

## АНТЕННАЯ НАСАДКА ДЛЯ АНТЕННО-ФИДЕРНОГО УСТРОЙСТВА ТЕЛЕКОМАНДНОЙ СИСТЕМЫ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

А. Г. Генералов, Д. А. Кокорин

*Работа посвящена разработке антенной насадки для проектируемого антенно-фидерного устройства телекомандной системы космического аппарата. Разработка антенной насадки является составной частью проектирования испытательного комплекта, входящего в состав данного антенно-фидерного устройства. Антенное изделие относится к радиотехнике, а именно к антенной технике и технике антенных измерений дециметрового диапазона с эллиптической поляризацией. При разработке антенно-фидерного устройства первоначально проводятся измерения на антенном изделии, которые позволяют оценить взаимовлияние между приёмными и передающими антенно-фидерными устройствами. Применение антенных насадок позволяет при комплексных испытаниях космического аппарата оценить работу телекомандной системы в целом. В работе приведены примеры ранее разработанных антенных насадок, а также результаты испытаний антенной насадки, разрабатываемой в данный момент, ее возможности и преимущества.*

**Ключевые слова:** антенно-фидерное устройство, антенная насадка, антенное изделие, космический аппарат, комплексные испытания.

### Введение

Антенные насадки широко используются при комплексных испытаниях радиоаппаратуры, в частности, на космических аппаратах (КА). Под каждый тип антенн необходимо проектировать насадку, учитывая электрические свойства антенны, рабочую частоту, ее габариты, способ крепления и подаваемую мощность для передающих антенн. Некоторые из разработанных антенных насадок представлены на рис. 1.

Данные антенные насадки обеспечивают высокую повторяемость характеристик, требуют большого количества операций при изготовлении и, следовательно, имеют низкую технологичность.

### Основная часть

Антенная насадка состоит из корпуса цилиндрической формы, являющегося круглым волноводом, с одной стороны которого имеется фланец для присоединения к испытываемой антенне винтами. С другой стороны отрезок волновода закорочен. На этой стороне корпуса имеется излучающий элемент, который подключается к измерительной аппаратуре с помощью коаксиального кабеля [1].

Антенная насадка, включающая в себя экранирующий корпус цилиндрической формы, один торец которого открыт и имеет конструктивную возможность установки и закрепления насадки над испытываемой антенной, на другом торце соосно корпусу установлен коаксиальный соединитель с центральным проводником, внутри корпуса перпендикулярно его оси установлен элемент связи в виде плоского излучателя, выполненного на печатной плате, отличающийся тем, что плоский излучатель имеет форму однозаходной спирали, выполненной печатным способом на металлизированной

диэлектрической подложке, которая делит экранирующий корпус на две зоны по вертикали, причем нижняя зона – пустая, а верхняя содержит аттенюатор, установленный с внутренней стороны торца корпуса насадки и электрически соединенный с центральным проводником коаксиального соединителя и началом спирали излучателя, конец которой через согласующий резистор закорочен на корпус антенной насадки [1].

Традиционно плоские спиральные антенны выполнены двухзаходными с противофазной запиткой [2]. Данные антенны характеризуются осесимметричной диаграммой направленности (ДН), однако требуют применения симметрирующего устройства, которое усложняет конструкцию и сужает рабочий диапазон частот [3 – 5].



Рис. 1. Антенные насадки

С целью повышения уровня технологичности конструкции данной антенной насадки в качестве альтернативы была выбрана однозаходная плоская спиральная антенна, не имеющая указанных выше недостатков. Ее характеристики в свободном пространстве были измерены в полубезэховой камере и представлены на рис. 2, 3.

Коэффициент эллиптичности (рис. 2) определяется как разница между наибольшим и наименьшим значениями графиков на каждой частоте.

У данной однозаходной спиральной антенны не идеальная ДН с точки зрения симметрии, но это не влияет на характеристики антенной насадки в целом.

Полоса частот определяется как характеристиками спиральной антенны испытываемого антенно-фидерного устройства (АФУ), так и существованием основного типа волн в круглом волноводе.

Низшим типом волн для прямоугольного волновода является  $TE_{01}$ , а для круглого волновода  $TE_{11}$ . В волноводе возможно распространение поперечно-электрических волн  $TE$ , называемых также магнитными или  $H$ -волнами, и поперечно-магнитных волн  $TM$ , называемых также электрическими или  $E$ -волнами [6 – 17].

Плоский излучатель выполнен на однослойной диэлектрической металлизированной (фольгированной) подложке круглой формы из стеклотекстолита. С целью расширения рабочего диапазона частот по входному сопротивлению со стороны насадки и испытываемой антенны, а также устранения влияния подключаемой измерительной аппаратуры на входное сопротивление АФУ в состав насадки введены резисторы, образующие аттенюатор и резистор, закорачивающий конец излучателя на корпус. Коаксиальный соединитель насадки использован типа III и может присоединяться к аппаратуре без дополнительных переходов. Указанные элементы представлены на рис. 4.

На схеме представлены следующие элементы:

- 1 – плоский излучатель;
- 2 – коаксиальный соединитель;
- 3 – аттенюатор;
- 4 – согласующий резистор.

Конструкция антенной насадки представлена на рис. 5.

Конструкция антенной насадки состоит из следующих элементов: экранирующий корпус, плоский излучатель (элемент связи), коаксиальный соединитель, аттенюатор, первый резистор аттенюатора, второй резистор аттенюатора, центральный проводник, согласующий резистор.

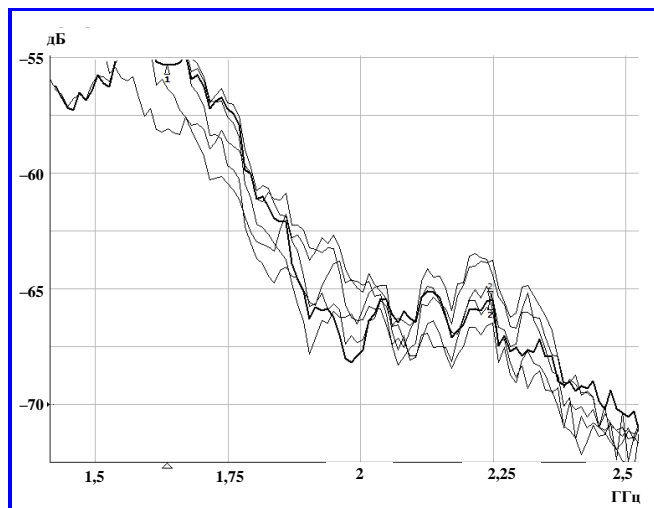


Рис. 2. Коэффициент эллиптичности однозаходной спиральной антенны в диапазоне частот

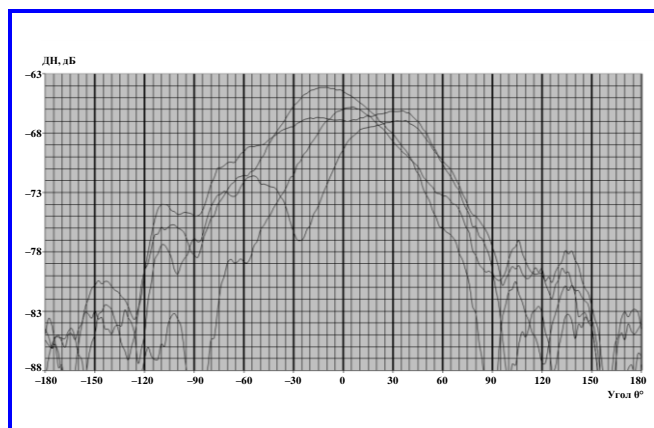


Рис. 3. Ненормированная диаграмма направленности однозаходной спиральной антенны в четырех плоскостях поляризации на частоте 2,2 ГГц

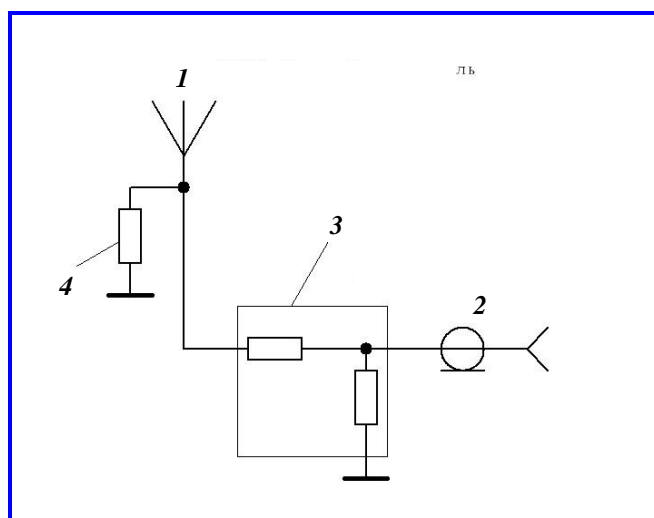


Рис. 4. Принципиальная электрическая схема антенной насадки

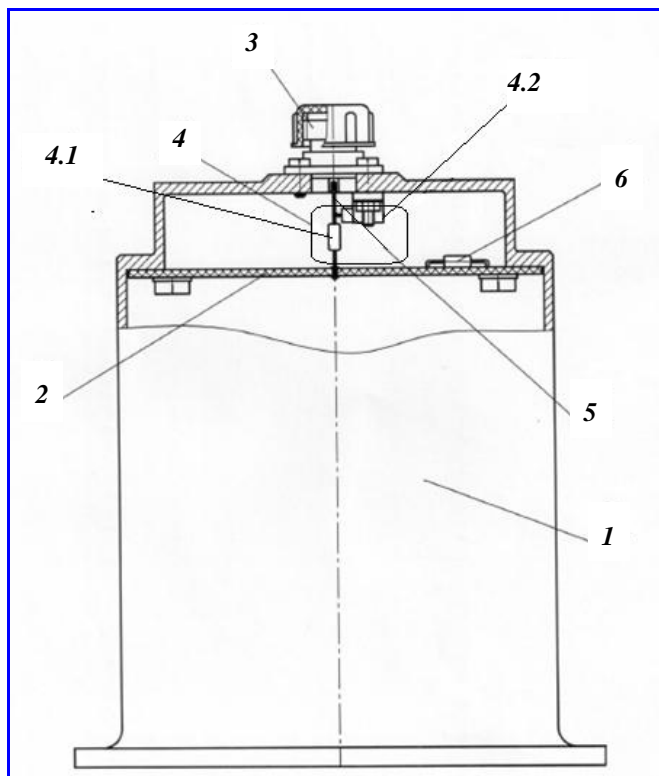


Рис. 5. Конструкция антенной насадки

Аттенюатор выполнен на базе двух последовательно соединенных резисторов, один из которых размещен на оси насадки между центральным проводником и началом спирали излучателя, а второй заключен в собственный корпус, обеспечивающий возможность закрепления на корпусе насадки и соединен с центральным проводником и «землей».

Использование аттенюатора позволяет в широком диапазоне частот иметь хорошее согласование как по выходу антенной насадки, так и по входу испытываемого АФУ, нагруженного на антенную насадку. Для получения коэффициента стоячей волны (КСВ) на выходе антенной насадки не более 1,5 во всём диапазоне частот сопротивление первого резистора аттенюатора и второго резистора аттенюатора берётся равным 75 Ом. Тогда при нулевом входном сопротивлении спирали первый резистор 4.1 аттенюатора будет параллелен второму резистору аттенюатора и его сопротивление равно  $75/2 = 37,5$  Ом (КСВ = 1,33), а при бесконечном входном сопротивлении спирали плоского излучателя входное сопротивление будет равно сопротивлению второго резистора 4.2 аттенюатора (КСВ = 1,5). При выборе значения сопротивления второго резистора аттенюатора ближе к 50 Ом КСВ насадки приближается к единице, но растет затухание аттенюатора. Для устранения влияния индуктивности второ-

го резистора 4.2 на КСВ он помещён в трубку, закороченную на конце, образуя коаксиальную линию. От значения сопротивления первого резистора аттенюатора зависит КСВ испытываемого АФУ. Соответствующий резистор служит для снижения отражений от конца спирали и выбирается порядка 100 Ом.

Все детали антенной насадки имеют простую форму, что существенно упрощает процесс изготовления и сборки, тем самым повышается технологичность изготовления.

Данный тип антенных насадок обеспечивает высокую повторяемость характеристик, хорошую технологичность, низкую стоимость изготовления.

Антенная насадка способна работать с антеннами радиосистем правой или левой эллиптической поляризации (при переворачивании спирального излучателя).

Данная антенная насадка не содержит радиопоглощающего материала, хотя его применение возможно в необходимых случаях.

Получены следующие электрические характеристики лабораторного образца антенной насадки:

- полоса рабочих частот не менее 2 – 2,3 ГГц (от 2,02 до 2,115 ГГц для приёмного АФУ и от 2,195 до 2,295 ГГц для передающего АФУ);
- КСВ на входе насадки не более 1,5;
- КСВ на входе АФУ с установленной антенной насадкой не более 1,6 при КСВ самого АФУ не более 1,4;
- затухание между входом насадки и входом АФУ не более 30 дБ при затухании в фидерном тракте АФУ около 5 дБ.

### Заключение

Использование антенных насадок повышает надежность аппаратуры КА.

Таким образом, поставленная задача создания антенной насадки успешно решена. Представленная в данной статье антенная насадка удовлетворяет требованиям, заданным в техническом задании, обладает высокой технологичностью изготовления. Также при изготовлении не требуются дефицитные дорогостоящие материалы и материалы импортного производства.

### Литература

1. Устройства СВЧ и антенны : учебник для вузов / Д. И. Воскресенский, В. Л. Гостюхин, В. М. Максимов, Л. И. Пономарев ; под ред. Д. И. Воскресенского. – Москва : Радиотехника, 2016. – 560 с.
2. Кочержевский Г. Н. Антенно-фидерные устройства : учебник для вузов связи / Г. Н. Кочержевский. – Москва : Связь, 1972. – 472 с. : ил.
3. Проектирование линзовых, сканирующих, широкодиапазонных антенн и фидерных устройств / М. С. Жук, Ю. Б. Молочков. – Москва : Энергия, 1973. – 439 с.

4. Пистелькорс А. А. Антенны / А. А. Пистелькорс. – Москва : Государственное издательство литературы по вопросам связи и радио, 1947. – 479 с.
5. Юрцев О. А. Спиральные антенны / О. А. Юрцев, А. В. Рунов, А. Н. Казарин. – Москва : Советское радио, 1974. – 224 с.
6. Белоцерковский Г. Б. Антенны : [Учеб. пособие для радиотехн. специальностей техникумов] / Г. Б. Белоцерковский. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Оборонгиз, 1962. – 492 с.
7. Ротхаммель К. Антенны. В 2 томах. Том 1. / К. Ротхаммель, А. Кришке ; пер. с нем. – 11-е изд., полностью перераб. и доп. А. Кришке. – Москва : ДМК Пресс, 2012. – 416 с. : ил.
8. Резников Г. Б. Самолетные антенны / Г. Б. Резников. – Москва : Советское радио, 1962. – 456 с. : ил.
9. Долбик А. И. Устройства СВЧ и антенны. Методические рекомендации по расчету антенных систем / А. И. Долбик. – 2005. – 71 с.
10. Дробркин А. Л. Антенно-фидерные устройства : [Учебник для радиотехн. фак. вузов и радиоинженеров] / А. Л. Дробркин, В. Л. Зузенко. – Москва : Советское радио, 1961. – 816 с. : ил.
11. Справочник конструктора РЭА : Компоненты, механизмы, надежность / [Н. А. Барканов, Б. Е. Бердичевский, Р. Г. Варламов и др.] ; под редакцией Р. Г. Варламова. – Москва : Радио и связь, 1985. – 382 с. : ил.
12. Генералов А. Г. Применение антенного изделия при проектировании бортовых антенно-фидерных устройств / А. Г. Генералов, Э. В. Гаджиев, М. Р. Салихов // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. – 2020. – Т. 174. – № 1. – С. 43 – 51.
13. Применение антенного изделия при проектировании бортовых антенно-фидерных устройств / А. Г. Генералов, Э. В. Гаджиев, М. Р. Салихов, Н. С. Алексеева // Тезисы докладов Третьей молодежной конференции «Инновационная деятельность в науке и технике. Создание космических аппаратов. Актуальные проблемы и пути их решения», Истра, 25 апреля 2019 года. – Истра: Акционерное общество «Научно-исследовательский институт электромеханики», 2019. – С. 23 – 26.
14. Доброхотов Б. А. Измерения в электронике. Справочник. В 2 томах. Том 2 / Б. А. Доброхотов. – Москва : Энергия, 1965. – 240 с.
15. Спиральные антенны / О. А. Юрцев, А. В. Рунов, А. Н. Казарин. – Москва : Советское радио, 1974. – 223 с. : ил.
16. Антенны и устройства СВЧ. Проектирование фазированных антенных решеток : [учебное пособие для радиотехн. спец. вузов] / Д. И. Воскресенский. – Москва : Радио и связь, 1981. – 431 с.
17. Генералов А. Г. Антенная система для бортовой аппаратуры КОСПАС-САРСАТ / А. Г. Генералов, Э. В. Гаджиев // Радиотехника. – 2018. – № 8. – С. 204 – 211. – DOI 10.18127/j00338486-201808-38.

Поступила в редакцию 19.04.2022

*Александр Георгиевич Генералов, начальник лаборатории.  
Дмитрий Александрович Кокорин, инженер 3-й категории.  
Т. (495) 994-55-57.  
E-mail: otd24@niiem.ru.*

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

## THE USE OF AN ANTENNA ATTACHMENT WHEN MEASURING ON-BOARD ANTENNA-FEEDER DEVICES

**A. G. Generalov, D. A. Kokorin**

*This work is devoted to the development of an antenna attachment for the projected antenna-feeder device of the telecommand system of the Canopus-V-O spacecraft. The development of the antenna attachment is an integral part of the design of the test kit included in this antenna feeder device. When developing an antenna-feeder device, measurements are initially carried out on the antenna device, which make it possible to assess the mutual influence between receiving and transmitting antenna-feeder devices. The use of antenna attachments makes it possible to evaluate the operation of the telecommand system as a whole during complex tests of the spacecraft. The paper provides examples of previously developed antenna attachments, as well as the test results of the antenna attachment currently being developed, its capabilities and advantages.*

**Key words:** antenna-feeder device, antenna attachment, antenna product, spacecraft, complex tests.

### References

1. Microwave devices and antennas : textbook for universities / D. I. Voskresensky, V. L. Gostyukhin, V. M. Maksimov, L. I. Ponomarev ; edited by D. I. Voskresensky. – Moscow : Radiotekhnika, 2016. – 560 p.
2. Kocherzhevsky G. N. Antenna-feeder devices : textbook for communication universities / G. N. Kocherzhevsky. – Moscow : Svyaz, 1972. – 472 p. : ill.
3. Design of lens, scanning, wide-band antennas and feeder devices / M. S. Zhuk, Yu. B. Molochkov. – Moscow : Energiya, 1973. – 439 p.
4. Pistelkors A. A. Antennas / A. A. Pistelkors. – Moscow : State Publishing House of Literature on Communications and Radio, 1947. – 479 p.

5. Yurtsev O. A. Spiral antennas / O. A. Yurtsev, A.V. Runov, A. N. Kazarin. – Moscow : Soviet Radio, 1974. – 224 p.
6. Belotserkovsky G. B. Antennas : [Textbook for radio engineering. specialties of technical schools] / G. B. Belotserkovsky. – 2nd ed., reprint. and additional – Moscow : Oboron-giz, 1962. – 492 p.
7. Rothammel K. Antennas. In 2 volumes. Volume 1. / K. Rothammel, A. Krishke; trans. from German – 11th ed., completely revised. and additional by A. Krishke. – Moscow : DMK Press, 2012. - 416 p. : ill.
8. Reznikov G. B. Aeroplane antennas / G. B. Reznikov. – Moscow : Soviet Radio, 1962. – 456 p. : ill.
9. Dolbik A. I. Microwave devices and antennas. Methodological recommendations for the calculation of antenna systems / A. I. Dolbik. – 2005. – 71 p.
10. Drabkin A. L. Antenna-feeder devices : [Textbook for radio engineering. fac. universities and radio engineers] / A. L. Drabkin, V. L. Zuzenko. – Moscow : Sovetskoe ra-dio, 1961. – 816 p. : ill.
11. Handbook of the REA designer: Components, mechanisms, reliability / [N. A. Barkanov, B. E. Berdichevsky, R. G. Varlamov, etc.]; edited by R. G. Varlamov. – Moscow : Radio and Communications, 1985. – 382 p. : ill.
12. Generalov A. G. The use of an antenna product in the design of onboard antenna-feeder devices / A. G. Generalov, E. V. Gadzhiev, M. R. Salikhov // Questions of electromechanics. Proceedings of VNIEM. – 2020. – Vol. 174. – No. 1. – Pp. 43 – 51.
13. The use of an antenna product in the design of onboard antenna-feeder devices / A. G. Generalov, E. V. Gadzhiev, M. R. Salikhov, N. S. Alekseeva // Abstracts of the Third Youth Conference «Innovative activity in Science and Technology. Co-building of spacecraft. Actual problems and ways to solve them», Istra, April 25, 2019. – Istra: Joint Stock Company «Research Institute of Electromechanics», 2019. – Pp. 23 – 26.
14. Dobrokhotov B. A. Measurements in electronics. Sprachnik. In 2 volumes. Volume 2 / B. A. Dobrokhotov. – Moscow : Energiya, 1965. – 240 p.
15. Spiral antennas / O. A. Yurtsev, A. V. Runov, A. N. Kazarin. – Moscow : Soviet Radio, 1974. – 223 p. : ill.
16. Antennas and microwave devices. Design of phased antenna arrays : [textbook for radio engineering. special universities] / D. I. Voskresensky. – Moscow : Radio and Communications, 1981. – 431 p.
17. Generalov A. G. Antenna system for on-board equipment COSPAS-SARSAT / A. G. Generalov, E. V. Gadzhiev // Radio Engineering. – 2018. – No. 8. – Pp. 204 – 211. – DOI 10.18127/j00338486-201808-38.

*Aleksandr Georgievich Generalov, Head of Laboratory.*

*Dmitrii Aleksandrovich Kokorin, Engineer of the 3rd category.*

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

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

*(Joint Stock Company Research Institute for Electromechanics (JC «NIIEM»).*