

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ БОРТОВОЙ АНТЕННОЙ СИСТЕМЫ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ СЕРИИ «МЕТЕОР-М»

А. Б. Захаренко, А. Ю. Федотов,
Э. В. Гаджиев, П. П. Телепнев

Рассмотрены и представлены состояние и перспективы развития бортовых антенных систем класса больших космических аппаратов на примере аппаратов серии «Метеор-М». Приведены характеристики антенно-фидерных устройств, применяемых в составе бортовых систем и комплексов аппаратов, а также состав антенно-фидерных устройств и их внешний вид. Проанализированы проблемы, возникающие при эксплуатации антенно-фидерных устройств космических аппаратов. Показаны возможные направления дальнейшего развития антенно-фидерных устройств данного класса аппаратов. В частности, предложена возможность вместо нескольких антенно-фидерных устройств с близкими диапазонами рабочих частот установить одно антенно-фидерное устройство с более широким частотным диапазоном, а также возможность увеличения скорости передачи и объёма целевой информации радиолинии бортовой информационной системы СМ-диапазона путём повышения коэффициента усиления и сужения диаграммы направленности антенны.

Ключевые слова: космический аппарат, космический комплекс, антенно-фидерное устройство, бортовая антенна, коэффициент стоячей волны, диаграмма направленности, коэффициент усиления.

Введение

Космические аппараты (КА) «Метеор-М» входят в состав космического комплекса (КК) гидрометеорологического и океанографического обеспечения «Метеор-3М». КА предназначен для оперативного получения информации в целях прогноза погоды, контроля озонового слоя и радиационной обстановки в околоземном космическом пространстве, а также для мониторинга морской поверхности [1, 2]. Неотъемлемой частью КА является бортовая антенно-фидерная система (АФУ), которая включает в себя антенны, радиотехнические кабели, волноводы и высокочастотные фильтры.

Разработаны и успешно применяются АФУ в составе следующих бортовых систем КА серии «Метеор-М» [3, 4]:

- бортовой информационной системы с радиолинией метрового диапазона (БИС-МВ);
- модернизированной малогабаритной бортовой информационно-телеметрической системы (МБИТС-М);
- модернизированного бортового радиокomплекса спасания КОСПАС (Космическая система поиска аварийных судов) – SARSAT (Search And Rescue Satellite-Aided Tracking) (КОСПАС-SARSAT) (РК-СМ-МКА);
- бортового радиокomплекса системы сбора и передачи данных (БРК ССПД);
- радиолинии бортовой информационной системы СМ- и ДМ-диапазонов БИС-М;
- командно-измерительной системы (КИС).

Целью данной работы является определение перспектив развития бортовых АФУ КА серии «Метеор-М».

Антенная система КА «Метеор-М»

На рис. 1 приведены бортовые антенны для КА серии «Метеор-М».

Бортовая антенна для БИС-МВ (см. рис. 1, а) представляет собой четырёхзаходную спиральную антенну, работающую в диапазоне частот 137 МГц и формирующую диаграмму направленности в полусфере пространства обращенной в сторону Земли с требуемым коэффициентом усиления в конусе углов $\pm 62^\circ$.

Бортовая антенна для МБИТС-М (см. рис. 1, б) представляет собой турникетную антенну с рефлектором дециметрового диапазона, работающую в диапазоне частот 628 МГц и формирующую диаграмму направленности в полусфере пространства обращенной в сторону Земли с требуемым коэффициентом усиления в конусе углов $\pm 70^\circ$.

Бортовая антенна для БИС-МДМ-диапазона (см. рис. 1, б) представляет собой четырёхзаходную спиральную антенну дециметрового диапазона, работающую в диапазоне частот 1700 МГц и формирующую диаграмму направленности в полусфере пространства обращенной в сторону Земли с требуемым коэффициентом усиления в конусе углов $\pm 62^\circ$. Излучатель антенны выполнен по печатной технологии.

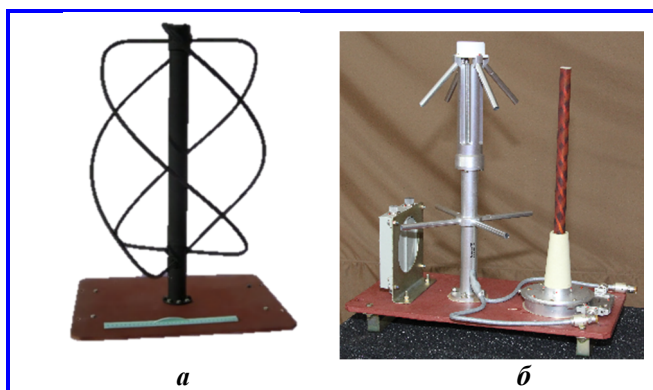


Рис. 1. Бортовые антенны: а – антенна для БИС-МВ; б – антенна для МБИТС-М и антенна для БИС-МДМ-диапазона

В комплект АФУ РК-СМ-МКА входят:

- приемное АФУ в составе приёмной антенны с кабелем;
- передающее АФУ в составе передающей антенны с кабелем;
- испытательный комплект в составе вспомогательной антенны и антенная насадка.

На рис. 2 представлены разработанные бортовые антенны для РК-СМ-МКА [5].

Приёмная антенна дециметрового диапазона для аппаратуры КОСПАС-SARSAT представляет собой четырехзаходную одновитковую спиральную антенну с круговой поляризацией правого направления вращения, работающую в диапазоне 406 МГц и формирующую диаграмму направленности в полусфере пространства обращенной в сторону Земли с требуемым коэффициентом усиления в конусе углов $\pm 63^\circ$.

Передающая антенна для аппаратуры КОСПАС-SARSAT представляет собой четырехзаходную спиральную антенну с круговой поляризацией левого направления вращения, работающую в диапазоне 1544 МГц и формирующую диаграмму направленности в полусфере пространства обращенной в сторону Земли с требуемым коэффициентом усиления в конусе углов $\pm 63^\circ$. Излучатель и питающее устройство антенны выполнены по печатной технологии.

Бортовая антенна БРК ССПД 1 (рис. 3) представляет собой двухзаходную усеченную коническую антенну, работающую в диапазоне 402 МГц и формирующую диаграмму направленности в полусфере пространства обращенной в сторону Земли с требуемым коэффициентом усиления в конусе углов $\pm 70^\circ$. В состав АФУ ССПД входит также полосовой фильтр.

АФУ КИС 2 (см. рис. 3) состоит из трёх приёмных и трех передающих антенн, работающих в СМ-диапазоне волн. Приёмные и передающие антенны состоят из последовательно соединенных коаксиально-волноводных переходов, полосовых фильтров и цилиндрических рупоров, к которым присоединены поляризаторы, выполненные в виде пластин из металлокерамики. В комплект АФУ КИС входят также делитель, выполненный по схеме волноводного щелевого моста с установленными в нем четырьмя коаксиально-волноводными переходами, а также комплект кабелей. Каждая антенна формирует диаграмму направленности с требуемым коэффициентом усиления в конусе углов $\pm 75^\circ$ относительно оси рупора.

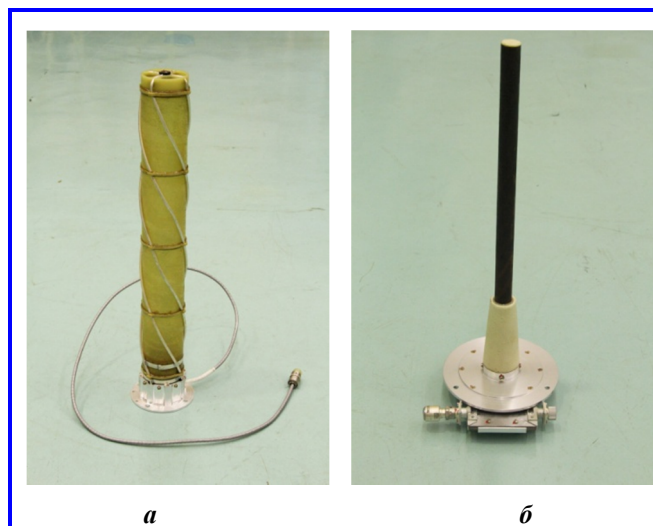


Рис. 2. Бортовые антенны для аппаратуры КОСПАС-SARSAT: а – приёмная антенна; б – передающая антенна



Рис. 3. Общий вид космического аппарата «Метеор-М» № 2

АФУ-1 БИС-М СМ-диапазона и АФУ-2 БИС-М СМ-диапазона 3 (см. рис. 3) работают в диапазоне частот 8025 ... 8400 МГц и имеют диаграмму направленности специальной формы в полусфере пространства обращенной в сторону Земли с требуемым коэффициентом усиления в конусе углов $\pm 63^\circ$, при этом максимум коэффициента усиления находится в направлении максимальной дальности. Антенна, выполненная по двухзеркальной схеме, представляет собой совокупность большого зеркала специальной формы, малого зеркала, облучателя в виде волновода круглого сечения и поляризатора.

Проблемы, возникающие при эксплуатации АФУ КА.

1. При достаточно больших размерах космических аппаратов серии «Метеор-М» рабочей поверхностью аппарата обращенной в сторону Земли

не хватает места для размещения всех АФУ, блоков целевой аппаратуры и служебных систем, поэтому АФУ ССПД и АФУ БИС-МВ приходится размещать на откидывающихся по командам с Земли стойках (см. рис. 4). Это усложняет конструкцию КА, а в целом снижает надёжность и увеличивает стоимость космических аппаратов.

2. В связи с возрастающим потоком целевой информации передаваемой с КА на наземные комплексы приёма, обработки, хранения и распространения информации необходимо увеличивать скорость передачи целевой информации, что требует использования новой антенны для бортовой информационной системы с радиолинией СМ-диапазона [6].

В ходе анализа представленных выше бортовых антенн КА серии «Метеор-М», предложены следующие перспективные решения в части антенной системы аппарата.

1. Целесообразно рассмотреть вопрос о возможности совмещения АФУ, то есть использование одной и той же антенны для разных радиотехнических систем [6]. Учитывая близкий диапазон рабочих частот, рекомендуется объединить бортовые антенны БРК ССПД и приемную антенну радиоконкомплекса РК-СМ-МКА. За основу можно использовать приёмную антенну радиоконкомплекса РК-СМ-МКА, имеющую требуемые коэффициент усиления и диаграмму направленности для этих двух систем. При этом необходимо также увеличить полосу рабочих частот новой антенны, охватывающую оба рабочих диапазона (АФУ ССПД и приёмной антенны радиоконкомплекса РК-СМ-МКА) и провести модернизацию приёмной антенны РК-СМ-МКА, направленную на увеличение диаметра основания антенны с целью уменьшения габаритов антенны (увеличение диаметра посадочного места для крепления антенны). Кроме этого, требуется разработка полосового фильтра, работающего на общей полосе частот, предусилителя и трехдецибельного делителя мощности.

Указанное решение позволит отказаться от приёмной антенны АФУ ССПД, расположенной на откидывающейся стойке.

2. Заменить АФУ БИС-М СМ-диапазона на антенну с более высоким коэффициентом усиления и полосой рабочих частот. Увеличение коэффициента усиления антенны приведет к сужению диаграммы направленности антенны, что, в свою очередь, приведет к необходимости использовать управляемое опорно-поворотное устройство. Целесообразно использовать зеркальную антенну с коэффициентом усиления более 25 дБ, установлен-

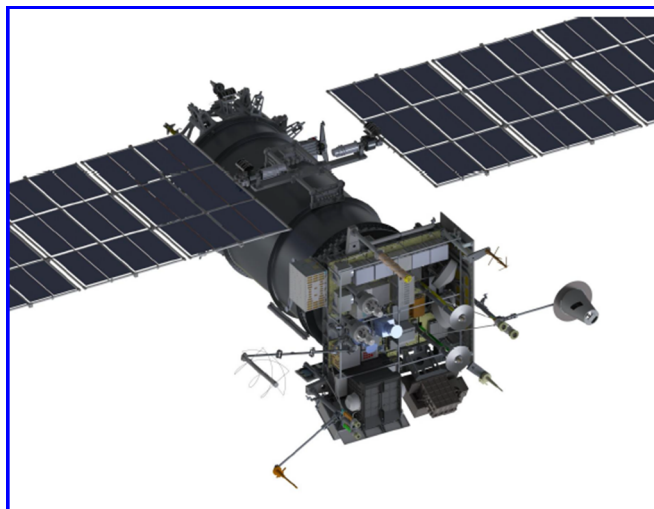


Рис. 4. Космический аппарат «Метеор-М» № 2-1 в орбитальном полёте

ную на управляемое опорно-поворотное устройство или активную фазированную антенную решётку (АФАР) [7, 8].

3. Провести модернизацию бортовой антенны МБИТС-М в части применения конструктивного исполнения, позволяющего применить антенну с одним входом и эллиптической поляризацией, либо с двумя входами и возможностью переключения направления поляризаций.

Заключение

В работе рассмотрены и подробно представлены бортовые антенны, входящие в состав антенной системы КА серии «Метеор-М». Рассмотрены перспективы развития, приведены и проанализированы возможные пути модернизации антенн.

Литература

1. Космический комплекс гидрометеорологического и океанографического обеспечения «Метеор-3М» с космическим аппаратом «Метеор-М» / А. В. Горбунов, А. Л. Чуркин, Д. А. Павлов // Вопросы электромеханики. Космические аппараты для дистанционного зондирования Земли. Труды НПП ВНИИЭМ. – Москва : ФГУП «НПП ВНИИЭМ», 2008. – Т. 105. – С. 17 – 28.
2. Унифицированная космическая платформа «Ресурс-УКП» / Л. А. Макриденко, С. Н. Волков, А. В. Горбунов [и др.] // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. – Москва : АО «Корпорация «ВНИИЭМ», 2019. – № 3. – Т. 170. – С. 49 – 57.
3. Космический комплекс гидрометеорологического и океанографического обеспечения «Метеор-3М» с космическим аппаратом «Метеор-М» № 2-1 : справочные материалы. – Москва : АО «Корпорация «ВНИИЭМ», 2017. – 156 с.
4. Запуск первого российского метеорологического КА нового поколения «Метеор-М» № 1 – начало воссозда-

ния отечественной метеорологической орбитальной группировки / Л. А. Макриденко, С. Н. Волков, А. В. Горбунов [и др.] // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. – Москва : АО «Корпорация «ВНИИЭМ», 2018. – № 4. – Т. 165. – С. 46 – 60.

5. Антенная система для бортовой аппаратуры КОСПАС-САРСАТ / В. С. Бочаров, А. Г. Генералов, Э. В. Гаджиев // Радиотехника. – 2018. – № 8. – С. 204 – 211. – DOI : 10.18127/j00338486-201808-38.

6. Построение совмещённых бортовых антенн / А. Б. Захаренко, А. Ю. Федотов, А. Г. Генералов [и др.] // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. – Москва :

АО «Корпорация «ВНИИЭМ», 2019. – Т. 169. – № 2. – С. 34 – 38.

7. Антенные системы радиолинии передачи информации космических аппаратов. Состояние и перспективы развития / Е. В. Овчинникова, С. Г. Кондрагьева, П. А. Шмачилин [и др.] // Радиотехника. – 2021. – Т. 85. – № 3. – С. 86 – 95. – DOI : 10.18127/j00338486-202103-09.

8. Состояние и перспективы развития бортовых антенно-фидерных устройств радиолинии передачи целевой информации / А. Г. Генералов, Э. В. Гаджиев // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. – 2018. – № 2 (30). – С. 44 – 52.

Поступила в редакцию 16.06.2021

Андрей Борисович Захаренко, доктор технических наук, доцент, начальник отдела общих научно-технических исследований, т. (495) 366-26-44, e-mail: otddl18@mcc.vniiem.ru.

Александр Юрьевич Федотов, доктор технических наук, главный конструктор антенно-фидерных устройств космических аппаратов, т. (495) 366-27-55, e-mail: lab1811@mcc.vniiem.ru.

Эльчин Вахидович Гаджиев, кандидат технических наук, ведущий инженер центра комплексного проектирования перспективных космических аппаратов, т. (495) 994-55-84, e-mail: skp579@mcc.vniiem.ru.

Павел Петрович Телепнев, научный сотрудник отдела общих научно-технических исследований, т. (495) 366-27-55, e-mail: lab1811@mcc.vniiem.ru. (АО «Корпорация «ВНИИЭМ»).

PROSPECTS OF DEVELOPMENT OF ON-BOARD ANTENNA SYSTEM OF «METEOR-M» SERIES SPACECRAFTS

**A. B. Zakharenko, A. Iu. Fedotov,
E. V. Gadzhiev, P. P. Telepnev**

The status and prospects of development of on-board antenna systems used for large spacecrafts have been considered and presented through the example of Meteor-M series spacecrafts. The characteristics of antenna-feeder devices used within the on-board systems of the spacecrafts, as well as the composition of antenna-feeder devices and their visual appearance are provided. The problems arising during the operation of antenna-feeder devices of the spacecrafts are analysed. The possible directions of further development of antenna-feeder devices belonging to this class of devices are demonstrated. In particular, the opportunity of installing one antenna-feeder device with a wider frequency band instead of several antenna-feeder devices with close operating frequency bands was offered, as well as the opportunity of increasing the transmission rate and the volume of mission data of the radio link of CM-band on-board information system by increasing the gain and by narrowing the antenna radiation pattern.

Key words: spacecraft, space system, antenna-feeder device, on-board antenna, standing wave ratio, radiation pattern, power gain.

References

- Hydrometeorological and oceanographic space system Meteor-3M with Meteor-M spacecraft / A. V. Gorbunov, A. L. Churkin, D. A. Pavlov // Matters of electromechanics. Spacecrafts for Earth remote sensing. NPP VNIIEEM proceedings – Moscow : FSUE NPP VNIIEEM. – 2008. Vol. 105. – Pp. 17 – 28.
- Unified space platform Resurs-UKP / L. A. Makridenko, S. N. Volkov, A. V. Gorbunov [et al.] // Matters of Electromechanics. VNIIEEM Proceedings. – M.: VNIIEEM Corporation JSC, 2019. – No. 3. – Vol. 170. – Pp. 49 – 57.
- Hydrometeorological and oceanographic space system Meteor-3M with Meteor-M № 2-1 spacecraft: reference materials. – Moscow: VNIIEEM Corporation JSC. – 2017. – P. 156.
- Launch of first Russian meteorological spacecraft of new generation Meteor-M № 1: beginning of recreation of Russian meteorological orbital constellation / L. A. Makridenko, S. N. Volkov, A. V. Gorbunov [et al.] // Matters of Electromechanics. VNIIEEM Proceedings. – 2018. – Vol. 165. – No. 4. – Pp. 46 – 60.
- Antenna system for COSPAS-SARSAT on-board equipment / V. S. Bocharov, A. G. Generalov, E. V. Gadzhiev // Radiotekhnika. – 2018. – No. 8. – Pp. 204 – 211. – DOI : 10.18127/j00338486-201808-38.
- Construction of integrated on-board antennas / A. B. Zakharenko, A. Iu. Fedotov, A. G. Generalov [et al.] // Matters of Electromechanics. VNIIEEM Proceedings. – Moscow : VNIIEEM Corporation JSC, 2019. – Vol. 169. – No. 2. – Pp. 34 – 38.

7. Antenna systems of radio link for spacecrafts data transmission. Status and prospects of development. / E. V. Ovchinnikova, S. G. Kondrateva, P. A. Shmachilin [et al.] // Radiotekhnika. – 2021. – Vol. 85 – No. 3. – Pp. 86 – 95. – DOI : 10.18127/j00338486-202103-09.

8. Status and prospects of development of on-board antenna-feeder devices of radio link for mission data transmission / A. G. Generalov, E. V. Gadzhiev // Radio and telecommunication systems. – 2018. – No. 2 (30). – Pp. 44 – 52.

Andrei Borisovich Zakharenko, Doctor of Technical Sciences (D. Sc.), Associate Professor, Head of Department of general scientific and technical researches, tel.: +7 (495) 366-26-44, e-mail: otdel18@mcc.vniiem.ru.

Aleksandr Iurevich Fedotov, Doctor of Technical Sciences (D. Sc.), Chief Designer of antenna-feeder devices for spacecrafts, tel.: +7 (495) 366-27-55, e-mail: lab1811@mcc.vniiem.ru.

Elchin Vakhidovich Gadzhiev, Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Leading Engineer of Centre for prospective spacecrafts integrated design, tel.: +7 (495) 994-55-84, e-mail: ckp579@mcc.vniiem.ru.

Pavel Petrovich Telepnev, Researcher of Department of general scientific and technical researches, tel.: +7 (495) 366-27-55, e-mail: lab1811@mcc.vniiem.ru.

(JC «VNIEM Corporation»).