

# КОСМИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА. КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ. ИССЛЕДОВАНИЕ ОКОЛОЗЕМНОГО КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА

УДК 621.396.6

## БОРТОВЫЕ АНТЕННЫЕ СИСТЕМЫ МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ, СПРОЕКТИРОВАННЫХ НА БАЗЕ КОСМИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЫ «КАНОПУС-В»

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

*Рассмотрены бортовые антенные системы малых космических аппаратов, разработанных на базе космической платформы «Канопус-В». Приведен состав антенно-фидерных устройств, применяемых в бортовых системах и комплексах аппаратов, а также представлены их энергетические параметры. Проведен анализ текущего состояния бортовых антенных систем малых космических аппаратов, разработанных на базе космической платформы «Канопус-В». Показаны перспективные направления дальнейшего развития антенно-фидерных устройств малых космических аппаратов, разработанных на базе космической платформы «Канопус-В», с учетом современных требований, предъявляемых к бортовым антенным системам.*

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

### Введение

22 июля 2012 г. состоялся запуск малого космического аппарата (КА) «Канопус-В» № 1, представленного на рис. 1, и идентичного ему Белорусского космического аппарата (БКА) [1, 2], разработанных на базе одноименной космической платформы и служебной системы «Канопус-В».

28 апреля 2016 г. с космодрома Восточный состоялся запуск КА «Ломоносов», а 14 июля 2017 г. с космодрома Байконур – КА «Канопус-В-ИК», за основу служебной системы которых также взята служебная система КА «Канопус-В».

КА «Канопус-В» предназначен для обеспечения пользователей оперативной гидрометеорологической информацией в целях решения следующих основных задач [3]:

- оперативного мониторинга техногенных, природных чрезвычайных ситуаций и стихийных гидрометеорологических явлений;
- картографирования;
- обнаружения и контроля очагов лесных пожаров и гарей, крупных выбросов загрязняющих веществ в окружающую среду;
- регистрации аномальных физических явлений для прогнозирования землетрясений;
- мониторинга сельскохозяйственной и водохозяйственной деятельности;
- землепользования;
- мониторинга ледовой обстановки на реках, озерах и водохранилищах, а также в прибрежных зонах замерзающих морей Российской Федерации (РФ);
- оперативного наблюдения заданных районов земной поверхности в интересах различных отраслей народного хозяйства, министерств и ведомств РФ.

КА «Канопус-В» входит в состав космического комплекса (КК) оперативного мониторинга техногенных и природных чрезвычайных ситуаций

«Канопус-В», созданного по заказу Госкорпорации «Роскосмос».

КК «Канопус-В» включает в себя пять КА «Канопус-В» (№ 1, № 3, № 4, № 5, № 6) и КА «Канопус-В-ИК».

Более подробно предназначение и состав бортовой аппаратуры КА «Ломоносов» и КА «Канопус-В-ИК» приведены в [4 – 6].

На рис. 2 представлены фото малых КА «Канопус-В» (а), «Ломоносов» (б) и «Канопус-В-ИК» (в) [7].

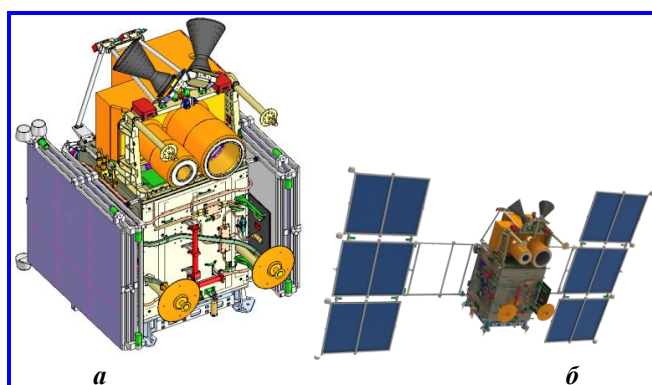


Рис. 1. Малый космический аппарат «Канопус-В» № 1:  
а – в собранном виде; б – в полете

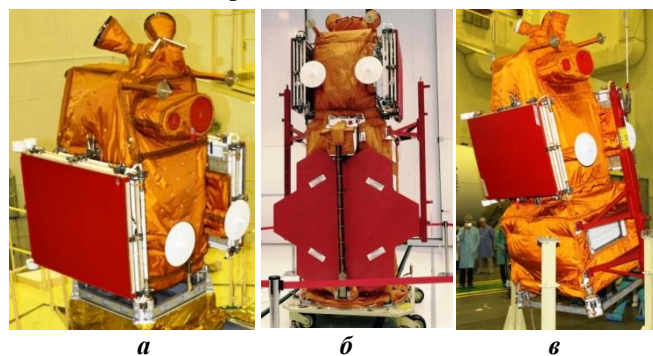


Рис. 2. Малые КА на базе космической платформы «Канопус-В»: а – КА «Канопус-В»; б – КА «Ломоносов»; в – КА «Канопус-В-ИК»

Одним из элементов конструкции модуля полезной нагрузки, представляющий собой неотъемлемую часть космической платформы КА, является бортовая антенно-фидерная система, которая, как правило, включает в себя [8]:

- антенны;
- радиотехнические кабели;
- волноводы;
- высокочастотные фильтры и др.

В составе бортовых систем малых КА, разработанных на базе космической платформы «Канопус-В», спроектированы и успешно применяются антенно-фидерные устройства (АФУ) для [9 – 11]:

- телекомандной системы (ТКС);
- радиолинии передачи целевой информации (РЛЦИ);
- аппаратуры спутниковой навигации (АСН).

Целью данной работы является определение перспективных направлений дальнейшего развития бортовых АФУ в составе КА, спроектированных на базе космической платформы «Канопус-В».

#### Антенная система малых космических аппаратов, спроектированных на базе космической платформы «Канопус-В»

Антенная система малых КА, спроектированных на базе космической платформы «Канопус-В», показана на рис. 3.

ТКС предназначена для обеспечения непосредственного взаимодействия КА с наземными командно-измерительными системами (КИС) с целью [2]:

- радиуправления и радиоконтроля орбиты от бортовых датчиков сети;
- запоминания собранной информации в бортовом запоминающем устройстве;
- обработки собранной информации;
- передачи обработанной информации по радиолинии S-диапазона на наземные пункты приема.

Частотный диапазон радиолиний:

- приемный канал – 2035 МГц;
- передающий канал – 2210 МГц.

В составе АФУ ТКС (позиция 1 на рис. 3), спроектированных на базе космической платформы «Канопус-В» (см. рис. 2), применение нашли вибраторные антенны [7, 10].

Антенна представляет собой конструкцию из пар длинных и коротких вибраторов.

АФУ ТКС, представленное на рис. 4, включает в себя:

- приемные антенны (2 шт.);
- передающие антенны (2 шт.);
- делители мощности (2 шт.);
- кабельную сеть.



а



б

Рис. 3. Антенная система космической платформы «Канопус-В»: а – в направлении Земли; б – в противоположном направлении; 1 – АФУ ТКС; 2 – АФУ РЛЦИ; 3 – АФУ АСН



Рис. 4. АФУ ТКС для КА, спроектированных на базе космической платформы «Канопус-В» (без кабельной сети)

На рис. 5, 6 и 7 представлены диаграмма направленности (ДН), коэффициент усиления (КУ) и коэффициент эллиптичности АФУ ТКС (см. рис. 3) соответственно.

Разработанное АФУ ТКС обеспечивает:

- постоянное подключение двух штатно включенных приемников ТКС к обеим диаметрально расположенным на КА антеннам АФУ приемного канала;

- постоянное подключение основного и резервного передатчиков ТКС к обеим диаметрально расположенным на КА антеннам АФУ передающего канала, при штатном включении одного из них.

РЛЦИ предназначена [11]:

- для приема цифровой информации от целевой аппаратуры;

- для формирования цифровых потоков заданной структуры;

- для подготовки передачи радиосигнала.

АФУ РЛЦИ СМ-диапазона (позиция 2 на рис. 3) работают в диапазоне частот 8025 ... 8400 МГц и имеют ДН специальной формы в полусфере пространства, обращенной в сторону Земли с требуемым коэффициентом усиления в конусе углов  $\pm 63^\circ$ , при этом максимум КУ 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 [12].

АСН реализует следующие функции [1, 11]:

- прием навигационных сигналов со спутников ГЛОНАСС и GPS;

- проведение навигационных определений положения и движения КА на орбите и передачу навигационной информации в бортовую вычислительную систему (БВС) по интерфейсу CAN (Control Area Network);

- формирование и выдача секундных меток в БВС.

АФУ АСН (позиция 3 на рис. 3) состоит из одной антенны ГЛОНАСС и двух антенн GPS, которые выполнены в виде печатных антенн на частотах L1, L2. Ширина ДН  $160^\circ$  в верхней полусфере.

### Перспективные направления дальнейшего развития антенной системы малых космических аппаратов, спроектированных на базе космической платформы «Канопус-В»

В ходе проведения летных испытаний АФУ ТКС в составе КА «Канопус-В» № 1 и БКА выявлена необходимость повышения надежности связи,

учитывая существующие помехи и вероятный рост их в дальнейшем [9]. В зоне максимальной дальности в некоторых случаях наблюдались перебои в приеме команд бортовой телекомандной радиосистемы (интерференция) [10].

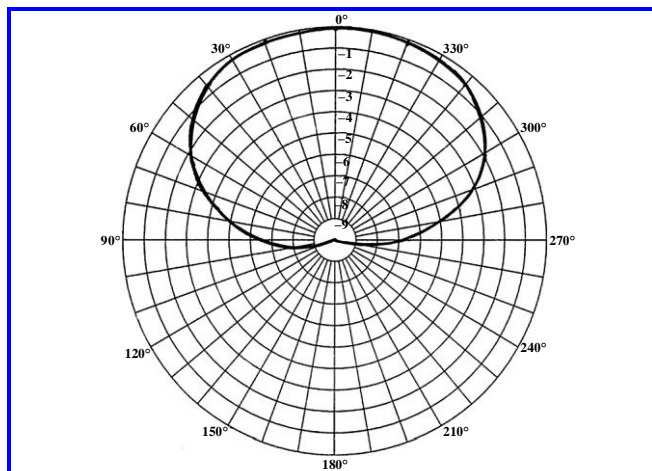


Рис. 5. Диаграмма направленности антенно-фидерного устройства телекомандной системы при  $\varphi = 45^\circ$

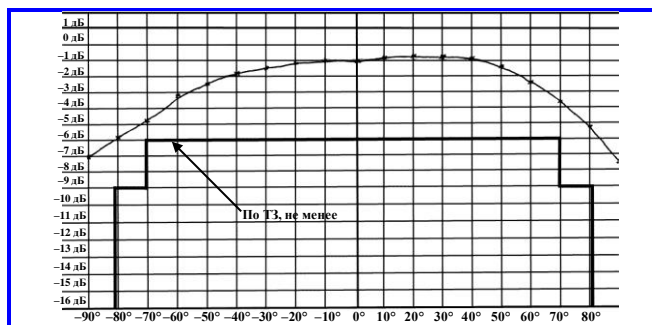


Рис. 6. Изменение величины коэффициента усиления передающего канала антенно-фидерного устройства телекомандной системы от угла  $\theta$  при  $\varphi = 0^\circ$



Рис. 7. Коэффициент эллиптичности передающего канала антенно-фидерного устройства телекомандной системы

В связи с этим рассмотрены следующие пути усовершенствования АФУ ТКС:

### **1. Конструктивные изменения.**

С помощью введения конструктивного изменения применяемой в настоящее время турникетной антенны ТКС (см. рис. 4), которое заключается в размещении под существующим экраном дополнительного экрана, выполненного в виде диска с большим диаметром, можно расширить ДН и улучшить коэффициент эллиптичности при больших углах, не ухудшая коэффициент стоячей волны (КСВ) антенны.

Такой подход обладает минимальными затратами, так как не требует изменения конструкции самой антенны, проведения дополнительных испытаний, не ухудшает прочность антенны и т. д.

### **2. Применение другого типа излучателя.**

Иным подходом является разработка и применение другого типа излучателя для АФУ ТКС с учетом применяемого частотного диапазона и предъявляемых требований к электрорадиотехническим параметрам (КСВ, ДН, КУ, коэффициент эллиптичности).

С учетом вышесказанного возникает интерес к применению:

– четырехзаходной спиральной антенны [13], применение такого излучателя позволит получить при больших углах лучший коэффициент эллиптичности, а конструкция данной антенны не требует обязательного наличия экрана;

– печатной антенны [14], применение такого типа излучателя позволит провести миниатюризацию бортовой антенной системы ТКС.

### **3. Увеличение коэффициента полезного действия (КПД) фидерного тракта.**

Также необходимо отметить, что работы по снижению коэффициента затухания кабельной сети за счет применения кабеля с полувоздушной изоляцией марки РК-50-7-47к и др. вместо РК-50-4-21 приведут к увеличению КУ при уменьшении массы АФУ ТКС.

Причем данный вариант применим к использованию в составе вышеприведенных подходов усовершенствования АФУ ТКС.

Учитывая современные требования к увеличению скорости передачи данных для оперативного сбрасывания на наземные пункты приема информации, вызванные повышением пространственного разрешения снимков современных КА дистанционного зондирования Земли, что, в свою очередь, приводит к возрастанию объемов информации, возникает острая потребность в построении высокоскоростной радиолинии (ВРЛ) вместо РЛЦИ [15, 16].

В связи с этим перспективным направлением является разработка и применение антенных решеток в качестве бортового АФУ ВРЛ КА вместо применяемой в настоящее время двухзеркальной антенны [17 – 19].

Так как перспективным направлением является применение КК из нескольких КА ввиду очевидности преимуществ данного подхода, актуальным направлением является разработка и внедрение бортовых АФУ для обеспечения межспутниковой связи [20].

### **Заключение**

В работе рассмотрены и представлены бортовые антенны, входящие в состав антенной системы малых КА, спроектированных на базе космической платформы «Канопус-В». Рассмотрены перспективы развития, приведены и проанализированы возможные пути модернизации антенн.

Предложенные подходы в части АФУ ТКС позволят:

– увеличить КУ в зоне углов максимальной дальности;

– отодвинуть зону интерференции за счет ширины ДН антенн, направленных на Землю и зенит;

– уменьшить массу бортовой радиолинии.

Предложенный подход в части АФУ РЛЦИ позволит:

– спроектировать ВРЛ за счет применения антенной решетки с большим КУ;

– увеличить скорость передачи данных;

– использовать одну бортовую радиолинию вместо двух;

– уменьшить массу бортовой радиолинии.

### **Литература**

1. Космический комплекс оперативного мониторинга техногенных и природных чрезвычайных ситуаций «Канопус-В» с космическим аппаратом «Канопус-В» № 1 / Под редакцией К. А. Боярчука, С. Н. Волкова, А. В. Горбунова [и др.]. – Москва : ФГУП «НПП ВНИИЭМ», 2011. – 110 с.
2. Космический комплекс «Канопус-В». Космические аппараты «Канопус-В» № 1, № 3, № 4, № 5, № 6. Основные характеристики // АО «Корпорация «ВНИИЭМ» : [сайт]. – 2015.03.03. – URL : <http://vniiem.ru/index.php?catid=37:spacepragrams&id=468>.
3. КА «Канопус-В» № 1 – первый российский малый космический аппарат высокодетального дистанционного зондирования Земли нового поколения / Л. А. Макриденко, С. Н. Волков, А. В. Горбунов [и др.] // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. – 2017. – Т. 156. – № 1. – С. 10 – 20.

4. Научно-исследовательский космический аппарат «Ломоносов» / Под редакцией Л. А. Макриденко, М. И. Панасюка, С. Н. Волкова [и др.]. – Москва : АО «Корпорация «ВНИИЭМ», 2015. – 138 с.
5. Научный космический аппарат «Ломоносов» / Л. А. Макриденко, С. Н. Волков, А. В. Горбунов [и др.] // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. – 2017. – Т. 161. – № 6. – С. 28 – 44.
6. Космический комплекс оперативного мониторинга техногенных и природных чрезвычайных ситуаций «Канопус-В» с космическим аппаратом «Канопус-В-ИК» / Под редакцией Л. А. Макриденко, С. Н. Волкова, А. В. Горбунова [и др.]. – Москва : АО «Корпорация «ВНИИЭМ», 2017. – 130 с.
7. Построение бортовых антенных решеток космических аппаратов / Е. В. Овчинникова, С. Г. Кондратьева, П. А. Шмачилин [и др.] // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. – 2021. – Т. 183. – № 4. – С. 44 – 54.
8. Воскресенский Д. И. Устройства СВЧ и Антенны: [учебник] / Д. И. Воскресенский, В. Л. Гостюхин, В. М. Максимов [и др.]; под ред. Д. И. Воскресенского. – Изд. 4-е, испр. и доп. – Москва : Радиотехника, 2016. – 560 с.
9. Бочаров В. С. Результаты летных испытаний антенно-фидерных устройств телекомандной системы КА «Канопус-В» №1 и Белорусского КА и пути совершенствования их характеристик / В. С. Бочаров, А. Г. Генералов, Э. В. Гаджиев // Перспективы развития антенно-фидерных устройств летательных аппаратов: материалы научно-технического семинара, Истра, 25 сентября 2013 года. – Истра : Научно-исследовательский институт электромеханики, 2013. – С. 59 – 61.
10. Бочаров В. С. Результаты летных испытаний антенно-фидерных устройств телекомандной системы КА «Канопус-В» № 1 и Белорусского КА и пути совершенствования их характеристик / В. С. Бочаров, А. Г. Генералов, Э. В. Гаджиев // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. – 2014. – № 4(16). – С. 5 – 12.
11. Бортовые радиолинии космических аппаратов / Э. В. Гаджиев, Ю. В. Сычиков, Ю. И. Аликин [и др.] // Авиация и космонавтика: тезисы 21-ой международной конференции, Москва, 21 – 25 ноября 2022 года / Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет). – Москва : Издательство «Перо», 2022. – С. 288 – 290.
12. Перспективы развития бортовой антенной системы космических аппаратов серии «Метеор-М» / А. Б. Захаренко, А. Ю. Федотов, Э. В. Гаджиев [и др.] // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. – 2021. – Т. 182. – № 3. – С. 19 – 23.
13. Application of spiral antennas for perspective vehicle-board systems and complexes / E. Gadzhiev, A. Generalov, A. Zhukov [et al.] // Proceedings – 5th International Conference on Engineering and Telecommunication, EnT-MIPT 2018 : 5, Moscow, 15 – 16 ноября 2018 года. – Moscow, 2018. – P. 91 – 93. – DOI : 10.1109/EnT-MIPT.2018.00027.
14. Генералов А. Г. Миниатюрные антенны для малых космических аппаратов Cubesat / А. Г. Генералов, Э. В. Гаджиев // Сибирский журнал науки и технологий. – 2018. – Т. 19. – № 2. – С. 259 – 270. – DOI : 10.31772/2587-6066-2018-19-2-259-270.
15. Бахтин А. А. Анализ современных возможностей организации сверхвысокоскоростных спутниковых радиолиний / А. А. Бахтин, Е. В. Омелянчук, А. Ю. Семенова // Труды МАИ : [сетевое научное издание]. – 2017. – № 96. – URL : <https://trudymai.ru/published.php?ID=85828&referer=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F>.
16. Антенные системы радиолинии передачи информации космических аппаратов: состояние и перспективы развития / Е. В. Овчинникова, С. Г. Кондратьева, П. А. Шмачилин [и др.] // Радиотехника. – 2021. – Т. 85. – № 3. – С. 86 – 95. – DOI : 10.18127/j00338486-202103-09.
17. Двуреченский В. Д. Спутниковая антенна с эллиптической поляризацией / В. Д. Двуреченский, П. П. Телепнев, А. Ю. Федотов // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. – 2013. – Т. 134. – № 3. – С. 27 – 30.
18. Двуреченский В. Д. Линейная антенна с эллиптической поляризацией для космических аппаратов / В. Д. Двуреченский, П. П. Телепнев, А. Ю. Федотов // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. – 2017. – Т. 161. – № 6. – С. 17 – 19.
19. On-Board X-Band Antenna Array / E. V. Gadzhiev, E. V. Ovchinnikova, S. G. Kondratieva [et al.] // 2022 Systems of signals generating and processing in the field of on board communications, SOSG 2022 – IEEE Conference № 53456, Moscow, 15– 17 марта 2022 года. – Moscow, 2022. – DOI : 10.1109/IEEECONF53456.2022.9744339.
20. Генералов А. Г. Бортовая антенна для построения систем связи и межспутниковой связи / А. Г. Генералов, Э. В. Гаджиев // Иосифьяновские чтения 2017: Тезисы докладов конференции, Истра, 26 октября 2017 года. – Истра : Научно-исследовательский институт электромеханики, 2017. – С. 262 – 265.

Поступила в редакцию 30.01.2023

**Эльчин Вахидович Гаджиев**, кандидат технических наук, доцент, ведущий инженер,  
т. (495) 994-55-84, e-mail: [ckp579@mcc.vniiem.ru](mailto:ckp579@mcc.vniiem.ru).  
(Московский авиационный институт (Национальный исследовательский университет),  
АО «Корпорация «ВНИИЭМ»).

**Андрей Борисович Захаренко**, доктор технических наук, доцент, начальник отдела,  
т. (495) 366-26-44, e-mail: [otdel18@mcc.vniiem.ru](mailto:otdel18@mcc.vniiem.ru).

**Павел Петрович Телепнев**, научный сотрудник, т. (495) 366-27-55, e-mail: [lab1811@mcc.vniiem.ru](mailto:lab1811@mcc.vniiem.ru).

**Александр Юрьевич Федотов**, доктор технических наук, главный конструктор,  
т. (495) 366-27-55, e-mail: [lab1811@mcc.vniiem.ru](mailto:lab1811@mcc.vniiem.ru).  
(АО «Корпорация «ВНИИЭМ»).

## ON-BOARD ANTENNA SYSTEMS FOR SMALL SPACECRAFT DESIGNED ON THE BASIS OF CANOPUS-V SPACE PLATFORM

E. V. Gadzhiev, A. B. Zakharenko,  
P. P. Telepnev, A. Yu. Fedotov

*The article considers the on-board antenna systems for small spacecraft designed on the basis of «Canopus-V» space platform. The components of antenna-feeder devices applied within the on-board systems of the spacecraft, as well as their energy parameters are provided in the article. The current state of the on-board antenna systems of small spacecraft designed on the basis of «Canopus-V» space platform is analyzed. The article shows prospective directions of future development of antenna-feeder devices for small spacecraft designed on the basis of «Canopus-V» space platform, taking into account current requirements imposed on the on-board antenna systems.*

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

### References

1. Space system for real-time monitoring of industrial and natural disasters «Canopus-V» with «Canopus-V» № 1 / Edited by K. A. Boyarchuk, S. N. Volkov, A. V. Gorbunov [et al.]. – Moscow : FSUE «NPP VNIIEEM», 2011. – p. 110.
2. «Canopus-V» space system. «Canopus-V» № 1, № 3, № 4, № 5, № 6 spacecraft. Basic characteristics // VNIIEEM Corporation JSC : [website]. – 2015.03.03. – URL : <http://vniiem.ru/index.php?catid=37:spacepragrams&id=468>.
3. «Canopus-V» № 1: first Russian high-resolution ERS small satellite of the new generation / L. A. Makrickenko, S. N. Volkov, A. V. Gorbunov [et al.] // Matters of Electromechanics. VNIIEEM Proceedings. – 2017. – V. 156. – No. 1. – P. 10 – 20.
4. Scientific and research satellite Lomonosov / Edited by L. A. Makrickenko, M. I. Panasyuk, S. N. Volkov [et al.] – Moscow : VNIIEEM Corporation JSC, 2015. – p. 138.
5. Scientific satellite Lomonosov / L. A. Makrickenko, S. N. Volkov, A. V. Gorbunov [et al.] // Matters of Electromechanics. VNIIEEM Proceedings. – 2017. – V. 161. – No. 6. – P. 28 – 44.
6. Space system for real-time monitoring of industrial and natural disasters «Canopus-V» with «Canopus-V-ИК» / Edited by L. A. Makrickenko, S. N. Volkov, A. V. Gorbunov [et al.]. – Moscow : VNIIEEM Corporation JSC, 2017. – p. 130.
7. Construction of on-board antenna arrays for spacecraft / E. V. Ovchinnikova, S. G. Kondratyeva, P. A. Shmachilin [et al.] // Matters of Electromechanics. VNIIEEM Proceedings. – 2021. – V. 183. – No. 4. – P. 44 – 54.
8. Voskresenskiy D.I. Microwave devices and antennas: [textbook] / D. I. Voskresenskiy, V. L. Gostyukhin, V. M. Maksimov [et al.]; edited by D. I. Voskresenskiy. – 4th edition, corrected and updated. – Moscow : Radiotekhnika, 2016. – p. 560.
9. Bocharov V. S. Results of flight tests of antenna-feeder devices within «Canopus-V» № 1 and Belarusian Satellite telemetry and telecommand system and ways to improve their characteristics / V. S. Bocharov, A. G. Generalov, E. V. Gadzhiev // Prospects of development of antenna-feeder devices for spacecraft: proceedings of scientific seminar, Istra, September 25, 2013. – Istra : Research institute of electromechanics, 2013. – P. 59 – 61.
10. Bocharov V. S. Results of flight tests of antenna-feeder devices within Canopus-V № 1 and Belarusian Satellite telemetry and telecommand system and ways to improve their characteristics / V. S. Bocharov, A. G. Generalov, E. V. Gadzhiev // Radio and telecommunication systems. – 2014. – No. 4(16). – P. 5 – 12.
11. Spacecraft on-board radio links / E. V. Gadzhiev, Yu. V. Sychikov, Yu. I. Aliking [et al.] // Aviation and Cosmonautics: abstracts of 21st international conference, Moscow, November 21 – 25, 2022. / Moscow Aviation Institute (National Research University). – Moscow : Pero publishing house, 2022. – P. 288 – 290.
12. Prospects of development of on-board antenna systems for Meteor-M series spacecraft / A. B. Zakharenko, A. Yu. Fedotov, E. V. Gadzhiev [et al.] // Matters of Electromechanics. VNIIEEM Proceedings. – V. 182. – No. 3. – P. 19 – 23.
13. Application of spiral antennas for prospective on-board systems and complexes / E. Gadzhiev, A. Generalov, A. Zhukov [et al.] // Proceedings – 5th International Conference on Engineering and Telecommunication, EnT-MIPT 2018 : 5, Moscow, November 15 – 16, 2018. – Moscow, 2018. – P. 91 – 93. – DOI : 10.1109/EnT-MIPT.2018.00027.
14. Generalov A. G. Miniature antennas for Cubesat small satellites / A. G. Generalov, E. V. Gadzhiev // Siberian journal of science and technologies. – 2018. – V. 19. – No. 2. – P. 259 – 270. – DOI : 10.31772/2587-6066-2018-19-2-259-270.
15. Bakhtin A. A. Analysis of modern capabilities of arrangement of ultra high speed satellite radio links / A.A. Bakhtin, E. V. Omelyanchuk, A. Iu. Semyonova // MAI Proceedings [network scientific publication]. – 2017. – No. 96. – URL : <https://trudymai.ru/published.php?ID=85828&referer=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F>.
16. Antenna systems of spacecraft radio data links: status and prospects for development / E. V. Ovchinnikova, S. G. Kondratyeva, P. A. Shmachilin [et al.] // Radiotekhnika. – 2021. – V. 85. – No. 3. – P. 86 – 95. – DOI : 10.18127/j00338486-202103-09.
17. Dvurechenskiy V. D. Elliptically polarized satellite antenna / V. D. Dvurechenskiy, P. P. Telepnev, A. Yu. Fedotov // Matters of Electromechanics. VNIIEEM Proceedings. – 2013. – V. 134. – No. 3. – P. 27 – 30.
18. Dvurechenskiy V. D. Linear elliptically polarized antenna for spacecraft / V. D. Dvurechenskiy, P.P. Telepnev, A. Yu. Fedotov // Matters of Electromechanics. VNIIEEM Proceedings. – 2017. – V. 161. – No. 6. – P. 17 – 19.
19. On-Board X-Band Antenna Array / E. V. Gadzhiev, E. V. Ovchinnikova, S. G. Kondratyeva [et al.] // 2022 Systems of signals generating and processing in the field of on board communications, SOSG 2022 – IEEE Conference No. 53456, Moscow, March 15 – 17, 2022. – Moscow, 2022. – DOI : 10.1109/IEEECONF53456.2022.9744339.

20. Generalov A. G. On-board antenna for construction of communication systems and intersatellite communications / A.G. Generalov, E. V. Gadzhiev // Iosifian readings 2017: Abstracts of conference papers, Istra, October 26, 2017. – Istra : Research institute of electromechanics, 2017. – P. 262 – 265.

*Elchin Vakhidovich Gadzhiev, Candidate of Technical Sciences (Ph. D), Associate Professor, Leading Engineer, tel.: +7 (495) 994-55-84, e-mail: ckp579@mcc.vniiem.ru, (Moscow Aviation Institute (National Research University), (JC «VNIEM Corporation»).*

*Andrei Borisovich Zakharenko, Doctor of Technical Sciences (D. Sc.), Associate Professor, Head of Department, tel.: +7 (495) 366-26-44, e-mail: otde118@mcc.vniiem.ru.*

*Pavel Petrovich Telepnev, Researcher, tel.: +7 (495) 366-27-55, e-mail: lab1811@mcc.vniiem.ru.*

*Aleksandr Yurievich Fedotov, Doctor of Technical Sciences (D.Sc.), Chief Designer, tel.: +7 (495) 366-27-55, e-mail: lab1811@mcc.vniiem.ru. (JC «VNIEM Corporation»).*