

ПОВЫШЕНИЕ ЦЕЛЕВОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ НАНОСПУТНИКОВ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

В. Ю. КЛЮШНИКОВ

Центральный научно-исследовательский институт машиностроения, 141070, Королев, Россия
E-mail: wklj59@yandex.ru

Рассматривается задача повышения целевой эффективности малоразмерных космических аппаратов информационного обеспечения. В качестве путей повышения целевой эффективности рассмотрены увеличение пространственного разрешения оптической аппаратуры, повышение энергетических возможностей бортовых систем, повышение помехоустойчивости каналов связи „борт—Земля“ и „борт—борт“, компенсация неустойчивости баллистического построения кластера наноспутников типа „распределенный космический аппарат“, а также обеспечение устойчивости наноспутников к отказам. Реализация предложенных путей повышения целевой эффективности наноспутников позволит в определенной степени компенсировать недостатки малоразмерных космических аппаратов, обусловленные малыми массой и габаритами, располагаемой электрической мощностью и низкой надежностью.

Ключевые слова: наноспутник, оптическая аппаратура, обработка изображения, энергетика, помехоустойчивость

По некоторым оценкам, в 2017—2020 гг. ежегодно планируется запускать от 300 до 500 микро- и наноспутников массой от 1 до 50 кг [1], при этом более половины из них придется на многоспутниковые группировки дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ).

Быстрота сборки и небольшая стоимость делают наноспутники доступными для широкого круга разработчиков. Однако характерные особенности наноспутников — малая масса полезной нагрузки и малые геометрические размеры, а также стремление минимизировать их стоимость влияют на снижение их целевой эффективности по сравнению с функционированием полноразмерных космических аппаратов (КА) (табл. 1).

Таблица 1

Характеристика малого КА	Фактор, снижающий целевую эффективность	Следствие влияния фактора
Малая масса полезной нагрузки и малые геометрические размеры	Малая апертура аппаратуры наноспутника ДЗЗ	Низкие информационные возможности наноспутника ДЗЗ (пространственное разрешение изображений и разрешающая способность аппаратуры)
	Низкая энерговооруженность	Ограниченные возможности по установке аппаратуры связи, радиолокационного зондирования и лидаров
	Малая мощность радиопередающей аппаратуры	Снижение помехоустойчивости и пропускной способности каналов связи
	Малый запас характеристической скорости вследствие ограниченного запаса ракетного топлива	Неустойчивость орбитальной группировки наноспутников
Элементная компонентная база уровней качества „industrial“ или „commercial“ вместо „space“ или „military“	Низкая надежность бортовых систем	Малый срок активного существования на орбите и соответственно повышенный риск загрязнения околоземного космического пространства неактивными наноспутниками

В качестве путей повышения целевой эффективности наноспутников информационного обеспечения (наблюдения и передачи данных) целесообразно рассмотреть:

- повышение информационных возможностей оптической аппаратуры;
- повышение энергетических возможностей наноспутников;
- повышение помехоустойчивости и пропускной способности каналов связи „борт—Земля“ и „борт—борт“;
- предложения по компенсации неустойчивости орбитальной группировки наноспутников;
- использование концепции устойчивости кластеров наноспутников и отдельных наноспутников к отказам бортовых систем.

Повышение информационных возможностей оптической аппаратуры. Основным фактором, ограничивающим предельную разрешающую способность устанавливаемой на наноспутник оптической аппаратуры, является дифракция излучения, приходящего от подстилающей земной поверхности, на входную апертуру аппаратуры оптического наблюдения. Ограничение на пространственное разрешение КА ДЗЗ накладывает дифракционный предел, характеризующийся минимальным размером пятна рассеяния, который можно определить, фокусируя электромагнитное излучение:

$$r \leq \lambda/2n, \quad (1)$$

где λ — длина волны электромагнитного излучения, n — коэффициент преломления среды.

В этом случае условно полное разрешение оптической аппаратуры соответствует критерию разрешения Рэлея [2]:

$$\Delta l_{\min} = 1,22 \frac{\lambda}{D} F, \quad (2)$$

где F — расстояние до подстилающей земной поверхности, D — диаметр оптической апертуры.

Из выражения (2) следует, что повысить информационные возможности оптической аппаратуры наноспутника можно следующими способами:

- уменьшением высоты орбиты;
- увеличением площади оптической апертуры;
- при помощи субпиксельной обработки получаемых изображений;
- на основе непосредственного преодоления дифракционного предела.

Уменьшение высоты орбиты. Условия, при которых наноспутник прекращает свое существование, определяются характеристиками некоторой критической орбиты — минимальной высотой $h_{\text{кр}}$ полета, минимальным периодом обращения $P_{\text{кр}}$ и т. д. Критической считают такую орбиту, на которой наноспутник еще может сделать один полный оборот вокруг Земли [3]. Критические значения высоты полета и периода обращения зависят от баллистического коэффициента и параметров атмосферы. Установлено, что при изменении баллистического коэффициента S_6 в достаточно широком диапазоне ($0,001 < S_6 < 1,0 \text{ м}^3/\text{кг} \cdot \text{с}^2$) величины $h_{\text{кр}}$ и $P_{\text{кр}}$ изменяются сравнительно мало в пределах: $108 < h_{\text{кр}} < 188 \text{ км}$, $86,5 < P_{\text{кр}} < 88,1 \text{ мин}$. Критическую орбиту реальных КА характеризуют минимально возможной высотой полета $h_{\text{кр}} = 110 \dots 120 \text{ км}$ и минимально возможным периодом обращения $P_{\text{кр}} = 86,5 \dots 86,7 \text{ мин}$. Эти значения справедливы для различных моделей атмосферы.

Увеличение апертуры. Увеличить апертуру наноспутников ДЗЗ можно или за счет использования мембранной оптики, или путем синтеза множества апертур в специализированном кластере наноспутников ДЗЗ.

Проекты наноспутников наблюдения с мембранной оптикой разрабатывает агентство по перспективным оборонным научно-исследовательским разработкам США (DARPA):

— космический телескоп с мембранной оптической системой FalconSat-7 (масса 5 кг) на базе CubeSat размерности 3U (рис. 1, а) [4];

— гигантский космический телескоп с мембранной дифракционной оптической системой MOIRE (Membrane Optical Imager for Real-Time Exploitation мембранное оптическое устройство формирования изображения для работы в режиме реального времени, рис. 1, б) [5].

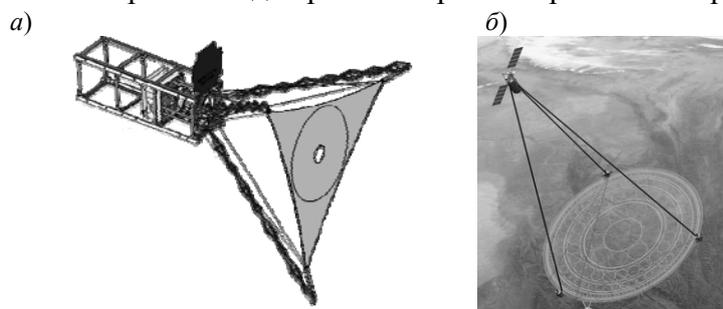


Рис. 1

Мембранная оптика имеет существенный недостаток — низкую светосильность, что препятствует ее широкому распространению. Команде специалистов удалось добиться увеличения этого показателя с 30 до 55 %, тем не менее данный показатель значительно уступает светосиле традиционного зеркала, однако меньшая масса позволяет использовать линзу существенно большего размера, что нивелирует разницу.

Субпиксельная обработка изображений. Высокое разрешение изображения достигается при субпиксельной обработке нескольких слабо отличающихся изображений объекта. Основная идея заключается в использовании субпиксельных сдвигов объекта для комбинирования нескольких его изображений низкого разрешения [6]. Для обозначения процесса получения сдвинутых изображений для последующего восстановления употребляют термин „микросканирование“ (рис. 2).

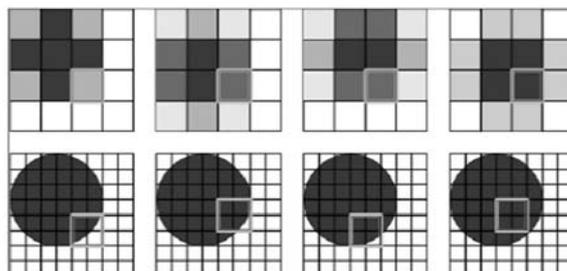


Рис. 2

Так как пиксел имеет конечный размер, его сигнал соответствует не значению яркости объекта в конкретной точке на реальном изображении, а является усреднением по некоторой окрестности точки. При смещении изображения объекта на часть пиксела в разных кадрах усреднение производится по разным окрестностям. Таким образом, субпиксельная обработка сводится в общем случае к задаче минимизации отклонения восстановленного изображения от реального.

Перспективы преодоления дифракционного предела. Перспективы преодоления дифракционного предела часто связывают с метаматериалами [7].

Метаматериалами называются композиционные материалы, свойства которых определяются их микроструктурой, а не свойствами составляющего вещества. Как правило, такие материалы состоят из многочисленных повторяющихся элементов, например металлических колец или различных тонких слоев. Одно из свойств метаматериалов — отрицательный коэффициент преломления — приводит, в частности, к тому, что свет, попадая в такую среду, преломляется в ту же сторону, откуда пришел пучок (рис. 3, а), а тонкая прямоугольная пластина ведет себя как линза (рис. 3, б).

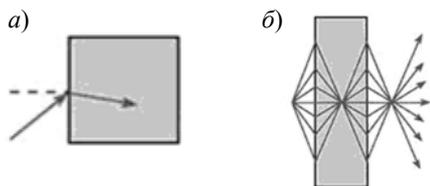


Рис. 3

Метаматериалами называются композиционные материалы, свойства которых определяются их микроструктурой, а не свойствами составляющего вещества. Как правило, такие материалы состоят из многочисленных повторяющихся элементов, например металлических колец или различных тонких слоев. Одно из свойств метаматериалов — отрицательный коэффициент преломления — приводит, в частности, к тому, что свет, попадая в такую среду, преломляется в ту же сторону, откуда пришел пучок (рис. 3, а), а тонкая прямоугольная пластина ведет себя как линза (рис. 3, б).

В настоящее время линзы из метаматериалов, позволяющих значительно уменьшить значение дифракционного предела, используются в сканирующей оптической ближнепольной микроскопии. Насколько применимы метаматериалы в космических оптических системах, на сегодняшний день пока еще трудно сказать.

Еще один способ повышения информационных возможностей оптической аппаратуры — *синтез оптического изображения из субапертурных изображений, получаемых отдельными наноспутниками.*

Апертурный синтез оптических и радиоизображений давно известен в астрономии [8]. В оптике под апертурным синтезом понимают построение эквивалента оптической системы со сплошной апертурой, состоящего из совокупности элементов с меньшей апертурой и позволяющего получить то же разрешение, что и система с большей сплошной апертурой.

Реализовать апертурный синтез можно в кластере наноспутников типа „распределенный космический аппарат“ [9] (рис. 4), состоящем из множества идентичных космических аппаратов ДЗЗ класса „нано“, образующих единое информационное пространство (связанных друг с другом беспроводными линиями связи).

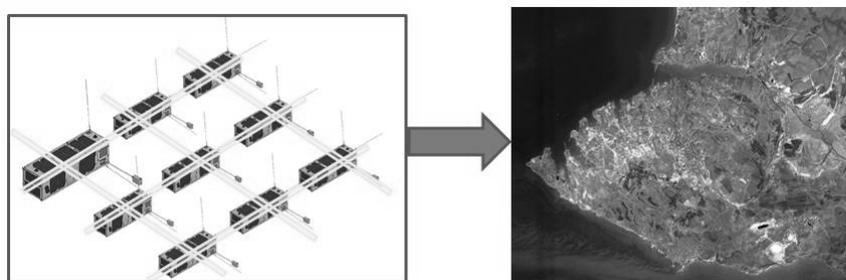


Рис. 4

В этом случае для получения субапертурных изображений заданного участка земной поверхности, пригодных для синтеза сцены с большой апертурой, необходимо точное, синхронизированное во времени поддержание и изменение угловой ориентации наноспутников в кластере, а также точное удержание геометрии орбитальной структуры кластера. В перспективе добиться решения такой задачи будет возможно с помощью методов мультиагентного управления (роевых алгоритмов управления).

Повышение энергетических возможностей наноспутников. Задачу повышения энергетических возможностей наноспутников можно свести к увеличению мощности системы бортового электроснабжения и длительности ее непрерывного функционирования. При этом имеется в виду, что для коррекции орбиты и управления угловым движением наноспутников используются электроракетные двигатели.

Энергетические возможности наноспутников могут быть увеличены традиционными методами и на основе использования энергии ядерного распада. К первому направлению можно отнести совершенствование солнечных и аккумуляторных батарей.

Так, в России создан образец ультратонкого гибкого фотоэлектронного преобразователя (ФЭП) с КПД 24 %. В ближайшем будущем будет изготовлена действующая модель гибкой солнечной батареи на основе отечественного образца ультратонкого трехкаскадного ФЭП с эффективностью (КПД) порядка 30 %. Бортовые аккумуляторные батареи на основе системы графит-кобальтат лития в ближней перспективе могут достичь энергоемкости до 190 Вт·ч/кг; в дальней перспективе, при использовании наноматериалов и технологий, удельная энергия может достичь 320 Вт·ч/кг [10].

Перспективные радиоизотопные элементы питания в будущем могут быть востребованы при создании наноспутников, осуществляющих межпланетные миссии.

На сегодняшний день известно два способа построения радиоизотопных элементов [11, 12]:

— основанные на прохождении через тонкие металлические пленки быстрых ионов, например α -частиц радиационного распада изотопов трансурановых элементов (α -вольтаический элемент питания);

— основанные на облучении полупроводников электронами или позитронами β -распада радионуклидов (β -вольтаический элемент питания).

Радиоизотопные источники питания в 30 раз компактнее литий-ионных аккумуляторов, экологически безопасны и безвредны для человека. Их недостаток — очень высокая стоимость.

Повышение помехоустойчивости каналов связи „борт—Земля“ и „борт—борт“. Помехоустойчивость каналов связи „борт—Земля“ и „борт—борт“ в случае передачи/приема цифровых сверхслабых сигналов может быть в определенной степени обеспечена на основе методов помехоустойчивого кодирования [13].

Наиболее общим показателем для качественной оценки методов помехоустойчивого кодирования является энергетический выигрыш при использовании кодирования (ЭВК), показывающий снижение энергии, необходимой для передачи 1 бита данных (при некоторой выбранной средней вероятности ошибки на бит) при реализации тех или иных алгоритмов кодирования и декодирования, по сравнению со случаем, когда кодирование не применяется. Ресурс ЭВК можно, таким образом, использовать для повышения помехоустойчивости слабых сигналов, передаваемых радиосистемами наноспутников как друг другу (в кластере), так и на Землю.

Еще более перспективным методом повышения помехоустойчивости и пропускной способности каналов связи в космических системах связи на основе наноспутников являются технологии нетрадиционного представления информации образами-остатками, предложенные проф. С. С. Кукушкиным [14]. В основе этих технологий лежит использование естественной избыточности передаваемой информации для противостояния разрушающему действию помех. В отличие от известных методов помехоустойчивого кодирования в этом случае отсутствует информационная избыточность передаваемых/принимаемых сигналов.

Компенсация неустойчивости кластера наноспутников. Одна из основных проблем на пути создания кластера наноспутников типа „распределенный космический аппарат“ (РКА) — удержание составляющих его космических аппаратов в относительно компактной области пространства. Такая задача может быть решена на ограниченном временном интервале для небольшого количества наноспутников за счет оптимизации их разведения при групповом выведении на орбиту [15].

В общем же случае без постоянной коррекции орбит каждого наноспутника это сделать практически невозможно. Для коррекции необходимы достаточно большие запасы ракетного топлива, что неприемлемо вследствие малой массы наноспутника.

Предлагается динамическая „сборка“ кластера из тех наноспутников (НС), которые в момент времени t оказываются рядом (рис. 5).

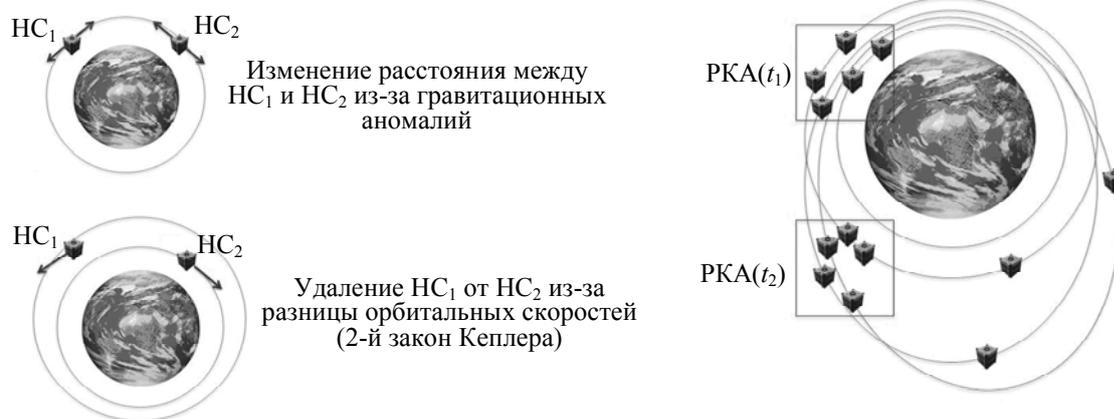


Рис. 5

Условно это можно назвать „мерцанием“ орбитальной структуры РКА. Очевидно, что для „мерцания“ необходимо избыточное количество наноспутников. Однако в этом случае представляется возможным не размещать на наноспутнике двигательные установки для коррекции орбиты, что позволяет достичь его существенного удешевления.

Обеспечение отказоустойчивости наноспутников. Преимущества наноспутников в полной мере могут быть реализованы лишь за счет использования в конструкции дешевых комплектующих. Применяемая элементная компонентная база (ЭКБ) не должна обязательно соответствовать уровням качества „space“ или „military“ — достаточно уровня „industrial“ или „commercial“. Здесь, однако, появляется противоречие: несмотря на низкую стоимость и простоту изготовления и эксплуатации наноспутники должны все-таки быть достаточно надежными. Возникает задача построения надежных систем из ненадежных элементов, сформулированная еще Р. Муром и К. Шенноном [16].

Задача обеспечения надежности наноспутников в такой постановке может быть решена на основе концепции отказоустойчивости технических систем, под которой понимается свойство системы сохранять работоспособность после отказа одной или нескольких подсистем.

Выделяют два способа реализации отказоустойчивости:

— пассивные: различные виды избыточности (структурная, функциональная, аппаратная, программная и др.);

— активные: различные способы самовосстановления (саморемонта).

Существующие общие технологические возможности обеспечения пассивной устойчивости наноспутников к отказам элементов, агрегатов и систем (резервирования) представлены в табл. 2 [17].

Таблица 2

Вид резервирования	Определение	Примеры использования в космической технике
Структурное	Применение резервных элементов структуры изделия	Резервирование: — на основе мажоритарной логики; — на основе дублирования подсистем с детектором ошибок; — на основе постепенной деградации вычислительной системы
Функциональное	Использование способности элементов, агрегатов и систем изделия выполнять дополнительные функции, а также возможность выполнения заданной функции дополнительными средствами	Интегрированная инерциально-астропутниковая (ГЛОНАСС+GPS) система навигации и ориентации для космических средств выведения
Временное	Использование резервного времени для выполнения заданной функции; допускается перерыв функционирования системы или устройства из-за отказа элемента	Использование резервов времени для: — повторения операции бортовой системы (при сбое); — замены операции одной системы набором операций других бортовых систем
Информационное	Использование в качестве резерва избыточной резервной информации	Помехоустойчивое кодирование передаваемой информации

Наибольший интерес среди перечисленных в таблице видов резервирования для наноспутников представляет функциональное резервирование, поскольку позволяет минимизировать дополнительные затраты на снижение массогабаритных характеристик и энергопотребление при реализации такого рода избыточности.

В основу построения контура обеспечения активной отказоустойчивости может быть положена способность системы к структурной и программной реконфигурации и автономному

принятию решений на основе результатов диагностики с использованием средств искусственного интеллекта.

В настоящее время используют два способа структурной реконфигурации бортовой аппаратуры КА:

— многоуровневая реконфигурация электронной аппаратуры, построенной по технологии программируемых логических интегральных схем (ПЛИС); ПЛИС, благодаря своей гибкой структуре, позволяют осуществлять оперативную реконфигурацию (перепрошивку) внутренней архитектуры в процессе функционирования;

— динамическая перестройка поля однородной вычислительной системы (ОВС) в процессе решения задач управления космическим аппаратом; ОВС представляет собой регулярную структуру, т.е. геометрически правильную решетку, в каждом узле которой находится ячейка, выполняющая простейшие вычислительные и коммутационные функции.

В ОВС реализована полная децентрализация управления наноспутника, а также преобразования и хранения информации.

Облик системы самоконтроля и самодиагностики КА определяется блочно-модульной структурой платформы служебных систем, в которую, по сути, должна быть интегрирована распределенная вычислительная система, состоящая из микропроцессоров унифицированных модулей, объединенных общей шиной передачи данных (протоколами взаимодействия). Алгоритм системы самоконтроля и самодиагностики наноспутника может быть основан на взаимной проверке исправности вычислителей (микропроцессоров) унифицированных модулей или же на использовании вычислительного ядра повышенной надежности, достигаемой за счет кратного резервирования, помехоустойчивого кодирования и т.п.

Для выявления повреждений силовых элементов конструкции наноспутника могут быть использованы встроенные датчики деформации.

Непосредственно в орбитальном полете может быть осуществлена также реконфигурация бортового программного обеспечения.

Широко используемая сетевая архитектура построения бортовых комплексов управления космических аппаратов на базе технологии SpaceWire позволяет легко дублировать основные и инфраструктурные компоненты бортовой информационной сети, реализовать несколько альтернативных путей передачи данных, масштабировать или модифицировать сеть под имеющееся на борту оборудование.

В дальней перспективе космические аппараты должны будут иметь возможность восстановления различных отказавших функциональных систем [18]. Так, например, уже сейчас проводятся экспериментальные исследования возможностей так называемых интеллектуальных материалов для контроля внешних воздействий на элементы конструкции технических систем и изменения физических параметров под воздействием внешних управляющих сигналов. Ведутся работы также в области систем самовосстановления отказавших интегральных схем и поврежденных электронных плат. Результаты таких исследований могут быть использованы для создания систем регенерации элементов конструкции в космической технике.

Радикально решить проблему регенерации отказавших и даже разрушенных или сгоревших элементов конструкции изделий космической техники в полете позволят аддитивные технологии [19].

Свойством устойчивости к отказам отдельных наноспутников будут обладать также рассмотренные выше кластеры типа „распределенный космический аппарат“.

Заключение. На основании вышеизложенного можно утверждать, что существуют реальные пути и возможности повышения целевой эффективности функционирования наноспутников информационного обеспечения, позволяющие повысить информационные возможности оптической аппаратуры наблюдения, повысить энергетические возможности спутников, помехоустойчивость и пропускную способность каналов передачи данных, достичь

существенно больших сроков активного существования и т.д. Особо следует отметить перспективы повышения целевой эффективности наноспутников путем создания из них кластерных структур. Основным критерием дальнейшего развития наноспутников должно стать неукоснительное следование основной концепции их создания и применения, которую можно кратко сформулировать: „меньше, быстрее, дешевле“.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пайсон Д. Б. Малые спутники в современной космической деятельности // Технологии и средства связи. 2016. № 6. С. 64—69.
2. Миланич А. И., Баранов А. А. Предельное разрешение в оптике // Тр. МФТИ. 2012. Т. 4, № 2. С. 177—181.
3. Иванов Н. М., Лысенко Л. Н. Баллистика и навигация космических аппаратов. М.: Дрофа, 2004. 544 с.
4. McHarg M. G., Smith B. A., Russell T. H., Asmolova O., Quiller T. S., Balthazor R. L., Dearborn M. E., Isch B. M., Johnson T. R., MacDonald A. J., Peek E. W. FalconSAT-7 — A deployable solar telescope // Proc. of the 28th Annual AIAA/USU Conf. on Small Satellites (SSC14). 2014. P. 1—4.
5. Салмин В. В. и др. Исследование возможности построения и моделирования компонентов информационной космической системы на базе большой дифракционной мембраны // Информационные технологии и нанотехнологии: Материалы Междунар. конф. и молодежной школы, Самара, 17—19 мая; 2016 г. С. 675—682.
6. Бурачек В. Г., Зацерковный В. И., Беленок В. Ю. Эффективность применения субпиксельных технологий синтеза изображений объектов для крупномасштабной аэрокосмической съемки // Чернігівський науковий часопис. Серія 2. Техніка і природа. 2011. № 2 (2). С. 9—19.
7. Eleftheriades G. V., Balmain K. Negative-Refraction Metamaterials: Fundamental Principles and Applications. Wiley-IEEE Press, 2005. 400 p.
8. Апертурного синтеза метод / Л. И. Матвеев // Физика космоса: Маленькая энциклопедия. М.: Сов. энциклопедия, 1986. С. 121.
9. Ключников В. Ю. Построение кластеров малых космических аппаратов // Изв. вузов. Приборостроение. 2016. Т. 59, № 6. С. 423—428.
10. Таболдиев Д. Д., Аширбеков Б. Т. Предельные параметры бортовых энергетических систем // Вестн. КазННТУ. 2016. № 5. С. 380—384.
11. Акульшин Ю. Д., Лурье М. С., Пятыхев Е. Н., Глуховской А. В., Казакин А. Н. Бета-вольтаический МЭМС-преобразователь энергии // Научно-технические ведомости СПбГТУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление. 2014. № 5 (205). С. 35—42.
12. Новиков С. Г. и др. Разработка автономного фотоэлектрического источника питания с длительным сроком службы // Радиоэлектронная техника. 2015. № 2 (8). С. 43—50.
13. Морелос-Сарагоса Р. Искусство помехоустойчивого кодирования. Методы, алгоритмы, применение: Пер. с англ. М.: Техносфера, 2005. 320с.
14. Кукушкин С. С., Нестеровский И. С. Методы нетрадиционного представления данных образцами-остатками и анализ эффективности их применения // Двойные технологии. 2011. № 3 (56). С. 40—47.
15. Аваряскин Д. П., Щербаков М. С. Выбор параметров программы отделения группировки наноспутников при кластерном запуске из переходного отсека орбитальной ступени РН „Союз“ // Материалы IV Всерос. науч.-техн. конф. „Актуальные проблемы ракетно-космической техники (IV Козловские чтения)“, Самара, 14—18 сент., 2015 г., Самара, 2015. С. 406—410.
16. Мур Р., Шеннон К. Надежные схемы из ненадежных реле. Работы по теории информации и кибернетики. М.: Изд-во иностр. лит., 1963. С. 149—189.
17. Ахметов Р. Н., Макаров В. П., Соллогуб А. В. Особенности обеспечения целевой эффективности космических аппаратов зондирования Земли на основе методов рефакторинга и обратной инженерии // Онтология проектирования. 2012. № 4. С. 7—17.
18. Савкин Л. В. Регенеративные электронные системы в космических системах и комплексах // Вестн. кибернетики. 2015. № 2 (18). С. 3—32.

19. Чумаков Д. М. Перспективы использования аддитивных технологий при создании авиационной и ракетно-космической техники // Электронный журн. „Труды МАИ“. Вып. № 78 [Электронный ресурс]: <<http://www.mai.ru/science/trudy>> (13.01.2017).

Сведения об авторе

Валерий Юрьевич Ключников — д-р техн. наук; ЦНИИмаш; главный научный сотрудник; E-mail: wklj59@yandex.ru

Поступила в редакцию
14.02.18 г.

Ссылка для цитирования: Ключников В. Ю. Повышение целевой эффективности наноспутников информационного обеспечения // Изв. вузов. Приборостроение. 2018. Т. 61, № 5. С. 414—422.

INCREASING THE TARGET EFFICIENCY OF INFORMATION SUPPORT NANOSATELLITES

V. Yu. Klyushnikov

Central Research Institute of Mechanical Engineering, 141070, Korolev, Russia
E-mail: wklj59@yandex.ru

The problem of improvement of target efficiency of small-size space vehicles (nanosatellites) for informational support (observation and data transmission) is studied. Considered ways to increase the target efficiency include an increase in the spatial resolution of optical equipment, an increase in the power capabilities of airborne systems, an increase in noise immunity of the communication channels "onboard-Earth" and "board-board," compensation for the instability of ballistic clustering of nanosatellites such as a "distributed space vehicle" ensuring the stability of nanosatellites to failures. Implementation of the proposed approaches to the problem of increasing target efficiency of nanosatellites is anticipated to allow, to some extent, to compensate for the shortcomings of small-size spacecraft due to low mass, dimensions, available electrical power and low reliability.

Keywords: nanosatellite, optical equipment, image processing, energy, noise tolerance

Data on author

Valery Yu. Klyushnikov — Dr. Sci.; Central Research Institute of Mechanical Engineering, Chief Researcher; E-mail: wklj59@yandex.ru

For citation: Klyushnikov V. Yu. Increasing the target efficiency of information support nanosatellites. *Journal of Instrument Engineering*. 2018. Vol. 61, N 5. P. 414—422 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2018-61-5-414-422