

КОСМИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА. КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ

УДК 629.78

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ЦЕЛЕВОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

Л.А. Макриденко, И.В. Минаев
(ОАО «Корпорация «ВНИИЭМ»)

А.Ю. Потюпкин

(Военная академия РВСН им. Петра Великого)

Рассматриваются общие принципы совершенствования возможностей малых космических аппаратов (МКА), предназначенных для решения задач дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ).

Ключевые слова: МКА ДЗЗ, создание, управление и эксплуатация кластеров МКА: кластер как единый многофункциональный «виртуальный» аппарат; эмерджентные свойства информации кластеров МКА.

Общие положения

Основным назначением малых космических аппаратов (МКА) дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) является получение панхроматических и многоспектральных снимков земной поверхности и передача их в реальном времени на малые приёмные станции региональных потребителей для решения многочисленных социально-экономических и оборонных задач мониторинга природной среды, сгруппированных по следующим направлениям:

- гидрометеорологии и изучения климата;
- экологии и контроля источников загрязнения окружающей среды;
- обеспечения рационального природопользования;
- контроля чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера;
- научного изучения Земли.

Анализ требований к космической информации ДЗЗ показывает, что для эффективного решения большинства из рассмотренных задач требуется многоспектральная (многозональная) информация, получаемая, как правило, в различных диапазонах спектра (ультрафиолетовом, видимом, инфракрасном, микроволновом). Удовлетворение этого требования в полной мере возможно только за счёт использования комплекса различных типов бортовой аппаратуры: оптико-электронной, радиолокационной, спектрорадиометрической, спектрометрической. В то же время частные задачи могут достаточно полно решаться с помощью информации, полученной [1, 2] типами аппаратуры. Это обстоятельство позволяет использовать для их решения

малые КА с упрощённым составом информационной аппаратуры.

Высокие «производственные» показатели при малых габаритах стали возможны благодаря использованию новых технологий. Основные среди них твёрдотельные радиоэлектронные приборы и микросхемы, лазерные гиросистемы, приёмники сигналов космической радионавигационной системы GPS, ПЗС-приборы и облегчённая оптика, более эффективные солнечные панели с концентраторами, фотопреобразователи и электробатареи, малогабаритные и лёгкие твёрдотельные запоминающие устройства, бортовые процессоры и, наконец, новейшие микроэлектромеханические системы.

В настоящее время понятие «малый космический аппарат» определяет не только возможность реализации очевидных достоинств МКА (небольшие массогабаритные и стоимостные характеристики), но и принципиально новую архитектуру построения и применения каждой из четырёх составляющих «малой» (информационной) космической системы:

- собственно малого аппарата (проектирование, изготовление, испытания), использующего современные достижения микроэлектроники, микромеханики, информатики;
- системы оперативного управления в реальном времени орбитальной группировкой МКА, которая должна иметь наземный и космический сегменты и обеспечивать доступ к любому аппарату системы в любое время в глобальном масштабе;

– системы запуска МКА и оперативного восполнения состава орбитальной группировки;

– персональной аппаратуры пользователя, которая имеет малые габариты, массу, энергообеспечение и способна обеспечить доступ пользователя в любой момент времени к любому виду космической информации.

В известных отечественных и зарубежных публикациях рассматриваются отдельные вопросы сложной проблемы обоснования возможности и необходимости создания МКА и их группировок для решения разнообразных социально-экономических задач: принципов разработки конструкции МКА, технического обеспечения решения целевых задач, особенностей запуска, управления орбитальным полётом, принципов получения, обработки, хранения и распространения информации и решения других многочисленных задач функционирования МКА.

Вместе с тем проведённый анализ показал, что уровень реализации новых возможностей, предоставляемых МКА, является недостаточным.

Реализация данных возможностей МКА и их группировок предполагает сбалансированное развитие всех компонентов архитектуры системы МКА и, прежде всего, собственно малого аппарата в рамках элементов его жизненного цикла, использующего современные достижения микроэлектроники, микромеханики, информатики.

Несмотря на многочисленность предлагаемых в РФ проектов создания МКА для решения задач ДЗЗ, в настоящее время существуют лишь несколько типов разнородных КА, обладающих ограниченными возможностями и не составляющих целевую космическую систему [1]. Главные причины тому определяются существующим сложным положением, в котором в настоящее время находится космическая отрасль и основу которого составляет, прежде всего, неустойчивость финансирования перспективных научных и технических проектов.

В настоящей статье представлен вариант преодоления существующих сложностей разработки и создания МКА для решения задач ДЗЗ, реализуемый руководством и коллективом ОАО «Корпорация «ВНИИЭМ».

Развитие архитектуры МКА

Процесс создания МКА в ОАО «Корпорация «ВНИИЭМ» реализуется с конца 1980-х годов, включает обоснование основных типов МКА, способных в составе космической системы решать задачи ДЗЗ, успешные лётные испытания в 2009 – 2010 гг. МКА «Университетский – Татьяна-2», про-

водимые в настоящее время работы по созданию МКА «Ионосфера», МКА «Зонд», МКА «Михайло Ломоносов».

Однако основным направлением работ ВНИИЭМ является создание и использование КА ДЗЗ, предусмотренных Федеральной космической программой России на период с 2006 по 2015 год. Эти перспективные комплексы оперативного мониторинга техногенных и природных чрезвычайных ситуаций предназначены для решения многих задач в интересах социально-экономического развития и обороноспособности страны. К числу последних относятся МКА «Канопус-В» № 1 и Белорусский космический аппарат (БКА), успешно запущенные на орбиту 22.07. 2012 г.

БКА создавался одновременно с МКА «Канопус-В» № 1 и является его полным аналогом. Оба КА имеют общие цели:

- 1) мониторинг техногенных и природных чрезвычайных ситуаций;
- 2) обнаружение лесных пожаров, крупных выбросов загрязняющих веществ в природную среду;
- 3) мониторинг природных ресурсов;
- 4) землепользование;
- 5) оперативное наблюдение заданных районов земной поверхности;
- 6) картографирование.

Основные технические характеристики данных КА представлены на рис. 1.

Учитывая интенсивное развитие мирового геоинформационного рынка, увеличение числа государств, обладающих КА ДЗЗ высокого разрешения, массовое внедрение геоинформационных и навигационных сервисов в повседневную деятельность организаций и граждан, а также объективно возрастающие потребности органов управления, экономики и обороноспособности в высокоточной геопространственной информации, руководство и коллектив ВНИИЭМ обосновали предложения и приступили к разработке МКА ДЗЗ сверхвысокого разрешения (МКА-В).

Главная особенность рассматриваемых предложений состоит в том, что в целях гарантирования реализации проекта создания «МКА-В» ОАО «Корпорация «ВНИИЭМ» готово в инициативном порядке в IV квартале 2015 года разработать и запустить микроКА «Звезда» для подтверждения основных характеристик космического аппарата сверхвысокого пространственного разрешения, обработки технологических схем и алгоритмов получения и обработки целевой информации.

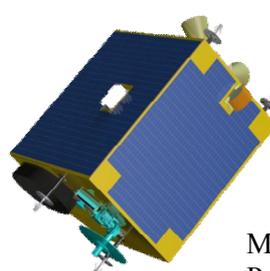
Основные проектные характеристики МКА «Звезда» и «МКА-В» приведены в таблице на рис. 1.

На базе МКА «Звезда» по результатам экспериментальной отработки возможно создание МКА сверхвысокого разрешения со сроком активного существования до 5 лет и полосой захвата 17 км.

Параметр	Канопус-В	Звезда	МКА-В	SkySat-1
Высота орбиты, км	510	300	450	450
Размер, см	90 x 140 x 175	90 x 70 x 140	90 x 100 x 160	60 x 60 x 95
Масса, кг	450	150	250	120
Разрешение в надир, м	2,1/10,5	0,5 – 0,9/2,2 – 3,6	0,6 – 0,8/2,2 – 3,6	0,9
Полоса захвата, км	23	7,2	17	8
Спектральный диапазон, мкм	0,52 – 0,85 (панхром+RGB)	0,52 – 0,85 (панхром+RGB)	0,52 – 0,85 (панхром+RGB)	0,45 – 0,9 (RGB)
Количество разрядов оцифровки, бит	8	12	12	11
Срок активного существования, не менее	5 лет	1 год	5 лет	~1 – 2 года



КА «Канопус-В»
запущен ФГУП
«НПП ВНИИЭМ»
22 июля 2012 года



Предлагается к созданию
ОАО «Корпорация
«ВНИИЭМ»

Масса: 250 кг
Разрешение: 0,9 м

Рис. 1. Сравнительные характеристики рассматриваемых МКА ДЗЗ

Малогобаритные КА ДЗЗ открывают широкие возможности по синтезу космических систем, обладающих новыми качественными возможностями и позволяющими на практике реализовать ряд прикладных эффектов, включающих:

- многопозиционность, многодиапазонность и одновременность наблюдения объекта с нескольких МКА, обеспечение эффекта стереосъёмки;

- возможность комплексирования информации, получаемой от разнородных бортовых комплексов специальной аппаратуры МКА, приводящая к повышению информативности наблюдения и обеспечению требуемой достоверности распознавания объектов;

- обеспечение непрерывности наблюдения за счёт возможности «передачи эстафеты» наблюдения последовательно входящим в зону видимости цели другим МКА орбитальной группировки.

Рассмотренные концептуальные особенности формирования системы МКА ДЗЗ в общем виде представлены на рис. 2.

Для реализации указанных эффектов МКА должны функционировать в составе целевых подсистем орбитальной группировки, получивших в специальной литературе наименование кластеров МКА. Под кластером в данном случае понимается совокупность КА различного целевого назначения, совместно выполняющих общую задачу и воспринимаемых потребителем как единое целое.

Отличительными особенностями кластера являются реализация системного эффекта эмерджентности, приводящего к повышению эффективности группировки, и восприятие потребителем кластера как единого многофункционального «виртуального» аппарата. Такой подход позволяет использовать существующие технологии управления КА для управления целыми кластерами, что особенно актуально ввиду ограниченной пропускной способности наземного автоматизированного комплекса управления.



Рис. 2. Новые качественные возможности МКА и систем МКА

Возможности реализации перспективных группировок МКА

Анализ показывает, что одной из главных проблем создания полномасштабных космических систем на базе МКА является разработка систем управления. Ввиду усложнения перспективных космических систем задачи управления ими должны быть ориентированы главным образом на достижение общесистемного эффекта путём управления ресурсами системы в целом, а не отдельных КА [2, 3].

Отсутствие мощных информационных технологий по управлению многочисленной группировкой и по обработке сверхбольших объёмов распределённой информации сведёт на нет эффективность применения новейших технологий при построении новых МКА. Вследствие этого целесообразно создавать распределённые системы управления с делегированием части полномочий отдельным элементам системы.

На рис. 3 приведён пример возможного облика кластера разнородных МКА, функционирующих как один многофункциональный, пространственно распределённый КА, обладающий специальной аппаратурой различного назначения.

Предполагается, что в состав кластера входят следующие элементы:

- МКА-«датчики», оснащённые специальной аппаратурой для выполнения задач ДЗЗ в интересах потребителя;

- управляющий «МКА-«лидер», обеспечивающий взаимодействие с наземным контуром управления и потребителем и осуществляющий распределение задач между «МКА-«датчиками» (ОЭН – оптико-электронного наблюдения, РЛН – радиолокационного наблюдения, РТН – радиотехнического наблюдения), организацию их выполнения, контроль функционирования и технического состояния кластера в целом.

- обеспечивающие МКА, например, КА связи, выполняющие функции обеспечения в зависимости от целевого предназначения кластера.

При этом все элементы кластера связаны между собой межспутниковыми линиями связи и находятся в отношении подчинения «лидеру» кластера. В этом случае особенностью структуры кластера является введение дополнительного управляющего элемента – «МКА-«лидера», которому делегируется часть полномочий наземного пункта управления, и реализация части технологического цикла управления таким объектом, как кластер МКА, будет возложена на «МКА-«лидера».

Предполагается, что функционирование кластера будет происходить следующим образом. Потребитель через наземный контур управления формулирует задачу мониторинга интересующего объекта для «лидера» кластера. При формулировке задачи используется принцип извлечения максимального количества информации об объекте всеми видами специальной аппаратуры кластера.

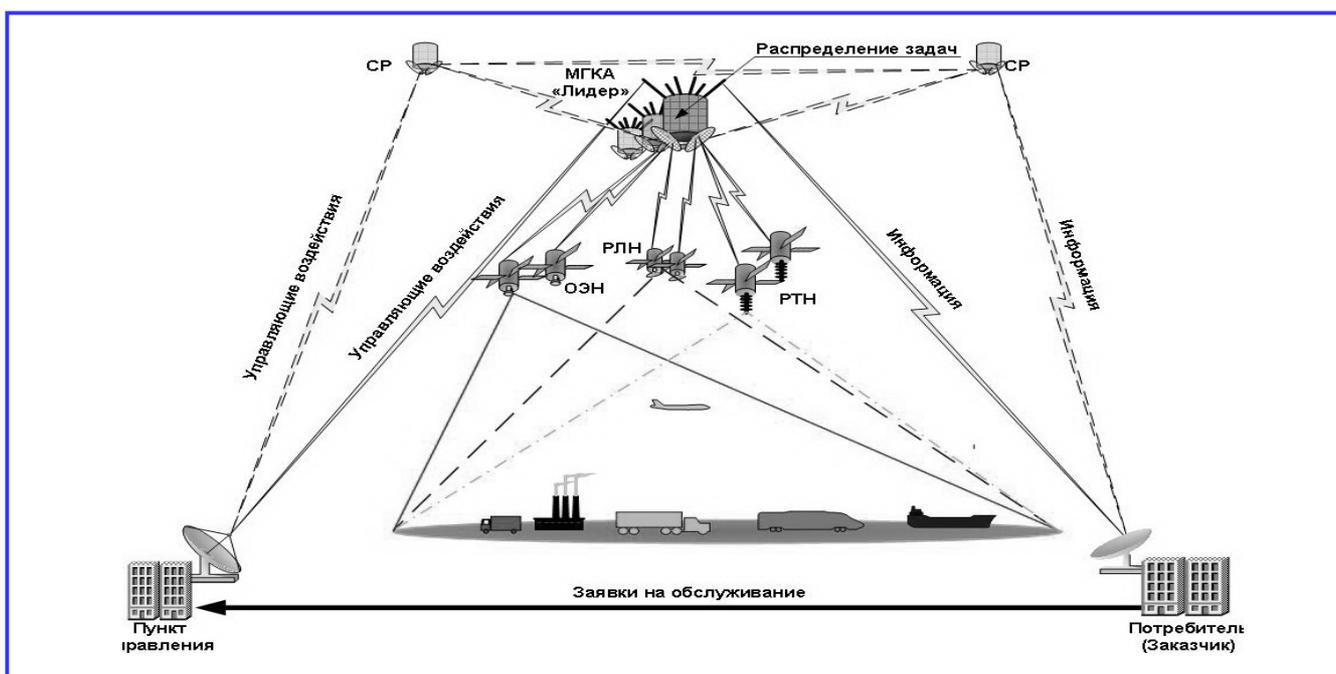


Рис. 3. Возможный облик кластера разнородных МКА

«МКА-«лидер», в свою очередь, проводит анализ исходных данных задачи, оценку условий её выполнения и анализ ресурсных возможностей кластера. Важно отметить, что при анализе исходных данных задачи МКА-«лидер» первоначально оценивает возможность реализации прикладных эффектов, после чего распределяет задачу по её составляющим для «МКА-«датчиков» с указанием конкретных исходных данных для каждого из них: целеуказаний, времени включения специальной аппаратуры, режимов работы и т. д.

Информация ДЗЗ после выполнения задачи поступает на «МКА-«лидер», где происходит её предварительная обработка и формируется групповой носитель для передачи потребителю. Такой подход позволит сформировать надёжную систему из необходимого количества МКА с возможностью изменения конфигурации кластера в зависимости от поставленных задач и учётом метеорологической обстановки над районом наблюдения.

Отметим, что кластер представляет собой новый объект, свойства которого не сводятся к простой сумме свойств составляющих его МКА. Это требует исследования эффективности многоспутниковых орбитальных группировок разнородного состава и проведения испытаний не только отдельных МКА, но и вариантов кластерных построений. В свою очередь, варианты кластерных построений будут определять содержание технологического цикла управления, позволяющего в полной мере реализовать новые прикладные эффекты.

Заключение

1. В статье в обзорно-постановочном плане представлены общие контуры формирования и функционирования группировки МКА, предназначенных, прежде всего, для решения задач ДЗЗ.

2. Рассмотрены перспективы выбора рабочих структур для реализации новых качественных возможностей, представляемых кластерами МКА для потребителей. Определены возможности функционирования структурных элементов кластера как сложного иерархического объекта управления.

3. Показано, что научно-технический и технологический заделы предприятий позволяют за 2,5 г. создать низкобюджетный МКА массой до 250 кг на малой платформе, созданной ОАО «Корпорация «ВНИИЭМ» и прошедшей летные испытания, с высоким пространственным разрешением и длительным сроком активного существования.

Литература

1. Звездин И. Малые космические аппараты: перспективы рынка: [www. Telenir. Net](http://www.Telenir.Net).
2. Малые космические аппараты информационного обеспечения / под ред. В. Ф. Фатеева. – М., 2010.
3. Структурные особенности создания группировки малых КА дистанционного зондирования Земли / Л. А. Макриденко, И. В. Минаев, А. Ю. Потюпкин // Материалы второй международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы создания космических систем дистанционного зондирования Земли». – М.: ОАО «Корпорация «ВНИИЭМ», 2014.

Поступила в редакцию 28.10.2014

*Леонид Алексеевич Макриденко, д-р техн. наук, генеральный директор,
т. (495) 365-56-10, e-mail: vniiem@vniiem.ru.*

*Игорь Викторович Минаев, д-р техн. наук, советник генерального директора,
т. (495) 625-24-18, e-mail: vniiem@vniiem.ru.*

Александр Юрьевич Потюпкин, д-р техн. наук, начальник кафедры.