

ПОСТРОЕНИЕ СОВМЕЩЁННЫХ БОРТОВЫХ АНТЕНН

А. Б. Захаренко, А. Ю. Федотов, А. Г. Генералов,
Э. В. Гаджиев, М. Р. Салихов

При разработке антенной системы космических аппаратов любого класса и целевого назначения перед разработчиками возникает задача по размещению бортовых антенн на поверхности спутника. При этом необходимо также учитывать влияние как самого корпуса аппарата, так бортовых приборов, которые расположены рядом с антеннами. В работе приведены применяемые в настоящее время подходы к решению данной задачи. Показаны преимущества и недостатки существующих путей размещения бортовых антенн космических аппаратов.

В данной работе показана возможность построения совмещённых бортовых антенн космических аппаратов для решения исследуемой задачи. На практике рассмотрен вариант построения совмещённой антенны для бортового радиокomплекса системы сбора и передачи данных и бортовой аппаратуры КОСПАС-САРСАТ. Предлагаемая совмещённая антенна может быть применена на космических аппаратах «Метеор-М»

Ключевые слова: космический аппарат, бортовая антенна, спиральная антенна, коэффициент стоячей волны, диаграмма направленности, коэффициент усиления, поляризация.

Введение

На борту космических аппаратов (КА) используются приёмные, передающие и приёмно-передающие антенны различных диапазонов частот.

При разработке бортовых антенно-фидерных устройств (АФУ) для КА любого класса и целевого назначения необходимо учитывать их специфику [1] и конструктивные особенности [2]:

- влияние корпуса КА на формирование диаграммы направленности (ДН) и других характеристик направленности бортовых антенн;

- дестабилизирующие факторы космического пространства, влияющие на целостность конструкции антенной системы и её работоспособность.

Также необходимо обеспечить высокую прочность конструкции антенны. Это особенность, помимо дестабилизирующего влияния космического пространства, возникает ещё и из-за условий запуска КА, так как при запуске бортовые антенны подвергаются жёстким механическим нагрузкам (вибрация, удары и т. д.).

Однако, помимо приведённых выше особенностей, разработчики бортовых АФУ КА порой сталкиваются с ещё одной сложной задачей, а именно с размещением бортовых антенн на поверхности аппарата. Как правило, заказчики отводят определённое место на поверхности КА для установки антенн. Этого отведённого места бывает недостаточно для уста-

новки того АФУ, которое полностью бы отвечало заданным требованиям. В некоторых случаях допускается даже ухудшение параметров.

Для размещения бортовых АФУ на поверхности КА используют выносные элементы (штанги, кронштейны и т. д.). Данный приём активно используется как на больших КА, так и на малых КА, например, как показано на рис. 1 [3].

Часто отводятся небольшие размеры посадочных мест, которые оказывают существенное влияние на габаритные размеры бортовых антенн. Таким образом, существует актуальная задача по размещению бортовых антенн космических систем и комплексов на поверхности КА.

Целью данной работы является анализ возможности построения совмещённых бортовых антенн КА.

Состав полезной нагрузки КА «Метеор-М»

«Метеор-М» первый из серии перспективных КА гидрометеорологического обеспечения. Входит 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, включая ледовую обстановку [4].

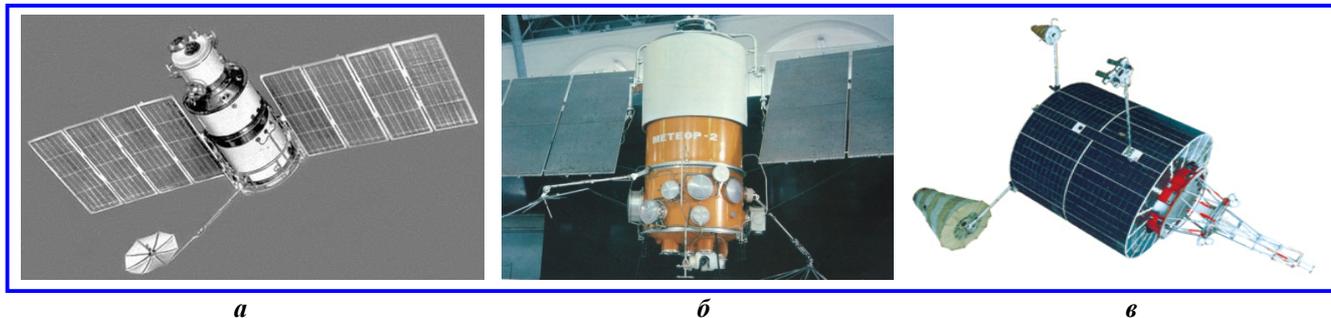


Рис. 1. Варианты применения выносных элементов:
а – КА «Метеор-1»; б – КА «Метеор-2»; в – КА «Стерх»

На борту КА «Метеор-М» в качестве полезной нагрузки используются различные бортовые системы и комплексы [5]:

- многозональное сканирующее устройство малого разрешения (МСУ-МР);
- комплекс многозональной спектральной съёмки (КМСС);
- модуль температурного и влажностного зондирования атмосферы (МВТЗА);
- инфракрасный Фурье-спектрометр (ИКФС-2);
- гелиогеофизический аппаратный комплекс (ГГАК-М);
- бортовая информационная система (БИС-М) и др.

Рассмотрим подробнее некоторые бортовые системы и комплексы, имеющие близкий диапазон частот и антенны значительных габаритов.

Бортовой радиокомплекс системы сбора и передачи данных (БРК ССПД) представлен на рис. 2.

БРК ССПД, предназначенный для получения гидрометеорологических данных от автоматических измерительных пунктов (АИП), должен обеспечить:

- приём информации в диапазоне частот 401,9 – 402,0 МГц одновременно от 150 АИП, находящихся в зоне радиовидимости КА, при общем числе обслуживаемых АИП до 1200;



Рис. 2. Фото БРК ССПД

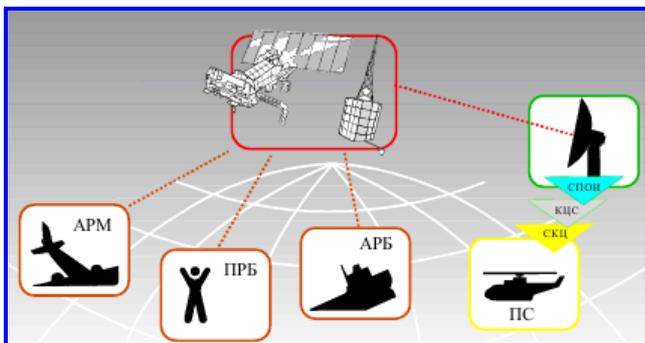


Рис. 3. Концепция системы Коспас-Сарсат

– обработку на борту сигналов с частотно-временным разделением, включая демодуляцию, предварительную обработку, запоминание и передачу информации в аппаратуру бортовой информационной системы;

– скорость передачи данных в канале 400 бит/с, общий объём запоминаемых данных за 12 часов до 300 Кбайт;

– точность измерения доплеровского сдвига частоты АИП не хуже 0,3 Гц, что обеспечивает при решении навигационной задачи наземными средствами точность определения координат АИП не хуже 3,6 км;

– непрерывную передачу информации из кольцевого оперативного запоминающего устройства через передающее устройство бортовой информационной системы в диапазоне 1690 – 1710 МГц на наземную аппаратуру приёма информации.

В состав БРК ССПД входят:

- антенный коммутатор;
- приёмное устройство (402 МГц);
- устройство запоминания и формирования кадров;
- коммутационно-распределительное устройство.

Более подробно принцип работы данной системы описан в [6].

Коспас-Сарсат (РК – СМ – МКА) – международная спутниковая поисково-спасательная система, разработанная для оповещения о бедствии и месторасположении персональных радиобуев и радиомаяков, установленных на судах и самолётах, в случае аварийных ситуаций, концепция которой представлена на рис. 3, где АРБ – аварийный радиобуй-указатель местоположения; АРМ – аварийный передатчик-указатель положения; ПРБ – персональный радиобуй; КЦС – координационный центр системы; ПС – поиск и спасание; СКЦ – спасательно-координационный центр; СПОИ – станция приёма и обработки информации [7].

Коспас-Сарсат выполняет следующие функции:

- ретрансляцию на Землю в реальном масштабе времени на частоте 1544,5 МГц сигналов АРБ, работающих в диапазоне частот 406,01 – 406,09 МГц;
- приём, предварительную обработку, запоминание информации от АРБ с последующей передачей её на Землю на частоте 1544,5 МГц.

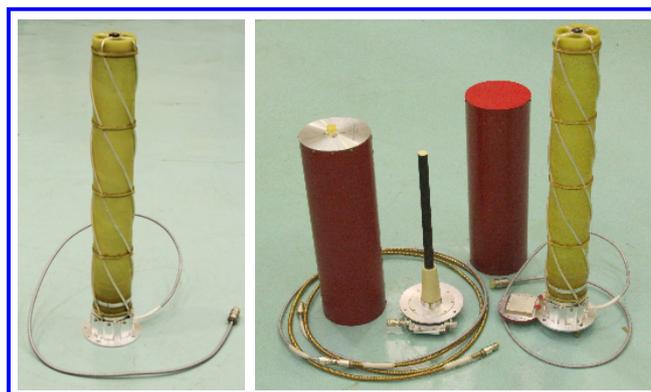
Состав:

- приёмник;
- передатчик;
- устройство записи и формирования кадров;
- коммутационно-распределительное устройство;
- антенный переключатель.

Более подробно принцип работы системы Коспас-Сарсат представлен в [6].



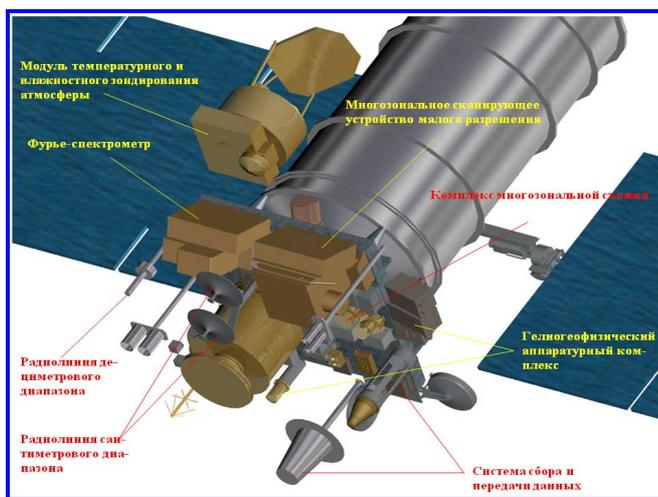
а



а

б

Рис. 5. Фото АФУ Коспас-Сарсат: а – приёмная бортовая антенна; б – бортовая антенная система с испытательным комплектом



б

Рис. 4. Бортовая антенная система: а – КА «Метеор-М» № 2 в орбитальной конфигурации; б – основная целевая аппаратура КА «Метеор-М» № 2

Бортовая антенная система КА «Метеор-М»

На рис. 4 представлена бортовая антенная система КА «Метеор-М».

Бортовая антенна БРК ССПД представляет собой коническую антенну, работающую в диапазоне частот 401,9 – 402,0 МГц.

Бортовая антенна предназначена для приёма сигналов от наземных аварийных радиобуев международной системы Коспас-Сарсат, работающих

в диапазоне частот 406,01 – 406,09 МГц, которая представлена на рис. 5 [8].

Приёмная антенна представляет собой четырёхзаходную одновитковую спиральную антенну с круговой поляризацией правого направления вращения [9 – 11].

Рассмотренные выше бортовые антенны входят в состав антенной системы КА «Метеор-М» № 2-1.

На рис. 6 представлены КА «Метеор-М», где показано размещение рассмотренных выше бортовых антенн [8, 12]. На рис. 6, а : 7 – адаптер; б – АФУ БРЛК.

Следует учитывать, что антенна ССПД установлена на откидной штанге, которая разворачивается на целевой орбите.

В таблице сведены данные по двум представленным выше бортовым антеннам.

При анализе приведённых данных очевидно, что применение совмещённой бортовой антенны с электрическими характеристиками, удовлетворяющими требованиям к антенне ССПД, и приёмной антенны на основе доработанной антенны Коспас-Сарсат позволит упростить задачу построения бортовой антенной системы, а также отказаться от использования откидной штанги, что повысит надёжность работы системы.

	Антенна ССПД	Приёмная антенна Коспас-Сарсат
Тип антенны	Коническая	Спиральная
Рабочий диапазон частот, МГц	401,9 – 402,0	406,01 – 406,09
КСВ	Не более 1,4	Не более 1,3
ДН	В конусе рабочих углов	Специальной формы, обеспечивающей максимум коэффициента усиления в направлениях наибольшей дальностей
Поляризация	эллиптическая	Эллиптическая
Габариты, мм	425 × 190 × 300 × 500 (длина × диаметр верхней части конуса × диаметр нижней части конуса × диаметр основания)	650 × 97 × 130 (длина × диаметр излучателя × диаметр основания)
Масса, кг	4	3,5

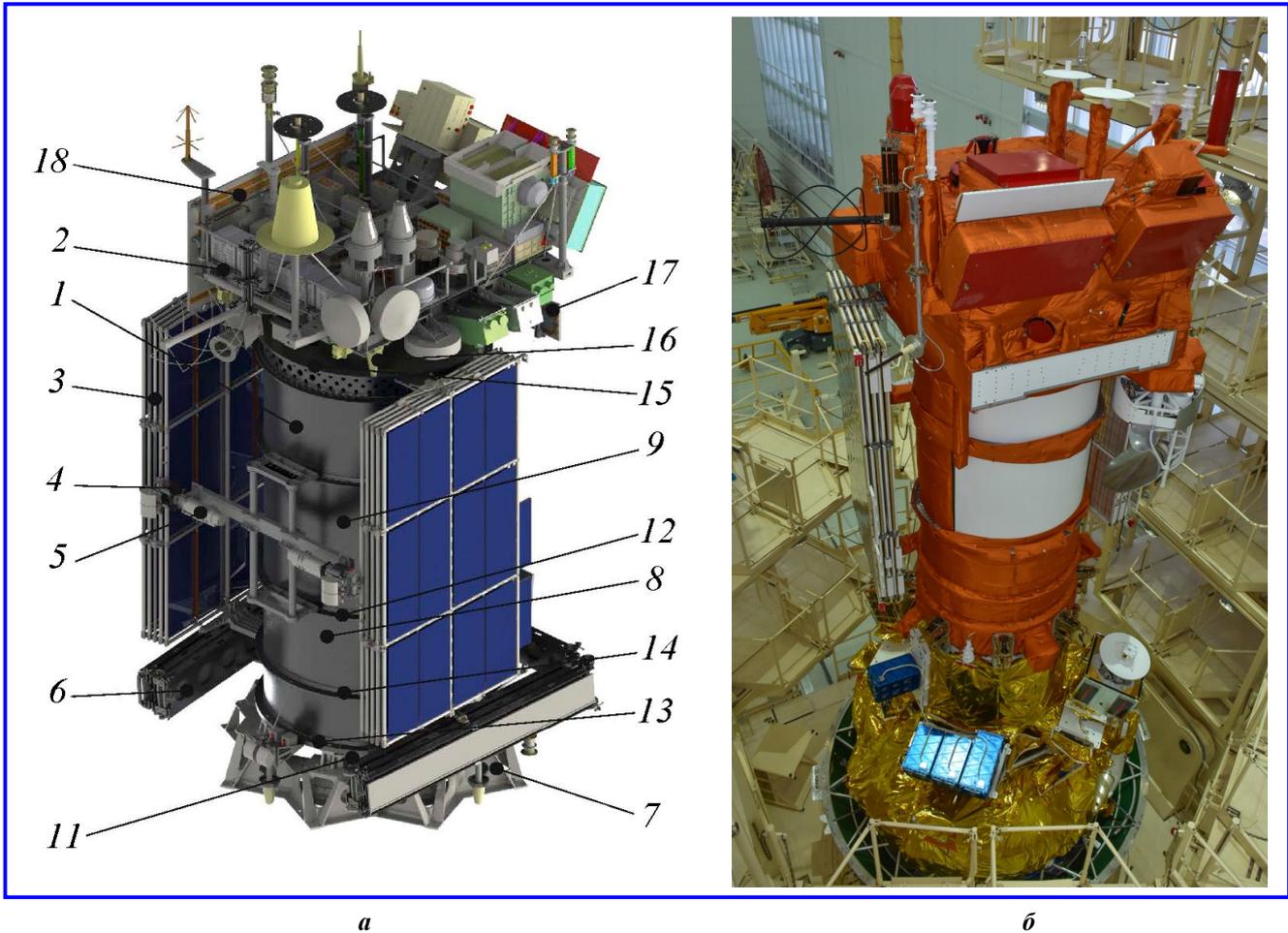


Рис. 6. КА «Метеор-М»: *а* – общий вид КА «Метеор-М» № 2 с адаптером; *б* – КА «Метеор-М» № 2-1 с бортовыми антеннами для аппаратуры Коспас-Сарсат

Заключение

В работе предложен и рассмотрен вариант построения совмещённой бортовой антенны для обеих систем на рабочих частотах 402 МГц и 406 МГц. В качестве такой антенны предложено применение доработанной двухчастотной спиральной антенны, представленной на рис. 5, *а*.

Такой подход позволит:

- уменьшить количество антенн, входящих в состав бортовой антенной системы КА;
- упростить размещение бортовых антенн на поверхности КА;
- улучшить электромагнитную совместимость на борту КА;
- снизить массу бортовой антенной системы.

Таким образом, предложен вариант совмещённой бортовой антенны двух систем ССПД и Коспас-Сарсат для последующих КА «Метеор-М» [13].

Литература

1. Пригода Б. А., Кокунько В. С. Антенны летательных аппаратов. – М.: Воениздат, 1964. – 120 с.

2. Бочаров В. С., Генералов А. Г., Гаджиев Э. В. Особенности бортовых антенно-фидерных устройств космических аппаратов // Материалы научно-технического семинара «Перспективы развития антенно-фидерных устройств летательных аппаратов». – Истра: ОАО «НИИЭМ», 2013. – С. 55 – 58.

3. Bocharov V. S., Generalov A. G., Gadzhiev E. V. Antenna-feeder devices in the development of OJSC «НИИЭМ», Istra (Moscow region) // 23rd International Crimean Conference Microwave and Telecommunication Technology, Conference Proceedings. – 2013. – Pp. 46 – 47.

4. Космический комплекс гидрометеорологического и океанографического обеспечения «Метеор-3М» с космическим аппаратом «Метеор-М» № 2. – М.: ОАО «Корпорация «ВНИИЭМ», 2014. – 158 с.

5. Макриденко Л. А., Волков С. Н., Горбунов А. В., Ходненко В. П., Чуркин А. Л. Запуск первого российского метеорологического КА нового поколения «Метеор-М» № 1 – начало воссоздания отечественной метеорологической орбитальной группировки // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. – М.: ОАО «Корпорация «ВНИИЭМ», 2018. – № 4. – Т. 165. – С. 46 – 60.

6. Космический комплекс гидрометеорологического и океанографического обеспечения «Метеор-3М» с кос-

мическим аппаратом «Метеор-М» № 2-1. – М. : АО «Корпорация «ВНИИЭМ», 2017. – 156 с.

7. Cospas-Sarsat System [Электронный ресурс] <http://www.cospas-sarsat.int>. – Montreal, 2014. – (Дата обращения 08.02.2019).

8. Бочаров В. С., Генералов А. Г. 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).

9. Kilgus C. C. Shaped-Conical Radiation Pattern Performance of the Backfire Quadriplanar Helix / IEEE Trans on Antennas and Propagation. – 1975. – Pp. 392 – 397.

10. Воскресенский Д. И., Гостюхин В. Л. Устройства СВЧ и антенны / Д. И. Воскресенский, В. Л. Гостюхин, В. М. Максимов, Л. И. Пономарёв. – М. : Радиотехника, 2008. – 384 с.

11. Гаджиев Э. В., Туманов М. В., Генералов А. Г. Применение спиральных антенн для бортовых систем и комплексов. Авиация и космонавтика – 2018 // Тезисы 17-й Международной конференции. – 2018. – С. 248 – 249.

12. Макриденко Л. А., Волков С. Н., Горбунов А. В., Салихов Р. С., Ходненко В. П. Космический аппарат «Метеор-М» № 2 // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. – М. : ОАО «Корпорация «ВНИИЭМ», 2018. – № 5. – Т. 166. – С 36 – 48.

13. Генералов А.Г., Гаджиев Э.В. Разработка бортовой совмещённой антенны для ССПД и РК–СМ–МКА КА серии «Метеор-М». Тезисы докладов Шестой международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы создания космических систем дистанционного зондирования Земли». – М.: АО «Корпорация «ВНИИЭМ», 2018. – С. 132 – 134.

Поступила в редакцию 28.03.2019

*Андрей Борисович Захаренко, доктор технических наук, начальник отдела, доцент, т. (495) 366-26-44.
Александр Юрьевич Федотов, доктор технических наук, главный конструктор АФУ, т. (495) 366-27-55.*

*E-mail: otde118@mcc.vniiem.ru.
(АО «Корпорация «ВНИИЭМ»).*

Александр Георгиевич Генералов, начальник лаборатории.

Эльчин Вахидович Гаджиев, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник.

Мирзабек Русланович Салихов, инженер-электрик.

Т. (495) 994-55-57.

E-mail: otd24@vniiem.ru.

(Акционерное общество «Научно-исследовательский институт электромеханики» (АО «ВНИИЭМ»)).

CONSTRUCTION OF INTEGRATED ONBOARD ANTENNAS

**A. B. Zakharenko, A. Yu. Fedotov, A. G. Generalov,
E. V. Gadzhiev, M. R. Salikhov**

During the development of an antenna system for spacecraft of any type and application, the developers face the challenge of installing onboard antennas on the satellite surface. To do this, it is required to take into account the influence of the satellite body and onboard devices located near the antennas. The article deals with the approaches that are currently used to resolve this problem. The advantages and disadvantages of existing methods of locating spacecraft onboard antennas are shown.

This article demonstrates the possibility of constructing integrated onboard antennas for spacecraft in order to resolve the studied problem. An actual example of constructing an integrated antenna for the onboard radio complex of the data acquisition and transmission system and onboard equipment of COSPAS-SARSAT is considered. The proposed integrated antenna can be used on Meteor-M satellites.

Key words: spacecraft, onboard antenna, helix antenna, standing wave ratio, pattern, gain, polarization.

References

1. Prigoda B. A., Kokunko V. S. Aircraft antennas. – М. : Voenizdat, 1964. – 120 p.
2. Bocharov V. S., Generalov A. G., Gadzhiev E. V. Features of on-board antenna-feeder devices of spacecraft // Proceedings of scientific and technical seminar ‘Perspectives of development of antenna-feeder devices for air- and spacecraft’. – Istra : JSC ‘NIIEM’, 2013. – Pp. 55 – 58.
3. Bocharov V. S., Generalov A. G., Gadzhiev E. V. Antenna-feeder devices in the development of JSC ‘NIIEM’, Istra (Moscow region) // 23rd International Crimean Conference ‘Microwave and Telecommunication Technology’, Conference Proceedings. – 2013. – Pp. 46 – 47.
4. Hydrometeorological and oceanographic space system Meteor-3M comprising Meteor-M № 2. – М. : ‘VNIEM Corporation’ JC, 2014. – 158 p.
5. Makridenko L. A., Volkov S. N., Gorbunov A. V., Khodnenko V. P., Churkin A.L. Launch of first Russian meteorological spacecraft of new generation Meteor-M № 1: beginning of re-creation of Russian meteorological orbital constellation // Matters of Electromechanics. VNIEM Proceedings. – М. : ‘VNIEM Corporation’ JC, 2018. – No. 4. – Vol. 165. – Pp. 46 – 60.

6. Hydrometeorological and oceanographic space system Meteor-3M comprising Meteor-M № 2-1. – M.: ‘VNIIEM Corporation’ JC, 2017. – 156 p.
7. Cospas-Sarsat System [Electronic resource] <http://www.cospas-sarsat.int>. – Montreal, 2014. – (Access date: 08.02.2019).
8. Bocharov V. S., Generalov A. G. Antenna system for Cospas-Sarsat on-board equipment / V. S. Bocharov, A. G. Generalov, E. V. Gadzhiev // Radio Engineering. – 2018. – No. 8. – Pp. 204 – 211. – DOI 10.18127/j00338486-201808-38).
9. Kilgus C. C. Shaped-Conical Radiation Pattern Performance of the Backfire Quadrifilar Helix / IEEE Trans on Antennas and Propagation. – 1975. – Pp. 392 – 397.
10. Voskresenskii D. I., Gostiukhin V. L. Microwave devices and antennas / D. I. Voskresenskii, V. L. Gostiukhin, V. M. Maksimov, L. I. Ponomarev. – M.: Radio Engineering, 2008. – 384 p.
11. Gadzhiev E. V., Tumanov M. V., Generalov A. G. Application of helix antennas for on-board systems and complexes. Aviation and space – 2018 // Proceedings of 17th International Conference. – 2018. – Pp. 248 – 249.
12. Makridenko L. A., Volkov S. N., Gorbunov A. V., Salikhov R. S., Khodnenko V. P. Meteor-M № 2 // Matters of Electromechanics. VNIIEM Proceedings. – M.: ‘VNIIEM Corporation’ JC, 2018. – No. 5. – Vol. 166. – Pp 36 – 48.
13. Generalov A. G., Gadzhiev E. V. Development of an onboard integrated antenna for the Data Acquisition and Transmission System and Modified Rescue Radio Complex of Meteor-M satellites. Proceedings of the 6th international scientific and technical conference ‘Current issues of development of Earth remote sensing space systems’. – M.: ‘VNIIEM Corporation’ JC, 2018. – Pp. 132 – 134.

*Andrey Borisovich Zakharenko, Doctor of Technical Sciences (D. Sc.), Head of Department,
Associate Professor, tel.: +7 (495) 366-26-44.*

*Aleksandr Iurevich Fedotov, Doctor of Technical Sciences (D. Sc.), Chief Designer of Antenna-feeder Devices,
tel.: +7 (495) 366-27-55, e-mail: otdel18@mcc.vniiem.ru.
(JC «VNIIEM Corporation»).*

Aleksandr Georgievich Generalov, Head of Laboratory.

*Elchin Vakhidovich Gadzhiev, Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Leading Researcher.
Mirzabek Ruslanovich Salikhov, Electrical Engineer, tel.: +7 (495) 994-55-57, e-mail: otd24@vniiem.ru.
(Joint-Stock Company ‘Scientific and Research Institute of Electromechanics’ (JSC «VNIIEM»)).*