе:

1. конструктивного интерфейса (габариты, масса, прочностные характеристики, взаимовлияние);
2. теплового интерфейса;
3. электрического интерфейса;
4. информационного интерфейса;

обеспечить выделение на этапе разработки «Исходных данных на проектирование КА» средневзвешенного состава объемов бортовых ресурсов;

разработать типовые требования для экспериментальной аппаратуры различного целевого назначения с учетом особенностей ее функционирования с целью упреждающей выдачи Исходных данных на разработку конструктивного и теплового проекта аппаратуры;

провести наземно-экспериментальную отработку унифицированного интерфейса в составе КА с получением соответствующих Заключений;

предусмотреть обязательное наличие проектных запасов КА, исключающих неопределенности в конструктивном, тепловом, электрическом и информационном проекте экспериментальной аппаратуры и необходимость существенных доработок унифицированного интерфейса или коренного пересмотра его архитектуры;

3. Все работы с ДПН и экспериментальной отработкой новых технологий на космическом аппарате проводить в соответствии с оформленным установленным образом Решением Генерального Заказчика с обязательным Заключением об исключении влияния проводимых работ на выполнение КА своих целевых функций.

4. Организационно-распорядительные документы, планы-графики проводимых работ с ДПН и экспериментальной аппаратурой, сроки разработки и реализации проектов не должны влиять на сроки Генерального сетевого графика создания космического аппарата.

Таким образом, ускоренную летную квалификацию новых космических технологий предлагается реализовать через создание резервов ресурсов и создание унифицированных интерфейсов на КА для размещения дополнительной полезной нагрузки, реализующей функции новых космических технологий и новых функций в пределах располагаемых резервов ресурсов.

При этом в понятие «новые космические технологии» вкладывается следующий смысл:

новые функции КА, реализующие в космической системе новые космические услуги;

новые технологии, планируемые к использованию на перспективных КА любого функционального назначения.

Конструктивное оформление резервов ресурсов КА по массе и объему для ДПН предлагается осуществлять поэтапно с использованием различных вариантов практической реализации.

Идея поэтапной реализации дополнительных задач в виде упреждающего размещения на КА дополнительной полезной нагрузки в различных вариантах возникла еще на этапе разработки исходных данных на проектирование космического аппарата «Глонасс-М» и на этапе проведения совместных российско-европейских работ по системе Galileo.

Основное содержание модернизации общепринятого метода состоит в следующем – существующий метод рационального проектирования КА в условиях неопределенности с

обеспечением структурной устойчивости был видоизменен в приложении к реализации методов и принципов ускоренной летной квалификации на навигационных КА новых космических технологий следующим образом:

1. введен этап – проектирование КА на предельную энергетику, реализуемую системой электропитания КА на всех этапах функционирования;
2. этап проектирования КА на предельную массу осуществлялся по критерию: создание максимальных резервов ресурсов КА для размещения дополнительной полезной нагрузки, реализующей функции новых космических технологий.
3. операция нормирования коэффициентов запаса на проектные параметры была совмещена с операциями проектирования КА на предельную энергетику и массу, когда формируются резервы ресурсов КА, выделяемые для дополнительной полезной нагрузки.

Кроме того, создание резервов ресурсов было предложено оформлять в виде стандартизированных приборов-имитаторов, а на КА создавать соответствующие интерфейсы, увязывающие эти приборы-имитаторы с бортовой аппаратурой КА и КА в целом: конструктивные, электрические, информационные, тепловые.

В качестве реализации такого метода был предложен следующий вариантный подход [2]:

Вариант А

Заблаговременное размещение на космическом аппарате (на приборной раме, антенном блоке, снаружи гермоконтейнера) на постоянной основе дополнительной полезной нагрузки с включением в состав КА габаритно весовых макетов предполагаемой бортовой аппаратуры специального назначения со стандартным обеспечением бортовыми ресурсами, которую планируется ввести в состав КА организационно-распорядительными документами на последующих этапах развития орбитальной группировки и модернизации космического аппарата.

Этот принцип существенно облегчает последующее размещение на КА новых приборов, в том числе с новыми функциями и практически не требует дополнительной наземной экспериментальной отработки КА с ДПН;

Вариант Б

Организацией унифицированного интерфейса для размещения экспериментальной аппаратуры с целью проведения ее упреждающих летных испытаний или получения летной квалификации, в том числе

унифицированного конструктивного интерфейса;

унифицированного теплового интерфейса;

унифицированного электрического интерфейса;

унифицированного информационного интерфейса;

Организация специализированного унифицированного интерфейса для отработки новых космических технологий наиболее целесообразен и эффективен, когда уже известен целый ряд новых технологий и аппаратур с новыми функциями, идеи которых, правильность заложенных инженерно-технических решений требуют летного подтверждения или квалификации.

Возможны также варианты, когда организованы работы одновременно, параллельно и по варианту А и по варианту Б.

Вариант В

Организация в составе космического аппарата в качестве целевой функции – плановой отработки новых космических технологий и летной квалификации аппаратуры и оборудования. Для этого и конструкция КА (в основном его антенный блок) и все бортовые ресурсы должны быть выбраны на этапе проектирования КА с учетом реализации указанной функции. Сам космический аппарат в этом случае становится «платформой» для отработки новых космических технологий.

При этом все эти три варианта обеспечиваются реализацией целого комплекса мероприятий:

реализуется переменность коэффициентов заполнения и площади солнечной батареи, обеспечивается возможность перехода на другие фотопреобразователи, возможна установка дополнительных створок солнечных батарей;

реализуется возможность гибкого изменения скважности работы бортовой аппаратуры (дополнительной полезной нагрузки) в условиях неопределенности по мере уточнения технологических циклов при эксплуатации КА;

создаются резервы объема и площадей размещения приборного блока для гибкого перераспределения имеющихся конструктивных ресурсов (при необходимости) с целью парирования неопределенностей на ранних этапах разработки КА;

повышаются интеллектуальные возможности бортового комплекса управления КА с возможностью перераспределения бортовых информационных ресурсов, с возможностью корректировки бортового программного обеспечения путем обеспечения возможности перезаписывания бортового программного обеспечения;

проводится штатная наземно-экспериментальная отработка космического аппарата по полной программе (в сроки создания и испытаний базового КА).

Работа выполнена в рамках Гос.контракта № 8.5039.2011

Список литературы

1. Звонарь В.Д. Принципы и методы построения интегрированных космических систем информационного обеспечения. /В.Д. Звонарь [и др.] // Международная конференция «Решетневские чтения». Красноярск: СибГАУ. – 2006. – С. 14-15.

2. Козлов А.Г. Проектирование космических навигационных систем / А. Г. Козлов [и др.]. – Красноярск: НИИ ИПУ, 2000. – 303 с.

3. Почукаев, В.Н. О некоторых тенденциях в развитии систем управления КА/ В.Н. Почукаев//Космонавтика и ракетостроение. М.: ЦНИИМАШ, 2000. - №20.

4. Ступина А.А. Сравнительный анализ методов управления космическими аппаратами связи и навигации / А.А. Ступина, Р.И. Кузьмич, М.И. Мельдер // Системы управления и информационные технологии. – 2011. - № 1. – С. 64-68.

5. Ступина А.А. Стохастические модели анализа технологических циклов управления космическими аппаратами / А. А. Ступина, Р. И. Кузьмич // Системы управления и информационные технологии. – 2009. - № 4 (38). – С. 85-89.

Рецензенты:

Антамошкин А.Н., д.т.н., профессор, профессор кафедры экономики и информационных технологий менеджмента института управления бизнес-процессами и экономики ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет» (Министерство образования и науки РФ), г.Красноярск.

Сенашов С.И., д.ф.-м.н., профессор, зав. кафедрой, профессор кафедры информационных экономических систем ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М.Ф. Решетнева» (Министерство образования и науки РФ), г.Красноярск.