

УДК 629.78

## Кластеры малоразмерных космических аппаратов как новый тип космических объектов

**А. Ю. Потюпкин**, д. т. н., профессор, [fotin853@mail.ru](mailto:fotin853@mail.ru)

АО «Российские космические системы», Москва, Российская Федерация

**Н. С. Данилин**, д. т. н., профессор, [n-danilin@rambler.ru](mailto:n-danilin@rambler.ru)

АО «Российские космические системы», Москва, Российская Федерация

**А. С. Селиванов**, д. т. н., [selivanov@spacecorp.ru](mailto:selivanov@spacecorp.ru)

АО «Российские космические системы», Москва, Российская Федерация

**Аннотация.** Рассматривается задача организации функционирования нового типа космических объектов — кластеров малоразмерных КА. Под кластером понимается совокупность КА различного целевого назначения, не только совместно выполняющих общую задачу, но и управляемых как единый космический объект и воспринимаемых потребителем как единое целое. Управление таким объектом предполагает внесение изменений в содержание технологического цикла управления.

В статье предложена модель кластера в виде иерархической структуры и рассмотрены подходы к построению алгоритма его функционирования на основе совокупности специализированных системных и индивидуальных режимов работы его элементов, позволяющих разработать двухуровневую структуру технологического цикла управления кластером. Показаны новые задачи по видам обеспечения управления кластером малоразмерных КА. Приведены оценки баллистических сроков существования кластера КА и предложения по практической реализации группировок малоразмерных КА кластерного типа.

**Ключевые слова:** кластер, системный эффект, режим функционирования, технологический цикл управления

## Small Satellites Clusters — a New Type of Space Objects

**A. Yu. Potyupkin**, Dr. Sci. (Engineering), Prof., [fotin853@mail.ru](mailto:fotin853@mail.ru)

Joint Stock Company “Russian Space Systems”, Moscow, Russian Federation

**N. S. Danilin**, Dr. Sci. (Engineering), Prof., [n-danilin@rambler.ru](mailto:n-danilin@rambler.ru)

Joint Stock Company “Russian Space Systems”, Moscow, Russian Federation

**A. S. Selivanov**, Dr. Sci. (Engineering), [selivanov@spacecorp.ru](mailto:selivanov@spacecorp.ru)

Joint Stock Company “Russian Space Systems”, Moscow, Russian Federation

**Abstract.** A problem of functioning of a new type of space objects — small spacecraft clusters is considered in the paper. A cluster is a set of spacecraft with different purposes, not only performing a common task but also being controlled as a united space object and understood as a single whole by a customer. The control process of such an object involves modifications of a technological control cycle.

The article offers a cluster model as a hierarchical structure and considers the approaches to its functioning algorithm based on a set of specialized system and individual operation modes of its elements, which allows one to develop a two-level structure of the technological cycle of a cluster control. The new tasks of the spacecraft cluster control are shown. The estimations of the ballistic service life of a spacecraft cluster and proposals for practical implementation of small spacecraft constellations of a cluster type are presented in this paper.

**Keywords:** cluster, system effect, operation mode, technological control cycle

Анализ современного состояния космической деятельности технологически развитых государств свидетельствует о возрастании интереса к разработке космических систем на основе малоразмерных КА (МКА), создание которых является естественным шагом в развитии мирового спутнико-строения. Среди основных тенденций развития таких систем можно выделить синтез многоспутниковых космических систем ДЗЗ, связи, а также разработку нового типа космического объекта — т. н. кластера (в англоязычной терминологии «роя») МКА, функционирующего как единый «виртуальный КА» [1, 2].

Вопросы целевого применения совместно функционирующих групп МКА достаточно подробно рассмотрены в специальной литературе и являются постоянным объектом интереса на конференциях различного уровня, посвященным тематике МКА [1, 3]. Среди возможных областей применения выделяют следующие:

- оперативный мониторинг ДЗЗ;
- комплексный мониторинг путем совместного использования различной целевой аппаратуры;
- оперативный радио и радиотехнический мониторинг;
- мобильная связь;
- создание низкоорбитального сегмента космической навигационной системы;
- создание локального информационного поля (в зависимости от специальной аппаратуры);
- научные и образовательные приложения.

Общепризнано, что МКА открывают широкие возможности по синтезу космических систем, обладающих новыми качественными возможностями, обусловленными системными свойствами кластеров. Например, для космических систем дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) возможна реализация следующих системных эффектов [4]:

1. Многопозиционность, многодиапазонность и одновременность наблюдения объекта с нескольких МКА, обеспечение эффекта стереосъемки.

2. Возможность комплексирования информации, получаемой от разнородных бортовых комплексов специальной аппаратуры МКА, приводящая к повышению информативности наблюдения.

3. Обеспечение непрерывности наблюдения за счет возможности «передачи эстафеты» наблюдения последовательно входящим в зону видимости объекта другим МКА орбитальной группировки.

Однако для реализации указанных эффектов МКА должны совместно функционировать в составе целевых подсистем орбитальной группировки, получивших в специальной литературе наименование кластеров МКА. Следует отметить, что общепринятого понятия кластера МКА в настоящее время не существует. Как правило, к кластерам относят группы совместно функционирующих КА. Такое упрощенное понимание кластера не позволяет рассматривать его как новый тип искусственного космического объекта, обладающий качественно новыми свойствами по отношению к существующим типам — отдельным КА и орбитальным группировкам. Поэтому в настоящей статье под кластером будем понимать совокупность КА различного целевого назначения, не только совместно выполняющих общую задачу и воспринимаемых потребителем как единое целое, но и управляемых как единый космический объект.

Отличительными особенностями такого кластера являются:

- реализация системного эффекта эмерджентности, приводящего к повышению эффективности группировки;
- пространственно-временная локализация элементов кластера;
- восприятие потребителем кластера как единого многофункционального «виртуального» аппарата.

Следует учитывать, что независимо от целевой аппаратуры эффективность применения кластера МКА во многом определяется качеством решения задачи управления кластером МКА как новым космическим объектом.

## Общая постановка задачи

Общее решение задачи управления кластером МКА возможно путем решения ряда частных задач:

1. Разработки модели кластера МКА как объекта управления, что предполагает определение

структуры кластера, его внутренних и внешних связей, а также разработку модели функционирования кластера.

2. Разработки структуры и содержания типового технологического цикла управления (ТЦУ) при управлении новым космическим объектом.

3. Определения содержания новых задач по видам обеспечения: командно-программного (КПО), информационно-телеметрического (ИТО), навигационно-баллистического (НБО) и частотно-временного (ЧВО).

При этом необходимо учитывать следующие ограничения:

- ввиду малых размеров и масс МКА неизбежны энергоресурсные ограничения, сказывающиеся на возможностях оснащения КА специальной и обеспечивающей аппаратурой;

- необходимость обеспечения продолжительного срока существования кластера как единого космического объекта предполагает, например, задание примерно равных баллистических коэффициентов МКА;

- управление кластером КА целесообразно осуществлять с использованием существующих комплексов управления, в частности для отечественных КА это означает, что необходимо учитывать возможности НАКУ КА.

## Решение задачи

Анализ возможных вариантов структур кластера МКА с учетом указанных ограничений приводит к необходимости распределения полезной нагрузки между отдельными МКА кластера. Это касается и целевой аппаратуры, и средств связи и передачи данных в радиолиниях «борт-Земля», «борт-спутник-ретранслятор», в связи с чем возникает необходимость в разработке новых технологий управления отдельными МКА кластера, не имеющими аппаратуры связи «борт-Земля». Следует отметить, что целесообразность подобного подхода подтверждается и известными проектами создания кластеров МКА, например SystemF6 (DARPA, США) [5].

На рис. 1 приведен пример возможного облика кластера разнородных МКА системы ДЗЗ, функционирующих как один многофункциональный

пространственно распределенный КА, обладающий специальной аппаратурой различного назначения.

Рассмотрим структуру и особенности функционирования кластера МКА. Предполагается, что в состав кластера входят следующие элементы:

1. МКА-«датчики», оснащенные специальной аппаратурой для выполнения задач ДЗЗ в интересах потребителя.

2. Управляющий МКА-«лидер», обеспечивающий взаимодействие с наземным контуром управления (НКУ) и потребителем и осуществляющий распределение задач между МКА-«датчиками», организацию их выполнения, контроль функционирования и технического состояния кластера в целом.

3. 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 могут находиться в отношении подчинения «лидеру» кластера. В этом случае особенностью структуры кластера является введение дополнительного управляющего элемента — МКА-«лидера», которому делегируется часть полномочий НКУ, в связи с чем реализация части ТЦУ таким объектом, как кластер МКА, будет возложена на МКА-«лидер».

Предполагается, что функционирование кластера будет происходить следующим образом. Потребитель через НКУ формулирует задачу мониторинга интересующего объекта для «лидера» кластера. При этом применяется координатно-временной, а в перспективе и ситуационный метод управления. При формулировке задачи используется правило «не вижу, так слышу; не слышу, так чувствую», то есть принцип обеспечения достаточного количества информации об объекте путем целенаправленного управления всеми видами специальной аппаратуры кластера. МКА-«лидер» в свою очередь проводит анализ исходных данных задачи, оценку условий ее выполнения и анализ ресурсных возможностей кластера. Важно отметить, что при анализе исходных данных задачи лидер первоначально оценивает возможность реализации прикладных эффектов, после чего распределяет задачу по ее составляющим для МКА-«датчиков» с указанием конкретных исходных данных для каждого из них: целеуказаний, времени включения

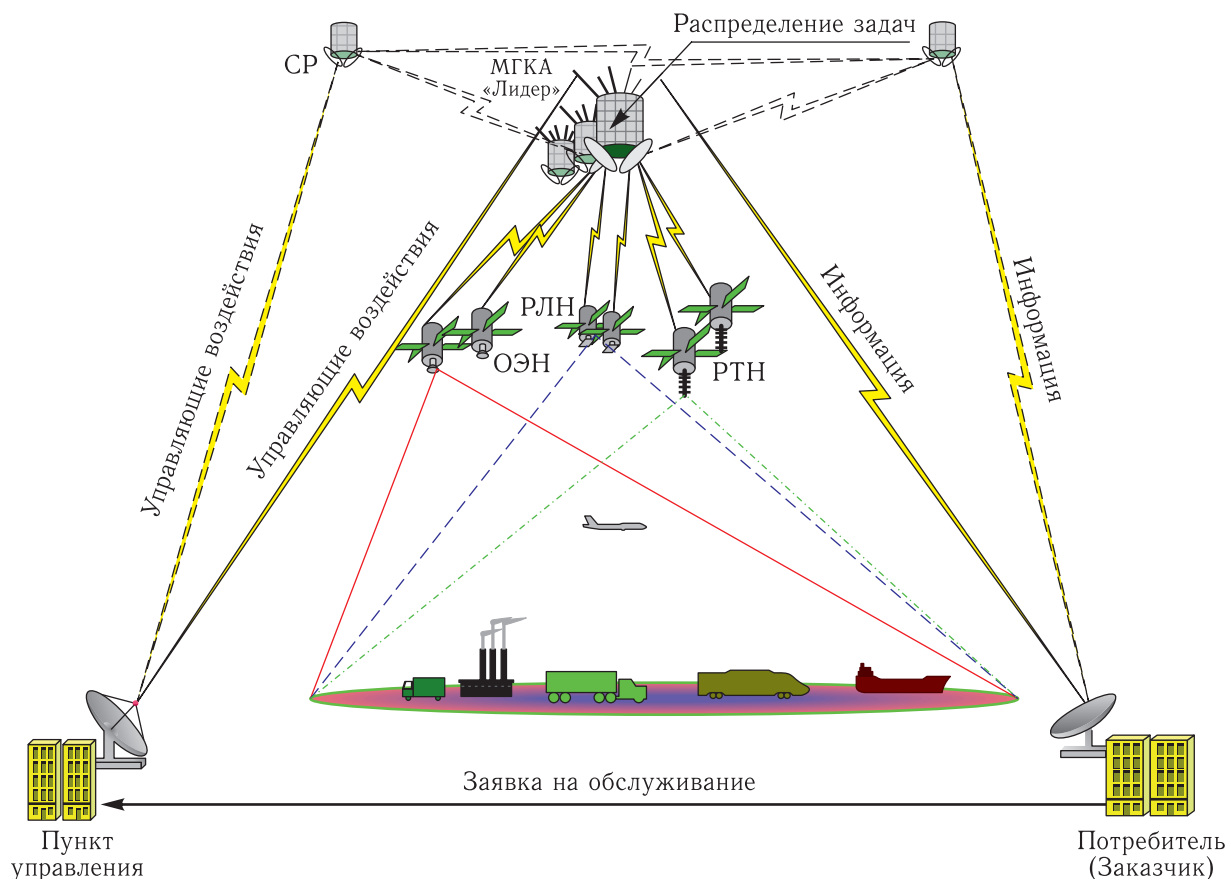


Рис. 1. Облик кластера разнородных МКА для решения задач ДЗЗ

специальной аппаратуры, режимов работы и т. д. Так, для реализации стереоэффекта выбираются именно те МКА, орбитальное положение которых обеспечивает требуемое угловое положение между ними. Реализация эффекта непрерывности наблюдения требует выбора именно тех МКА, которые обеспечивают передачу эстафеты наблюдения.

Интересно, что такой подход позволяет использовать существующие технологии управления КА для управления целыми кластерами, что особенно актуально ввиду ограниченной пропускной способности НАКУ. 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 путем управления ресурсами системы в целом, а не отдельных КА. Отсутствие мощных инфор-

мационных технологий по управлению многочисленной группировкой и по обработке сверхбольших объемов распределенной информации сведет на нет эффективность применения новейших технологий при построении новых МКА. Вследствие этого целесообразно создавать распределенные системы управления с делегированием части полномочий отдельным элементам системы. При этом структура системы управления может быть как традиционной — иерархической, так и сетевой, в зависимости от управляемого объекта и решаемых задач.

Для разработки модели функционирования кластера МКА целесообразно воспользоваться известными наработками в области построения моделей функционирования сложных высокодинамичных КА ДЗЗ [6]. В этом случае для выполнения задач управления существует инструментарий в виде управляющих программ БКУ или т. н. «функциональных режимов», организующих взаимосвязанное включение необходимых для выполнения

режимов элементов бортовой аппаратуры, сбор и «упаковку» контрольной информации о выполнении функциональной задачи. Каждый из режимов в свою очередь состоит из ряда алгоритмов и отдельных операций, протекающих на борту КА.

На сегодняшний день, например, для КА зондирования земной поверхности предусмотрены следующие режимы функционирования: первоначальной ориентации; работы аппаратуры зондирования; совершения маневра; управления при обнаружении неисправностей; автономных навигационных измерений; доставки информации зондирования на Землю, и весь процесс функционирования КА ДЗЗ может быть представлен последовательностью указанных режимов. При этом объекты постоянно находятся в одном из предусмотренных для них режимов функционирования.

Исходя из этого, примем, что модель функционирования кластера МКА также будет представлять собой упорядоченный кортеж режимов, частных алгоритмов и отдельных операций.

Учитывая двухуровневую организацию управления кластером МКА, можно сделать вывод, что для организации функционирования кластера МКА целесообразно использовать два вида режимов: системные, как режимы более высокого уровня, и индивидуальные. При этом режимы разных уровней могут выполняться как одновременно, так и по отдельности. Следует отметить, что индивидуальные режимы по своему содержанию будут в основном сходны с известными и отличаться лишь спецификой МКА-«лидера» или «ведомого». В связи с этим целесообразно обратить внимание на содержание новых системных режимов. Анализ задач, выполняемых кластером МКА, показал, что необходимо ввести следующие новые режимы функционирования:

- режим первоначальной ориентации и формирования исходной структуры кластера МКА;
- дежурный режим;
- режим формирования рабочей структуры кластера МКА.

Рассмотрим их содержание. Режим первоначальной ориентации и формирования исходной структуры кластера МКА имеет целью формирование исходной структуры кластера МКА после вывода его на орбиту (см. рис. 2).

Основная задача дежурного режима будет заключаться в поддержании готовности кластера выполнить целевую задачу. Этапы работы дежурного режима представлены на рис. 3.

Режим формирования рабочей структуры кластера МКА является ключевым, так как при выполнении этого режима формируется рабочая группа из элементов системы (с учетом технического состояния и конструктивных особенностей МКА), способных выполнить задачу мониторинга с требуемыми показателями (рис. 4).

Таким образом, общая модель кластера МКА будет представлять собой иерархическую структуру «лидер»–«ведомые», реализующую в процессе функционирования упорядоченную последовательность системных и индивидуальных режимов, выполняемых как «лидером» кластера, так и ведомыми МКА. На рис. 5 приведен пример процесса функционирования кластера МКА и выполняемых режимов и операций.

Следующий шаг в решении общей задачи управления — разработка содержания ТЦУ, под которым будем понимать совокупность решения задач управления КА, обеспечивающую реализацию его целевого предназначения.

Структура типового ТЦУ при управлении космическим объектом включает в себя совместное решение задач командно-программного (КПО), информационно-телеметрического (ИТО), навигационно-баллистического (НБО) и частотно-временного обеспечения (ЧВО). Реализация ТЦУ включает выполнение следующих операций управления: закладки рабочих и временных программ на КА; проведения измерений текущих навигационных параметров КА средствами НКУ; съема информации обобщенного контроля с КА по радиолинии командно-измерительных систем; проведения сверки бортовой и единой шкал времени; съема телеметрической информации и других операций, определяемых спецификой управляемого объекта. При этом часть задач КПО, связанная с планированием работы орбитальных средств, осуществляется заблаговременно в пунктах управления НКУ. Следует отметить, что задачи КПО, ИТО, НБО и ЧВО являются достаточно хорошо отработанными при управлении одиночными объектами, а в ряде случаев, например для системы ГЛОНАСС, и для группового объекта.



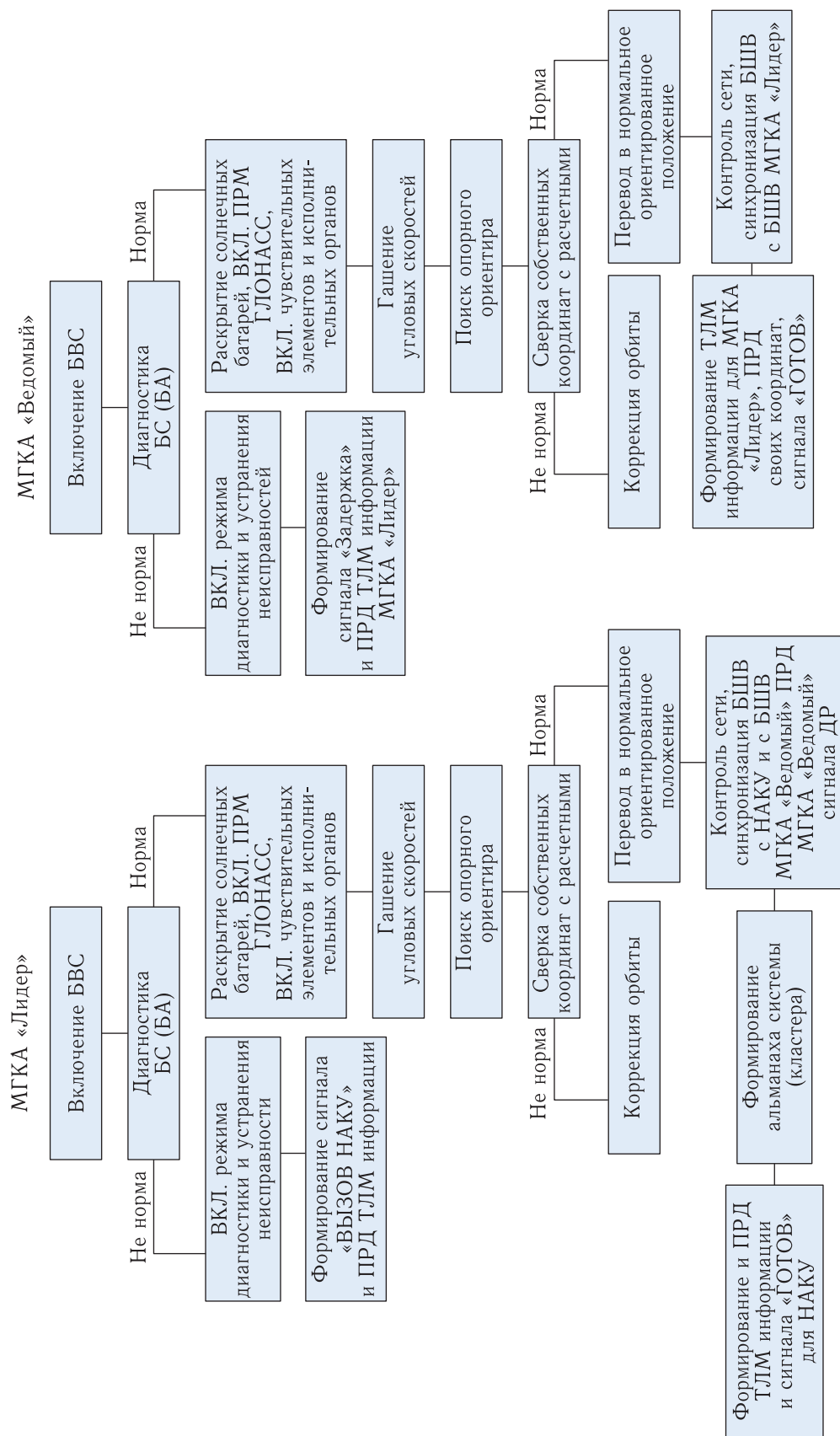


Рис. 2. Режим первоначальной ориентации и формирования исходной структуры кластера МКА

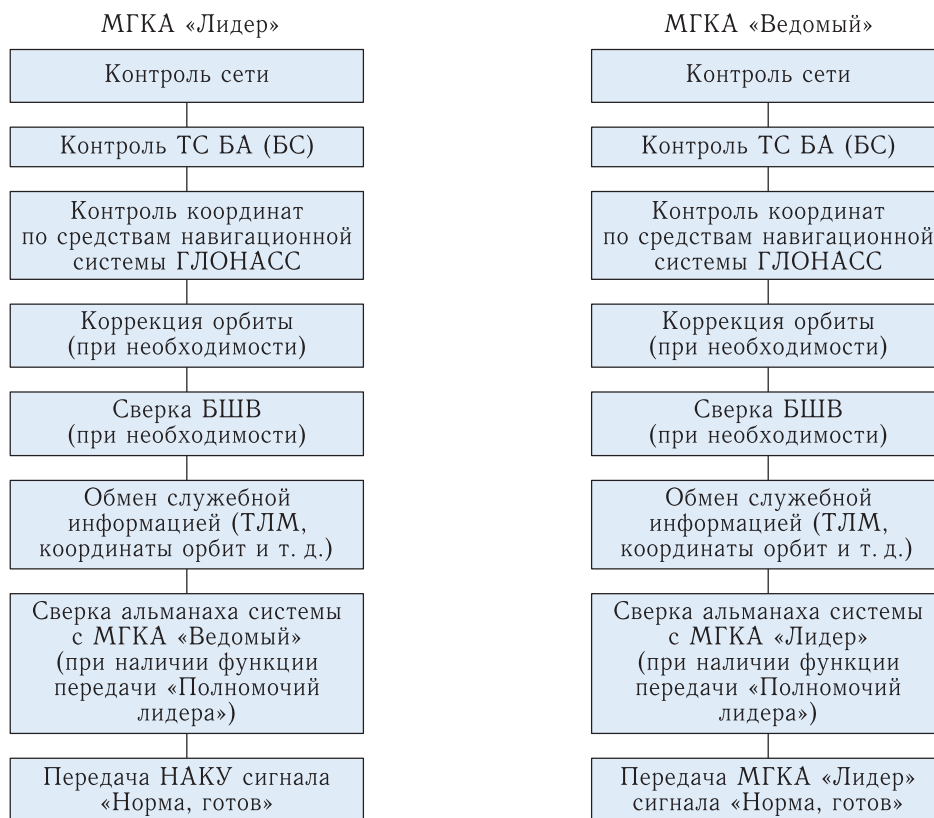


Рис. 3. Дежурный режим функционирования кластера МКА

В случае управления кластером МКА наличие дополнительного управляющего звена позволяет организовать двухуровневую систему управления, состоящую из 1-го уровня Земля–кластер (МКА-«лидер») и 2-го внутрикластерного уровня «лидер»–«ведомые». При этом и структура ТЦУ также окажется двухуровневой.

Представляется, что ТЦУ 1-го уровня должен быть построен на основе известных технологий управления КА, предполагающих автономное (без участия НКУ) поддержание работоспособности КА на заданном уровне путем автоматической диагностики состояния и восстановление работоспособности систем КА с помощью БКУ; автономное поддержание заданных параметров орбиты КА и обеспечение сверки и коррекции бортовой шкалы времени (БШВ) путем применения на борту КА НАП КНС ГЛОНАСС/GPS и автономного решения в БКУ задач НБО; обеспечение непрерывности и глобальности управления КА путем использования ретрансляционных режимов обмена информацией НКУ с КА через спутники-ретрансляторы,

включенные в контур управления; повышение автономности решения целевых задач КА ДЗЗ путем использования координатного метода управления целевым применением КА ДЗЗ и автономного формирования в БКУ программ работы БС КА во время съемки; обеспечение оперативного контроля состояния КА в ЦУПе без привлечения средств НКУ на этапе штатной эксплуатации путем совмещения в одном радиоканале передачи целевой и контрольной информации с КА; повышение автономности функционирования КА путем формирования на КА и передача в НКУ сигнала «Вызов НКУ» при возникновении на борту нештатной ситуации.

Конкретное содержание ТЦУ 2-го уровня будет определяться особенностями кластера МКА как объекта управления, среди которых можно выделить следующие:

- необходимость пространственной и временной координации действий МКА в кластере для реализации прикладных эффектов;
- наличие в составе кластера дополнительно управляющего звена — МКА-«лидера»;

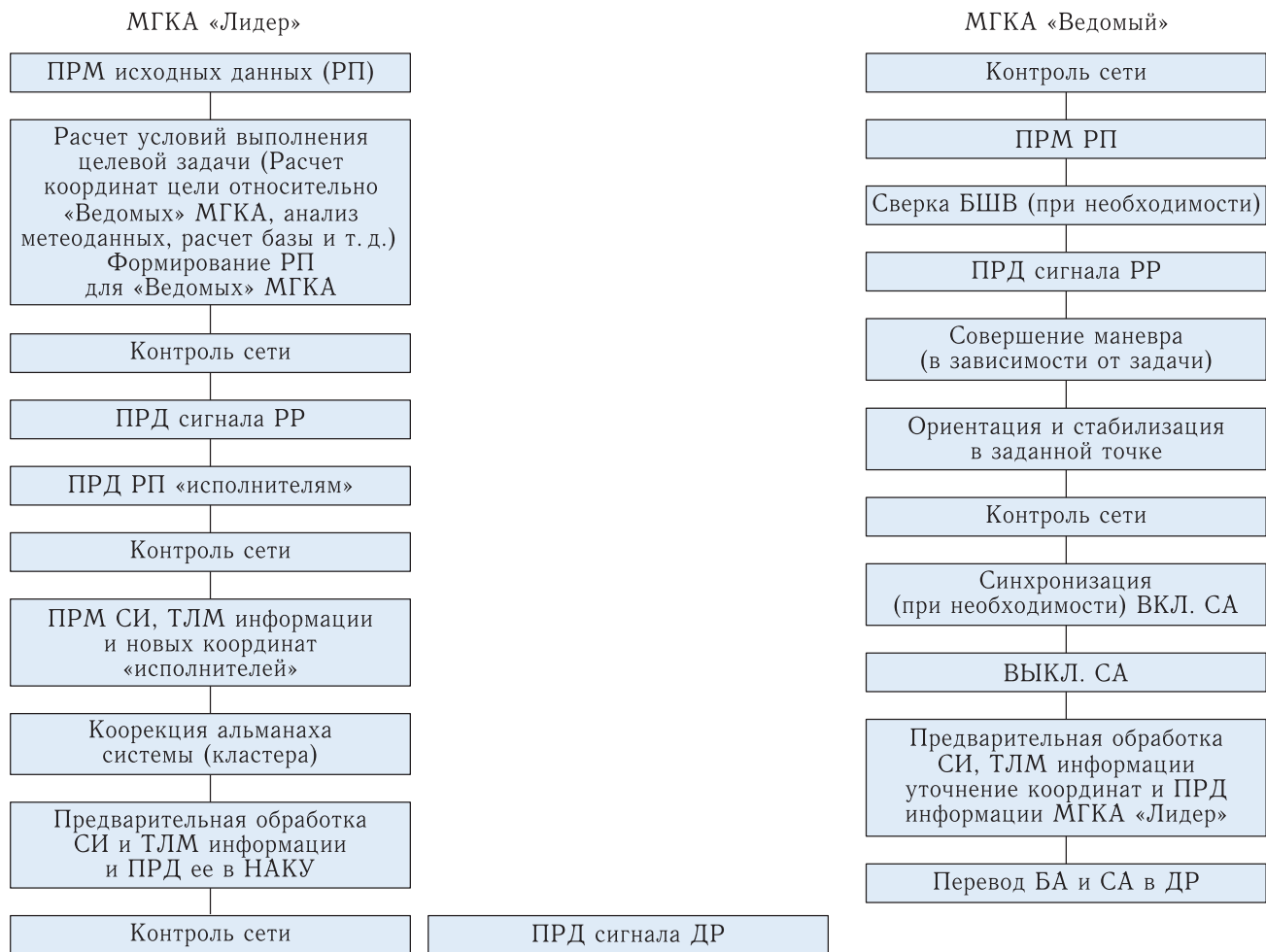


Рис. 4. Режим формирования рабочей структуры кластера МКА

– кластер МКА представляет собой локальную телекоммуникационную систему, оснащенную оконечными устройствами и сетью БЦВМ, изменяющую свое местоположение во времени и пространстве.

Это подразумевает появление новых задач по видам обеспечения (см. табл. 1) и их решение.

В частности, возникают задачи поддержания целостности системы: управление конфигурацией, прогнозирование баллистического существования кластера как единого целого, оценка состояния кластера в целом, поддержание групповой шкалы времени кластера. Следует отметить, что современная практика управления многоспутниковыми группировками позволяет предложить и эффективный способ представления системных данных — это формирование т. н. «аль-

манаха системы», примерный состав которого приведен в табл. 2.

Наряду с общесистемными задачами поддержания целостности кластера, требуется решение задач обеспечения реализации прикладных эффектов. Например, реализация эффекта стереосъемки предполагает решение следующих задач: назначение МКА для съемки, т. е. определение рабочей структуры; расчет базы для получения высокого качества изображения; определение требований по точности движения центра масс каждого МКА, ориентации и синхронизации взаимной работы; контроль состояния каждого МКА и линий связи между ними; выполнение съемки; контроль работы специальной аппаратуры; передачи информации на МКА-«лидер» и ее обработки; контроль качества результата.



Кластер	Режимы функционирования кластера и содержание их алгоритмов								
	Режимы формирования кластера			Дежурный режим			Рабочий режим		
МГКА «Лидер»	ВКЛ. БВС	ПО	КС	КС	ДБС	ФТЛМ НАКУ	КС	ПРМ СИ и ТЛМ	КАС
	АН	КО	КАС	АН	СБШВ	ПРМ ИД	ПО СИ и ТЛМ	ПРД СИ и ТЛМ в НАКУ	ДР
	СБШВ	ФС ДР	ФТЛМ НАКУ	РВЗ	ФС РР	ПРД РП «исполни- телям»			
МГКА «Ведомый»	ВКЛ. БВС	ПО	КС	КС	ДБС	ФТЛМ «Лидер»	КО	ОС	ВКЛ. СА
	АН	КО	ФТЛМ «Лидер»	АН	СБШВ	ПРМ РП	ВЫКЛ. СА	ПО СИ	КС
	СБШВ						ПРД. СИ и ТЛМ «Лидер»	ДР	

*Примечание.* ВКЛ. БВС — включение бортовой вычислительной сети, ПО — первоначальная ориентация, АН — автономная навигация, КО — коррекция орбиты, КС — контроль сети, ФТЛМ — формирование телеметрической информации, КАС — коррекция альманаха системы, СБШВ — сверка бортовой шкалы времени, ФС ДР — формирование сигнала «Дежурный режим», ДБС — диагностика бортовых систем, ПРМ ИД — прием исходных данных, РВЗ — расчет выполнения задачи элементами системы, ФС РР — формирование сигнала «рабочий режим», ПРД РП — передача рабочей программы «исполнителям», ОС — ориентация и стабилизация, ПО СИ — предварительная обработка специальной информации

Рис. 5. Пример процесса функционирования кластера МКА и выполняемых режимов и операций

Таблица 1. Задачи по видам обеспечения для реализации прикладных эффектов кластера МКА

Виды обеспечения			
КПО	НБО	ИТО	ЧВО
Выдача исходных данных для формирования рабочей структуры. Управление конфигурацией системы. Решение задач маршрутизации передачи служебной и специальной информации. Формирование и поддержание альманаха системы	Расчет и прогнозирование движения ЦМ каждого МКА. Расчет и поддержание баз в установленных пределах. Прогнозирование баллистического существования кластера	Контроль состояния и функционирования каждого элемента. Контроль состояния линий связи. Оценка состояния кластера в целом. Оценка выполнения целевой задачи	Синхронизация и поддержание групповой ШВ кластера. Синхронизация БШВ на всех элементах системы

Таким образом, двухуровневая структура ТЦУ кластера МКА будет включать в себя как традиционные для управления КА задачи КПО, НБО, ИТО и ЧВО, так и новые задачи, конкретное содержание которых требует дальнейшего исследования и определяется техническим обликом кластера и составляющих его МКА. Следует отметить, что пред-

ставление кластера в виде сети ЭВМ, по-видимому, позволит использовать ряд наработок по управлению сетями ЭВМ на основе модели открытых систем.

Целесообразность реализации приведенных подходов обусловлена тем, что кластер МКА представляет собой долгоживущий космический

Таблица 2. Примерный состав альманаха кластера МКА

Номер по порядку	Наименование параметра
1	Календарный номер суток внутри периода
2	Литер несущей частоты
3	Условный номер МКА в кластере
4	Условный номер типа МКА в кластере
5	Поправка к среднему значению наклона орбиты МКА, рад
6	Поправка к среднему значению драконического периода обращения МКА, с
7	Аргумент перигея орбиты МКА, рад
8	Эксцентриситет орбиты МКА
9	Значение сдвига шкалы времени МКА относительно шкалы времени системы, с
10	Скорость изменения драконического периода обращения МКА
11	Прогнозная оценка времени баллистического существования кластера
12	Количество технически исправных МКА в кластере на текущий момент времени, усл. номера
13	Исходные данные расхода ресурса по типам МКА в соответствии с режимами функционирования
14	Таблица маршрутизации сообщений
15	Другие параметры

объект, срок существования которого может исчисляться от нескольких суток до нескольких лет. На рис. 6, 7 представлены результаты имитационного моделирования баллистической структуры кластера с целью оценки времени его существования без проведения коррекции орбиты. Условием существования кластера является наличие прямой видимости «лидер–ведомый». Моделирование проведено для начальных высот орбит лидера  $H = 400$  и  $500$  км и высот ведомых с  $H = H - i \cdot \Delta h$ , где  $i$  — номер ведомого,  $\Delta h$  — разность по высоте орбит, равная в первом случае  $50$  м, во втором —  $1000$  м. Высота ионосферы принималась равной  $120$  км.

Практическая реализация предложенных выше подходов по решению проблемных вопросов предполагает следующие шаги.

1. Разработку программно-алгоритмического обеспечения для реализации двухуровневого ТЦУ и создание летного кластера на базе МКА (минимальное число — 3 МКА), на основе опыта управления созданным в АО «РКС» МКА ТНС-0 [7], с последующим испытанием двухуровневой систе-

мы управления «Земля ↔ КА-лидер ↔ КА-ведомые» с целью отработки структуры ТЦУ и решаемых задач, а также демонстрации системных эффектов в зависимости от целевой аппаратуры МКА. Такой кластер может быть оперативно создан по известной технологии CubeSat, при этом целесообразно рассмотреть предложенные в работе [8] сетевые технологии управления КА.

2. Разработку отечественной технологии модульного конструирования МКА по аналогии с технологией CubeSat на основе перспективной технологии создания ЭКБ — «системы в корпусе» (т.н. СвК), позволяющей обеспечить миниатюризацию изделия, при одновременном увеличении функциональности и снижении энергопотребления. При этом цикл «разработка–выпуск» значительно сокращается [9].

3. Целесообразность указанных шагов обусловлена также предполагаемым значительным увеличением в перспективе пусковых мощностей конверсионных ракетных комплексов, реализацией которых в настоящее время занимается компания

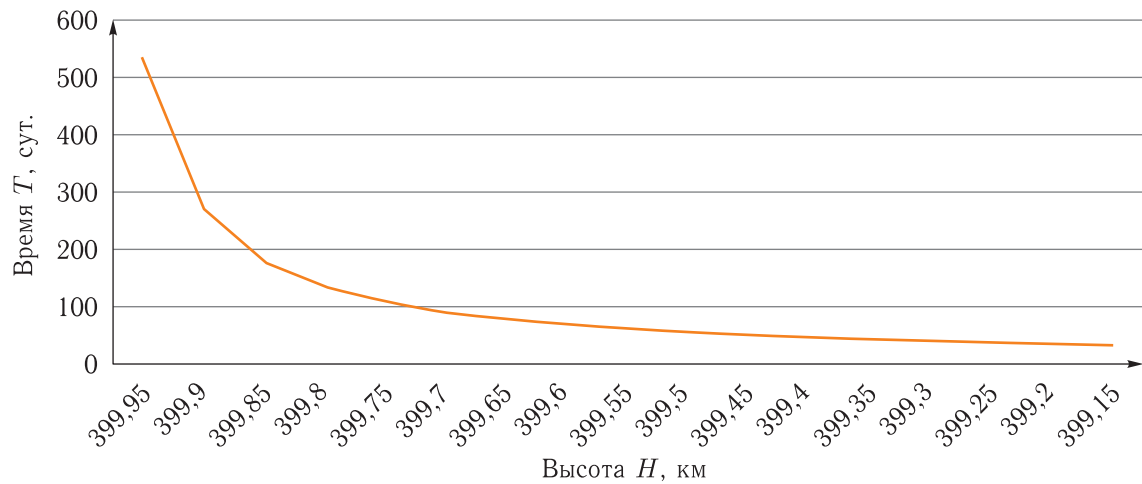


Рис. 6. Время баллистического существования кластера МКА при  $H = 400$  км,  $\Delta h = 50$  м

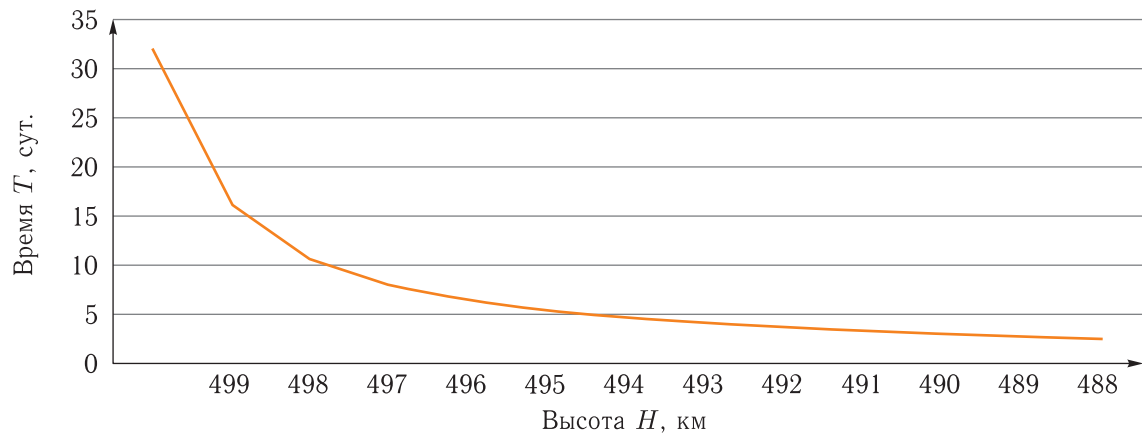


Рис. 7. Время баллистического существования кластера МКА при  $H = 500$  км,  $\Delta h = 1000$  м

«Космотрас», имеющая опыт кластерного запуска МКА (например, в 2013 г. — одновременный запуск 33 МКА). Успешная отработка технологий управления кластером МКА и технологий конструирования позволит перейти к разработке практически реализуемых орбитальных систем кластерного типа.

## Заключение

В настоящей статье намечены общие контуры организации функционирования кластеров МКА, предназначенных прежде всего для решения задач ДЗЗ. Предложена модель кластера в виде иерархической структуры и рассмотрены подходы к построению алгоритма его функционирования на основе совокупности специализированных системных

и индивидуальных режимов работы его элементов, позволяющего разработать двухуровневую структуру ТЦУ кластера как сложного иерархического объекта управления. Показаны новые задачи по видам обеспечения управления таким новым космическим объектом, как кластер МКА. Приведен примерный состав «альманаха кластера» как способа представления системных данных.

Определены направления дальнейших шагов по практической реализации предложенных подходов. Представляется, что основной задачей отечественных разработчиков МКА должно являться не простое повторение и копирование уже достигнутых в мировой космической отрасли результатов, но формирование опережающего задела по созданию технологий управления групповым объектом — кластером МКА как новым космическим объектом,

позволяющим либо решать в интересах потребителя качественно новые задачи, либо повысить эффективность решения уже известных задач.

## Список литературы

1. Малые космические аппараты информационного обеспечения / Под ред. В. Ф. Фатеева. М.: Радиотехника, 2010. 320 с.
2. Макриденко Л. А., Минаев И. В., Потюпкин А. Ю. Концептуальные особенности повышения целевой эффективности малых космических аппаратов дистанционного зондирования Земли // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ, 2014, т. 141, № 4. С. 17–22.
3. Кудрявцев Г. Г. На орбите малые искусственные спутники Земли «Интерспутника» // Труды Международной академии связи, 2001, № 1(17). С. 16–20.
4. Кукушкин С. С., Николаев Б. П., Потюпкин А. Ю. Методологические основы создания малогабаритных космических аппаратов и управления многоспутниковыми группировками. М.: Двойные технологии, 2008. № 2(43). С. 8–15.
5. Борисов А. От многоспутниковых систем — к системным спутникам // СПУТНИКС. М., 2013. <http://www.sputnix.ru/ru/analytics/item/296-ot-mnogosputnikovykh-sistem-k-sistemnym-sputnikam>, дата обращения: 31.10.2017.
6. Козлов Д. И., Аншаков Д. П., Агарков В. Ф. и др. Конструирование автоматических космических аппаратов / Под ред. Д. И. Козлова. М.: Машиностроение, 1996. 447 с.
7. 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.
8. Кисляков М. Ю., Логачев Н. С., Петушков А. М. Системно-технические аспекты развития НАКУ КА НСЭН и измерений до 2025 года // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы, 2016, т. 3, вып. 1. С. 62–71.
9. Данилин Н. С. Системная микроминиатюризация и малые спутники. М.: ИД «Спектр», 2013. 55 с.

## References

1. *Malye kosmicheskie apparaty informatsionnogo obespecheniya* [Small spacecraft of information support]. Ed. Fateev V. F. Moscow, Radiotekhnika, 2010, 320 p. (in Russian)

2. Makridenko L. A., Minaev I. V., Potyupkin A. Yu. Kontseptual'nye osobennosti povysheniya tselevoy effektivnosti mal'kh KA distantsionnogo zondirovaniya Zemli [Conceptual features of the increase in mission effectiveness of small spacecraft of Earth remote sensing]. *Voprosy elektromekhaniki. Trudy VNIIEEM* [Electromechanical matters. VNIIEEM studies]. 2014, Vol. 141, No. 4. pp. 17–22. (in Russian)
3. Kudryavtsev G. G. Na orbite malye ISZ "Intersputnika" [Small artificial Earth satellites of "Intersputnik" in orbit]. *Trudy Mezhdunarodnoy akademii svyazi* [Proceedings of International Telecommunication Academy]. 2001, No. 1 (17), pp. 16–20. (in Russian)
4. Kukushkin S. S., Nikolaev B. P., Potyupkin A. Yu. Metodologicheskie osnovy sozdaniya malogabaritnykh kosmicheskikh apparatov i upravleniya mnogosputnikovymi gruppировkami [Methodological fundamentals of small spacecraft development and control of multisatellite constellations]. *Dvoynye tekhnologii* [Double technologies]. Moscow, 2008, No. 2, pp. 8–15. (in Russian)
5. Borisov A. *Ot mnogosputnikovykh sistem — k sistemnym sputnikam* [From multisatellite systems to system satellites]. Available at: <http://www.sputnix.ru/ru/analytics/item/296-ot-mnogosputnikovykh-sistem-k-sistemnym-sputnikam> (accessed 31 October 2017). (in Russian)
6. *Konstruirovaniye avtomaticheskikh kosmicheskikh apparatov* [Design engineering of automated spacecraft]. Ed. Kozlov D. I. Moscow, Mashinostroenie, 1996, 447 p. (in Russian)
7. Selivanov A. S. Razrabotka i letnye ispytaniya pervogo rossiyskogo tekhnologicheskogo nanospjutnika TNS-0 No. 1 [Development and flight testing of first Russian technological nano-satellite TNC-0 No. 1]. *Raketno-kosmicheskoe priborostroenie i informatsionnye sistemy* [Rocket-Space Device Engineering and Information Systems]. 2015, Vol. 2, No. 2. pp. 74–90. (in Russian)
8. Kislyakov M. Yu., Logachev N. S., Petushkov A. M. Sistemno-tekhnicheskie aspekty razvitiya NAKU KA NSEN i izmereniy do 2025 goda [System and technical development aspects of the ground-based automated control complex for spacecraft and socioeconomic purposes and measurements until 2025]. *Raketno-kosmicheskoe priborostroenie i informatsionnye sistemy* [Rocket-Space Device Engineering and Information Systems]. 2016, Vol. 3, No. 1, pp. 62–71. (in Russian)
9. Danilin N. S. *Sistemnaya mikrominiaturizatsiya i malye sputniki* [System microminiaturization and small spacecraft]. Moscow, ID "Spektr", 2013, 55 p. (in Russian)