

## ПРИМЕНЕНИЕ АНТЕННОГО ИЗДЕЛИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ БОРТОВЫХ АНТЕННО-ФИДЕРНЫХ УСТРОЙСТВ

А. Г. Генералов, Э. В. Гаджиев, М. Р. Салихов

*Данная работа посвящена вопросу применения антенного изделия при проектировании бортовых антенно-фидерных устройств. Разработка антенного изделия является одной из стадий разработки космических аппаратов любого класса и целевого применения. Такой подход позволяет разработчикам на ранней стадии разработки антенной системы космических аппаратов провести качественный анализ размещения бортовых антенн на поверхности космического аппарата, а также провести оценку энергетических параметров антенн с учетом влияния его поверхности. В работе приведены примеры антенных изделий космических аппаратов, а также результаты испытаний бортовой антенной системы с помощью применения антенного изделия. Показаны возможности и преимущества применения антенного изделия при проектировании бортовых антенно-фидерных устройств.*

**Ключевые слова:** антенно-фидерное устройство, антенный макет, антенное изделие, космический аппарат, бортовая антенна, коэффициент стоячей волны, диаграмма направленности.

### Введение

Бортовые антенно-фидерные устройства (АФУ) составляют неотъемлемую часть космических аппаратов (КА), различающихся как по их типу (малые или большие), так и по целевой задаче.

АО «НИИЭМ» имеет более чем 55-летний опыт в разработке и изготовлении КА, а также отдельных бортовых систем. За это время разработано, изготовлено и успешно запущено более 35 КА метеорологического и научного назначения. АО «НИИЭМ» входит в состав АО «Корпорация «ВНИИЭМ» – ведущего российского производителя КА дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) (в том числе по созданию антенно-фидерных систем данных КА): «Канопус-В» № 1, Белорусский КА, «Канопус-В-ИК», «Канопус-В» № 3, «Канопус-В» № 4, студенческие «Университетский – Татьяна-2» и «Ломоносов», «Ионосфера», «Зонд» и др. [1 – 7].

Помимо малых КА, активное участие принимается в разработке бортовых антенных систем и для больших КА, например КА серии «Метеор» метеорологического назначения [8 – 10].

При разработке антенн часто используют экспериментальное исследование их характеристик на моделях. Практические указания по применению данного метода были впервые сформулированы М. С. Нейманом в 1934 г. [11].

Основные уравнения электродинамики (уравнения Максвелла), устанавливающие зависимость между величинами электромагнитного поля в среде, обладают линейностью. Из этого свойства выведен принцип электродинамического подобия, который заключается в том, что при изменении некоторых параметров поля и среды в определенном соотношении, характеристики излучения, такие, как, например, диаграмма направленности (ДН) или со-

противление излучения, остаются без изменения [12]. Отсюда следует, что исследовать характеристики какой-либо электромагнитной системы, например системы «антенна – КА», можно на модели, которая в каком-то масштабе является подобием реальной системы.

Обычно в качестве материала для моделей используется медь. Когда требуется еще большая проводимость поверхности модели, ее шлифуют, а также серебруют. В случае несоблюдения этих условий распределение токов по поверхности модели получается искаженным и ДН модели не соответствует ДН антенны реального объекта.

Метод моделирования дает достаточно точные представления о характеристиках реальных антенн. В особенности это относится к характеристикам направленности и поляриационным характеристикам антенн. Метод моделирования в основном и используется для их исследования.

Масштаб моделирования выбирается произвольно, исходя из условий работы и наличия требуемой электронной аппаратуры. Масштаб моделирования в основном не сказывается на результатах измерений. Масштабы моделирования обычно берутся в пределах от 5 до 50.

Но, несмотря на всю ценность этого способа, его возможности все-таки ограничены.

Моделирование можно осуществить лишь для таких антенн, которые позволяют в силу своих сравнительно больших размеров изготовить с требуемой точностью геометрическое подобие реального устройства. Имитировать, например, антенные устройства, работающие в диапазоне СВЧ, на моделях практически очень трудно, а часто и невозможно [13].

Таким образом, метод электродинамического подобия заключается в том, что уменьшение или

увеличение единиц измерения длины в  $l_0$  раз в выражении для векторов поля у модели означает изменение картины поля в радиальных направлениях от модели, соответствующее укорочению или увеличению  $\lambda$  в  $l_0$ . А зависимость от полярных углов сохраняется одинаковой у антенны и модели. Следовательно, ДН и коэффициент направленного действия (КНД) одинаковы у модели и антенны [12, 13].

Традиционно, в качестве бортовых АФУ КА используют различные типы антенн: вибраторные, штыревые, спиральные, рупорные, зеркальные, печатные и др. [14 – 17], в том числе и антенные решётки [18 – 22].

Как правило, на борту КА используются приёмопередающие антенны, входящие в состав следующих систем:

- телеметрической системы;
- телекомандной системы;
- навигационных систем (ГЛОНАСС, GPS);
- радиолинии передачи целевой информации;
- межспутниковой связи;
- специальных систем (например, КОСПАС-SARSAT);
- научных систем и комплексов и др.

Разработка КА, как правило, состоит из нескольких стадий проектирования:

- антенный макет;
- тепловой макет;
- динамический макет.

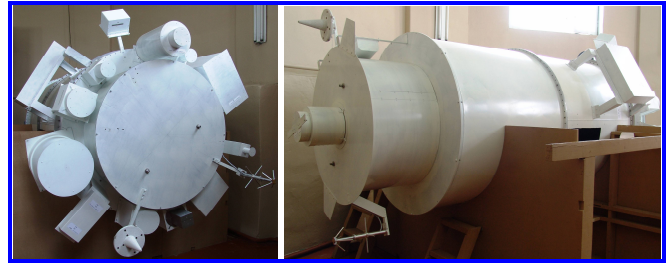


Рис. 1. Фото антенного изделия КА «Коронас-Фотон»

Антенный макет применяется на ранней стадии разработки бортовой антенной системы. В состав антенного изделия входит антенный макет и антенны бортовых радиолиний и комплексов, применяемых в составе разрабатываемого КА. Целью испытаний является комплексная отработка электрорадиотехнических характеристик АФУ. Испытания проводятся при раскрытых и закрытых макетах солнечных батарей КА.

АО «НИИЭМ» успешно практикует применение антенного изделия на ранней стадии разработки бортовой антенной системы [23 – 25].

На рис. 1 представлено антенное изделие КА «КОРОНАС-ФОТОН» [26].

При разработке антенной системы для КА «Канопус-В» № 1 и последующих КА, разработанных на базе космической платформы «Канопус-В», также применялось антенное изделие. Например, на рис. 2 показано антенное изделие КА «Ломоносов».



Рис. 2. Фото антенного изделия КА «Ломоносов»

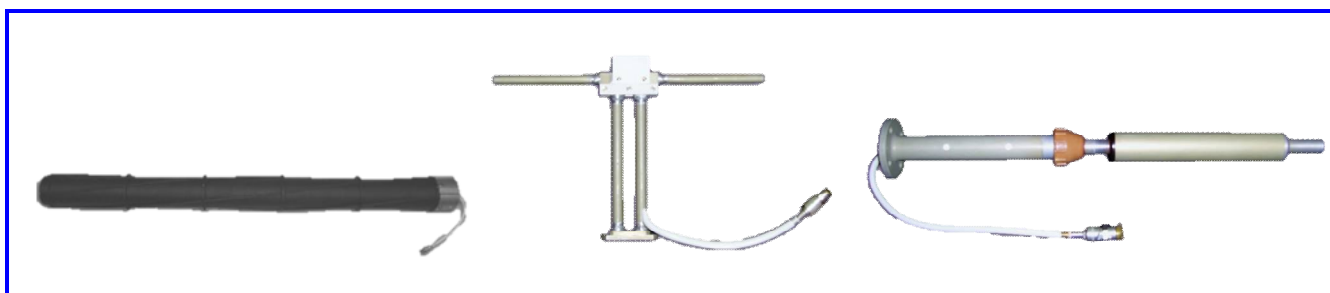
Таблица

**Задачи и перечень испытаний антенного изделия**

№ п/п	Задачи испытаний	Перечень испытаний
1	Определение электрорадиотехнических характеристик АФУ	Измерение коэффициента стоячей волны на входах АФУ в рабочем диапазоне частот
2	Оценка влияния затенений антенн элементами конструкции КА на диаграмму направленности в зоне рабочих углов связи	Расчет затенений антенн
3	Определение взаимовлияния между ВЧ-каналами АФУ	Измерение затухания между ВЧ-каналами АФУ



**Рис. 3. Фото антенного изделия КА «Ионосфера»**



**Рис. 4. Фото антенной системы КА «Ионосфера»**

Задачи и перечень испытаний антенного изделия, на примере КА «Канопус-В-ИК», приведены в таблице.

А на рис. 3 приведено антенное изделие КА «Ионосфера».

Таким образом, разработчики благодаря применению антенного изделия появляется возможность отработать энергетические параметры бортовых антенн с учетом их размещения на поверхности КА, а также влияния окружающих блоков и элементов конструкции КА.

Проведённые работы позволили разработать и применить ряд бортовых антенн КА. Результаты работ отражены в [23 – 25].

На рис. 4 представлена часть антенной системы КА «Ионосфера», разработанная в АО «НИИЭМ».

На рис. 5 показана антенная система телекомандной системы для КА серии «Канопус-В».

Помимо разработки антенных изделий в натуральную величину (в масштабе 1:1), активное применение нашли и антенные изделия в масштабе 1:10. На рис. 6 приведены такие антенные изделия.



**Рис. 5. Фото АФУ ТКС КА серии «Канопус-В» (без кабельной сети)**

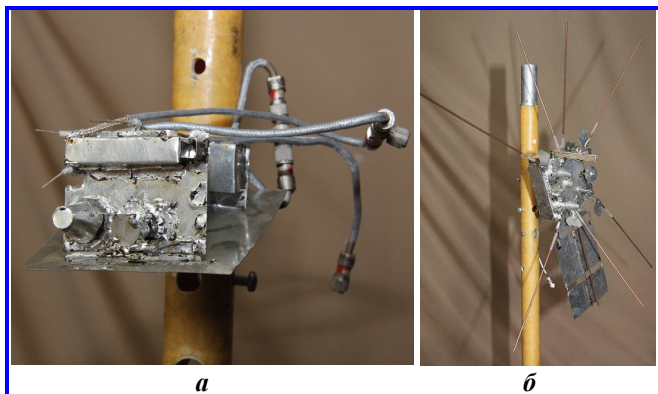


Рис. 6. Фото антенных изделий КА в масштабе 1:10:  
*a* – КА «Университетский – Татьяна-2»;  
*б* – КА «Ионосфера»

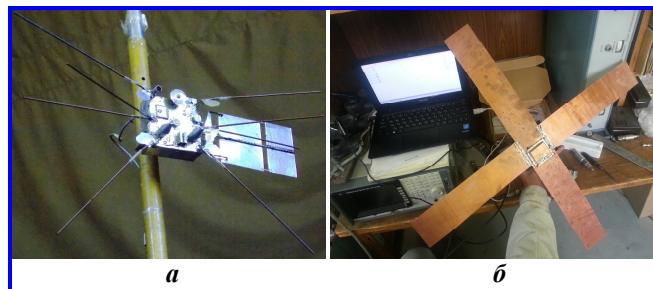


Рис. 7. Фото антенных изделий: *a* – КА «Ионосфера» при исследовании диаграммы направленности микрополосковой антенны; *б* – КА CubeSat 1U при настройке входных параметров связной микрополосковой антенны

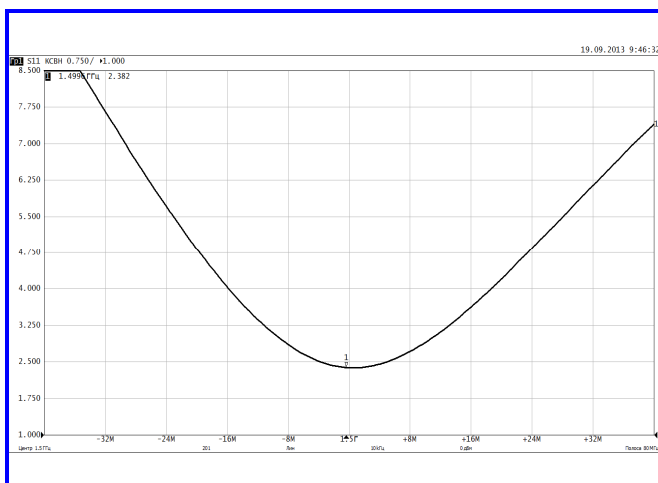


Рис. 8. Коэффициент стоячей волны микрополосковой антенны на антенном изделии КА «Ионосфера»

Применения антенного изделия в масштабе 1:10 незаменимо при проведении перспективных исследований для отработки энергетических параметров антенн с целью дальнейшего внедрения. На рис. 7 приведены такие антенные изделия [27].

Так на рис. 8 и 9 показана полученная зависимость коэффициента стоячей волны (КСВ) и ДН макета микрополосковой (печатной) антенны метрового диапазона в масштабе 1:10 (рабочая частота 150 МГц) соответственно (см. рис. 7, *a*), а на рис. 10 приведена зависимость КСВ связной микрополосковой антенны (см. рис. 7, *б*).

На рис. 11 представлены разработанные микрополосковые (печатные) антенны, в ходе разработок которых были применены полученные в результате испытаний по исследованию энергетических параметров на антенном изделии.

А на рис. 12 представлены летные образцы антенн, рассмотренных выше.

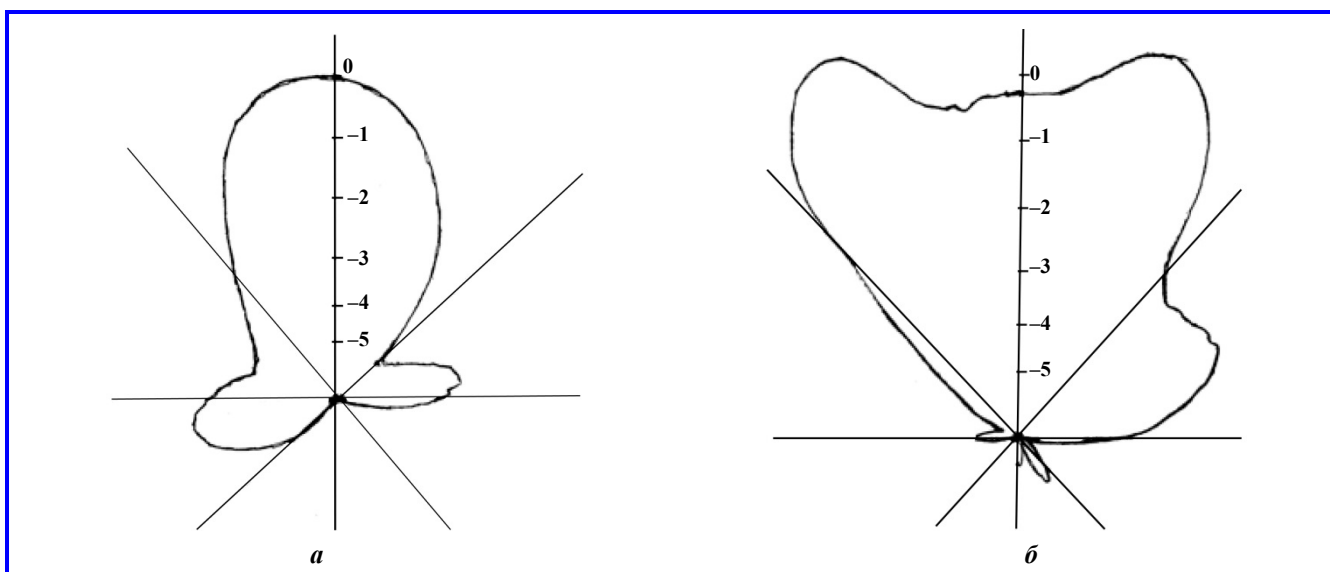


Рис. 9. Диаграмма направленности микрополосковой антенны на антенном изделии КА «Ионосфера»:  
*a* – при  $\varphi = 0^\circ$ ; *б* – при  $\varphi = 90^\circ$

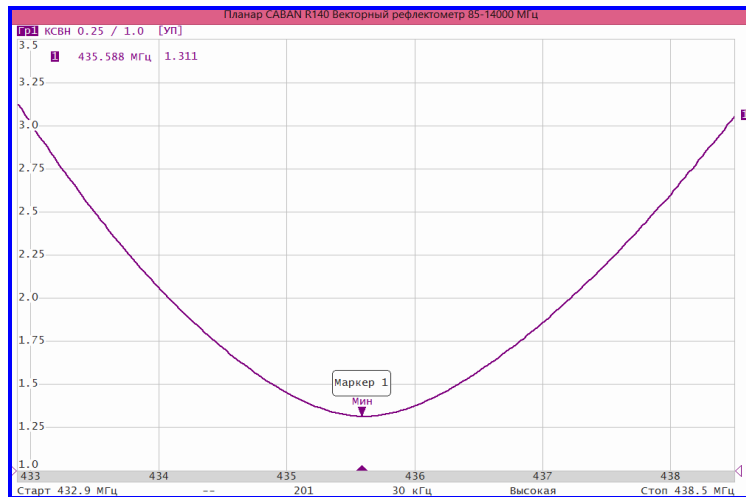


Рис. 10. Зависимость коэффициента стоячей волны связной микрополосковой антенны на антенном изделии КА CubeSat 1U

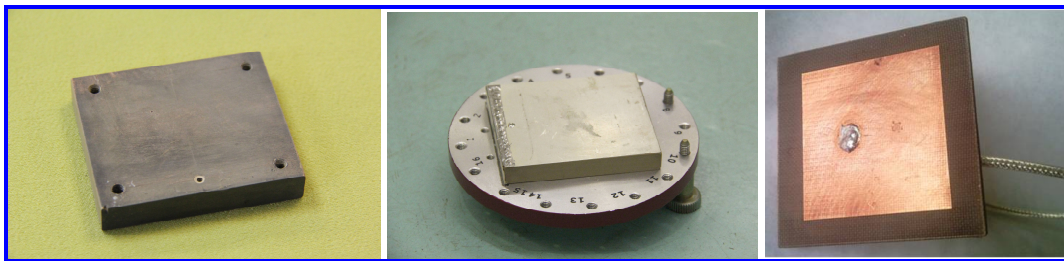


Рис. 11. Фото разработанных микрополосковых (печатных) антенн



Рис. 12. Фото КА: а – КА «КОРОНАС-ФОТОН»; б – КА «Университетский – Татьяна-2»; в – КА «Канопус-В»; г – КА «Ломоносов»; д – «Канопус-В-ИК»

### Заключение

Необходимо отметить, что в настоящее время широко применяются системы автоматического проектирования (САПР), с помощью которых у разработчиков появляется возможность провести расчет антенн, устройств СВЧ и т. д. На сегодняшний день известен ряд таких САПР [28]:

- CST Microwave Studio;
- Ansoft High Frequency Structure Simulation (HFSS);
- EMSS FEKO;
- AWR Microwave Office;
- Agilent Advanced Design System (ADS);
- Agilent Electromagnetic Professional (EMPro);
- REMCOM XF dtd и др.

Однако при проектировании бортовых АФУ КА в полноразмерном формате и с учетом необходимой детализации поверхности самого КА требуется не только время, но и достаточно мощный персональный компьютер (ПК), что в свою очередь наряду с высокой стоимостью не только такого ПК, но и самого программного обеспечения, приводит к существенным финансовым затратам. На взгляд авторов применение антенного изделия при разработке бортовой антенной системы позволяет получить более полную картину при меньших затратах на проектирование и стоимости работ. В свою очередь применение электродинамического моделирования целесообразно для получения предварительной оценки энергетических параметров разрабатываемых антенн, а дальнейшее исследование необходимо проводить в составе антенного изделия.

Таким образом, использование антенного изделия на ранней стадии разработки бортовой антенной системы КА позволяет:

- провести настройку бортового АФУ КА;
- отработать расположение антенн на поверхности КА;
- проверить влияние корпуса и окружающих элементов бортовых систем КА на входные характеристики (КСВ) АФУ КА;
- определить уровни взаимосвязи между высокочастотными каналами различных АФУ КА;
- оценить влияние конфигурации (обводов) и материалов конструкций на электрорадиотехнические характеристики АФУ;
- определить взаимовлияния бортовых антенн, входящих в состав бортовых систем и комплексов разрабатываемого КА;
- получить и оценить предварительные результаты настройки АФУ КА.

В тоже время настройка и сдача параметров летных образцов бортовых антенн КА заказчику также происходит с применением антенного изделия КА.

### Литература

1. Белорусский космический комплекс дистанционного зондирования Земли. – Москва : ФГУП «НПП ВНИИЭМ», 2011. – 88 с.
2. Космический комплекс оперативного мониторинга техногенных и природных чрезвычайных ситуаций «Канопус-В» с космическим аппаратом «Канопус-В» № 1. – Москва : ФГУП «НПП ВНИИЭМ», 2011. – 110 с.
3. Научно-исследовательский космический аппарат «Ломоносов». – Москва : АО «Корпорация «ВНИИЭМ», 2015. – 138 с.
4. Малый космический аппарат «Университетский – Татьяна-2» / Л. А. Макриденко, С. Н. Волков, А. В. Горбунов [и др.] // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. – 2017. – Т. 160. – № 5. – С. 45 – 54.
5. История создания космического комплекса «Канопус-В» и Белорусского космического комплекса / Л. А. Макриденко, С. Н. Волков, А. В. Горбунов [и др.] // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. – 2019. – Т. 169. – № 2. – С. 39 – 44.
6. Космический комплекс «Ионозонд» / Л. А. Макриденко, С. Н. Волков, А. В. Горбунов [и др.] // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. – 2019. – Т. 170. – № 3. – С. 40 – 48.
7. Оценка возможностей создания космической системы из космических аппаратов типа «Канопус-В-ИК» для оперативного мониторинга чрезвычайных ситуаций и обнаружения малоразмерных лесных пожаров / Л. А. Макриденко, А. В. Горбунов, И. Ю. Ильина [и др.] // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. – 2019. – Т. 172. – № 5. – С. 39 – 48.
8. Начало отечественной космической метеорологии / Л. А. Макриденко, С. Н. Волков, А. В. Горбунов [и др.] // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. – 2012. – Т. 131. – № 6. – С. 45 – 55.
9. Технологический метеоспутник «Метеор-М1» / Л. А. Макриденко, С. Н. Волков, А. В. Горбунов [и др.] // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. – 2013. – Т. 133. – № 2. – С. 53 – 59.
10. Запуск первого российского метеорологического КА нового поколения «Метеор-М» № 1 – начало воссоздания отечественной метеорологической орбитальной группировки / Л. А. Макриденко, С. Н. Волков, А. В. Горбунов [и др.] // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. – 2018. – Т. 165. – № 4. – С. 46 – 60.
11. Нейман М. С. Передающие антенны : теория и основания для расчета / М. С. Нейман. – Ленинград ; Москва : Энергоиздат, 1934. – 400 с.
12. Пригода Б. А., Кокунько В. С. Антенны летательных аппаратов / Б. А. Пригода, В. С. Кокунько. – Москва : Воениздат, 1964. – 119 с.

13. Фрадин А. З., Рыжков Е. В. Измерение параметров антенно-фидерных устройств / А. З. Фрадин, Е. В. Рыжков ; Государственное издательство литературы по вопросам связи и радио. – Москва : Связьиздат, 1962. – 316 с.
14. Крупноапертурный излучатель для многолучевой антенны спутниковой связи / Л. И. Пономарев, В. А. Вечтомов, А. С. Милосердов // Труды МАИ. – 2012. – № 52. – URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=29552> (дата обращения: 13.12.2019).
15. Antenna-feeder devices in the development of OJSC 'НИЕМ' / V. S. Bocharov, A. G. Generalov, E. V. Gadzhiev // 23rd International Crimean Conference Microwave and Telecommunication Technology, Conference Proceedings. – Istra, Moscow Region, 2013. – P. 46 – 47.
16. Малогабаритные печатные антенны круговой поляризации / С. Е. Банков, А. Г. Давыдов, К. Б. Папилов // Журнал радиоэлектроники. – 2010. – № 8. – С. 1 – 27.
17. Миниатюрные бортовые антенны / А. Г. Генералов, Э. В. Гаджиев // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. – 2017. – Т. 159. – № 4. – С. 31 – 41.
18. Многофункциональная бортовая антенная решетка интегрированного радиоэлектронного комплекса / С. Г. Кондратьева // Труды МАИ. – 2012. – № 52. – URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=29560> (дата обращения: 17.12.2019).
19. Условия отсутствия «ослепления» у микрополосковых антенных решеток / О. И. Ястребцова // Труды МАИ. – 2017. – № 97. – URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=87318> (дата обращения: 29.11.2019).
20. Печатная антенная решетка для бортовой радиолокационной станции сантиметрового диапазона / Е. В. Овчинникова, А. М. Рыбаков // Труды МАИ. – 2012. – № 52. – URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=29558> (дата обращения: 20.12.2019).
21. Двухдиапазонная антенная решётка с косеканской диаграммой направленности / Е. В. Овчинникова, А. А. Соколов // Антенны. – 2011. – № 4. – С. 14 – 20.
22. Низкопрофильная широкополосная антенная система с улучшенной формой диаграммы направленности на основе искусственного магнитного проводника конечного размера / А. А. Измайлов, А. П. Волков // Труды МАИ. – 2017. – № 94. – URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=81101> (дата обращения: 26.12.2019).
23. Антенная система космического аппарата «Ионосфера» / В. С. Бочаров, А. Г. Генералов, Э. В. Гаджиев // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. – 2012. – Т. 131. – № 6. – С. 11 – 14.
24. Результаты лётных 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.
25. Миниатюризация антенной системы космического аппарата «Ионосфера» / В. С. Бочаров, А. Г. Генералов, Э. В. Гаджиев // Антенны. – 2015. – № 3 (214). – С. 32 – 38.
26. Космический комплекс «Коронас-Фотон»: справочные материалы. – Москва : ФГУП «НПП ВНИИЭМ», 2008. – 102 с.
27. Миниатюрные антенны для малых космических аппаратов «CubeSat» / А. Г. Генералов, Э. В. Гаджиев // Сибирский журнал науки и технологий. – 2018. – № 19. – Т. 2. – С. 259 – 270. – DOI : 10.31772/2587-6066-2018-19-2-259-270.
28. Моделирование бортовых антенн СВЧ космических аппаратов / Э. В. Гаджиев // Антенны. – 2013. – № 9 (196). – С. 65 – 68.
29. Применение антенного изделия при проектировании бортовых антенно-фидерных устройств / А. Г. Генералов, Э. В. Гаджиев, М. Р. Салихов [и др.] // Тезисы докладов Третьей молодежной конференции «Инновационная деятельность в науке и технике. Создание космических аппаратов. Актуальные проблемы и пути их решения». – 2019. – С. 23 – 26.

Поступила в редакцию 09.01.2020

*Александр Георгиевич Генералов, начальник лаборатории.  
Эльчин Вахидович Гаджиев, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник.*

*Мирзабек Русланович Салихов, инженер-электроник.  
Т. (495) 994-55-57.*

*E-mail: otd24@niiem.ru.*

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

## APPLICATION OF ANTENNA PRODUCTS FOR DESINGING ANTENNA-FEEDER DEVICES

**A. G. Generalov, E. V. Gadzhiev, M. R. Salikhov**

*The present article is dedicated to application of antenna product for designing the on-board antenna-feeder devices. The development of antenna product is one of the stages of development of space crafts of any category and intended use. This approach allows the developers*

to perform quality analysis of positioning of on-board antennas on the space craft surface at the early stage of development of space craft antenna system, as well as to evaluate antennas energy parameters taking in consideration the impact of the SC surface. The article comprises the examples of space craft antenna products, as well as the results of the tests of the on-board antenna system by means of application of the antenna product. The possibilities and advantages of application of the antenna product for designing the on-board antenna-feeder device are described in the article.

**Key words:** antenna-feeder device, antenna prototype model, antenna product, space craft, on-board antenna, standing-wave ratio, direction pattern.

## References

1. Belarusian space system for the Earth remote sensing. – Moscow: FSUE NPP VNIIEEM, 2011. – 88 p.
2. Space system for real-time monitoring of the man-made and natural emergency situations Canopus-V № 1. – Moscow: FSUE NPP VNIIEEM, 2011. – 110 p.
3. Lomonosov scientific spacecraft. – Moscow: VNIIEEM Corporation JC, 2015. – 138 p.
4. Small spacecraft Universitetsky – Tatiana-2 / L. A. Makridenko, S. N. Volkov, A. V. Gorbunov [et al.] // Matters of Electromechanics. VNIIEEM Proceedings. – 2017. – V. 160. – No. 5. – Pp. 45 – 54.
5. History of creation of space system Canopus-V and Belarusian space system / L. A. Makridenko, S. N. Volkov, A. V. Gorbunov [et al.] // Matters of Electromechanics. VNIIEEM Proceedings. – 2019. – V. 169. – No. 2. – Pp. 39 – 44.
6. Ionozond space system / L. A. Makridenko, S. N. Volkov, A. V. Gorbunov [et al.] // Matters of Electromechanics. VNIIEEM Proceedings. – 2019. – V. 170. – No. 3. – Pp. 40 – 48.
7. Assessment of possibilities for creation of space system composed of spacecrafts of Canopus-V-IK type for real-time monitoring of emergency situations and detection of small-size forest fires / L. A. Makridenko, A. V. Gorbunov, I. Iu. Ilina [et al.] // Matters of Electromechanics. VNIIEEM Proceedings. – 2019. – V. 172. – No. 5. – Pp. 39 – 48.
8. Beginning of Russian space meteorology / L. A. Makridenko, S. N. Volkov, A. V. Gorbunov [et al.] // Matters of Electromechanics. VNIIEEM Proceedings. – 2012. – V. 131. – No. 6. – Pp. 45 – 55.
9. Technological meteorological satellite Meteor-M1 / L. A. Makridenko, S. N. Volkov, A. V. Gorbunov [et al.] // Matters of Electromechanics. VNIIEEM Proceedings. – 2013. – V. 133. – No. 2. – Pp. 53 – 59.
10. Launch of the first Russian meteorological SC of the new generation Meteor-M № 1 – beginning of reconstruction of Russian meteorological orbital constellation / L. A. Makridenko, S. N. Volkov, A. V. Gorbunov [et al.] // Matters of Electromechanics. VNIIEEM Proceedings. – 2018. – V. 165. – No. 4. – Pp. 46 – 60.
11. Neiman M. S. Transmitting antennas: theory and basis for calculation / M. S. Neiman. – Leningrad: Moscow: Energoizdat, 1934. – 400 p.
12. Prigoda B. A., Kokunko V. S. Antennas of flight vehicles / B. A. Prigoda, V. S. Kokunko. – Moscow: Voenizdat, 1964. – 119 p.
13. Fradin A. Z., Ryzhkov E. V. Measurement of antenna-feeder devices parameters / A. Z. Fradin, E. V. Ryzhkov: State publishing house for literature in respect of communication and radio. – Moscow: Svyazizdat, 1962. – 316 p.
14. Wide-aperture emitter for multi-beam satellite communication antenna / L. I. Ponomarev, V. A. Vechtomov, A. S. Miloserdov // MAI Proceedings. – 2012. – No. 52. – URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=29552> (application date: 13.12.2019).
15. Antenna-feeder devices in the development of OJSC 'NIIEEM' / V. S. Bocharov, A. G. Generalov, E. V. Gadzhiev // 23rd International Crimean Conference Microwave and Telecommunication Technology, Conference Proceedings. – Istra, Moscow Region, 2013. – Pp. 46 – 47.
16. Small-size printed antenna with circular polarization / S. E. Bankov, A. G. Davydov, K. B. Papilov // Journal of Radio Electronics. – 2010. – No. 8. – Pp. 1 – 27.
17. Mini on-board antennas / A. G. Generalov, E. V. Gadzhiev // Matters of Electromechanics. VNIIEEM Proceedings. – 2017. – V. 159. – No. 4. – Pp. 31 – 41.
18. Multifunctional on-board antenna array of integrated radio-electronic system / S. G. Kondrateva // MAI Proceedings. – 2012. – No. 52. – URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=29560> (application date: 17.12.2019).
19. Conditions of absence of microstrip antenna arrays 'blinding' / O. I. Iastrebtsova // MAI Proceedings. – 2017. – No. 97. – <http://trudymai.ru/published.php?ID=87318> (application date: 29.11.2019).
20. Printed antenna array for on-board cm-wave radar / E. V. Ovchinnikova, A. M. Rybakov // MAI Proceedings. – 2012. – No. 52. – URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=29558> (application date: 20.12.2019).
21. Dual-band antenna array with cosecant pattern / E. V. Ovchinnikova, A. A. Sokolov // Antennas. – 2011. – No. 4. – Pp. 14 – 20.
22. Low-profile broadband antenna system with improved radiation pattern based on finite-size artificial magnetic conductor // A. A. Izmailov, A. P. Volkov // MAI Proceedings. – 2017. – No. 94. – <http://trudymai.ru/published.php?ID=81101> (application date: 26.12.2019).
23. Antenna system of Ionosfera spacecraft / V. S. Bocharov, A. G. Generalov, E. V. Gadzhiev // Matters of Electromechanics. VNIIEEM Proceedings. – 2012. – V. 131. – No. 6. – Pp. 11 – 14.
24. Results of flight tests of antenna-feeder devices of the telecommand system of Canopus-V № 1 SC and Belarusian SC, and the ways of improvement of their characteristics / V. S. Bocharov, A. G. Generalov, E. V. Gadzhiev // Radiotechnical and telecommunication systems. – 2014. No. 4 (16). – Pp. 5 – 12.



25. Miniaturization of antenna system of Ionosfera spacecraft / V. S. Bocharov, A. G. Generalov, E. V. Gadzhiev // Antennas. – 2015. – No. 3 (214). – Pp. 32 – 38.
26. Coronas-Photon space system: reference materials. – Moscow: FSUE NPP VNIEM, 2008. – 102 p.
27. Mini antennas for small spacecrafts CubeSat / A. G. Generalov, E. V. Gadzhiev // Siberian Science and Technology Journal. – 2018. No. 19. – V. 2. – Pp. 259 – 270. – DOI : 10.31772/2587-6066-2018-19-2-259 – 270.
28. Modeling of on-board UHF antennas of spacecrafts / E. V. Gadzhiev // Antennas. 2013. – No. 9 (196). – Pp. 65 – 68.
29. Application of antenna product for designing on-board antenna-feeder devices / A. G. Generalov, E. V. Gadzhiev, M. R. Salikhov [et al.] // Abstracts from the Third Youth Conference ‘Innovative activities in science and engineering’. Creation of spacecrafts. Current problems and ways of their solution. – 2019. – Pp. 23 – 26.

*Aleksandr Georgievich Generalov, Head of Laboratory.*

*Elchin Vakhidovich Gadzhiev, Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Senior Reseracher.*

*Mirzabek Ruslanovich Salikhov, Electronics Engineer.*

*Tel.: + 7 (495) 994-55-57.*

*E-mail: otd24@niiem.ru.*

*(Joint Stock Company ‘Research Institute for Electromechanics’ (JSC NIIEM)).*