

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СОЗДАНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ ГРУППИРОВОК ВОЕННЫХ МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ СВЯЗИ ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ БОЕВЫХ ДЕЙСТВИЙ

Е.А. Викторов¹, канд. техн. наук, старший преподаватель

С.О. Бурлаков², д-р техн. наук, профессор

С.А. Якушенко², канд. техн. наук, доцент, старший научный сотрудник НИЦ

И.В. Вахненко², старший научный сотрудник НИЦ, кандидат технических наук

В.Е. Егрушев², канд. техн. наук, доцент

С.С. Веркин², канд. техн. наук, преподаватель

В.В. Антонов², преподаватель

¹Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского

²Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного
(Россия, г. Санкт-Петербург)

DOI:10.24412/2500-1000-2023-3-2-6-11

Аннотация. В статье проведен анализ систем спутниковой связи на основе малых космических аппаратов связи для информационного обеспечения боевых действий в специальных операциях и вскрыты проблемы их построения и применения, ограничивающие их возможности. Материалы статьи могут использоваться при разработке перспективных систем спутниковой связи.

Ключевые слова: система спутниковой связи, малый космический аппарат, орбитальная группировка, межспутниковая связь.

Военные конфликты последних десятилетий наглядно показали преимущество услуг, предоставляемых космическими средствами на поле боя, независимо от того, ведутся ли боевые действия в пустыне, в горных районах или в крупных городах. В связи с этим, технически развитые государства, рассматривают космические средства, как важнейший элемент обеспечения боевых действий и применения современного вооружения.

Важным преимуществом систем спутниковой связи является оперативность, глобальность и мобильность связи. Основным недостатком существующих системы спутниковой связи является высокая стоимость их создания и эксплуатации. Большая часть затрат приходится на развертывание и поддержание орбитальной группировки. Поэтому в настоящее время наметилась тенденция построения систем спутниковой связи на малых космических аппаратах (МКА) связи. Однако, при этом возникают другие проблемы информационного обеспечения потребителей. Этому вопросу и посвящена данная статья.

Преимущества систем связи на МКА

По современной классификации к МКА относятся спутники массой менее 500 кг. В этой группе также различают мини-космические аппараты (КА) массой 100-500 кг, микро-КА массой 10-100 кг и более легкие КА. Малые КА – это низкоэнергетические системы, поэтому они эксплуатируются, как правило, на низких орбитах высотой от 300 до 2000 км. Такие аппараты соизмеримы с потенциалом больших спутников и обладают многими преимуществами перед ними. Так, они относительно недороги, легко модифицируются для решения определенной задачи, создают меньше радиопомех. Необходимо также отметить, что запуск МКА осуществляется группами по несколько десятков КА в одном ракетоносителе, что также значительно снижает финансовые затраты [1, 2].

К основным преимуществам систем связи на МКА можно отнести: обеспечение оперативного развертывания сети связи на территориях, не имеющих ограниченный по охвату, в том числе, на проблемных (не оборудованных по связи) территориях; быстрое реагирование на возрастание по-

требности в каналах связи в отдаленных районах мира за счет оперативного запуска КА и их наращивания; обеспечение обслуживания большого числа низкоэнергетических абонентов в глобальном масштабе (благодаря выигрышу в ослаблении сигнала в 30-40 дБ по сравнению с КА на геостационарной орбите), что позволяет использовать абонентские терминалы связи мощностью не превышающие 50...200 мВт, аналогичные радиотелефонам наземных сотовых сетей; возможность совмещения с наземными системами подвижной радиосвязи как военного, так и гражданского назначения, а также способность экономично и эффективно расширять их сеть (один и тот же терминал может использоваться и для наземной, и для спутниковой подвижной связи); возможность реализации широкополосных служб в глобальном пространственном масштабе; обеспечение альтернативных маршрутов там, где спрос и характеристики трафика не определены, а ресурсы используются с максимальной эффективностью; выход из строя одного или нескольких МКА не приводит к неработоспособности системы в целом, а лишь снижает ее показатели. Поэтому такие системы в сочетании с межспутниковыми связями обладают достаточно высокой живучестью; малая задержка сигнала в радиолинии, которая составляет 20-30 мс (а с межспутниковой связью 8 мс), что меньше чем в волоконно-оптических линиях связи (скорость распространения сигнала в 1,5 раза меньше, чем в вакууме) и тем более в системах спутниковой связи на высоких орбитах (до 300 мс) [1, 2].

Анализ систем спутниковой связи на МКА

Анализ литературы показал [1, 2, 3], что большое значение для обеспечения устойчивости и глобальности управления ВС США и других стран НАТО играет использование ресурса военных и коммерческих систем спутниковой связи. В настоящее время в США разработано ряд новых перспективных направлений информационно-космического обеспечения с использованием мини-КА и микро-КА. Здесь решаются не только проблемы оперативной

связи между подразделениями в районе военного конфликта, но и глобальной оперативной связи удаленных войсковых группировок (групп кораблей ВМФ, авиационных группировок) с центральным военным командованием.

Возросшие требованиями к глобальности, скорости и объемам информационного обмена сравнительно просто решаются с помощью низкоорбитальных группировок МКА связи, состоящих из сотен и даже тысяч КА на низкой орбите высотой от 300 до 1600 км. В различных странах мира сейчас создаются примерно 20 таких систем. Рассмотрим некоторые из них.

Система персональной спутниковой связи Iridium – это единственная полностью глобальная низкоорбитальная система с межспутниковыми связями (с соседними спутниками по орбите и со спутниками на соседних орбитах) и коммутацией сигналов на борту. Она содержит 66 спутников основных и 6 резервных: 6 плоскостей по 11 спутников. Масса спутника 689 кг, высота орбиты 780 км, наклонение орбиты 86,4 град, период обращения спутника 100 минут 28 сек.

Система обеспечивает круглосуточную возможность установления связи между абонентами, находящимися в любой точке земной поверхности и в воздушном пространстве, и предоставляет дуплексную телефонную связь, передача данных (9,6 кбит/с), факсимильную связь, текстовых сообщений SMS и определение местоположения пользователя. Каждый спутник может поддерживать одновременно до 1100 каналов и формирует свою зону из 48 узких лучей (диаметром 650 км) общей площадью обслуживания около 19 млн. км².

Низкоорбитальная система широкополосной спутниковой связи Starlink, развернутая компанией SpaceX в 2018 г. для обеспечения широкополосным (высокоскоростным) спутниковым доступом в Интернет. Масса плоского спутника около 260 кг, высота орбиты 540...560 (340 км) с наклонением 53...97,6 (42...53) градусов и диаметром зоны обслуживания 1900 (1200) км. Время нахождения в зоне обслуживания одного МКА 5 минут. Мак-

симальное количество МКА 12000, срок существования спутника на орбите 5 лет. Число спутников, запускаемое одним ракетоносителем Фальком-9 до 60 единиц.

Широкополосный (высокоскоростной) доступ к Интернету осуществляется через наземные IP-сервер (шлюз). Интернет-доступ может достигать скорости 500 Мбит/с малыми земными станциями технологии VSAT, а в перспективе скорость возрастет до 2,5 Гбит/с при полной орбитальной группировке.

Спутник Starlink является ретранслятором и не производит обработки информации, на его борту происходит только изменение частоты принимаемого сигнала и его усиление. Также спутники первого поколения не имеют межспутниковой связи (ISL – Inter Satellite Link) и могут получать и передавать информацию только на Землю.

Проблемы построения и применения систем связи на МКА

Исходя из вышеприведенного анализа, формулируем научно-технические проблемы создания и применения МКА связи для информационного обеспечения боевых действий.

1. Проблемы создания и применения системы связи на МКА

1. Первоначальные затраты на создание систем спутниковой связи большие, что связано с отсутствием эффективных ракетоносителей, способных осуществлять массовый запуск МКА.

2. Неудачи первых низкоорбитальных систем спутниковой связи и передачи данных были обусловлены, прежде всего, экономическими факторами. Большое количество спутников в системе определяет уровень начальных инвестиций. Как правило, инвестиции в создание орбитальных группировок связи и передачи данных, наземное оборудование для их функционирования в несколько раз превышает плановые (в среднем в 5-7 раз).

3. Высокая заявленная эффективность спутниковых систем связи на МКА (глобальность, пропускная способность и т.п.) первоначально не подтверждается, а доводится до необходимого уровня в течении

длительного времени путем дополнительных финансовых затрат.

4. Анализ задач, решаемых МКА, показывает, что одни и те же их функции находятся в сфере интересов различных ведомств, а разные задачи могут быть решены на базе одной и той же информации, но при соответствующей тематической обработке. Поэтому за счет интеграции функций (связи, навигации, радионавигации, радиолокации и т.п.) можно минимизировать количество модификаций МКА, оптимизируя состав их информационных комплексов, и удовлетворить потребности практически всех потребителей. Возможно создание единой унифицированной платформы для различных типов МКА. Такой подход даст значительное снижение стоимости разработки и изготовления спутников.

5. При функционировании многоспутниковых низкоорбитальных группировок МКА связи и передачи данных будут создаваться помехи для земных станций практически всех геостационарных систем связи и вещания, работающих в Кудиапазоне частот, что требует решения проблемы электромагнитной совместимости с геостационарными системами спутниковой связи и вещания.

6. На территориях выше 60 градусов северной широты (60 градусов южной широты) соседние спутники группировки МКА связи будут конфликтовать друг с другом. Возникнет необходимость либо отключать излучение отдельных соседствующих КА, либо проводить сложное частотное распределение. Реальное развертывание заявленных многоспутниковых группировок может привести к коллапсу спутниковых систем связи из-за их взаимного деструктивного воздействия. Необходим новый алгоритм выделения полос радиочастот и допуска многоспутниковых низкоорбитальных систем для их развертывания на околоземных орбитах с учетом электромагнитной совместимости.

7. По мере увеличения количества КА на орбитах будет обостряться проблема космического мусора. Может наступить так называемый каскадный эффект – эффект Кесслера. Он возникает, когда в ре-

зультате цепной реакции «саморазмножения» фрагментов космического мусора любое выведение КА на орбиту будет заканчиваться столкновением с техногенным обломком. Поэтому новые группировки должны обеспечить "чистоту" в космосе, т. е. гарантировать, что после окончания работы благополучно вернутся или сгорят в атмосфере Земли.

8. При использовании УКВ диапазона (0,3-0,5 ГГц) на спутнике устанавливается глобальная антенна с зоной покрытия до 5000 км в зависимости от высоты орбиты. Однако радиолинии с глобальной бортовой антенной имеют низкую разведзащищенность и помехозащищенность, и повысить их с использованием только сигнальных методов проблематично. Кроме того, достичь высокой пропускной способности в УКВ радиолиниях невозможно. Поэтому этот диапазон может использоваться только для персональной телефонной связи и низкоскоростной передачи данных (до 64 кбит/с).

9. Большое количество КА, требуемых для глобального покрытия, значительно усложняет управление группировкой. Использование для управления многоспутниковой группировкой существующих средств наземного комплекса практически невозможно ввиду необходимой слишком большой численности МКА. Возникает качественно новая задача управления орбитальной группировкой, как единой системой взаимосвязанных элементов, а не как совокупностью отдельно взятых объектов. Для решения этой задачи целесообразно использовать возможности межспутниковой связи, алгоритмы так называемого роевого управления и мультиагентные технологии (проблемы группового управления в космосе) на основе активного внедрения технологии искусственного интеллекта.

10. Проблема создания малых, но мощных источников энергоснабжения бортовой аппаратуры и коррекции орбиты.

11. Проблема создание эффективных бортовых цифровых антенных решеток, которые будут соответствовать размерам, указанным в принятых стандартах.

2. Проблемы построения и примене-

ния абонентских терминалов

1. Скорость полета МКА относительно абонентского терминала составляет примерно 410 км в минуту. Поэтому в зоне видимости одного абонентского терминала и/или гейтвея (шлюза) спутник будет находиться не более пяти минут. Соответственно, наземные терминалы с направленными антеннами (например, параболическими антеннами) должны иметь достаточный скоростной привод, обеспечивающий угловую скорость не менее 25° в минуту. Здесь целесообразно использовать фазированные антенные решетки с автоматическим электронным сканированием нескольких лучей.

2. При нахождении терминалов в лесу, в городах с плотной застройкой, в горах происходит затенение радиогоризонта при малых углах места спутника, что ухудшает условия распространения радиоволн.

3. Эффективность массивированного применения ВТО большой дальности обеспечивается его интеграцией с системами информационного обеспечения и главным образом со спутниковой связи. Однако здесь возникают проблемы значительного доплеровского сдвига частоты на гиперзвуковых скоростях и преодоления радиоволной плазменного «кокона».

4. Терминал должен исправно функционировать в различных режимах работы, как в информационных направлениях, так и в сети с другими абонентами, объединенными по функциональному или другому признаку. При этом сеть должна легко и оперативно конфигурироваться, и масштабироваться.

5. Для обеспечения хэндовера необходимо, чтобы в зоне видимости каждого терминала находились несколько МКА. Абонентские терминалы должны в процессе ведения связи переключаться между ними. Из этого следуют задачи частотно-территориального планирования (с повторным использованием частот) и множественного доступа, как к одному, так и нескольким видимым КА.

6. Задача установления соединения между абонентскими терминалами и ведения связи требует разработки алгоритмов занятия частотно-временного ресурса КА

как централизованные, так и децентрализованные для повышения устойчивости управления.

7. Задача определения абонентской емкости КА, связанная с количеством обслуживаемых абонентов и видом предоставляемых услуг, увязанная с энергетическим потенциалом радиолиний.

8. Обеспечение связности абонентов за пределами зоны радиовидимости одного КА требует коммутации трафика: межспутниковые линии связи, КА-ретрансляторы на средних орбитах или наземные коммутационные пункты.

9. Проблемы управления радиолиниями с возможностью смены сигнально-кодовых конструкций, сигналов маяков, управления антеннами и др.

Заключение

Библиографический список

1. Максимовский В. Малые космические аппараты для больших оборонных задач // Арсенал отечества. – 2015. – №4 (18).
2. Анпилогов В.Р. Эффективность низкоорбитальных систем спутниковой связи на основе малых космических аппаратов // Технологии и средства связи. – 2015. – №4.
3. Пехтерев С. В., Макаренко С. И., Ковальский А. А. Описательная модель системы спутниковой связи Starlink // Системы управления, связи и безопасности. – 2022. – №4.

Из проделанного анализа следует, что одной из актуальных задач военнотехнического обеспечения ВС РФ представляется оснащение войск новыми орбитальными системами спутниковой связи, позволяющими решить весь комплекс проблем информационного обеспечения боевых действий, проблем поля боя, специфических проблем локальных войн и военных конфликтов, а также проблем обеспечения бесперебойной связью гражданских (коммерческих) потребителей. Существующий спектр проблем спутниковой связи на основе ВА широк. Для их эффективного решения необходимо определиться с назначением системы, услугами, сроками создания, имеющимся заделом, исполнителями и операторами связи.

**SCIENTIFIC AND TECHNICAL PROBLEMS OF CREATION AND APPLICATION
OF GROUPINGS OF MILITARY SMALL COMMUNICATION SPACE VEHICLES
FOR INFORMATION SUPPORT OF COMBAT ACTIONS**

E.A. Viktorov¹, *Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer*

S.O. Burlakov², *Doctor of Technical Sciences, Professor*

S.A. Yakushenko², *Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Senior Researcher of the National Research Center*

I.V. Vakhnenko², *Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher of the National Research Center*

V.E. Egrushev², *Candidate of Technical Sciences, Associate Professor*

S.S. Verkin², *Candidate of Technical Sciences, Lecturer*

V.V. Antonov², *Lecturer*

¹**Military Space Academy named after A.F. Mozhaisky**

²**Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union**

S.M.cBudyonny

(Russia, St. Petersburg)

***Abstract.** The article analyzes satellite communication systems based on small communication spacecraft for information support of combat operations in special operations and reveals the problems of their construction and application, limiting their capabilities. The materials of the article can be used in the development of advanced satellite communication systems.*

***Keywords:** satellite communication system, small spacecraft, constellation, inter-satellite communication.*