

## МЕТОДЫ МОРФОЛОГИЧЕСКОГО СИНТЕЗА НАЗЕМНО-КОСМИЧЕСКИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СЕТЕЙ В СОСТАВЕ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ КОМПЛЕКСОВ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

С. В. Васильев, О. Н. Герасимов, Н. А. Кащеев,  
В. С. Чаплинский, В. П. Буц

### *1. Способ обеспечения структурной устойчивости радиолиний, организованных в наземно-космическую информационную сеть*

Наземно-космическая информационная сеть (НКИС) при целевом применении многоспутниковых орбитальных группировок (ОГ) обеспечивает обмен информацией между узлами сети, образованными наземными станциями (НС) командно-измерительных систем (КИС) [1–3], бортовой аппаратурой (БА) КИС космических аппаратов (КА), входящих в состав различных КС; специализированными спутниками-ретрансляторами (СР) и СР на основе целевых КА.

Функционирование КА в сложные периоды требует решения комплексной проблемы обеспечения устойчивости информационно-управляющих комплексов [4–6]. ИУК при этом представляется унифицированной сложной системой, интегрирующей функции управления КА и обмена специальной информацией целевого назначения (ИЦН).

Ретрансляционный (сетевой) режим и использование на КА навигационной аппаратуры потребителя (НАП) космических навигационных систем (КНС) гарантировано обеспечивают широко востребованные однопунктные методы обмена информацией с КА, т.е. структурное решение проблемы создания и применения автономных региональных унифицированных (АРУ) ИУК, являющихся системообразующим наземным сегментом НКИС [7, 8]. Создание АРУ ИУК характеризуется также экономическим эффектом за счет сокращения наземного сегмента ИУК.

Важнейшей составляющей устойчивости ИУК является его *структурная устойчивость*, определяемая решением задач *морфологического синтеза* ИУК. Морфологический синтез предполагает обоснование направлений и возможности кардинальных изменений структуры системы (комплекса) с оценкой реализуемости ее характеристик в новом качестве и ожидаемого эффекта.

НКИС как объект исследования представляет собой систему, в которой реализована возможность обмена информацией с КА непосредственно или с ретрансляцией через узлы сети, а также между наземными абонентами, обменивающимися друг с другом сообщениями. НКИС представляется эффективной для многоспутниковых группировок КА. Минимальный состав полномасштабной сети оценивается несколькими десятками низкоорбитальных КА. Такая сеть может быть создана на основе МКА.

Благодаря множественности возможных маршрутов при развертывании сети реализация в НКИС стохастической для противника маршрутизации информации вынуждает его осуществлять радиоподавление межспутниковых радиолиний по всему пространству вокруг Земли, что представляется проблематичным. Очевидно, что увеличение количества узлов НКИС и использование нескольких частотных диапазонов расширяют частотно-пространственную неопределенность для противника и, с другой стороны, адаптационные возможности ИУК.

Актуальность решения такой проблемы очевидна.

Однако при проработке основных вопросов создания и применения НКИС [9] определились и *специфические проблемные технические вопросы*, которые заключаются в следующем:

– обеспечение вхождения в связь и поддержание линии визирования абонентов КА-КА баллистически неорганизованной орбитальной группировки (ОГ) в телесном угле  $4\pi$  в различных диапазонах частот, в том числе в перспективных ( $\sim 60$  ГГц и оптическом диапазоне);

– создание собственно многоспутниковой ОГ для организации НКИС, которая может быть реализована с использованием малых и микроКА (МКА) и не только в интересах самих МКА и их систем, но и с применением аппаратурно-программных комплексов целевых МКА в интересах других объектов телекоммуникационной системы.

## 2. Основные принципы построения и применения наземно-космических информационных сетей

Из всего многообразия способов организации функционирования НКИС выделяются следующие два основных:

– образование и удержание некоторой всеобщей информационной магистрали (ВМ), объединяющей все доступные узлы НКИС, по которой наземные и космические абоненты сети могут обмениваться информацией по определенным дисциплинирующим правилам практически без потерь времени на вхождение в связь;

– формирование по мере необходимости частных маршрутов (ЧМ) обмена информацией, которые после проведения сеансов связи могут не удерживаться.

Всеобщая магистраль может быть образована и успешно функционировать при использовании в составе сети в качестве узлов специализированных высокоорбитальных СР, высокоорбитальных КА, а также СР на низких орбитах.

НКИС на основе низкоорбитальных КА различного целевого назначения может создаваться в общем случае как баллистически неорганизованная структура, что обуславливает сопутствующую проблему вхождения в связь между КА. Баллистически организованные структуры представляют собой системы, в которых вопросы поиска, вхождения в связь и обмена информацией могут решаться технически проще.

Оценки показывают, что в НКИС на основе низкоорбитальных КА без необходимого состава постоянно функционирующих космических узлов, образующих ВМ, эффективно могут быть использованы только частные маршруты, поскольку время нахождения и удержания маршрута определяется в основном длительностью радиовидимости абонентов НКИС на маршрутах, которая может составлять единицы минут. Всеобщая магистраль в таких условиях только на основе низкоорбитальных целевых КА при современных характеристиках процессов вхождения в связь и требованиях по скорости обмена информацией может быть неэффективной.

Предложены следующие основные варианты организации НКИС для различных условий ее целевого применения.

2.1. Вариант беспойскового по угловым координатам вхождения в связь на основе комплекса малонаправленных антенн абонентов сети с баллистически неорганизованной структурой орбитальной группировки (рис. 1)



Рис. 1. Вариант беспойскового по угловым координатам вхождения в связь на основе комплекса малонаправленных антенн:

A – антенна; УВЧ – усилитель высокой частоты; ПРМ – приемник; ПРД – передатчик

Вариант основан на применении комплекса малоуправляемых антенн, охватывающих телесный угол  $4\pi$ , которые так или иначе должны быть в составе КА как антенны КИС, обеспечивающие управление КА в неориентированном полете.

Предложенный вариант обеспечивает входение в связь с КА по его излучению (вызову) без предварительных целеуказаний.

Однако при использовании такого практически беспойскового по угловым координатам антенного комплекса речь может идти о реализации только традиционных (для КИС) скоростей передачи информации (десятки и сотни бит/с) и применении сравнительно сложного по массогабаритным характеристикам сетевого оборудования для МКА.

Возможен тривиальный гипотетический вариант с применением двух приемопередатчиков и всенаправленных антенн в метровом диапазоне волн, который в настоящее время не имеет практического значения.

### 2.2. Вариант применения на КА системы остроуправляемых антенн

Установка на КА системы остроуправляемых антенн (ОА) перспективных диапазонов с широкими рабочими зонами должна учитывать целевые возможности и конструкцию КА.

В этом плане радикальным решением для баллистически неорганизованных структур может быть признано вынесение антенн от корпуса КА на некоторое расстояние. Один из вариантов такой системы предполагает наличие четырех ОА, расположенных перпендикулярно двум выдвижным штангам, или установки соответствующих *ориентированных модулей* (рис. 2), которые могут комплексоваться с КА по мере необходимости. Такой вариант требует целеуказаний для расчета маршрутов и наведения антенн.

Рабочая зона каждой антенны должна охватывать полусферу, что позволяет двумя противоположными антеннами (ОА 1, ОА 2 – ОА 3, ОА 4) обеспечить ретрансляцию информации из одной полусферы в другую, двумя соседними антеннами (ОА 1 – ОА 2 или ОА 3 – ОА 4) в пределах одной полусферы.

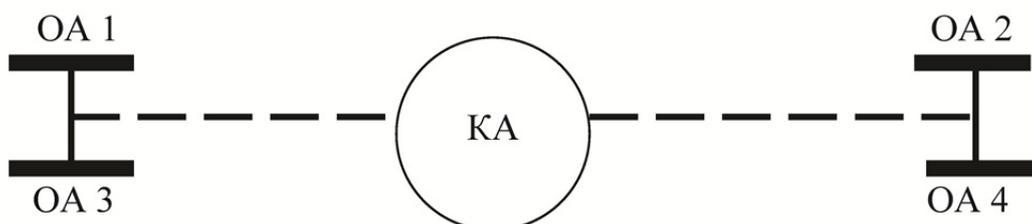


Рис. 2. Вариант установки на КА системы остроуправляемых антенн

Процесс входения в связь и проведения сеанса управления согласно этому варианту может осуществляться следующим образом. Источник информации (инициатор сеанса) рассчитывает маршрут передачи информации, осуществляет поиск соседнего на маршруте узла, который в это время должен функционировать в дежурном (ждущем) режиме приема сигнала. После входения в связь по традиционным (для КИС) алгоритмам источник «сообщает» соседнему узлу остаточный маршрут, получает от него квитанцию о приеме информации и переходит в режим ожидания квитанции от последнего на маршруте абонента. Получение последней квитанции свидетельствует о включении на всем маршруте режимов автосопровождения или программного сопровождения по текущим параметрам. После проведения сеанса связи маршрут может не удерживаться.

Работа в таком режиме выдвигает задачу поддержания баллистических данных о всей ОГ (альманаха сети) в узлах НКИС.

### 2.3. Вариант совмещения режимов управления КА и обмена сообщениями между наземными абонентами

Вариант реализован при обмене банковскими сообщениями (рис. 3) [10].

Алгоритм функционирования НКИС и абонентской аппаратуры (АА) в режиме обмена сообщениями представляется следующим образом.

Исходные состояния:

1. Все приемники АА постоянно находятся в дежурном режиме на частотах обратного канала КИС в ожидании сообщения (квитанции), которое может поступить от какого-либо КА, или

специального сигнала типа «маяк», информирующего абонентов о готовности КА принимать сообщения.

2. Бортовая аппаратура в промежутках времени между обеспечением сеансов управления КА или обмена сообщениями переходит в режим передачи сигнала «маяк» о готовности принимать сообщения от наземных абонентов. Приемник БА КИС при этом функционирует в дежурном режиме.

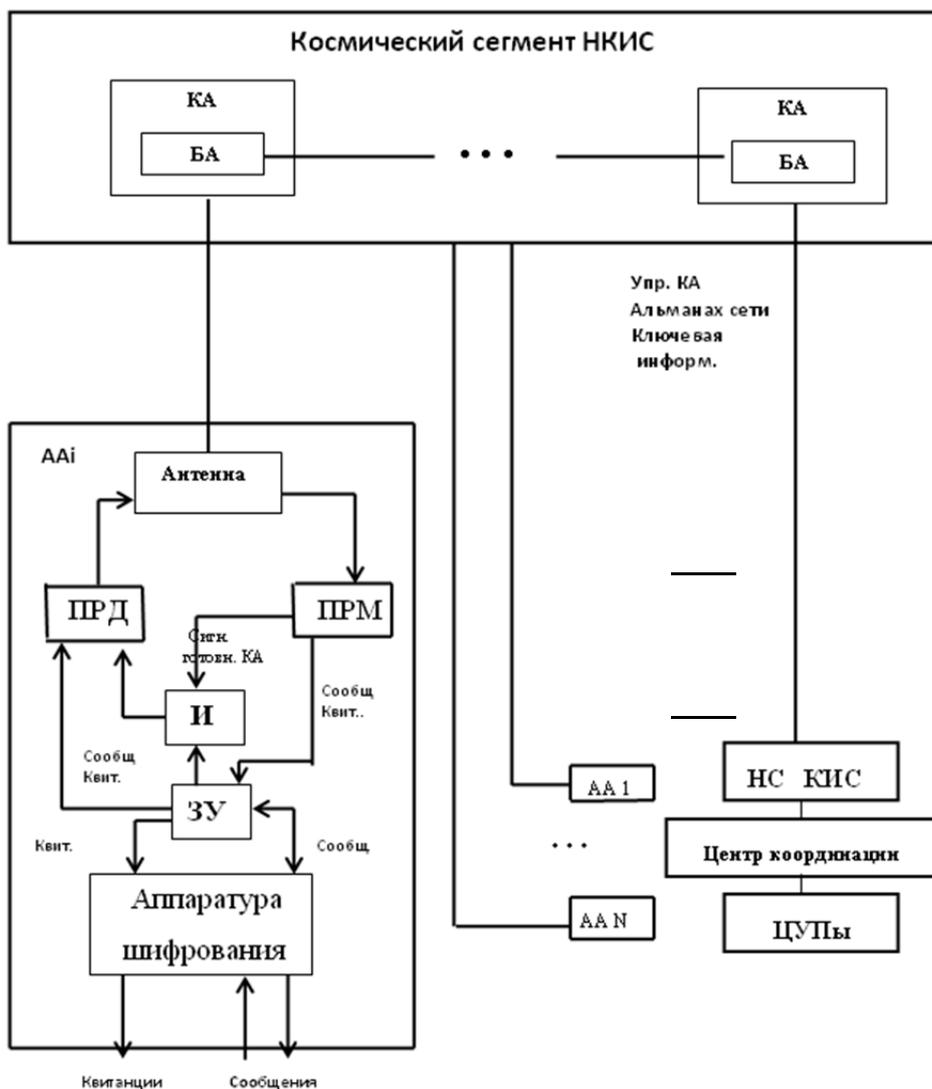


Рис. 3. Вариант совмещения режимов управления КА и обмена сообщениями между наземными абонентами

Передача сообщения начинается с его подготовки оператором, автоматического документирования, шифрования и ввода в запоминающее устройство (ЗУ). Сообщение передается при наличии сигнала о готовности какого-либо КА, находящегося в зоне радиовидимости, принимать информацию. На рис. 3 логическая операция «и» обеспечивает передачу сообщения из ЗУ при получении соответствующего сигнала из приемника.

Переданное сообщение принимается БА. Проверяется пароль входа в систему. Если ключевая информация представлена правильно, КА передает квитанцию о приеме сообщения в сеть и рассчитывает маршрут его передачи с использованием альманаха сети. Передача сообщения по маршруту осуществляется по тем же алгоритмам, что и для режима обмена информацией управления КА.

Принятое АА сообщение поступает в ЗУ, после чего декодируется и документируется. Автоматически формируется квитанция, которая кодируется и передается так же, как и сообщение.

Требуемое быстродействие при вхождении в связь, передаче и приеме сообщений обеспечивается применением в АА малонаправленных антенн; использованием режимов, исключаящих поиск сигналов по временной задержке и синхронизацию при шифровании информации.

В системе должны быть реализованы традиционные способы компенсации доплеровского смещения частоты.

В ряду проблемных вопросов поднимается также вопрос об увеличении массогабаритных характеристик КА за счет дополнительного сетевого оборудования. Дополнительное сетевое оборудование, безусловно, потребуется. Однако, учитывая постоянное совершенствование элементной базы, это не может служить решающим аргументом против создания НКИС на основе МКА.

Расходы на увеличение массогабаритных характеристик БА могут быть компенсированы сокращением наземного сегмента НКИС, системы связи и передачи данных с учетом капитальности, эксплуатационных расходов и др.

### **Выводы**

1. Создание МКА как концепция развития орбитальных группировок, обеспечивающая реализацию НКИС, характеризуется специфическими проблемными вопросами технической реализации сетевого оборудования МКА и тем более дальнейших проектов по уменьшению массогабаритных характеристик вплоть до наноспутников.

2. Основным проблемным вопросом, требующим решения, является вопрос обеспечения вхождения в связь и поддержание линии визирования абонентов МКА-МКА баллистически неорганизованной орбитальной группировки в телесном угле  $4\pi$  в различных диапазонах частот.

Статья подготовлена в рамках реализации проекта «Разработка методов и средств создания высоконадежных компонентов и систем бортовой радиоэлектронной аппаратуры ракетно-космической и транспортной техники нового поколения» (Соглашение № 15-19-10037 от 20 мая 2015 г.) при финансовой поддержке Российского научного фонда.

### **Список литературы**

1. Галантерник, Ю. М. Командно-измерительные системы и наземные комплексы управления космическими аппаратами : моногр. / Ю. М. Галантерник, А. В. Гориш, А. Ф. Калинин. – М. : МГУЛ, 2003. – 200 с.
2. Yurkov, N. Research of the Frequency Spectrum of Mechanical Vibrations of Nonstationary Radio-electronic Systems / N. Yurkov, A. Zatylnkin, N. Goryachev // International Journal of Applied Engineering Research. – 2015. – Vol. 10, № 23. – P. 43822–43824.
3. Калаев, М. П. Анализ современных средств определения динамических характеристик конструкции / М. П. Калаев, О. Н. Герасимов, А. В. Лысенко // Инновации на основе информационных и коммуникационных технологий. – 2015. – Т. 1. – С. 555–557.
4. Zatylnkin, A. Control Time Constant During Tests of Nonstationary Electronic Facilities / A. Zatylnkin, N. Yurkov, D. Golushko // International Journal of Applied Engineering. – 2015. – Vol. 10, № 23. – P. 43825–43826.
5. Голушко, Д. А. О скорости изменения частоты при проведении испытаний для определения динамических характеристик конструкции / Д. А. Голушко, А. В. Затылкин, А. В. Лысенко // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2015. – № 4 (26). – С. 147–154.
6. Modeling the Effect of Local Thermal Effect on the Stress-strain state of the Conductive Layer Printed Circuit Board / A. Telegin, A. Zatylnkin, M. Kalaev, N. Goryachev, N. Yurkov // International Journal of Applied Engineering Research. – 2015 – Vol. 10, № 23. – P. 43827–43830.
7. Затылкин, С. В. Исследование аналитической модели фазового рассогласования внешнего вибрационного воздействия в точках крепления бортовой радиоаппаратуры / С. В. Затылкин, А. В. Лысенко, Н. К. Юрков // Научный альманах. – 2015. – № 9, вып. 11. – С. 710–716.
8. Головин, П. Д. Применение метода квазиобразцового интервала времени для раздельного измерения параметров параметрических датчиков / П. Д. Головин, А. В. Лысенко, Н. К. Юрков // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2013. – № 4. – С. 149–157.
9. Кашеев, Н. А. Радиотехнические средства управления космическими аппаратами / Н. А. Кашеев ; ГОУ ВПО «Московский государственный институт радиотехники, электроники и автоматики (технический университет)». – М., 2005. – 202 с.
10. Авакян, А. А. Закон распределения отказов элементов и систем электроники / А. А. Авакян, А. Г. Дмитриенко // Надежность и качество сложных систем. – 2013. – № 1. – С. 47–53.

**Васильев Сергей Владимирович**

кандидат технических наук,  
старший научный сотрудник, начальник отдела,  
Научно-исследовательский центр  
Центрального научно-исследовательского института  
Войск воздушно-космической обороны  
(141091, Россия, Московская обл., г. Королев,  
ул. Тихонравова, 29)  
E-mail: pashakolendo@mail.ru

**Герасимов Олег Николаевич**

начальник военного представительства  
Министерства обороны РФ,  
Научно-исследовательский институт  
физических измерений  
(440026, Россия, г. Пенза, ул. Володарского, 8)  
E-mail: gera0502@mail.ru

**Кащеев Николай Александрович**

доктор технических наук, профессор,  
главный научный сотрудник,  
Научно-исследовательский институт  
космических систем им. А. А. Максимова –  
филиал Государственного космического  
научно-производственного центра им. М. В. Хруничева  
(141091, Россия, Московская обл, г. Юбилейный,  
ул. Тихонравова, 9)  
E-mail: info@niiks.com

**Чаплинский Владимир Степанович**

доктор технических наук, профессор,  
главный научный сотрудник,  
Научно-исследовательский институт  
космических систем им. А. А. Максимова –  
филиал Государственного космического  
научно-производственного центра им. М. В. Хруничева  
(141091, Россия, Московская обл, г. Юбилейный,  
ул. Тихонравова, 9)  
E-mail: info@niiks.com

**Буц Виктор Петрович**

доктор технических наук, профессор,  
кафедра конструирования  
и производства радиоаппаратуры,  
Пензенский государственный университет  
(440026, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)  
E-mail: kipra@pnzgu.ru

**Аннотация.** Предлагаются технические решения по созданию и применению наземно-космических информационных сетей для повышения структурной устойчивости информационно-управляющих комплексов космических систем. Приведено обоснование направлений и возможности кардинальных изменений структуры информационно-управляющих комплексов с оценкой реализуемости их характеристик в новом качестве и ожидаемого положительно-го эффекта.

**Ключевые слова:** наземно-космическая информационная сеть, наземные станции сети, спутники-ретрансляторы, абонентская аппаратура.

**Vasil'ev Sergej Vladimirovich**

candidate of technical sciences,  
senior staff scientist, head of department,  
Scientific Research Center  
of Central Scientific Research Institute  
of Armies of Aerospace Defence  
(141091, 29 Tihonravova street, Korolev,  
Moscow region, Russia)

**Gerasimov Oleg Nikolaevich**

head of the military mission  
of The Ministry of defense of RF,  
Scientific-Research Institute of Physical Measurements  
(440026, 8 Volodarsky street, Penza, Russia)

**Kashcheev Nikolay Aleksandrovich**

doctor of technical sciences, professor,  
senior research manager,  
Scientific Research Institute of Space Systems  
named after A. A. Maksimov –  
branch of State Space Scientific Production Center  
named after M. V. Hrunichev  
(141091, 9 Tihonravova street, Yubileynyy,  
Moscow region, Russia)

**Chaplinskiy Vladimir Stepanovich**

doctor of technical sciences, professor,  
senior research manager,  
Scientific Research Institute of Space Systems  
named after A. A. Maksimov –  
branch of State Space Scientific Production Center  
named after M. V. Hrunichev  
(141091, 9 Tihonravova street, Yubileynyy,  
Moscow region, Russia)

**Buts Viktor Petrovich**

doctor of technical sciences, professor,  
sub-department of radio equipment  
design and production,  
Penza State University  
(440026, 40 Krasnaya street, Penza, Russia)

**Abstract.** Technical decisions on creation and application of land-space information networks for increase of structural stability of information-operating complexes of space systems are offered. The substantiation of directions and possibility of cardinal changes of structure of information-operating complexes with an estimation of a realizability of their characteristics in new quality and an expected positive effect is resulted.

**Key words:** a land-space information network, land stations of a network, companions-repeaters, user's equipment.

**УДК 629.7/629.76/.78.085**

**Методы морфологического синтеза наземно-космических информационных сетей в составе информационно-управляющих комплексов космических систем / С. В. Васильев, О. Н. Герасимов, Н. А. Кашеев, В. С. Чаплинский, В. П. Буц // Надежность и качество сложных систем. – 2016. – № 2 (14). – С. 30–36.**