

## Пути построения малогабаритных, невыступающих бортовых антенных систем малых космических аппаратов

В. С. Бочаров, А. Г. Генералов, Э. В. Гаджиев

ОАО «Научно-исследовательский институт электромеханики» (ОАО «НИИЭМ»), 143502  
Московская область, г. Истра, ул. Панфилова 11, E-mail: [otd24@niiem.ru](mailto:otd24@niiem.ru)

*В данной работе представлен анализ тенденции развития космической техники. Отмечен активный процесс перехода к внедрению малых космических аппаратов вместо больших космических аппаратов. Миниатюризация космических аппаратов приводит к миниатюризации и бортовой аппаратуры, в том числе и бортовых антенно-фидерных устройств. Из-за ряда особенностей бортовых антенных систем, представленных в данной работе, возникает актуальная, современная задача по разработке малогабаритных, невыступающих, надежных, простых и высокотехнологичных бортовых антенн для малых космических аппаратов.*

*In this paper an analysis of trends in the development of space technology presents. Active process of transition to the introduction of small satellites instead of large spacecraft is shown. Miniaturization spacecraft leads to miniaturization and satellite-born equipment, including on-board antenna-feeder devices. Due to a number of features on-board antenna systems presented in this paper, there is a modern task of developing a small, low-profile, reliable, simple and high-tech on-board antennas for small spacecraft.*

### Введение

Помимо описанных в работе [1] проблем антенной техники существует еще одна важная проблема, связанная со следующим фактором.

С середины 90-х годов XX века существенно изменились приоритеты в разработке космических аппаратов (КА). Видимое преимущество по ряду направлений космической деятельности получило создание малых КА по сравнению с крупногабаритными и тяжелыми КА. В результате начавшегося и интенсивно продолжающегося процесса миниатюризации КА удалось снизить массы некоторых больших и тяжелых КА и создать новые аппараты аналогичного назначения с массой в несколько сотен килограмм [2–4].

Малые КА обладают рядом преимуществ перед тяжелыми КА:

- технологичностью создания малых КА, отвечающей стратегии сокращения расходов и риска;
- возможностью быстрой модификации для решения широкого круга задач с различным целевым назначением;
- сравнительно малым сроком разработки малых КА;
- удешевлением вывода на орбиту за счет кластерных или попутных запусков;
- снижением степени влияния спутниковой платформы на работу полезной нагрузки из-за меньшего собственного гравитационного, электромагнитного и газового (внешняя собственная атмосфера) фона;
- возможностью быстрой модификации для решения широкого круга задач с различным целевым назначением.

Создание МКА позволяет чаще проводить запуски, притом:

- расширить возможности участия в проектах молодых ученых, студенческой молодежи и широкой научно-технической общественности;
- ускорить использование полученных научно-технических результатов.

На сегодняшний день уже разработаны и запущены ряд таких малых КА. ОАО «Научно-исследовательский институт электромеханики» г. Истра Московской области (ОАО «НИИЭМ» г. Истра) принял активное участие в разработке и запуске таких аппаратов, как КА «Татьяна–Университетский-2», Белорусский КА (БКА), КА «Канопус–В» №1, а также ряд разрабатываем в настоящее время КА «Михайло Ломоносов», КА «Ионосфера» и др.

Также активно в этом направлении работают и ряд других отечественных предприятий: ОАО «Информационные спутниковые системы» им. академика М.Ф. Решетнева (КА «Мир», «Гонец Д1», «Можаец» и др.), ФГУП Научно-производственное объединение им. С.А. Лавочкина (МКА-ФКИ и др.) и т.д. [5–7].

Тенденция перехода от больших КА к малым КА наблюдается не только в разработках отечественных предприятий, но также и у зарубежных фирм. Об этом свидетельствовали представленные в 2013 году макеты КА на 50-ом международном авиационно-космическом салоне Paris Air Show 2013, проходивший в пригороде Ле Бурже французской столицы, в работе которого также приняли участие и специалисты ОАО «НИИЭМ». Европейским космическим агентством (European Space Agency) был представлен ряд малых КА: swarm (magnetic field mission); proba-V (minisatellite tracking global vegetation growth); crysat (ice mission); goce (gravity mission); alphasat (largest telecommunications satellite); smos (water mission); ALPHABUS (solution for the high-power sitcom market) и др.

Таким образом, наблюдается активный процесс перехода от разработок и внедрения малых КА вместо больших и тяжёлых КА, т.е. происходит процесс *миниатюризации КА*, что в свою очередь приводит и к *миниатюризации бортовой аппаратуры КА*, в том числе и *бортовых антенно-фидерных устройств (АФУ)*.

Но прежде чем рассматривать способы миниатюризации бортовых АФУ КА, необходимо отметить особенности данного типа антенн, которые необходимо учитывать при их разработке для дальнейшей успешной эксплуатации в составе бортовой аппаратуры КА.

Одной из главных особенностей АФУ КА является то, что, как правило, на поверхности КА заказчиком отводится определенное место для установки антенн. Зачастую этого отведенного места бывает не достаточно для установления того АФУ, которое полностью бы отвечало заданным требованиям. Поэтому необходимо учитывать влияние других частей и элементов космического аппарата на параметры антенны (коэффициент стоячей волны, диаграмма направленности, коэффициент усиления и т.д.).

Другую особенность АФУ КА можно выделить при рассмотрении механизма возбуждения антенн. Стоит обратить внимание, что в формировании диаграммы направленности участвует не только собственно антенна, но и часть проводящей поверхности КА. По проводящей поверхности корпуса КА текут поверхностные токи, наводимые электромагнитными полями, создаваемыми самой антенной. Эти высокочастотные токи создают в пространстве, окружающем КА, электромагнитные поля, которые можно назвать вторичными. Вторичные поля взаимодействуют с полями антенн. Вследствие явления интерференции получается суммарное электромагнитное поле. Влияние корпуса КА необходимо всегда принимать во внимание. Это влияние является одним из основных факторов, определяющих специфику работы антенн КА.

Ещё одна особенность АФУ КА заключается в специфичности работы антенн КА, а именно, что им приходится работать с электронными приборами, рассчитанными на выполнения определённых функций в условиях наличия ионизации, резких перепадов давления, температуры, перегрузки, вибрация и т.д. [8, 9]. Всё это усложняет работу

антенн, может привести к нежелательным явлениям, искажающим характеристики антенн, и, безусловно, создаёт дополнительные требования в отношении конструкции и параметров антенн КА.

Учитывая выше приведённые особенности бортовых АФУ КА и наблюдаемую тенденцию к переходу от больших КА к малым КА, возникает *актуальная задача по созданию малогабаритных, невыступающих бортовых АФУ КА, т.е. устранению недостатков в отношении массогабаритных характеристик и выступающей конфигурации, создание простых, надёжных и высокотехнологичных антенн широкого назначения*. При этом необходимо обеспечить высокие показатели надежности, эффективности работы антенных систем.

### **Основная часть**

Рассмотрим возможные пути (варианты) решения данной задачи.

**Применение выносных элементов.** Для улучшения расположения антенны на поверхности КА применяются выносные элементы (кронштейны, штанги, выдвижные элементы и т.д.) Т.е. после выведения КА на заданную целевую орбиту, осуществляется с помощью указанных выносных элементов обеспечение работоспособного расположения антенн относительно корпуса КА. Данный способ размещения бортовых антенн широко применяется на различных КА. Однако применение таких элементов несет в себе риск не раскрытия, отказа выносных элементов, что недопустимо для космической техники в связи ее дороговизной.

Другим способ решения задачи является **применение печатных технологий** при разработке бортовых антенн [10].

Представлены варианты построения бортовых спиральных антенн КА с помощью применения печатных технологий [11].

Стремительное развитие технологий производства интегральных схем привело к появлению нового вида антенн – микрополосковых (печатных) антенн (МПА). Основными преимуществами МПА, представляют собой многослойные конструкции, состоящие из проводящей подложки, одно или нескольких слоев диэлектрика и помещённых на них плоских проводящих излучающих элементов. МПА перед антеннами других типов являются их высокие технологичность, низкая стоимость, малые металлоёмкость, габаритные размеры и масса.

Таким образом, в ходе поиска решения задачи по разработке малогабаритных, невыступающих антенных систем малых КА, возник интерес к применению МПА. Для практического применения МПА рассмотрен вариант создания новой антенной системы КА «Ионосфера».

Для КА «Ионосфера» №1, №2 коллективом лаборатории АФУ ОАО «НИИЭМ» была разработана антенная система, включающая в себя четырехзаходную спиральную антенну (рабочая частота 137 МГц), штыревую антенну (рабочая частота 150 МГц) и вибраторную антенну (рабочая частота 400 МГц). Более подробная информация по техническим характеристикам КА «Ионосфера» и разработанной антенной системе приведена в работе [12].

В ходе электродинамического моделирования новой антенной системы КА «Ионосфера» [13], составленной из МПА, были получены следующие результаты [14-16]:

- КСВ на входах моделей МПА 150 МГц и МПА 400 МГц 1,1;
- диаграмма направленности моделей МПА 150 МГц и МПА 400 МГц имеют преимущественное направление на центр Земли в пределах  $0^\circ \dots 45^\circ$  от надира и  $0^\circ \dots 360^\circ$  по азимуту;

- коэффициент усиления модели МПА 150 МГц по мощности в направлении центра Земли 1 дБ, а в направлении  $0^{\circ} \dots 45^{\circ}$  не менее 0 дБ;
- коэффициент усиления модели МПА 400 МГц по мощности в направлении центра Земли 5 дБ, а в направлении  $0^{\circ} \dots 45^{\circ}$  не менее 2 дБ.

На сегодняшний день ведутся работы по формированию всей антенной системы КА «Ионосфера», оценки влияния бортовой аппаратуры на основные параметры АФУ, а также поиск оптимального месторасположения антенн на поверхности КА.

### **Заключение**

1. В настоящее время наблюдается активный процесс миниатюризации космической индустрии, вызванный явными преимуществами применения малых КА.
2. Процесс миниатюризации самих КА неизбежно несёт процесс миниатюризации и бортовой аппаратуры, в том числе и бортовых АФУ КА.
3. В виду ряда особенностей бортовых АФУ КА, а именно ограниченное место установки на поверхности корпуса КА, возникает задача по созданию малогабаритных, невыступающих бортовых антенн, способных устранить данный недостаток.
4. Предлагается использовать в качестве бортовых АФУ КА микрополосковые (печатные) антенны, что позволит:
  - повысить надежность АФУ КА;
  - повысить степень защищенности АФУ КА на орбите от воздействия таких факторов как космический мусор, частицы и пыль благодаря отсутствию выступающих элементов;
  - улучшить массогабаритные показатели в сторону уменьшения массы АФУ и, следовательно, самого КА;
  - более эффективно использовать площадь поверхность КА;
  - уменьшить затраты на производство АФУ КА.
5. Для практического применения рассмотрен вариант создания антенной системы КА «Ионосфера», состоящей из микрополосковых (печатных) антенн. Полученные в ходе моделирования результаты удовлетворяют предъявляемым требованиям.

### **Литература**

1. Проблемы антенной техники / Под ред. Л.Д. Бахраха, Д.И. Воскресенского. М.: Радио и связь, 1989. 368 с..
2. Макриденко Л.А., Боярчук К.А. Микроспутники. Тенденция развития. Особенности рынка и социальное значение. «Вопросы электромеханики». Труды НПП ВНИИЭМ. 2005. Т. 102. С. 12–27.
3. Севастьянов Н.Н., Бранец В.Н., Панченко В.А., Казинский Н.В., Кондранин Т.В., Негодяев С.С. Анализ современных возможностей создания малых космических аппаратов для дистанционного зондирования Земли. Сборник статей МФТИ. 2009. Т.1. №3 С. 14–22.
4. Гершензон В., Карпенко С. Малые спутники – провокация или перспективное направление? Экология и жизнь. 2011. 12 (121). С. 51–57.
5. Зимин И.И., Валов М.В., Яковлев А.В., Галочкин С.А. Малый космический аппарат «Михайло Решетнев». Результаты работы. Электронный журнал Труды МАИ. 2013. № 65.
6. <http://www.iss-reshetnev.ru>
7. <http://www.laspace.ru>
8. Пригода Б.А., Кокунько В.С. Антенны летательных аппаратов. М.: Воениздат.1964. 120 с.

9. Бочаров В.С., Генералов А.Г., Гаджиев Э.В. Особенности бортовых антенно-фидерных устройств космических аппаратов. Научно-технический семинар «Перспективы развития антенно-фидерных устройств космических аппаратов» ОАО «НИИЭМ» г. Истра 25 сентября 2013 г. Истра: ОАО «НИИЭМ». С. 55–58.
10. Бочаров В.С., Генералов А.Г., Гаджиев Э.В. Применение печатных технологий при разработке бортовых антенно-фидерных устройств космических аппаратов. Будущее Российской космонавтики в инновационных разработках молодых специалистов. По итогам научно-практической конференции 1–3 апреля 2013 года и научно-технического семинара 2–4 декабря 2013 года молодых ученых и специалистов организаций ракетно-космической промышленности – Королёв Московской обл.: Изд-во НОУ ДПО «ИПК Машприбор». 2014. ББК 39.62. С. 76–77.
11. Бочаров В.С., Генералов А.Г., Гаджиев Э.В. Антенно-фидерные устройства в разработках ОАО «НИИЭМ», г. Истра Московской области. 23-я Международная Крымская конференция «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо 2013) 8–13 сентября 2013 г., Севастополь, Украина: материалы конф. в 2 т. – Севастополь: Вебер. 2013. С. 46–47.
12. Бочаров В.С., Генералов А.Г., Гаджиев Э.В. Антенная система космического аппарата «Ионосфера». «Вопросы электромеханики». Труды НПП ВНИИЭМ. 2012. Т. 131. № 6. С. 11–14.
13. Гаджиев Э.В. Моделирование бортовых антенн СВЧ космических аппаратов. Антенны. 2013. №9 (196). С. 65–68;
14. Бочаров В.С., Генералов А.Г., Гаджиев Э.В. Разработка прямоугольной микрополосковой антенны дециметрового диапазона для применения на КА «Ионосфера». Труды МАИ. 2013. № 65.
15. Бочаров В.С., Генералов А.Г., Гаджиев Э.В. Разработка модели микрополосковой антенны дециметрового диапазона для перспективного применения на КА «Ионосфера». Научно-практическая конференция молодых учёных и студентов МАИ «Инновации в авиации и космонавтике – 2013» 16–18 апреля 2013 года. Сборник тезисов докладов. – М.: ООО «Принт-салон». 2013. С. 87–88.
16. Бочаров В.С., Генералов А.Г., Гаджиев Э.В. Разработка модели микрополосковой антенны метрового диапазона (150 МГц) для перспективного применения на КА «Ионосфера». Труды международной научно-технической конференции «Научно-технические проблемы построения систем и комплексов землеобзора, дозора и управления и комплексов с беспилотными летательными аппаратами»: в 2 т. – М.: ОАО «Концерн «Вега». 2013. Т.2. С. 78–85.