

# Малые спутники в сетях связи и вещания

**Г.А. Ефремов,**  
НПО машиностроения

**В.В. Витер,**  
НПО машиностроения

**А.А. Липатов,**  
16 ЦНИИ

**О.С. Тихонов,**  
ЛОННИИР

**А.А. Гриценко,**  
Информационный  
космический центр  
"Северная корона"

**А.А. Степанов,**  
16 ЦНИИ

**В.А. Жирков,**  
Информационный  
космический центр  
"Северная корона"

**Эффективность коммерческого использования систем спутниковой связи и вещания зависит от того, насколько успешно их операторы справляются с рядом технических и организационных проблем, сопровождающих развертывание и эксплуатацию этих сетей. Технология малых спутников может рассматриваться в качестве одного из способов их разрешения**

Опыт разработки, развертывания и ввода в эксплуатацию спутниковых систем показывает, что эти процессы связаны с определенными трудностями, к наиболее существенным из которых можно отнести:

значительные первоначальные затраты на разработку и развертывание систем;

отставание сроков полномасштабного развертывания парка земных станций от ввода в эксплуатацию космического сегмента создаваемых систем спутниковой связи и вещания;

технический риск при разработке сложных бортовых ретрансляцион-

ных комплексов (БРТК) и платформ космических аппаратов (КА), создаваемых с использованием новейшей элементной базы и новаторских конструкторских решений;

риск потери КА (особенно при групповом запуске) в процессе развертывания орбитальной группировки (ОГ);

сложность и длительность процесса проведения национальной и международной координации полос рабочих частот;

практически полное отсутствие свободного частотно-орбитального ресурса геостационарной орбиты

(ГСО) для развертывания КА с большой пропускной способностью (40-50 Гбит/с) в составе новых спутниковых систем связи (ССС), использующих диапазоны С и Ku;

наличие ограничительных квот и очередей на запуск дорогостоящих (70-80 млн дол.) ракет-носителей (РН) типа "Протон", Arian и др., способных выводить спутники связи и вещания массой до 2,6 т на ГСО.

Уникальные свойства ГСО привели к ее быстрому и интенсивному заполнению космическими аппаратами и исчерпанию частотно-орбитального ресурса. Поэтому создание новых

ССС с использованием тяжелых КА на ГСО сопряжено с проведением длительных и дорогостоящих процедур согласования и координации в национальных и международных организациях орбитальных позиций, а также частотного плана и заявленных характеристик бортовых радиосистем. С течением времени решение всех этих вопросов будет только усложняться.

Низкоорбитальные ССС позволяют обеспечить полное покрытие Земного шара, а их абонентские терминалы достаточно компактны. Вместе с тем для этих систем необходимо одновременное развертывание всей ОГ с последующим поддержанием принятой орбитальной структуры, включающей десятки КА. Помимо этого, требуется организация коммерческой эксплуатации сети связи на территории множества государств. Все это приводит к повышению риска при вводе таких систем в эксплуатацию - из-за значительных начальных затрат как на развертывание ОГ, так и на частотную координацию с другими действующими системами. Кроме того, низкоорбитальные многоспутниковые системы требуют значительных эксплуатационных расходов, связанных с управлением ОГ и заменой КА. Срок активного функционирования низкоорбитальных спутников ограничен запасом рабочего тела на компенсацию возмущающего воздействия атмосферы.

Все эти обстоятельства снижают доходы от услуг, предоставляемых системами спутниковой связи и вещания, а также существенно затрудняют или делают практически невозможным создание ССС отдельными государствами, ведомствами и компаниями, которые хотели бы полностью владеть своими сетями, управляя ими без помощи сторонних организаций.

#### **Решение: малые спутники**

Одно из возможных направлений решения перечисленных проблем - создание и эксплуатация целевых малых космических аппаратов, выводимых на геостационарную или высокоэллиптическую орбиту с использованием РН легкого класса.

Основные положения концепции малых КА заключаются в следующем:

обеспечение запуска с помощью ракет-носителей типа "Стрела", "РС-20" и др., имеющих стартовые комплексы на основных российских полигонах ("Байконур", "Плесецк", "Свободный"), либо в виде попутной полезной нагрузки на РН тяжелого и среднего классов;

модульность конструкции КА, состоящей из универсальной космической платформы и сменных модулей полезной нагрузки;

наличие нескольких типов конструкций модулей полезной нагрузки, отличающихся комплектами антенных систем и составом БРТК;

использование автономного бортового комплекса управления (БКУ), обеспечивающего длительный срок активного функционирования КА;

обеспечение, в случае необходимости, соответствия энергетического потенциала радиолиний малого КА и спутников среднего и тяжелого класса;

достижение предельно коротких сроков изготовления КА за счет использования заранее созданных модулей.

Тот или иной КА может быть отнесен к классу малых прежде всего по величине его полной массы. Следует отметить, что до недавнего времени строгая классификация спутников по их массовым характеристикам отсутствовала. В различных источниках

**Таблица 1. Классификация малых спутников**

Наименование группы	Полная масса КА, кг
Легкий спутник	500-1000
Мини-спутник	100-500
Микроспутник	10 - 100
Наноспутник	1-10
Пикоспутник	0,1-1
Фемоспутник	< 0,1

ния в технологии создания малых КА связи и вещания связаны с сохранением достигнутых в классе тяжелых КА:

пределных соотношений между основными характеристиками платформы и БРТК (массы полезной нагрузки и полной массы КА - до 25...30%, потребляемой мощности БРТК и мощности системы энергоснабжения - до 70...75% и др.);

тактико-технических характеристик платформы спутника связи, прежде всего по таким параметрам, как точность угловой ориентации и стабилизации, возможность коррекции орбиты, срок активного существования;

параметров подсистемы связи - энергетических характеристик линий спутниковой связи, эффективности использования выделенного радиоча-

**Стабилизация малого КА вращением и использование тонкопленочной антенной системы практически без жестких элементов конструкции позволяют преодолеть достигнутый барьер соотношения масс полезной нагрузки и всего КА.**

малые КА именовались как SmallSat, LightSat, TACSat, SPINSat, CheapSat, MicroSat, MiniSat, NanoSat. Эти названия отражали разные признаки, используемые авторами и разработчиками (масса, размеры, решаемые задачи и др). К настоящему времени сложилась классификация КА, основанная прежде всего на характеристиках их полной массы (см. табл. 1).

#### **Проблемные вопросы**

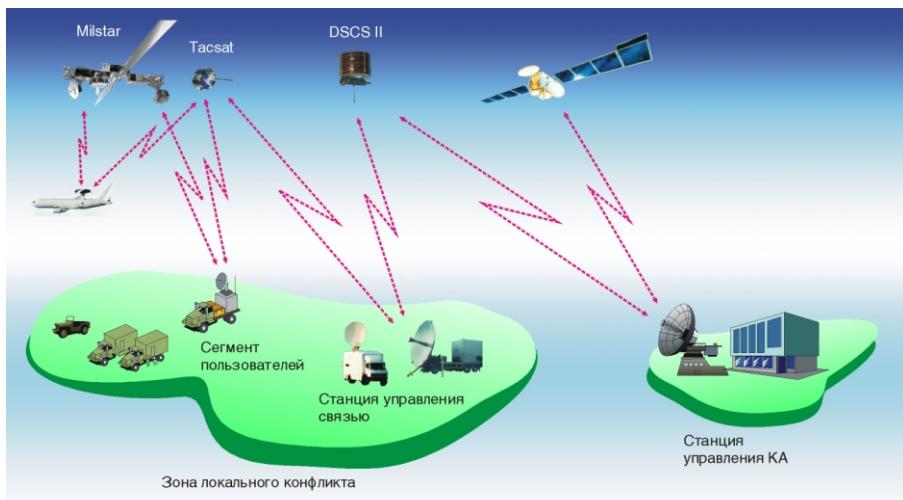
Возможности практического использования малых КА в интересах связи и вещания зависят от их тактико-технических характеристик. Одним из известных недостатков спутников этого класса является недостаточная эффективность использования выделенных частотных и энергетических ресурсов. Это связано с ограниченными возможностями применения типового (для тяжелых КА) приборного состава БКУ, а также с жесткими ограничениями по массовым характеристикам платформы и полезной нагрузки. Поэтому основные проблемные направле-

стотного ресурса (связанной, как правило, с необходимостью использования многолучевых крупноапertureных антенных систем).

Сложность решения данных задач привела к преобладающему использованию малых КА на низких орбитах, где требования к платформе и БРТК значительно ниже. В этом случае часто используются пассивные системы угловой ориентации и стабилизации, например: гравитационная, аэродинамическая или стабилизация вращением. Значительная часть систем на базе малых КА не имеет средств коррекции орбиты.

#### **Новые технологии малых КА**

Достигнутое в настоящее время предельное отношение массы БРТК к полной массе КА трудно преодолимо без использования качественно новых технических и конструкторских решений. Это особенно важно при создании малых КА, для которых снижение полной массы спутника может привести к существен-



**Рис. 1. Использование малых КА для расширения пропускной способности действующих систем**

венному ухудшению эксплуатационных характеристик подсистемы связи. Стабилизация малого КА вращением и использование тонкопленочной антенной системы практически без жестких элементов конструкции позволяет преодолеть достигнутый барьер соотношения масс полезной нагрузки и всего КА. Это дает возможность использовать БРТК с повышенной пропускной способностью (по сравнению с другими КА аналогичного класса) и (при сохранении автономности БКУ) повысить экономический эффект от его применения.

Применение многолучевых тонкопленочных антенн с малой шириной диаграммы направленности позволяет возложить задачи поддержания энергетического потенциала спутниковых радиолиний на бортовое оборудование. Такое решение позволяет использовать портативные абонентские терминалы. Динамичное развитие микроэлектроники, микроминиатюризация приборного состава БКУ, отработка новых технологических решений и конструктивно-компоновочных схем привели к появлению новых проектов систем с малыми спутниками на высоких орbitах.

#### Области применения

Одним из основных направлений использования малых КА является развертывание региональных систем спутниковой связи и вещания для отдельных государств, а также ведомств и компаний с передачей им прав собственности на ССС, включая сам малый КА и технические средства управления системой.

Кроме того, технология малых

спутников может быть использована при создании резервных КА связи. Они применяются для оперативного восстановления наиболее важных сетей и направлений связи в случае выхода из строя тяжелых и средних спутников (либо их отдельных стволов).

На первых этапах развертывания крупномасштабных ССС взамен тяжелых КА также могут быть использованы малые (особенно в тех случаях, когда полное развертывание парка земных станций занимает длительный срок). Еще одна сфера применения малых спутников - совместное

том случае, если они создаются с использованием новых технических решений и новаторских технологий.

#### Проекты систем

Один из примеров использования малых КА в интересах оперативного расширения пропускной способности ССС на базе КА тяжелого класса система TACSat. Она позволяет при необходимости обеспечить дополнительно к основным линиям спутниковой связи, организуемым на основе КА тяжелого класса типа DSCS III и Milstar в интересах специальных абонентов в зонах локальных конфликтов, новые, путем размещения в этих же орбитальных позициях геостационарной орбиты малых КА (рис. 1). Для решения проблем ЭМС могут быть использованы защитные интервалы в выделенной для этих сетей полосе частот.

Проект "Руслан-ММ", разработанный в НПО Машиностроения, - еще один пример возможности использования малых КА в интересах ССС. В рамках данного проекта предложено семейство малых КА (см. табл. 2), основу которых составляет легкая универсальная платформа и сменные модули полезной нагрузки (бортовой аппаратуры связи).

Для управления пространственным положением спутника на орбите, а также для решения задачи довыведения спутника на ГСО при запуске с

#### Электрореактивные двигатели

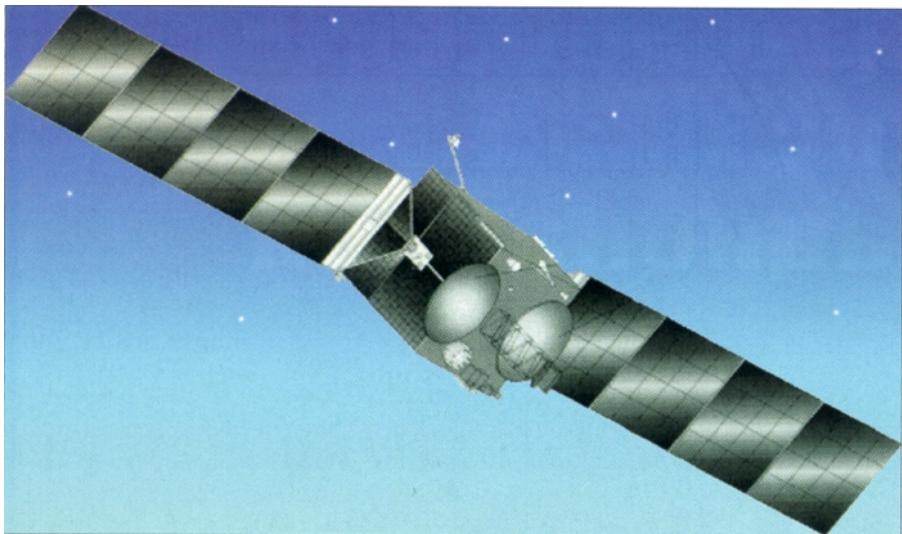
**ЭРД относятся к классу ракетных двигателей с разделенным источником энергии и рабочим телом. Сущность работы ЭРД заключается в ионизации рабочего тела с последующим направленным ускорением заряженных частиц электромагнитным полем. Обеспечивая высокую эффективность использования рабочего тела, запасы которого в открытом космосе невосполнимы, ЭРД позволяют существенно повысить массу полезной нагрузки, доставляемой на рабочую орбиту (или соответственно увеличить срок активного существования КА). Современные ЭРД отличаются небольшими массо-габаритными характеристиками, что делает их привлекательными при использовании в качестве корректирующей двигательной установки на малых КА, связи и вещания**

(с тяжелыми и средними КА) использование в составе ОГ ССС и вещания для обеспечения требуемой зоны обслуживания при малом трафике либо выравнивания пропускной способности ССС.

Наконец, технология малых спутников позволяет сократить сроки проведения испытаний в реальных условиях компонентов, блоков, узлов БРТК и платформ КА - особенно в

помощь РН легкого класса в состав универсальной платформы входит двигательная установка, основанная на применении электрореактивных двигателей (ЭРД) и использующая энергию солнечных батарей.

Точность угловой ориентации и стабилизации по трем осям для КА "Руслан-ММ" не хуже 0,1 градуса, точность удержания спутника в позиции на геостационарной орбите не хуже



**Рис. 2. Спутник связи легкого класса "Руслан-ММ2"**

0,1 градуса, время активного существования на орбите - 10...12 лет. В зависимости от состава полезной нагрузки малый КА проекта "Руслан-ММ" может быть выполнен в нескольких вариантах. На рис. 2 показан КА "Руслан-ММ2". Сменные модули полезной нагрузки спутников позволяют оперативно обеспечить требуемый частотно-территориальный план, а возможность запуска спутника с помощью РН легкого класса минимизирует затраты на вывод КА в заданную позицию геостационарной орбиты.

Другим примером создания ССС и вещания на базе малых КА является совместный проект НПО машиностроения, ЛОНИИР и Информационного космического центра "Северная Корона" системы спутниковой связи "Кентавр". В ней предусматривается использование малых КА, стабилизированных вращением, на которых размещаются развертываемые за счет вращения спутника крупноапertureные тонкопленочные антенные системы.

Основу ОГ системы "Кентавр" составляет базовый сегмент из фазированной четверки спутников, развернутых в одной орбитальной плоскости на геосинхронной высокоэллиптической орбите. Параметры этой орбиты, названной псевдостационарной, выбраны так, чтобы КА при прохождении окрестностей апогея были бы практически неподвижны для наземных абонентов в северных широтах. Трассы полета КА для трех сегментов ОГ системы "Кентавр" приведены на рис. 3. Каждая орбитальная плоскость характеризуется двумя "точками" стоя-

ния". Один из сегментов, показанный на рисунке, обслуживает Южное полушарие.

Так как сегменты автономны, возможно последовательное поэтапное развитие системы путем развертывания новых сегментов, не требующих

сии и способны обеспечить требуемый поток запусков. Стоимость развертывания спутника с использованием РН "Стрела" составляет около \$7,5 млн.

Для выведения малого КА на высокоэллиптическую орбиту в состав головной части вводится разгонный блок. Вывод малого спутника на геостационарную орбиту требует установки дополнительного разгонного блока с последующим довыведением спутника за счет собственных двигателей малой тяги КА на базе ЭРД. Другим вариантом для развертывания малых КА ССС и вещания может рассматриваться использование разрабатываемых средств запуска с самолетов.

В заключение отметим, что технология малых КА не нацелена на замену традиционных КА среднего и тяжелого класса. Малые космические аппараты связи имеют собственную нишу на рынке, обеспечивая эффективность использования ССС и вещания в интересах их пользователей.

**Таблица 2. Характеристики малых КА семейства "Руслан-М"**

Наименование КА	Руслан-ММ1	Руслан-ММ2
Масса спутника, кг	520	520
Рабочие частоты, ГГц	6,725-7,025; 4,5-4,8	12,75-13,25; 10,7-10,95; 11,2-11,45
Ширина диаграммы направленности, градус	7,5x3,5	1,5x1,5
Число стволов	14	12
Полоса пропускания ствола, МГц	36	36
ЭИИМ, дБВт	37	50
Масса БРТК (с АФУ), кг	125	125
Энергопотребление полезной нагрузки, Вт	800	850

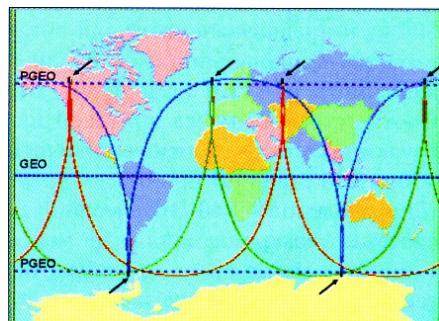
взаимной синхронизации. Это позволяет начать коммерческую эксплуатацию системы уже после развертывания первого сегмента. При необходимости КА в разных плоскостях могут быть связаны между собой межспутниками радиолиниями. Начало коммерческой эксплуатации возможно уже после развертывания первого сегмента.

#### Средства выведения

Для выведения малых спутников типа "Руслан" и "Кентавр" на высокоэллиптические и геостационарную орбиты могут быть использованы РН "Стрела" (созданная на основе МБР РС-19), а также новая ракета-носитель с повышенной грузоподъемностью на базе МБР РС-20. Эти РН могут быть быстро развернуты на основных полигонах запуска Рос-

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Спутниковая связь и вещание: Справочник / Под ред. Л.Я. Кантора. - 3 изд. М.: Радио и связь, 1997.
2. Невдяев Л.М. Мобильная спутниковая связь / Справочник. - М.: МЦНТИ, 1998.



**Рис. 3. Трассы полета КА системы "Кентавр"**