

## Проблемные вопросы создания многоспутниковых орбитальных группировок на базе малоразмерных космических аппаратов

**В. В. Бетанов**, д.т.н., проф., *betanov\_vv@spacecorp.ru*

АО «Российские космические системы», Москва, Российская Федерация

**С. А. Волков**, к.т.н., *contact@spacecorp.ru*

АО «Российские космические системы», Москва, Российская Федерация

**Н. С. Данилин**, д.т.н., проф., *contact@spacecorp.ru*

АО «Российские космические системы», Москва, Российская Федерация

**А. Ю. Потюпкин**, д.т.н., проф., *contact@spacecorp.ru*

АО «Российские космические системы», Москва, Российская Федерация

Военная академия РВСН имени Петра Великого, МО, г. Балашиха, Российская Федерация

**А. С. Селиванов**, д.т.н., проф.

АО «Российские космические системы», Москва, Российская Федерация

**Ю. А. Тимофеев**, к.т.н., *contact@spacecorp.ru*

АО «Российские космические системы», Москва, Российская Федерация

**Аннотация.** Рассматриваются проблемные вопросы создания многоспутниковых орбитальных группировок на базе малоразмерных космических аппаратов. Показано, что создание таких группировок является новой тенденцией в мировой космонавтике, что требует применения системных методов проектирования и управления ими. В соответствии со структурой типовой космической системы проведена классификация проблемных вопросов и предложены пути их решения. Особое внимание уделено вопросам управления многоспутниковой группировкой как сложной системой на основе принципов гомеостаза. Рассмотрены факторы, приводящие к деградации системы, и предложены варианты их парирования. Сделан вывод о целесообразности создания отечественной индустрии малогабаритного спутникостроения.

**Ключевые слова:** гомеостатические методы управления, космическая система, многоспутниковая орбитальная группировка, малоразмерные космические аппараты

## Problem Issues of Creating Multisatellite Orbital Constellations Based on Small Spacecraft

**V. V. Betanov**, *Dr. Sci. (Engineering), Prof., betanov\_vv@spacecorp.ru*  
*Joint Stock Company "Russian Space Systems", Moscow, Russian Federation*

**S. A. Volkov**, *Cand. Sci. (Engineering), contact@spacecorp.ru*  
*Joint Stock Company "Russian Space Systems", Moscow, Russian Federation*

**N. S. Danilin**, *Dr. Sci. (Engineering), Prof., contact@spacecorp.ru*  
*Joint Stock Company "Russian Space Systems", Moscow, Russian Federation*

**A. Yu. Potyupkin**, *Dr. Sci. (Engineering), Prof., contact@spacecorp.ru*  
*Joint Stock Company "Russian Space Systems", Moscow, Russian Federation*  
*The Military Academy of Strategic Rocket Troops after Peter the Great,*  
*Balashikha, Moscow region, Russian Federation*

**A. S. Selivanov**, *Dr. Sci. (Engineering), Prof.*  
*Joint Stock Company "Russian Space Systems", Moscow, Russian Federation*

**Yu. A. Timofeev**, *Cand. Sci. (Engineering), contact@spacecorp.ru*  
*Joint Stock Company "Russian Space Systems", Moscow, Russian Federation*

**Abstract.** The paper studies problem issues of creating multisatellite orbital constellations based on smallspacecraft. It is shown that creation of such constellations is a new trend in the world space industry that requires application of system design and control methods. In accordance with the basic space system structure, the classification of problem issues is realized and possible solutions are offered. Special attention is paid to the issues of multisatellite constellation control as a complex system based on homeostasis principles. Factors leading to system degradation are considered and ways of its counteraction are proposed. A conclusion of the feasibility of national small satellite building industry organization is made.

**Keywords:** homeostatic control methods, space system, multisatellite orbital constellation, small spacecraft

## Общие замечания

В последнее время в отечественной и зарубежной космонавтике значительное внимание уделяется актуальным проектам, связанным с созданием и применением малоразмерных космических аппаратов (МКА). Государственной корпорацией «Роскосмос» утверждена «Концепция создания и применения малоразмерных космических аппаратов» и активно обсуждаются пути ее реализации [1], ведутся разработки на предприятиях отрасли, в вузах и научных организациях. В космической технике потребность в реализации новых технологий и возможностей привела к появлению нового класса космических систем (КС) — систем на базе малоразмерных КА (МКА), размещенных на низких и средних LEO/МEO орбитах. К ним относятся системы космические мобильной связи и радионавигации, а также космические системы мониторинга Земли, атмосферы и околоземного космического пространства. Кроме того, с помощью МКА отрабатываются новые элементы космической техники и реализуются программы по космическому образованию. Примерами таких систем являются система космического мониторинга компании Planet и ряд других систем, функционирующих в настоящее время. Интересно, что технология производства МКА в ряде случаев достигла такого совершенства, что появился термин «Leap-спутники», что предполагает массовое производство МКА, обеспечивающее требуемое качество при минимальных массогабаритных параметрах с условием малых временных и ресурсных затрат.

Согласно сложившейся классификации, к тяжелым, средним и легким КА относятся спутники массой более 500 кг. Малоразмерные КА условно делятся на мини-спутники (масса 100–500 кг) и микроспутники (менее 100 кг). Микроспутники, в свою очередь, подразделяются на КА массой 20–100 кг и 1–20 кг (наноспутники); 0,1–1 кг (пикоспутники); менее 0,1 кг (фемтоспутники). Пикоспутники и фемтоспутники относятся к сверхмалым КА новых поколений. Анализ современных тенденций создания МКА показывает, что технологии создания и применения КА класса мини-спутник в целом не имеют принципиальных отличий от создания КА весом более 500 кг. Поэтому инте-

рес представляют так называемые микроспутники, в том числе созданные по технологии формфактора Cube Sat, позволяющей реализовать модульный принцип создания КА из типовых модулей — юнитов. Такие спутники, с одной стороны, обладают определенными физическими ограничениями, касающимися целевой функции отдельного КА, но, с другой стороны, позволяют создавать многоспутниковые орбитальные группировки (ОГ) — вплоть до нескольких сотен и тысяч МКА, которые реализуют полную целевую функцию всей КС. Можно утверждать, что в мировой космонавтике явно проявляется новая тенденция — развитие системного эффекта путем перехода от отдельных КА к многоспутниковым (более 100 КА) ОГ.

Как отмечается в статье [2], эти шаги являются проявлением так называемого шестого по счету технологического уклада, ядро которого составят нано-, био-, инфо- и когнитивные технологии, обеспечивающие от 30 до 70% прироста в различных отраслях экономики. При этом базовыми отраслями для внедрений шестого технологического уклада прогнозируются телекоммуникации, образование, химико-металлургический комплекс, ракетно-космический комплекс, а также растениеводство и здравоохранение. В настоящее время в рамках реализации пятого и шестого технологических укладов появляется новая технологическая инфраструктура — «Интернет вещей» (англ. Internet of Things, IoT) — концепция вычислительной сети физических предметов («вещей»), оснащенных встроенными технологиями для взаимодействия друг с другом или с внешней средой, рассматривающая организацию таких сетей как явление, способное перестроить экономические и общественные процессы, исключаяющее из части действий и операций необходимость участия человека. Рынок «Интернета вещей» в настоящее время переживает период бурного роста. Известны прогнозы, что к 2021 году из приблизительно 28 млрд подключенных по всему миру устройств около 16 млрд будут связаны с IoT. Российский рынок «Интернета вещей» также активно развивается: общий размер российского рынка IoT составил в 2016 году 17,9 млн устройств и вырос по сравнению с 2015 годом на 42%. К 2021 году общее число IoT-устройств вырастет до 79,5 млн,

а к 2026 году — до 164,7 млн. Общий потенциал российского рынка оценивается на уровне 0,5 млрд устройств.

Реализация IoT на практике предполагает наличие развитой телекоммуникационной системы, обеспечивающей взаимодействие устройств (машин) при помощи технологий связи как функции M2M/IoT (M2M от англ. machine-to-machine или mobile-to-machine). Составной частью такой системы будут космические информационные и телекоммуникационные системы. При этом, как отмечается в работах [3, 4], все большее внимание уделяется разработке проектов новых многоспутниковых систем, реализуемых на основе нано- и микроспутников с целевой функцией M2M/IoT.

В настоящее время известен ряд проектов создания многоспутниковых систем LEO/МЕО для решения задач телекоммуникации. Судя по проектным тактико-техническим характеристикам и заявлениям инвесторов, себестоимость передачи единицы информации в системах LEO/МЕО в разы ниже, чем при использовании геостационарных спутников. Кроме того, подобные системы по своей природе являются глобальными. Примерами, которые наиболее известны, являются проекты OneWeb (сеть L5) и SpaceX (сеть Starlink). На сегодняшний день известно более 10 проектов LEO/МЕО телекоммуникационных систем, в том числе и проекты стран БРИКС «Звезда счастья» (Китай) и Astome (Индия) [4].

На фоне очевидных успехов международного космического сообщества успехи отечественной космонавтики в области создания МКА и систем на их основе выглядят более чем скромными. Отдельные успехи (ТНС-0-1; ТНС-0-2 и т.д.) лишь подтверждают этот тезис [5].

Вместе с тем в РФ в настоящее время анонсирована задача создания многоспутниковой многофункциональной космической системы на основе МКА, содержащей более 640 спутников, под рабочим названием «Сфера». Реализация такого амбициозного для нашей страны проекта, по-видимому, сродни качественному прорыву, подобному разработке орбитальных станций или первых многоспутниковых систем типа ГЛОНАСС. В связи с этим представляется целесообразным заранее

выявить возможные проблемные вопросы и предложить пути их решения.

Создание космических систем есть результат реализации технологий системного проектирования. Вместе с тем их практическая реализация определяется спецификой создаваемой системы, всесторонним учетом всех обстоятельств, что предполагает системный подход к созданию КС на базе МКА. В условиях ограниченности ресурсов, неразвитости возможностей реализации инновационных проектов в космической отрасли выход очевиден — это «всесторонний учет всех обстоятельств», рассмотрение объекта проектирования в качестве системы. Несмотря на тривиальность (кажущуюся) данного утверждения, практика создания космических систем на базе МКА достаточно далека от теории системного подхода. Если в области создания КС на базе больших КА уже выработаны определенные методики, позволяющие реализовывать сложные проекты, то в области МКА процветает подход, который можно охарактеризовать как «любительский». Отсутствие системного подхода сводит на нет усилия по реализации программы развития МКА, частные успехи являются скорее исключением из сложившегося правила.

Основной особенностью систем на основе МКА, по-видимому, будет многочисленность ОГ, налагающая требования на все остальные элементы КС. Изменение свойств одного из элементов КС с необходимостью вызовет и изменения основных элементов. Учитывая то, что в соответствии с [6] космическая система — это совокупность одного или нескольких космических и специальных комплексов, предназначенная для решения различных задач в космосе и из космоса, включающих, помимо орбитальной группировки, и наземный специальный комплекс (НСК), ракетно-космический комплекс (РКК), наземный комплекс управления (НКУ), реализация системного эффекта эмерджентности, а проще говоря, успешная реализация проекта создания космической системы определенного назначения, возможна только при согласованном проектировании как отдельных элементов структуры КС, так и решении задач их взаимодействия. При этом сам процесс проектирования предполагает решение в первую очередь общесистемных задач.

## Проблемные вопросы

Анализ реального состояния дел показывает, что в настоящее время в отечественной практике создания МКА остаются нерешенными следующие вопросы общесистемного плана.

1. *Не определено целевое предназначение КС на базе МКА:*

- не определены заказчик и главный конструктор системы, источники финансирования, головное (головные) предприятие-изготовитель (предприятия-изготовители), ответственность сторон и т.д., то есть все, что должно быть предусмотрено действующими нормативно-техническими документами в области создания космической техники;
- не определены требования к системе, не заданы общесистемные показатели;
- потребители космической информации — потенциальные заказчики МКА пока не видят значительных преимуществ от замены больших КА на малые.

В связи с этим для обеспечения эффективного применения возможностей МКА на базе малоразмерного спутникового приборостроения целесообразно провести анализ спектра возможных задач, которые могут быть решены МКА в составе ОГ; выбрать приоритетные; определить требования и общесистемные показатели, например в системе ГЛОНАСС задают требования по доступности и целостности системы; оценить возможность создания целевой аппаратуры с учетом ограничений, накладываемых МКА, в первую очередь отечественными производителями и затем определиться с пилотными проектами создания КС на базе МКА. Важно понимать, что многоспутниковые КС на базе МКА предполагают обязательную серийность производства.

Следует учитывать, что потребители могут получить выигрыш в качестве космической информации за счет реализации системных эффектов непрерывности и многопозиционности наблюдения, эффекта комплексирования информации, получаемой от разнородных бортовых комплексов специальной аппаратуры МКА и ряда других [7]. При этом реализация системных эффектов предполагает формирование целевых групп в составе

ОГ, ориентированных на определенный эффект или их совокупность. Кроме того, появляется возможность оперативного создания как отдельных МКА, так и КС в целом «под задачу».

2. *Не ясна структура наземного специального комплекса (НСК) для ОГ на базе МКА:*

- не определен состав потребителей при использовании МКА;
- не ясно, какая целевая нагрузка может быть установлена на МКА и в чьих интересах он должны работать;
- не ясны способы и средства передачи и приема целевой информации, варианты ее доставки потребителям;
- не ясен состав предоставляемых сервисов;
- не решены вопросы валидации предоставляемой информации.

Данный вопрос должен решаться в тесной увязке с предыдущим. При этом целесообразно определить средства НСК и возможность их комплексирования со средствами наземного комплекса управления (НКУ).

3. *Не определен состав ракетно-космического комплекса (РКК).*

Для МКА отсутствует гарантированный доступ в космическое пространство. Понятие доступа в космическое пространство подразумевает не просто возможность выхода за пределы земной атмосферы, а возможность вывода груза определенной массы на конкретную орбиту (траекторию) в требуемой области космического пространства. Гарантированным такой доступ становится в случае приобретения системой средств выведения способности выполнять свои задачи в любых условиях обстановки.

В настоящее время вывод МКА осуществляется попутным запуском, кластерным запуском, ручным (с пилотируемых орбитальных станций) запуском. В связи с этим целесообразно определить со структурой системы выведения, например, в ее состав могут входить:

- стандартные (легкого и среднего классов) РКН, с помощью которых может быть реализован попутный и кластерный запуск МКА;
- орбитальные станции и пилотируемые КА, с помощью которых может быть реализован попутный и ручной запуск;

- конверсионные МБР, с помощью которых может быть реализован попутный и кластерный запуск МКА (в 2013 году с помощью конверсионной МБР «Днепр» был осуществлен кластерный запуск 33 МКА) путем разработки соответствующих адаптеров.

При этом использование возможностей конверсионных МБР предполагает правильный учет массогабаритных ограничений, что позволит снизить затраты на создание адаптеров.

#### 4. Фактически отсутствует НКУ для управления системой МКА.

Надежность управления МКА предполагает наличие АСУ КА (НКУ + БКУ + каналы передачи данных), обеспечивающей глобальность, непрерывность и оперативность управления. В настоящее время управление МКА в каждом конкретном случае осуществляется по-разному — через НАКУ МО, ведомственные НКУ (для КА более 100 кг, например Аист-2-Д), отдельные НКУ предприятий и вузов, через системы спутниковой связи (например, «Глобалстар» для ТНС-0). Особенностью ряда НКУ является использование УКВ-каналов связи на базе радиостанций, не требующих специального разрешения для выхода в эфир (любительский радиодиапазон). В связи с этим целесообразно определить со структурой АСУ КА. Представляется, что в ее состав могут входить:

- сеть ЦУП для МКА различных типов, развернутых как на базе НАКУ МО и других ведомств, так и на базе отдельных предприятий и вузов;
- стандартные РТС НАКУ МО и других ведомств, при условии установки соответствующей БА на МКА (как правило, для МКА более 100 кг с важной полезной нагрузкой);
- сеть станций УКВ-диапазона, не требующих специального разрешения для работы, развернутых на базе отдельных предприятий и вузов;
- модемы систем спутниковой связи, например «Глобалстар», или других систем (в перспективе отечественных), установленных как на ЦУП МКА, так и на борту самих МКА;
- вновь разрабатываемые мобильные малогабаритные средства НКУ для управления МКА.

#### 5. Отсутствуют технологии управления многоспутниковыми (более 100) группировками МКА и кластерами МКА.

Представляется, что в основе новых технологий должен лежать переход от управления отдельными КА к управлению целевым эффектом всей КС в условиях ограниченности ресурсов управления. Управление многочисленной группировкой требует новых подходов, основанных на гомеостазе системы, позволяющем сохранить баланс между различными процессами, происходящими в системе, и обеспечить ее жизнедеятельность. В самом общем понимании гомеостатичность системы означает, что она не только выполняет предписанное ей задание, но и одновременно заботится о сохранении самой себя (по крайней мере, до момента выполнения этого задания).

Основное свойство гомеостатического процесса для систем различной природы выражается в противоречии целей подсистем. Гармонизация интересов между противоречиями целей подсистем достигается с помощью балансного гомеостата. С этой целью выделяют взаимодействующие в системе антагонисты. С одной стороны — это процессы нарастания упорядоченности системы или так называемой негэнтропии. С другой стороны — процессы разрушения системы или нарастания энтропии. Функционирование такой системы предполагает определенный баланс между процессами деградации системы, так называемыми энтропийными процессами, и процессами упорядочивания ее функционирования — негэнтропийными процессами. При этом известно, что любая изолированная система стремится к нарастанию энтропии, а увеличение негэнтропии возможно только путем обмена веществом, энергией и информацией с внешней средой. Следовательно, необходимо иметь арсенал средств воздействия на систему извне, то есть процессов управления.

К числу процессов разрушения, деградации системы отнесем влияние факторов космического пространства, приводящее к нарушению баллистической структуры системы; физическое и моральное старение элементов системы, приводящее к отказам и сбоям в работе системы; влияние ресурсных ограничений, приводящее к ограничению возможностей руководителя по управлению системой, а также влияние человеческого фактора (см. таблицу).

Т а б л и ц а. Процессы энтропии и неэнтропии в системе

Процессы неэнтропии (упорядоченности)	Процессы энтропии (разрушения)
Реализация целевого предназначения системы Поддержание работоспособности системы Реализация ТЦУ системой с решением задач командно-программного, информационно-телеметрического, навигационно-баллистического и частотно-временного обеспечения	Влияние факторов космического пространства Нарушение баллистической структуры системы Повышенная вероятность столкновения КА с другими КА и космическим мусором Отказы и сбои в работе системы, вызванные физическим и моральным старением ее элементов Влияние ресурсных ограничений Влияние человеческого фактора

К числу процессов нарастания упорядоченности системы отнесем процессы реализации целевого предназначения КС, связанные с удовлетворением потребностей потребителей в связи, мониторинге, навигации и т.д.; процессы поддержания работоспособности КС и реализации технологического цикла управления (ТЦУ) системой с решением задач командно-программного (КПО), информационно-телеметрического (ИТО), навигационно-баллистического (НБО) и частотно-временного обеспечения (ЧВО), которые получают новое содержание. Помимо традиционных задач, ориентированных на управление отдельным КА, появятся задачи системного уровня, ориентированные на управление целевым эффектом всей орбитальной группировки.

Например, для КПО появятся следующие задачи: выдача исходных данных для формирования рабочей структуры; управление конфигурацией системы; маршрутизация передачи служебной и специальной информации; формирование и поддержание альманаха системы.

В рамках ИТО возникнут задачи контроля состояния каналов связи, групповой оценки состояния системы в целом, оценки качества выполнения целевой задачи.

Для НБО важным будет расчет и поддержание баз в пространстве между МКА в установленных пределах при групповом выполнении целевых задач, прогнозирование баллистического существования целевых групп.

Согласованное функционирование многоспутниковой ОГ потребует и качественного решения задачи ЧВО — синхронизации и поддержания групповой шкалы времени системы.

Требование гомеостаза системы предполагает наличие своеобразных «уступок» антагонистам: с одной стороны, допускается определенное снижение показателей упорядоченности, например отказ от жесткой баллистической структуры, понижение требований к точности занятия орбитальной позиции КА, допускается стохастический вывод КА на орбиту, предполагаются также отказ от резервирования части подсистем, перенос функций управления на борт КА, использование элементной базы с менее строгими требованиями по надежности — коммерческой электроники (например, Industrial вместо Space); использование «наземных» решений для отработки и проведения испытаний из опыта автомобильной и электронной промышленности и т.д.; с другой стороны, разрабатываются способы компенсации влияния факторов разрушения, например способы управления системой с нарушенной баллистической структурой, своевременное восполнение системы в случае отказа элементов, проведение мероприятий по восстановлению работоспособности системы и ее элементов, техническое обслуживание, целенаправленное использование наличных ресурсов и т.д.

Важным направлением является создание избыточности ресурсов на орбите для обеспечения решения целевой задачи, например по количеству КА.

Следует отметить, что приведенные выше соображения частично уже реализуются на практике. Например, известная система космического мониторинга Flok-3M (Стая) позволяет за счет высокой периодичности наблюдения осуществлять частые проходы над одним и тем же местом на Земле

для мониторинга изменений поверхности в РМВ с разрешением 5 м. При этом система построена как избыточная. Так, в настоящее время на орбите находятся более 150 КА Dove (Голубь), всего же с 2013 года запускалось более 300 КА, из-за аварий ракет-носителей выведено на орбиту более 270 КА, из которых 40% уже сошло с орбиты. Наземная инфраструктура системы представляет собой 12 площадок со станциями на разных континентах; управление осуществляется в УКВ- и S-диапазонах, прием изображения — в X-диапазоне в объеме до 6 Тбайт ежедневно.

Конструктивно аппарат представляет собой CubeSat с формфактором 3U массой 5 кг, со сроком активного существования 3 года; реализуется идея планшетного построения, резервирования не предполагается — есть избыточность по построению, испытания КА проводятся в космосе, и широко используются «наземные» решения для отработки из опыта автомобильной и электронной промышленности, а также по критерию цена/качество выбор сделан в пользу коммерческой электроники.

Перспективные разработки — например система OneWeb, имеющая целью массовое распространение космических интернет-технологий для 1 млрд абонентов, предполагает развертывание орбитальной группировки до 2000 КА на разных высотах: 720 — на низких орбитах (1200 км), 1280 — на средней орбите, — поставят вопрос управления КС еще более остро. При этом обе системы предполагают реализацию кластерного вывода МКА на орбиту, например, в 2017 году осуществлен кластерный запуск 88 МКА типа Dove.

#### 6. Не проработаны вопросы создания МКА.

Массовое серийное производство требует отработанных технологий, например формфактора CubeSat, а также определения требований к созданию и производству МКА. В связи с этим целесообразно:

- разработать отечественную технологию модульного конструирования МКА различных типов (по аналогии с формфактором CubeSat), например на базе апробированного формата ТНС-0 [5];
- установить комплексную систему требований (РКД) по созданию МКА двухоснов-

ных типов: профессиональных, в соответствии с существующими документами и ГОСТ (например, РК-11), разрабатываемых, как правило, предприятиями РКП и оснащенных целевой аппаратурой в интересах заказчика, и любительских МКА, разрабатываемых, как правило, отдельными вузами, исследовательскими коллективами, предприятиями РКП, ориентированных прежде всего на образовательные и исследовательские задачи;

- разработать систему наземных испытаний для МКА, имитирующих условия космического полета.

По-видимому, следует обратить внимание на реализацию новых перспективных технологий создания ЭКБ — переход от «системы на кристалле» к технологиям «системы в корпусе» [8]. Такие технологии позволяют обеспечить миниатюризацию изделия, при одновременном увеличении функциональности и снижении энергопотребления, а также сократить цикл «разработка–выпуск» до нескольких недель

#### 7. Не решены организационные вопросы создания творческих коллективов по разработке МКА.

Производство отдельных МКА для крупных предприятий отечественной РКП по большей части невыгодно и ввиду отсутствия заказчика пока не представляет большого интереса. Отдельные исследовательские успехи есть результат настойчивости дальновидных руководителей (например, АО «Российские космические системы», АО «ИСС им. академика М.Ф. Решетнева» и т. д.).

Целесообразно учесть мировой опыт, свидетельствующий об эффективности так называемых стартапов при решении инновационных задач. В этом случае возможно создание исследовательских подразделений при крупных предприятиях с перспективой их последующего расширения и возможностью использования производственной базы предприятия, а также опыта специалистов. Следует отметить, что в настоящее время с структуре АО «Российские космические системы» создан Центр параллельного проектирования, работающий над проектом спутниковой системы глобальной связи. Важно, чтобы указанное подразделение

обладало бы техническими возможностями реализации технологий параллельного проектирования в виде специализированных программных комплексов типа STK (System Tool Kit), аналоги которых разрабатываются в настоящее время в «Сколково» и АО «ЦНИИмаш».

8. *Отсутствуют технологии разработки космических систем на основе малоразмерных космических аппаратов*

Развитие технологий создания МКА и имеющийся опыт создания и целевого применения многоспутниковых ОГ различного назначения позволяет перейти к практической реализации технологий системного проектирования КС на базе МКА.

Такие технологии должны обеспечивать сквозное проектирование к КС с учетом: заказчика КС; целевого предназначения системы; главного конструктора КС; параметров ОГ МКА, обеспечивающей необходимые целевые показатели функционирования системы; предполагаемых средств выведения и РКК в целом, обеспечивающего гарантированный доступ в космическое пространство; средств НСК, обладающего необходимой производительностью и пропускной способностью для реализации целевого предназначения системы; средств НКУ, обеспечивающего необходимый уровень глобальности, непрерывности и оперативности управления как ОГ в целом, так и отдельными МКА; способов утилизации МКА после окончания активного функционирования; возможностей промышленности по созданию МКА заданного типа и серийности их производства.

Проведенный анализ нормативных документов в области создания космических систем показал, что в настоящее время отсутствуют ГОСТ и другие нормативные документы, жестко регламентирующие указанные вопросы, что, с одной стороны, предоставляет разработчикам определенную свободу, но, с другой — предъявляет повышенные требования к уровню навыков системного мышления.

## Выводы

Рассмотренные в настоящей статье проблемные вопросы системного проектирования многоспутниковых ОГ на базе МКА позволяют сделать следующие выводы.

Разработка и реализация проектов многоспутниковых орбитальных группировок на базе МКА требует как широкой кооперации участников, так и методологического обеспечения, основанного на системном подходе и технологиях параллельного проектирования.

Целесообразно сместить акцент от разработки отдельных элементов системы, в частности, облика отдельного МКА, к разработке облика перспективных КС на их основе, от управления отдельными МКА к управлению целевым эффектом системы.

В основе всех принимаемых решений должно лежать убеждение в необходимости главного — создания отечественной индустрии малоразмерного спутникоостроения.

## Список литературы

1. Концепция создания и применения малоразмерных космических аппаратов. <https://www.roscosmos.ru/23836/> (Дата обращения 03.07.2019).
2. Романов А.А., Тюлин А.Е. Шестой технологический уклад в космическом приборостроении // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы, 2017, т. 4, вып. 4. С. 64–82.
3. Урличич Ю.М. Высокоинформативные системы связи и вещания HTS и LEO/МЕО-HTS: бумажные проекты или прорывное направление космической индустрии // Технологии и средства связи, 2016, № 6–2. С. 44–48.
4. Эйдус А.Г. Анализ действующих негеостационарных спутниковых систем на рынке M2M/IoT и оценка коммерческой перспективности планируемых многоспутниковых систем // Технологии и средства связи, 2017, № 6–2. С. 20–27.
5. Селиванов А.С. Разработка и летные испытания первого российского технологического наноспутника ТНС-0 № 1 // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы, 2015, т. 2, вып. 2. С. 74–90.
6. ГОСТ 53802-2010. Системы и комплексы космические. Термины и определения
7. Потюпкин А.Ю., Данилин Н.С., Селиванов А.С. Кластеры малоразмерных космических аппаратов как новый тип космических объектов // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы, 2017, т. 4, вып. 4. С. 45–56.
8. Данилин Н.С. Системная микроминиатюризация и малые спутники. М.: ИД «Спектр», 2013. 55 с.