

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ МАШИНОСТРОЕНИЯ

УДК 629.7

В. А. Лопота, П. Н. Ермаков,
И. В. Фролов

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ АВТОМАТИЧЕСКИХ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ И КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Сформулированы основные задачи российской космической промышленности по созданию перспективных космических систем и конструкций беспилотных космических аппаратов. Приведено описание некоторых типов космических аппаратов, разработанных в ракетно-космической корпорации “Энергия” им. С.П. Королева и находящихся в эксплуатации, а также перспективных аппаратов оптико-электронного и радиолокационного наблюдения. Сформулированы технические и технологические принципы повышения эффективности разработки и производства беспилотных орбитальных космических аппаратов.

E-mail: Petr.Ermakov@rsce.ru; sm11@sm.bmstu.ru

Ключевые слова: космические системы, беспилотные космические аппараты, технические принципы, эффективность разработки и производства.

Ключевую роль в формировании единого информационного пространства в силу особенностей геополитического положения Российской Федерации играют космические системы (КС), в первую очередь, телекоммуникационные и навигационные системы, системы связи, дистанционного зондирования Земли, а также специализированные КС оперативного контроля, управления, координации (диспетчеризации), космические аппараты (КА) которых функционируют как на низко-, так и на высокоэллиптических и геостационарной орбитах (рис. 1).

В последние годы в нашей стране уделяется значительное внимание повышению роли космоса в формировании единого информационного пространства и внедрению самых современных технологий оперативного контроля, управления и координации во все области социально-экономической деятельности. Это, в свою очередь, приводит к появлению как новых требований по увеличению информационных потоков и обеспечению взаимодействия с мобильной аппаратурой наземных абонентов, так и требований по взаимной интеграции КС.

Классический подход к построению КС для формирования единого информационного пространства предполагает создание значительного парка узкоспециализированных КА и КС.

Однако в условиях стремительного развития технологий микроэлектроники и микротехники возможен и необходим переход к созданию мульти-сервисных коммерческих КА, решающих задачи в интересах национальной безопасности. Это приведет к созданию единой технологической базы, широкой межотраслевой интеграции, интеграции военного и гражданского секторов экономики, что подчеркивает актуальность создания принципиально новых КС и средств.

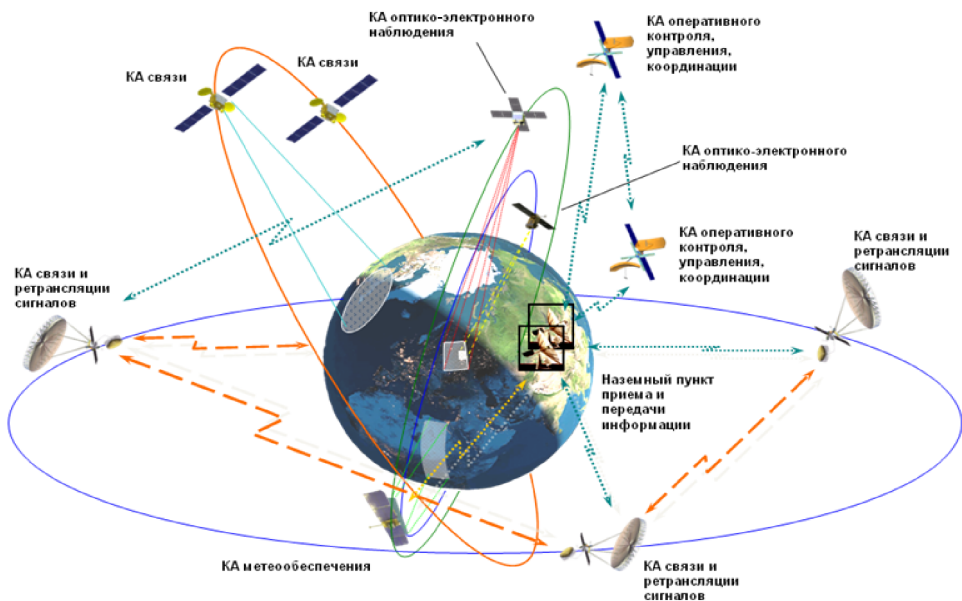


Рис. 1. Космические аппараты системы единого информационного пространства

В целях формирования единого информационного пространства перед российской космической промышленностью стоят следующие задачи:

- создание нового поколения российских спутниковых платформ с конкурентоспособными характеристиками на мировом рынке;
- расширение группировки спутников связи и вещания;
- формирование мультисервисной спутниковой системы непосредственного цифрового вещания и мобильной связи со спутниками на высокоэллиптических орбитах;
- развертывание систем оперативного круглосуточного, всепогодного мониторинга со спутниками оптико-электронного и радиолокационного наблюдения сверхвысокого разрешения.

Один из первых шагов на пути перехода к качественно новому уровню КА в России был сделан Ракетно-космической корпорацией (РКК) “Энергия” в 90-х годах XX в., когда корпорация вернулась к беспилотной тематике. Тогда, в рамках создания КС связи “Ямал”, были разработаны в определенной степени революционные КА “Ямал-100” (рис. 2, см. 4-ю полосу обложки), при создании которых использовались следующие базовые принципы:

- негерметичная несущая конструкция трехслойных сотовых панелей с интегрированной системой обеспечения теплового режима пассивного типа (без подвижных механических элементов);
- модульный принцип построения;
- автономные радиаторы на базе дублированных “контурных” тепловых труб;
- отказоустойчивый цифровой бортовой комплекс управления;
- система управления движением и навигацией основана на высокоточных звездных датчиках и безрасходных исполнительных органах — двигателях-маховиках;
- солнечные батареи на трехслойных углепластиковых сотовых панелях;
- объединенная двигательная установка выполнена с использованием стационарных плазменных двигателей;

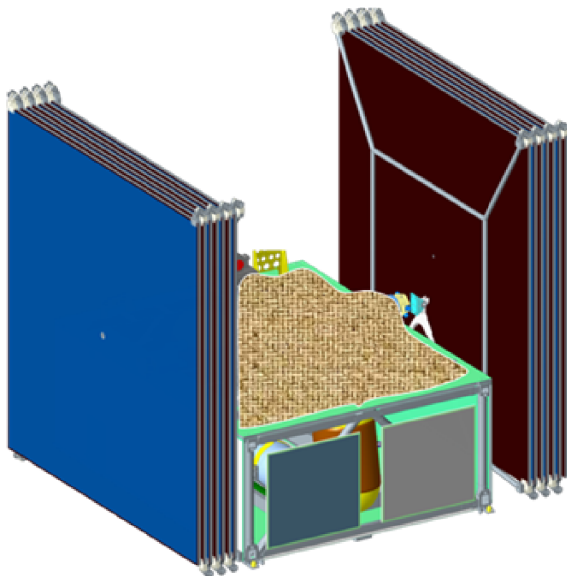


Рис. 4. Унифицированная космическая платформа

— многоуровневая комплексная система обеспечения надежности, обеспечивающая длительный срок активного существования КА.

Эффективность принятых решений подтверждена 11-летним сроком эксплуатации КА на рабочей орбите.

Космические аппараты “Ямал-100” стали отправной точкой для создания целой серии КА. На их базе были разработаны новые КА “Ямал-200” (рис. 3, см. 4-ю полосу обложки), эксплуатируемые на геостационарной орбите с 2003 г. “Ямал-300”, а также унифицированная космическая платформа (УКП) для целого ряда КА (рис. 4).

В результате выполненных работ был получен опыт, подтверждающий большие возможности и адаптационный потенциал созданной УКП, востребованной в том числе и в наиболее динамично развивающемся сегменте систем спутникового цифрового вещания рынка космических услуг.

Сейчас в РКК “Энергия” ведутся активные работы по созданию на основе УКП КА спутникового цифрового вещания с высокими показателями мощности электропитания целевой нагрузки — до 6 и 14 кВт (рис. 5). На КА предусматривается использование транспондеров с прямой ретрансляцией сигнала, а также с цифровой обработкой сигнала на борту.

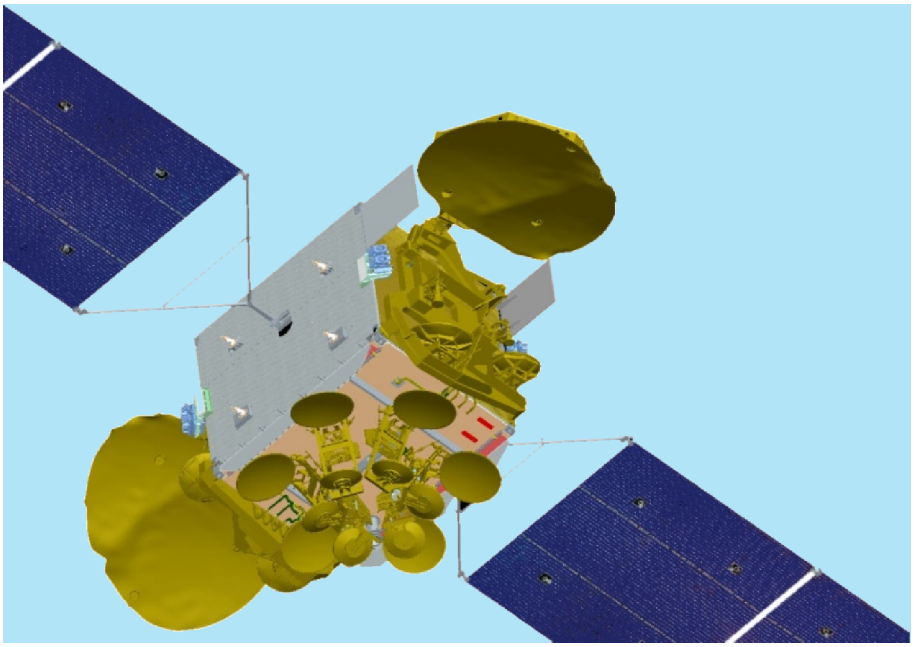


Рис. 5. Перспективный спутник связи

Проектирование КА ведется, исходя из возможности обеспечения запуска двух КА ракетой-носителем (РН) “Протон” или одного КА с использованием РН “Зенит”.

Особое внимание уделяется созданию мультисервисных КС, предназначенных для решения комплексных задач связи, навигации и диспетчеризации, которые позволят перейти на качественно новый уровень информационных услуг.

С использованием таких систем обеспечивается:

- цифровое непосредственное телерадиовещание и мультимедийное вещание,
- подвижная персональная связь,
- мониторинг техногенных и опасных объектов,
- диспетчеризация транспортных потоков, средств и грузов.

Кроме того, решается задача интеграции систем навигации, диспетчеризации и связи на всей территории России, включая арктическую зону.

В составе КА данной КС предусматривается применение самых передовых российских технологий в области построения усилителей мощности, цифровой аппаратуры обработки информации, системы электропитания общей мощностью до 15 кВт.

Важную роль в формировании единого информационного пространства играют КА дистанционного зондирования Земли — в первую очередь КА оптико-электронного и радиолокационного наблюдения.

Следует отметить, что в настоящее время в нашей стране состояние дел с такими аппаратами критическое. Если за рубежом находится в эксплуатации или планируется к запуску значительное число КА, обеспечивающих высокое пространственное разрешение в оптическом и ближнем ИК диапазонах, то у нас это — единичные образцы, при этом не обладающие длительным сроком активного существования.

В РКК “Энергия” работы по определению облика КА оптико-электронного наблюдения нового поколения были начаты в 1999 г. К этим работам были подключены как российские потенциальные заказчики, так и зарубежные.

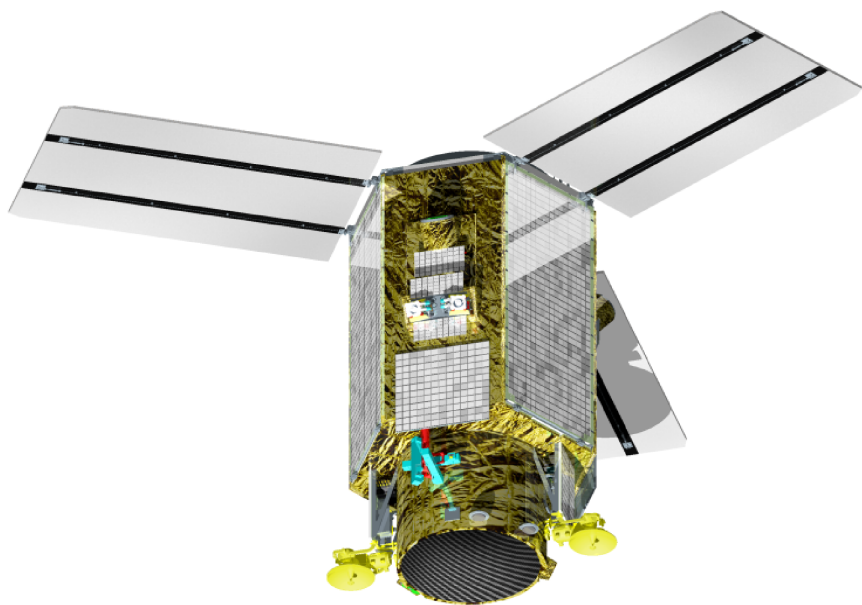


Рис. 6. Космический аппарат оптико-электронного наблюдения

В результате напряженной работы были определены требуемые тактико-технические характеристики и в 2009 г. был заключен контракт на создание КС оптико-электронного наблюдения.

К ключевым особенностям данного проекта относятся абсолютная новизна КС и ее составляющих, функциональная и конструктивная законченность. Данная система поставляется заказчику по принципу “под ключ”, и рассчитана на срок эксплуатации более 10 лет. Немаловажным фактором является и предельно малый срок создания КС — около 30 месяцев.

В состав КС входят: КА оптико-электронного наблюдения (рис. 6); центр управления; стационарный и мобильный (рис. 7) наземные комплексы приема и обработки информации.



Рис. 7. Мобильный комплекс приема и обработки информации

Разработанный КА обладает высокими характеристиками по разрешению в панхроматическом (менее 1 м) и мультиспектральном режимах съемки, высокими показателями производительности съемки участков земной поверхности в по кадровом и стереоскопическом режимах. Динамические характеристики КА также позволяют выполнять съемку в маршрутном и картографическом режимах. Общие технические характеристики КА позволяют поставить его в один ряд с современными зарубежными аналогами.

В ходе проектирования КА были применены оригинальные подходы к его конструктивному и технологическому исполнению:

- конфигурация КА, построение бортовых систем обеспечивает возможность его эксплуатации на околоземных орбитах в диапазоне высот от 450 до 800 км с наклоном в диапазоне от 48° до 99° ;

- обеспечена возможность адаптации КА к широкому кругу средств выведения – РН “Днепр”, “Космос-3М”, “Рокот”, “Союз-1”, а также к РН “Союз-ФГ” и “Союз-2” при парном запуске КА;

- реализован принцип попанельной сборки КА, в соответствии с которым на главную сборку КА поставляются панели корпуса с установленными, электрически объединенными, прошедшими необходимый объем проверок и испытаний приборами (рис. 8);

- достигнута высокая объемная плотность компоновки, предопределяющая компактность аппарата, позволяющая обеспечить размещение КА под малогабаритным головным обтекателем РН “Космос-3М”;

- корпус КА, масса которого не превышает 8% массы, выполнен по бескаркасной схеме.

Одной из ключевых особенностей построения КА является применение электроракетной двигательной установки для обеспечения довыведения КА на рабочую орбиту и поддержания ее орбитальных параметров в течение

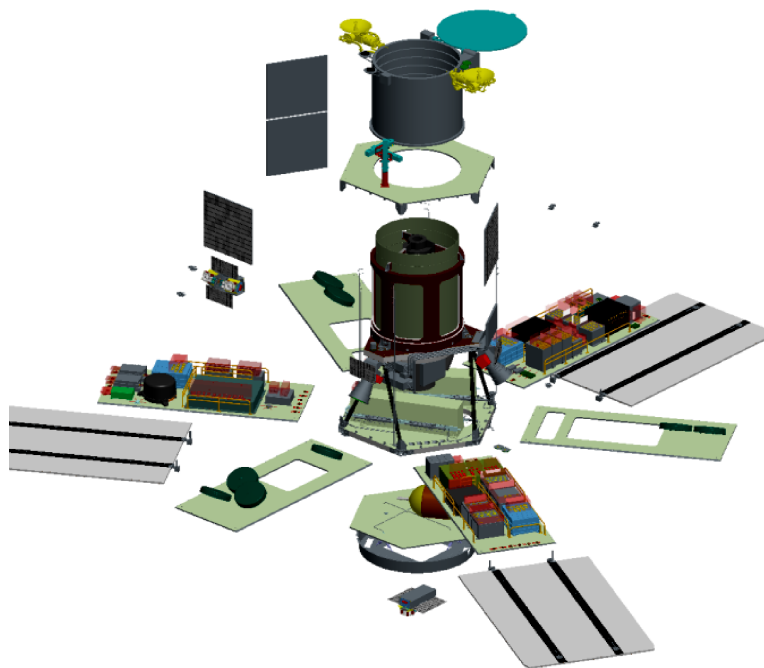


Рис. 8. Модульный принцип построения КА оптико-электронного наблюдения

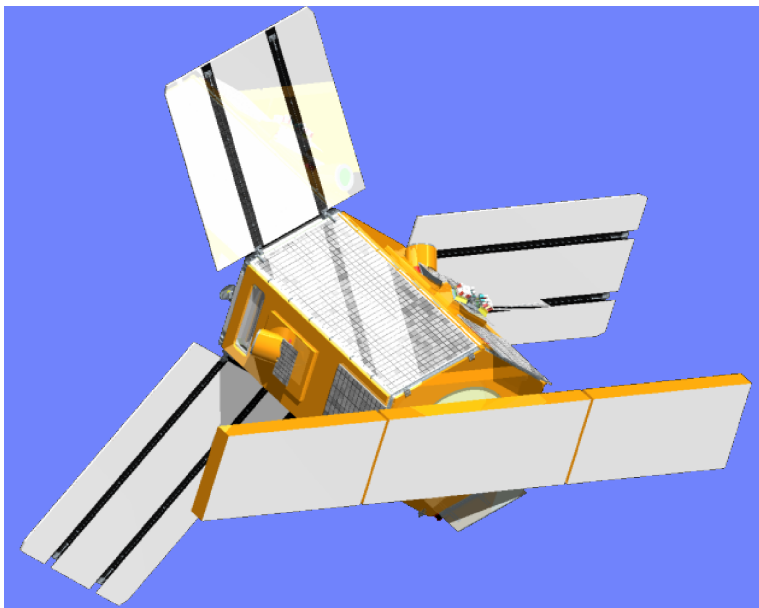


Рис. 9. Космический аппарат радиолокационного наблюдения

всего 10-летнего срока активного существования, а также для увода КА с рабочей орбиты по окончании его эксплуатации.

Как и во многих других КА РКК “Энергия” в КА оптико-электронного наблюдения заложен значительный модернизационный потенциал. На его основе в ближайшие годы может быть создан новый комплекс оптико-электронного наблюдения с разрешением менее 0,5 м.

На базе КА оптико-электронного наблюдения рассматривается создание КА радиолокационного наблюдения (рис. 9).

В целях сокращения сроков и снижения стоимости выполнения работ по созданию КА связи и оптико-электронного наблюдения разработка проектной и рабочей конструкторской документации выполняется исключительно с применением современных CAD/CAM/CAE-систем на основе Pro/Engineer и PDM-системы WindChill. Данные программные продукты внедрены не только в подразделениях РКК “Энергия”.

Применение данных систем позволило значительно повысить качество проектирования и эффективность процесса проектирования, отработать и применить “безбумажную” технологию создания КА и его составных частей обеспечить полный контроль продукции, а также оптимизировать ключевые процессы создания КА и снизить возможные технические и технологические риски.

Как один из характерных примеров повышения эффективности работ можно привести создание двигательной установки КА (рис. 10).

Длительность разработки проектной и конструкторской документации на этот столь сложный элемент КА составила около 4 месяцев, по окончании этого срока на производство были переданы трехмерные модели и электронные ассоциативные чертежи, экспортируемые непосредственно на станки с числовым программным управлением (рис. 11). Такой подход позволил полностью отказаться от традиционной технологии изготовления трубопроводов двигательной установки по эталонам и значительно повысить эффективность труда.

Еще одним важным направлением работ РКК “Энергия” в области дистанционного зондирования Земли является проектирование многоспутни-

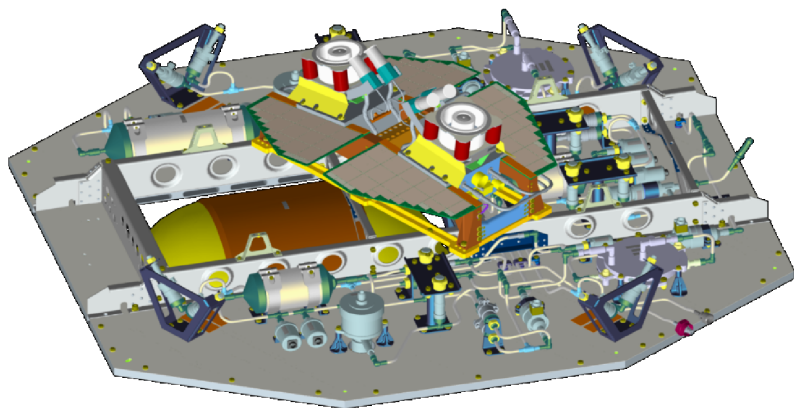


Рис. 10. Двигательная установка КА опико-электронного наблюдения

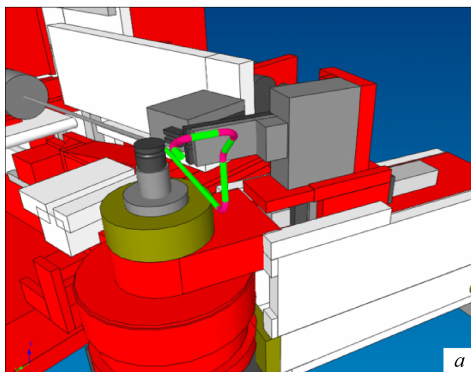


Рис. 11. Иллюстрация процесса гибки трубопровода двигательной установки: *а* – 3D-моделирование; *б* – изготовление

ковых группировок на базе высокотехнологичных малых спутников. Развертывание орбитальной группировки, состоящей из 4–5 таких КА, позволит обеспечить ежесуточное наблюдение любой точки земного шара, а также сократить интервалы между наблюдениями заданной точки в средних широтах до 1,5–3,0 ч.

Особо необходимо отметить, что срок создания столь сложных КА не должен превышать 35 месяцев, а срок активного существования на рабочей орбите должен превышать 15 лет.

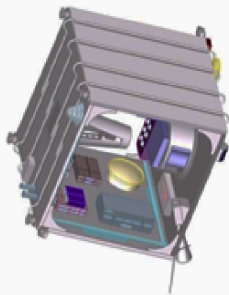
Одним из возможных направлений деятельности по сокращению сроков и стоимости создания КА является использование в процессе проектирования, изготовления и испытаний новых подходов – мехатронных принципов и технологий (Lego-технологии), а также использование самых совершенных методов системного автоматизированного проектирования и управления проектами.

Традиционные схемы создания КА, базирующиеся на принципах “классической” иерархической архитектуры построения, предусматривают деление по системным принципам и, соответственно, интеграцию в составе спутника разнообразной аппаратуры, созданной разными фирмами-разработчиками, с многочисленными и разнообразными интерфейсами, использующими различные технологии, элементную базу, методики отработки и испытаний (рис. 12). Такой подход объективно приводит к высокой стоимости, длительным срокам разработки, экспериментальной отработки, изготовления и

Классическая иерархическая архитектура

Иерархическая архитектура, деление по **системным принципам**

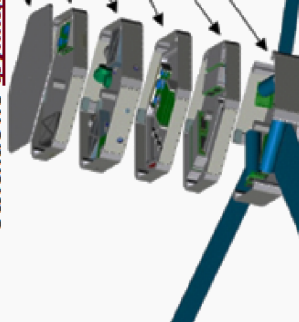
- Modularity
Модульность
- Common Interfaces and Protocols
Универсальные интерфейсы и протоколы обмена
- Standardization
Стандартизация
- Autonomy
Автономность



Модульная мехатронная архитектура

Модульная сетевая архитектура, деление по **функциональным принципам**:

- Payload Vesselplate
Адаптер с платой полезной нагрузки
- Communications Module
Модуль систем связи
- Attitude Determination Module
Модуль ориентации и навигации
- Attitude Control Module
Модуль исполнительных органов
- Battery Module
Модуль аккумуляторов
- Solar Array Module / Anchor
Модуль солнечных батарей и адаптер с ракетно-носителем



Автономные функционально интегрированные модули

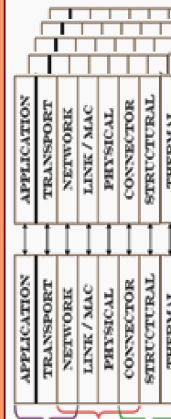


Стандартные интерфейсы

Логические

Электрические

Механические



■ Каждый модуль имеет стандартные интерфейсы – логические, электрические, механические

■ Каждый модуль реализует определенную функцию

■ Каждый модуль реализует свои функции автономно (независимо от других модулей)

■ Отказ модуля не приводит к отказу остальных модулей

■ Обеспечивается независимая разработка, изготовление и испытания каждого модуля

■ Обеспечивается возможность введения дополнительных модулей без доработок существующих

Рис. 12. Архитектура спутников

Типовой цикл создания целевого спутника



Рис. 13. Типовой цикл создания целевого спутника

испытаний, а также к существенным проблемам в части обеспечения качества и надежности спутника в целом. И это проблемы не только космической индустрии, но всего машиностроительного комплекса в целом.

Во многих современных отраслях машиностроения стратегическим направлением является «мехатроника» — новая область науки и техники, посвященная созданию и эксплуатации машин и систем с компьютерным управлением, которая базируется на знаниях в области механики, электроники и микропроцессорной техники, информатики и компьютерного управления. В данном определении особо подчеркнута триединая сущность мехатронных систем, в основу построения которых заложена идея глубокой взаимосвязи механических, электронных и компьютерных элементов.

Современный спутник так же, как сложный технический комплекс, целесообразно создавать как мехатронную систему на базе унифицированных и функционально интегрированных интеллектуальных модулей со стандартными логическими, электрическими и механическими интерфейсами с интеллектуальным управлением (рис. 13).

Такие предложения базируются на максимальном использовании созданного научно-технического задела:

- технологий создания интеллектуальных модульных робототехнических комплексов наземного, воздушного, водного и космического базирования, построенных на базе современных технологий мехатроники и микросистемной техники;

- технологий создания высокоинтегрированного бортового оптико-электронного комплекса, разработанных в рамках создания КА оптико-электронного наблюдения.

Такой инновационный подход к созданию спутников как мехатронных систем предусматривает широкое использование:

- индустриальных технологий массового производства;
- открытой, общедоступной архитектуры построения;

— сквозной унификации и стандартизации, обеспечивающих реализацию принципа “подключай и работай” (plug and play),

— оптимизации соотношения цена-качество (не обязательно быть лучшим во всем, необходимо быть достаточным для большинства применений); так 80 % характеристик могут быть достигнуты при 20 % затрат.

При этом достигаются следующие принципиально важные аспекты, которые являются следствием нового мехатронного подхода:

— составляющие части не просто дополняют друг друга, но объединяются таким образом, чтобы образованная система имела качественно новые свойства;

— интегрированные мехатронные элементы выбираются разработчиком уже на стадии проектирования, а затем обеспечивается необходимая инженерная и технологическая поддержка при производстве и эксплуатации. В этом радикальное отличие мехатронных систем от традиционных, когда зачастую разработчик вынужден самостоятельно объединять в систему разнородные механические, электронные и информационно-управляющие устройства различных изготовителей. Именно поэтому многие сложные комплексы показали на практике низкую надежность и невысокую технико-экономическую эффективность;

— методологической основой разработки служат методы параллельного проектирования (concurrent engineering methods). При традиционном проектировании последовательно проводится разработка механической, электронной, сенсорной и компьютерной частей системы, а затем комплексная увязка интерфейсов. При параллельном проектировании предусматривается одновременный и взаимосвязанный синтез всех компонентов системы;

— аппаратное объединение элементов в единые конструктивные модули должно обязательно сопровождаться разработкой интегрированного программного обеспечения и организацией неразрывного цикла от проекта системы (через ее аналитическую верификацию, математическое моделирование, наземную экспериментальную отработку, приемо-сдаточные испытания) к реальной эксплуатации и решению целевой задачи.

Таким образом, применение мехатронного подхода при создании спутников обеспечивает следующие преимущества по сравнению с традиционными методами:

— существенно более низкую стоимость благодаря высокой степени интеграции, унификации и стандартизации всех элементов и интерфейсов;

— высокое качество и надежность реализации сложных целевых задач вследствие применения методов интеллектуального управления;

— высокую надежность, долговечность и отказоустойчивость;

— конструктивную компактность модулей и спутника в целом;

— улучшенные массо-габаритные и динамические характеристики;

— возможность комплексирования функциональных модулей в сложные системы и комплексы под конкретные задачи заказчика, вплоть до решения задачи интеграции спутника под заказ и его запуска в течение нескольких недель.

Создание новых поколений космической техники с использованием технологий мехатроники и микросистемной техники будет способствовать развитию тесной интеграции между различными отраслями промышленности и ведущими научными и учебными центрами в целях развития космических и производственных технологий, генерации новых знаний, воспитания инженерного и интеллектуального потенциала нации, повышения благосостояния граждан России.

Статья поступила в редакцию 11.02.2011



Виталий Александрович Лопота родился в 1950 г., окончил Ленинградский политехнический институт им. М.И. Калинина. Чл.-корр. РАН, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой “Космические аппараты и ракеты-носители” МГТУ им. Н.Э. Баумана, президент, генеральный конструктор ОАО РКК “Энергия” им. С.П. Королева. Автор более 200 научных работ в области лазерной сварки, робототехники и космической техники.

V.A. Lopota (b. 1950) graduated from the Leningrad Polytechnic Institute n.a. M.I. Kalinin. Corresponding member of the Russian Academy of Sciences, D. Sc. (Eng.), professor, head of “Spacecrafts and Launch Vehicles” department of the Bauman

Moscow State Technical University, president, general designer of the JSC RKK “Energiya” im. S.P. Korolev. Author of more than 200 publications in the field of laser welding, robotics and space technology.



Игорь Владимирович Фролов родился в 1978 г., окончил МГТУ им. Н.Э. Баумана. Начальник отделения ОАО РКК “Энергия” им. С.П. Королева. Автор 20 научных работ в области космической техники.

I.V. Frolov (b. 1978) graduated from the Bauman Moscow State Technical University. Head of division of the JSC RKK “Energiya” im. S.P. Korolev. Author of 20 publications in the field of space technology.



Петр Николаевич Ермаков родился в 1984 г., окончил МГТУ им. Н.Э. Баумана в 2007 г. Начальник сектора ОАО РКК “Энергия” им. С.П. Королева. Специализируется в области ракетостроения.

P.N. Yermakov (b. 1984) graduated from the Bauman Moscow State Technical University in 2007. Head of sector of the JSC RKK “Energiya” im. S.P. Korolev. Specializes in the field of rocket engineering.

