

УДК 629.7

© Макаров М.И., Рудаков В.Б., Кузин А.И., Леонов М.С., Галантерник Ю.М.
Makarov M., Rudakov V., Kuzin A., Leonov M., Galanternik Yu.

ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ БОРТОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ МИКРО-КА НА ОСНОВЕ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

PROSPECTS OF A NEW TECHNOLOGIES ASSISTED CREATION OF MICROSATELLITE ONBOARD EQUIPMENT

Аннотация. В статье рассмотрены современные тенденции создания микро-КА. Указаны реальные пути реализации на основе применения новых технологий. Рассмотрены вопросы экономической и функциональной эффективности применения нанотехнологий.

Annotation. The article considers a modern trends in microsatellite manufacturing. The real new technologies assisted ways of realization are indicated. The questions of economic and functional efficiency of nanotechnologies application has been examined.

Ключевые слова. Космический аппарат, миниатюризация, нанотехнологии, мехатроника.

Key words. Spacecraft, miniaturization, nanotechnologies, mechatronics.

Индустриальная эпоха прошлого XX века требовала создания технических гигантов, при этом достижением считалось строительство огромных заводов, производство сверхмощных устройств, стабильно шло увеличение габаритных и вещественно-энергетических характеристик. Однако сегодня индустриальный этап себя уже во многом исчерпал. На смену ему пришла информационная эпоха XXI века, для которой, с одной стороны, экологические проблемы, а с другой – накопленные человечеством знания послужили причиной разработки новейших технологий практически во всех отраслях.

Общей особенностью этих технологий является резкое снижение значений параметров, касающихся потребления всех видов вещественно-энергетических ресурсов. В результате уменьшаются размеры, масса, потребление топлива и энергии различных приборов и

устройств при одновременном возрастании информационной и интеллектуальной составляющих технических систем и одновременном повышении комплексных показателей их эффективности.

Тенденция к миниатюризации [1, 2] и снижению энергопотребления при повышении общей эффективности системы наглядно проявилась в области компьютерной техники и электроники. Достижения в этих областях послужили одним из важнейших катализаторов к переходу от индустриальной к информационной эпохе развития человеческой цивилизации. В настоящее время указанные процессы в полной мере идут и в космической области, в которой создается и эксплуатируется множество космических систем различной сложности и различного целевого назначения. Как отмечалось, миниатюризация в космической сфере особенно актуальна, так как запуск 1

Макаров Михаил Иванович – доктор технических наук, профессор, директор-главный конструктор, НИИ КС им. А.А. Максимова-филиала ФГУП «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева, тел. (495) 755-58-93;

Рудаков Валерий Борисович – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник НИИ КС им. А.А. Максимова-филиала ФГУП «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева;

Кузин Анатолий Иванович – доктор технических наук, профессор, заместитель Генерального директора, ФГУП «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева;

Леонов Михаил Сергеевич – доктор технических наук, заместитель генерального конструктора по НКУ, ФГУП «НПП ВНИИЭМ»;

Галантерник Юрий Михайлович – доктор технических наук, доцент, главный специалист, НИИ ТП.

Makarov Mikhail – doctor of science (tech.), professor, director – Designer General of AA. Maksimov Space Systems Research Institute- Branch of FSUE Khrunichev State Research and Production Space Center, Phone: (495) 755-58-93;

Rudakov Valeriy – doctor of science (tech.), professor, principal research scientist of AA. Maksimov Space Systems Research Institute-Branch of FSUE Khrunichev State Research and Production Space Center;

Kuzin Anatolyi – doctor of science (tech.) professor, deputy general director of Khrunichev Space Center;

Leonov, Mikhail – doctor of science (eng), deputy director general for GCC, Phone: (495) 624-18-09 VNIIEM Corporation JSC;

Galanternik Yuriy – doctor of science (eng), associate professor, NII TP, Chief Specialist.

кг массы полезной нагрузки на орбиту сейчас составляет несколько десятков тысяч долларов. Кроме того, актуальность создания и применения микрокосмических аппаратов или микроспутников обосновывается целым рядом других аргументов, основными из которых являются: сокращение сроков разработки с 8-10 до 2-3 лет; снижение стоимости услуг, предоставляемых космической техникой потребителям; снижение затрат на выведения аппаратов в КП за счет использования конверсионных ракет-носителей и попутного выведения и т. д.

Реальную возможность практической реализации создания микро-КА или микроспутников для выполнения целевых задач в космосе обусловило развитие новейших технологий во всех областях человеческой деятельности, использование которых определило основные направления создания бортового оборудования микро-КА:

- реализацию глубокой интеграция оборудования, что позволяет снизить массо-габаритные характеристики и повысить функциональную гибкость;
- унификацию и стандартизацию бортового оборудования в части ключевых интерфейсов между системами в пределах микро-КА;
- использование шинных технологий для построения коммутационных сетей;
- обеспечение сопрягаемости подсистем не только на уровне аппаратных узлов и блоков, но и на уровне интеграции программных систем, независимо разрабатываемых и принадлежащих разным функциональным подсистемам от разных разработчиков;
- использование перспективных разработок в области нанотехнологий в части создания фотоприемных устройств, солнечных батарей, компонентов средств связи, синтеза трехмерных компонентов микромеханических систем, наноструктурированных пленок, нанотрубных систем и др., а также в области нанoeлектроники для создания мощных бортовых вычислительных комплексов, обладающих высоким быстродействием, надежностью, малым энергопотреблением, массой и габаритами, устойчивыми к помехам и излучениям;
- использование принципов микромехатроники, которые определяют направления и возможность комплексирования различных видов энергии для механических, электрических и других систем микро-КА.

Определяющей тенденцией при построении бортовых систем микро-КА, является глубокая интеграция бортового оборудования. Эта тенденция уже проявилась в сравнительно новой области науки – авионике, где осуществлен переход от «федеративных» систем к интегрированной модульной авионике (ИМА). Федеративные си-

стемы, системы с федеративной архитектурой содержат набор независимых подсистем, каждая из которых состоит из собственных аппаратных средств, программного обеспечения и вычислительных средств, программируемых для выполнения только своих, специфических для данной подсистемы функций.

Интегрированные комплекты бортового оборудования не обособляют оборудование функциональных подсистем, а реализуют совокупность различных задач нескольких традиционных систем на едином комплексе аппаратуры. Целевые подсистемы при таком построении перестают быть закрытыми автономными системами, визуализируются и становятся физически распределенными по компонентам архитектуры, совместно использующими ее интегральные ресурсы. Подобная интеграция ресурсов для решения всего комплекса задач, размывание жестких границ между закрытыми федеративными подсистемами может на порядок снизить число конструктивно-функциональных модулей бортового оборудования на борту микро-КА.

Интегрированная модульная авионика является базовой для построения бортового оборудования перспективных летательных аппаратов. Она включает поля датчиков – источников информации, поля исполнительных устройств, аналоговые подсистемы обработки сигналов, программируемую коммуникационную систему для высокоскоростных цифровых сигналов, интегрированную вычислительную систему цифровой обработки сигналов и данных. Интегрированная архитектура перспективного бортового оборудования поддерживается созданием новых, совместимых «сверху-вниз» системообразующих стандартов, которые обеспечивали бы большую технологическую независимость следующего поколения аэрокосмических комплексов.

Аналогичные процессы идут и при разработках космических аппаратов (например, в разработках по заказам ЕКА), где снижение массо-габаритных характеристик и повышение функциональной гибкости имеют еще большее значение, чем в авиационных системах.

Перспективная форма сокращения избыточности микроспутника как целостной системы заключается в распространении принципа интегрированности архитектуры бортового оборудования на совокупность служебного оборудования и оборудования специального комплекса. Интегрированность бортового оборудования, многоцелевое использование технических средств для решения различных функциональных задач является естественным подходом к эффективному использованию технических средств на борту микро-КА.

Наряду с направлением, связанным с интеграцией бортовых систем, актуально также направление унификации и стандартизации бортового оборудования микроспутника.

В настоящее время ведутся интенсивные работы по созданию унифицированной архитектуры комплексов бортового оборудования (КБО), по стандартизации ее уровней, протоколов и интерфейсов от уровня физических интерфейсов до уровней стандартизованных сервисов (например, передачи сообщений на прикладном уровне – Application Layer Messaging Service), а также унифицированных объектов и сервисов более высокого уровня (Common Application Objects and Services) для прикладных систем, разработки стандартизованных API (Application Program Interface) для каждого из этих уровней, объектов и сервисов.

Большую активность в этой области проявляют такие организации, как European Cooperation for Space Standardization (ECSS) и международные комитеты Consultative Committee for Space Data Systems (CCSDS) и группы Spacecraft On-board Interface (SOIF).

Комитет ECSS (European Cooperation for Space Standardization), создан под эгидой ЕКА в 1993 г. Задачей ECSS является разработка единой системы стандартов для космических систем и аппаратов. Общая техническая политика ECSS состоит в том, что во всех случаях, где это возможно, стандартизовать требования к соответствующим функциям и подсистемам, а не технические способы их реализации. Большинство технических работ по созданию стандартов координирует исследовательский центр ЕКА ESTEC (European Space Technology Centre).

Работы по стандартизации для бортовых интерфейсов космических аппаратов (SOIF) имеют целью разработку набора полностью открытых, согласованных международных стандартов, которые определяют ключевые интерфейсы между системами в пределах космического аппарата. Важная черта этих работ – создание единого набора стандартов по интерфейсам для КА всех классов.

Обеспечение таких возможностей при проектировании микро-КА позволит фокусировать усилия на объединении современных технологий. Определяя набор гибких бортовых интерфейсов, кооперации организаций промышленности по созданию микро КА задается стимул для разработки стандартизованных компонентов, которые будут доступны для выбора и интегрирования их в бортовом оборудовании.

Рабочая группа по разработке бортовых интерфейсов для перспективных космических аппаратов под

эгидой NASA рассматривает использование целого ряда интерфейсов и шинных технологий для коммуникационных сетей в космических системах. Среди них IEEE 1394, MIL-STD-1553B, I2C-bus. Проектировщики КА могут выбирать комбинацию из трех шин, которая лучше всего отвечает их приложениям.

Глубокая интеграция бортового оборудования микро-КА по-новому ставит вопросы сопрягаемости подсистем, которые необходимо решать не только на уровне аппаратных узлов и блоков, но и на уровне интеграции программных систем, независимо разрабатываемых и принадлежащих совершенно разным функциональным подсистемам от разных разработчиков.

Создание экономически и функционально эффективного микро-КА возможно в перспективе на основе использования нанотехнологий, которые позволяют получить:

- помехоустойчивую высокопроизводительную связь за счет применения квантовых электронных входных каскадов, реализуемых на основе нанотехнологии, при этом уменьшается уровень шумов входных каскадов, что приводит к увеличению дальности связи;
- сверхширокополосные оптические приемники (ультрафиолетового, видимого и инфракрасного диапазонов), работающие без охлаждения, что особенно важно для микро-КА;
- градиентные концентраторы, многократно повышающие эффективность солнечных батарей на их основе;
- высокопроизводительные бортовые системы обработки информации, осуществляющие нейросетевые механизмы на основе молекулярной электроники и нанотехнологий;
- чувствительные и селективные (помехоустойчивость при высокой чувствительности) сенсорные устройства, необходимые для эффективного функционирования.

Перспективу для использования при создании микро-КА имеют:

- развитие зондовых нанотехнологий по получению стойких к воздействию высоких температур и радиационного излучения наноприборов, разработка многозондовых систем с независимым позиционированием каждого зонда. Эти технологии направлены, прежде всего, на создание фотоприемных устройств, солнечных батарей, компонентов средств связи и синтез трехмерных компонентов микромеханических систем. Кроме того, это направление обеспечивает создание исследовательской аппаратуры для других направлений нанотехнологий и наноматериалов;

- развитие технологий активных фотонных кристаллов на основе правильных упаковок сфер двуокиси кремния с заполнением межсферического пространства различными материалами (полупроводниками, магнитными, пьезоэлектриками, фотохромами и др., а также наноструктурированных пленок и нанотрубных систем). Создание этих технологий направлено, прежде всего, на разработку фотоприемных устройств, высокочувствительных датчиков, устройств на основе автоэлектронных катодов, светоизлучающих приборов, элементов оптоволоконных систем связи;

- развитие молекулярной и биомолекулярной оптоэлектроники, основанных на обработке информации в нелинейных диссипативных средах с распределенными обратными связями. Разработка принципов построения и конструирования молекулярной структуры, определение стратегии и методик синтеза молекулярного элемента, переключаемого электрическим полем. Эти технологии направлены, прежде всего, на создание интегральных схем, устройств обработки изображений, ассоциативной памяти, нейрокомпьютеров, устройств отображения информации.

Следующим перспективным направлением создания бортового оборудования микро-КА является направление микромехатроники, которое, например, предлагает рассматривать использование маховиков – элементов систем стабилизации КА – в качестве элементов системы электропитания и конструктивной основы бортового электронного комплекса.

Маховик по определению имеет массу, причем, совершенно определённую, соотносимую с массой КА. Для выполнения своих функций маховик должен обладать заданной массой, которая оказывается «бесполезной» для других систем КА. Представляется целесообразным размещать на маховике для обеспечения его массы блоки электронной аппаратуры КА. В этом случае сокращается общая масса и объём КА. В корпусе маховика можно также размещать другие устройства, например, аккумуляторные батареи.

В качестве второго предложения микромехатроники предлагается рассматривать маховик в качестве накопителя энергии. На солнечной стороне происходит выработка электроэнергии с помощью фотоэлектронных преобразователей. Эта энергия используется наряду с другими назначениями для вращения маховика, который накапливает кинетическую энергию. На теневой стороне происходит возврат кинетической энергии маховика, преобразуемой в электрическую энергию, в систему электропитания. Возможности миниатюрных микрочипов, которые автономно устанавливаются в интегрированную систему стабилизации и электропитания, позволяют управлять системой маховиков таким образом, чтобы обеспечивать заданную стабилизацию КА и параметры электропитания КА. В результате повышается эффективность системы электропитания при уменьшении суммарной массы КА.

Маховик может быть использован в качестве платформы для размещения элементов сканирующей системы. Маховик может быть использован в качестве постоянного энергонезависимого запоминающего устройства большой ёмкости.

Представляет интерес объединение систем электропитания и термостатирования. Налицо противоречие между потребностью аппарата в энергии (электрической) и избытком энергии в виде нагрева его устройств. По оценкам специалистов, возможно создать единую энергетическую установку, которая должна преобразовать избыточное тепло в электроэнергию. В результате потребность во внешней энергии существенно уменьшится, соответственно уменьшится масса и размеры аппарата.

Все рассмотренные основные направления разработки бортового оборудования микро-КА на основе новых технологий являются базовыми и представляют собой далеко не полный перечень. Будущее покажет, возможно, и другие направления, использование которых может дать эффективные практические результаты. Тем не менее, указанные направления имеют большую перспективу реального применения при создании микро-КА.

Литература

1. Концепция создания и применения микроспутников (проект). – НИИ КС, 2008. – С. 17.
2. Меньшиков В.А., Рудаков В.Б., Сычев В.Н. Контроль качества космических аппаратов при отработке и производстве. Оптимизация и управление рисками. – М.: Машиностроение-Полет, 2009. – 400 с.

Материал поступил в редакцию 1. 03. 2012 г.