

Электродинамика и антенные системы

УДК 621.396.67

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ БОРТОВЫХ АНТЕННО-ФИДЕРНЫХ УСТРОЙСТВ РАДИОЛИНИИ ПЕРЕДАЧИ ЦЕЛЕВОЙ ИНФОРМАЦИИ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Генералов Александр Георгиевич

начальник лаборатории АО «Научно-исследовательский институт электромеханики».

Гаджиев Эльчин Вахидовичкандидат технических наук; ведущий научный сотрудник
АО «Научно-исследовательский институт электромеханики»

E-mail: otd24@niiem.ru.

Адрес: 143502, Россия, Московская обл., г. Истра, ул. Панфилова, 11.

Аннотация: На космических аппаратах используются антенно-фидерные устройства, входящие в состав различных бортовых систем и комплексов. Одной из таких систем является радиолиния передачи целевой информации. В данной работе рассмотрено и представлено состояние бортовых антенно-фидерных устройств радиолинии передачи целевой информации космических аппаратов. Приведены частотные диапазоны, используемые при построении указанной бортовой системы. Анализ приведён на примере построения антенной системы для космического аппарата серии «Метеор» и космических аппаратов, спроектированных на базе космической платформы «Канопус-В». Подробно показано построение бортовой радиолинии передачи целевой информации. Приведены характеристики радиолинии. Представлены недостатки применяемого варианта построения антенной системы с учётом современных требований к антенно-фидерным устройствам радиолинии передачи целевой информации. Выявлены и представлены тенденции развития антенно-фидерных устройств радиолинии передачи целевой информации космических аппаратов.

Ключевые слова: антенно-фидерное устройство, космический аппарат, радиолиния передачи цифровой информации.

Введение

Обеспечение обмена информации между космическим аппаратом (КА) и наземными пунктами управления является одной из главных задач. От качества и непрерывности сеансов связи КА с наземными службами зависит выполнение возложенной целевой задачи на КА [1].

АО «НИИЭМ» имеет более чем 55-летний опыт в разработке и изготовлении КА, а также отдельных бортовых служебных систем. За это время было разработано, изготовлено и успешно запущено более 35 КА метеорологического и научного назначения. В настоящее время АО «НИИЭМ» входит в состав АО «Корпорация «ВНИИЭМ» – ведущего российского производителя КА дистанционного зон-

дирования Земли (ДЗЗ) и активно участвует в создаваемых корпорацией как малых 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. [2].

Помимо малых КА, активно разрабатываются бортовые антенные системы и для больших КА, например, КА серии «Метеор» метеорологического назначения.

Как правило, на борту КА используются приёмо-передающие антенны, входящие в состав следующих систем:

- телеметрической системы;

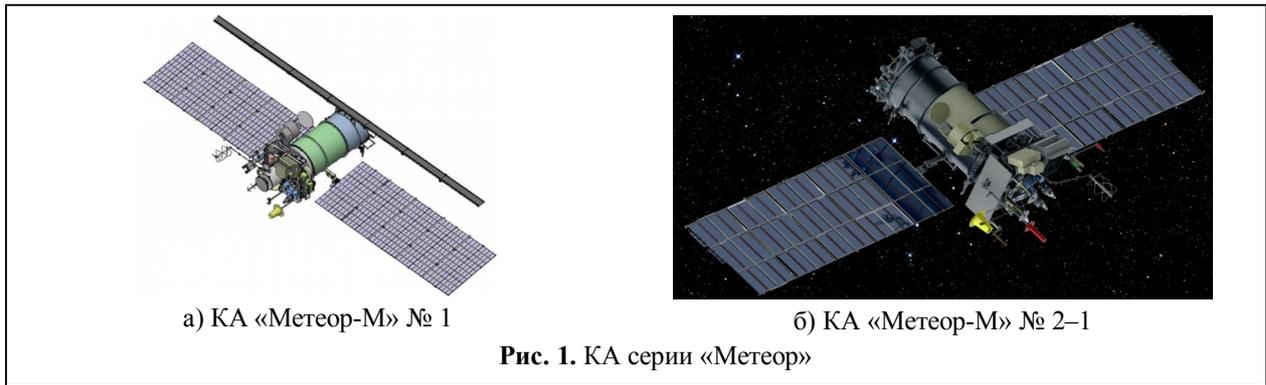


Рис. 1. КА серии «Метеор»

- телекомандной системы [3];
- навигационных систем (ГЛОНАСС, GPS);
- радиолинии передачи целевой информации (РЛЦИ);
- межспутниковой связи [4];
- специальных систем (например, КОС-ПАС-САРСАТ) [5, 6];
- научных систем и комплексов [7] и др.

Цель работы – анализ текущего состояния и выявление тенденций дальнейшего развития бортовых антенно-фидерных устройств (АФУ) РЛЦИ КА.

Принцип построения РЛЦИ КА

РЛЦИ КА предназначена:

- для приёма цифровой информации от целевой аппаратуры;
- для формирования цифровых потоков заданной структуры.

Бортовая аппаратура РЛЦИ применяется как в составе больших КА, так и малых КА. Рассмотрим КА, разработанные в АО «Корпорации «ВНИИЭМ».

На рис. 1. представлены КА серии «Метеор», которые образуют космический комплекс гидрометеорологического обеспечения «Метеор-3М» [8–10].

Передача данных на Землю обеспечивается бортовой информационной системой (БИС) в следующих диапазонах:

- 137...138 МГц;
- 1670...1710 МГц;
- 8000...8400 МГц.

БИС метрового диапазона (БИС-МВ) предназначена для:

- приёма высокоскоростного потока данных от бортовой аппаратуры КА;
- выбора заданных компонентов изображения, их сжатия и передачи преобразованной информации по низкоскоростной радиолинии на пункты приёма информации в диапазоне частот 137–138 МГц в международном формате LRPT.

БИС-МВ состоит из:

- формирователя цифрового потока метрового диапазона;
- передающего устройства метрового диапазона;
- бортовой кабельной сети.

В состав БИС дециметрового и сантиметрового диапазонов входит:

- блок автоматики – 1 шт.;
- формирователь цифровых потоков дециметровой радиолинии – 2 шт.;
- формирователь цифровых потоков сантиметрового радиолинии – 2 шт.;
- дисковое запоминающее устройство – 1 шт.;
- электронное запоминающее устройство – 1 шт.;
- передающее устройство дециметровой радиолинии с внутренним резервированием – 1 шт.;
- передающее устройство 1-й сантиметрового радиолинии с внутренним резервированием (ПРД1) – 1 шт.;

– передающее устройство 2-й сантиметровой радиолнии с внутренним резервированием (ПРД2) – 1 шт.

На борту КА серии «Метеор» используются антенны для передачи информации на Землю, представленные на рис. 2.

На рис. 3 представлено бортовое АФУ РЛЦИ КА серии «Метеор» [11].

В таблицу 1 сведены параметры радиолний, которые применяются в КА серии «Метеор» [9].

Помимо разработанных и успешно эксплуатируемых больших КА, разработан малый КА дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), спроектированный на базе платформы «Канопус-В». КА «Канопус-В» № 1, запуск которого состоялся 22 июля 2012 года с космодрома Байконур, представлен на рис. 4 [12–14].

Основным достоинством данного КА является использование модульного принципа его построения (служебная платформа и полезная нагрузка).

Служебная платформа КА «Канопус-В» является универсальной и позволяет устанавливать полезную нагрузку различного назначения (съёмочная аппаратура для ДЗЗ, научная аппаратура для космических исследований и др.), что обеспечивает в короткие сроки создание новых КА различного назначения с минимальными затратами.

Подтверждением этому является создание на базе данной служебной платформы ещё нескольких КА: КА ДЗЗ для обнаружения малоразмерных очаговых пожаров «Канопус-В-ИК» и КА научного назначения «Ломоносов», представленные на рис. 5.

1 февраля 2018 г. состоялся запуск КА «Канопус-В» № 3 и № 4 с космо-

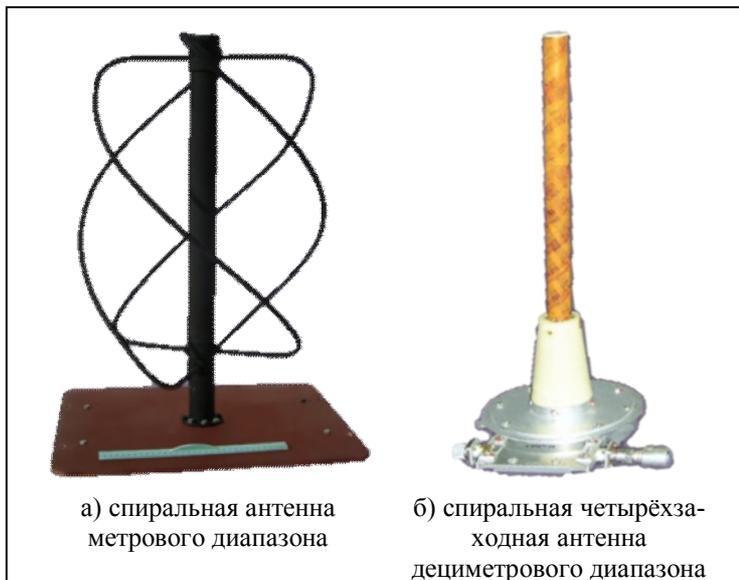


Рис. 2. Бортовые антенны

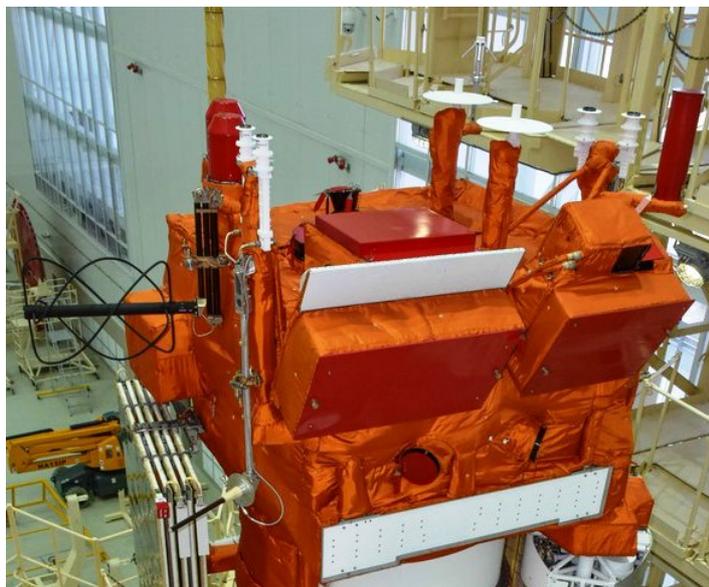


Рис. 3. КА «Метеор-М» № 2–1



Рис. 4. КА «Канопус-В» № 1

– передающее устройство для первой и второй радиолинии;

– блок автоматики с задающим генератором и реле времени;

– блок формирования частоты и усилитель мощности, которые входят в состав передатчика.

Питание для РЛЦИ подаёт блок авионики. Цикличность включений: в сеансе связи не более 10 мин, перерыв не менее 40 мин.

Работу РЛЦИ сверхустойчивости длительности ограничивает реле времени с установкой 17 мин от начала сеанса. Срок активного существования РЛЦИ не менее пяти лет [13].

Основные параметры сведены в таблицу 2.

На рис. 7 представлено АФУ РЛЦИ в составе КА «Канопус-В» № 1.

Состояние АФУ РЛЦИ

Как видно из представленных данных, для построения АФУ РЛЦИ КА серии «Метеор» применяются метровый, дециметровый и сантиметровый диапазоны. В сантиметровом диапазоне используется два бортовых передатчика с двумя бортовыми антеннами. В качестве бортовых антенн применяются зеркальные антенны с диаграммой направленности специальной формы.

При построении АФУ РЛЦИ для малых КА, построенных на базе платформы «Канопус-В», также используется два передатчика и две аналогичные зеркальные антенны сантиметрового диапазона.

Таким образом, этот подход позволяет осуществлять передачу данных со скоростями 61,44 Мбит/с и 122,88 Мбит/с (см. таблицы 1, 2).

Однако в настоящее время требования ко всей системе РЛЦИ КА резко выросли.

Таблица 2. Параметры РЛЦИ КА «Канопус-В» № 1

Несущая частота канала ПРД1	8128 МГц
Несущая частота канала ПРД2	8320 МГц
Скорость передачи в канале: ПРД1 ПРД2	61,44 Мбит/с 122,88 Мбит/с
Виды модуляции: ПРД1 ПРД2	Относительная фазовая Двойная относительная фазовая
Потребляемая мощность: при работе ПРД1 и ПРД2 при работе ПРД1 или ПРД2 в дежурном режиме – готовность к сбросу (в течение 8 мин)	240 Вт 130 Вт Не более 20 Вт
Масса	33 кг

С ростом объёма решаемых задач с помощью космических технологий произошло изменение требований к РЛЦИ КА. Данное изменение заключается в резком увеличении требуемой скорости передачи данных с борта КА на наземные пункты приёма информации. В свою очередь, определённые ограничения



Рис. 7. Фото малого КА «Канопус-В» № 1



вызваны достаточно коротким временем сеанса связи КА с пунктами приёма (около 10–15 мин), а также ограниченное количество самих пунктов приёма, что показано на рис. 8 [15].

Из представленных данных видно, что существуют три пункта приёма на территории РФ, позволяющие осуществлять уверенный приём данных (с требуемой вероятностью ошибки).

Перспективы развития

Как уже было отмечено выше, в настоящий момент перед РЛЦИ ставится задача по увеличению скорости передаваемой информации. Таким образом, речь идёт о построении высокоскоростной и сверхвысокоскоростной линий передачи.

Для обеспечения функционирования аппаратуры РЛЦИ используются следующие частоты:

- 137...138 МГц;
- 1670...1710 МГц;
- 8000...8400 МГц.

Поэтому целесообразным является применения сантиметрового диапазона (8000...8400

МГц) для построения перспективных высокоскоростных линий передачи, а для сверхскоростных линий передачи имеет смысл применения диапазона частот 25500...27000 МГц [16].

Однако используемый в настоящее время подход к построению АФУ РЛЦИ КА обладает рядом недостатков:

- для обеспечения функционирования двух бортовых передатчиков необходима большая мощность (≈ 120 Вт на каждый);
- применение двух передатчиков требует применения двух передающих антенн, что, в свою очередь, приводит к дополнительным требованиям по электромагнитной совместимости и по оптимальному размещению этих антенн на поверхности КА с целью снижения влияния корпуса КА на энергетические параметры антенн [17, 18];
- ограничено количество наземных пунктов приёма информации, способных принимать сигнал с данной энергетикой;
- значительные габариты применяемых передающих антенн.

Тенденции дальнейшего развития бортовых АФУ РЛЦИ:

- увеличение объёма передаваемой информации с КА на наземные пункты связи;
- уменьшение массы аппаратуры РЛЦИ;
- уменьшение энергопотребления аппаратуры РЛЦИ;
- снижение стоимости;
- увеличение надёжности.

Заключение

В данной работе рассмотрена одна из бортовых систем КА, а именно РЛЦИ. Показано состояние бортовых АФУ, применяемых в указанной системе на примере КА серии «Метеор» и КА, спроектированных на базе платформы «Канопус-В». Рассмотрены и представлены тенденции развития АФУ РЛЦИ КА [19].

Литература

1. Пригода Б.А., Кокунько В.С. Антенны летательных аппаратов. М: Воениздат, 1964 г. 120 с.
2. *Bocharov V.S., Generalov A.G., Gadzhiev E.V.* Antenna-feeder devices in the development of OJSC 'НИЕМ', Istra (Moscow region). 23rd International Crimean Conference Microwave and Telecommunication Technology, Conference Proceedings. September 08–14, 2013. Pp. 46–47.
3. *Бочаров В.С., Генералов А.Г., Гаджиев Э.В.* Результаты лётных испытаний антенно-фидерных устройств телекомандной системы КА «Канопус-В» №1 и Белорусского КА и пути совершенствования их характеристик // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2014. № 4 (16). С. 5–12.
4. *Генералов А.Г., Гаджиев Э.В.* Бортовая антенна для построения систем связи и межспутниковой связи. Тезисы докладов конференции «Иосифьяновские чтения–2017» – Истра : АО «НИИЭМ». 26 октября 2017. С. 262–265.
5. *Бочаров В.С., Генералов А.Г., Гаджиев Э.В.* Вариант построения бортовой антенной системы КОСПАС-САРСАТ. Сборник трудов VIII Всероссийской научно-технической конференции «Актуальные проблемы ракетно-космического приборостроения и информационных технологий». М.: АО «РКС». 01–03 июня 2016. С. 473–477.
6. *Бочаров В.С., Генералов А.Г., Гаджиев Э.В.* Бортовая антенная система КОСПАС-САРСАТ. В книге: Иосифьяновские чтения 2016. Тезисы докладов конференции. Истра : АО «НИИЭМ». 10 ноября 2016. С. 20–23.
7. *Бочаров В.С., Генералов А.Г., Гаджиев Э.В.* Антенная система космического аппарата «Ионосфера» // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. М. : 2012. том 131. №6. С. 11–14.
8. Космический комплекс гидрометеорологического и океанографического обеспечения «Метеор-3М» с космическим аппаратом «Метеор-М» №1: справочные материалы. М. : ФГУП «НПП ВНИИЭМ», 2008. 144 с.
9. Космический комплекс гидрометеорологического и океанографического обеспечения «Метеор-3М» с космическим аппаратом «Метеор-М» № 1. М. : ОАО «Корпорация «ВНИИЭМ», 2014. 158 с.
10. Космический комплекс гидрометеорологического и океанографического обеспечения «Метеор-3М» с космическим аппаратом «Метеор-М» № 2–1. – М.: АО «Корпорация «ВНИИЭМ», 2017. – 156 с.
11. АО «Корпорация «ВНИИЭМ» [Электронный ресурс]: http://vniiem.ru/ru/index.php?option=com_content&view=article&id=830:-1-r-2-1-lr&catid=36:2008-03-09-13-50-48&Itemid=50 (дата обращения 01.02.2018 г.)
12. *Владимиров А.В., Салихов Р.С., Сеник Н.А., Золотой С.А.* Космическая система оперативного мониторинга техногенных и природных чрезвычайных ситуаций на базе КА «Канопус-В» и Белорусского космического аппарата // Вопросы электромеханики. Труды НПП ВНИИЭМ. 2008. Т. 105. С. 49–57.
13. Космический комплекс оперативного мониторинга техногенных и природных чрезвычайных ситуаций «Канопус-В» с космическим аппаратом «Канопус-В» № 1. М. : ФГУП «НПП ВНИИЭМ», 2011. 110 с.
14. *Макриденко Л.А., Волков С.Н., Горбунов А.В., Салихов Р.С., Ходненко В.П.* КА «Канопус-В» № 1 – первый российский малый космический аппарат высокодеталяного дистанционного зондирования земли нового поколения // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. 2017. Т. 156. С. 2–11.
15. *Бекренев О.В., Гончаров А.К., Мартынов С.И.* Антенные системы приемных комплексов для оснащения приемных станций ЕТРИС. В книге: Иосифьяновские чтения – 2017. Материалы конференции. 26 октября 2017. С. 240–241.
16. *Бахтин А.А., Омелянчук Е.В., Семенова А.Ю.* Анализ современных возможностей организации сверхвысокоскоростных спутниковых радиолний // Труды МАИ. 2017. № 96.
17. *Бочаров В.С., Генералов А.Г., Гаджиев Э.В.* Исследование влияния корпуса космического аппарата на характеристики направленности бортовых антенн. В книге: Иосифьяновские чтения – 2015. Материалы конференции. 11 ноября 2015. С. 61–63.
18. *Гаджиев Э.В., Кондратьева С.Г., Овчинникова Е.В.* Математическое моделирование бортовых антенн космических аппаратов с учётом дифракции. В сборнике: Гагаринские чтения – 2016 Сборник тезисов докладов XLII Международной научной молодёжной конференции. В 4-х томах. 12–15 апреля 2016. С. 499–500.

19. Овчинникова Е.В., Шмачилин П.А., Кондратьева С.Г., Генералов А.Г., Гаджиев Э.В. Состояние и перспективы развития АФУ РЛЦИ КА. Тезисы докладов Пятой международной научно-

технической конференции «Актуальные проблемы создания космических систем дистанционного зондирования Земли». М. : АО «Корпорация «ВНИИ-ЭМ». 25 мая 2017. С. 160–162.

Поступила 16 февраля 2018 г.

English

CURRENT STATE AND DEVELOPMENT TRENDS OF VEHICLE-BORNE ANTENNA-FEEDER DEVICES FOR SPACE VEHICLE TARGET-ORIENTED DATA RADIO TRANSMISSION LINE

Alexander Georgievich Generalov – Lab Head, Joint-stock company “Research Institute of Electrical Engineering”.

Elchin Vakhidovich Gadzhiev – Candidate of Technical Sciences; Head Research Associate, Joint-stock company “Research Institute of Electrical Engineering”.

E-mail: otd24@niiem.ru.

Address: 143502, Russia, Moscow region, Istra, Panfilov str., 11.

Abstract: Vehicle-borne antenna feeder devices constitute an integral part of space vehicles both according to the type used (small or large satellites) and according to the target-oriented task (Earth remote sensing, weather observation, emergency monitoring, communications, scientific and applied research, etc.). There is a target-oriented data radio transmission line besides other vehicle-borne systems such as telemetry, navigation, intersatellite communications, etc., comprising receiving or transmitting antennas. This research work presents the construction of vehicle-borne data radio transmission line antenna system of information transmission for big-size space vehicle "Meteor" series and small-size space vehicles designed on space-based platform "Canopus-B". The above-named space vehicles were developed by JSC "Corporation "VNIEM". VHF-band, UHF-band and S-band antennas are used as part of the target-oriented data transmission radio line. The drawbacks of the approach being used for the vehicle-borne radio line construction are shown. The need to change the approach to the radio antennas design is caused by the following factors. There is a pressing need for the data transmission rate i.e. need for the construction of highspeed and superspeed radio lines due to rising data transmitted amount and the limited time to downlink the ground-based data reading sites as well as the small number of such sites throughout the country. Vehicle-borne S-band antennas are necessarily to be used for the construction of highspeed and superspeed line and that can ensure a significant rise in the transmitted data speed compared to the existing one. Thus, the research work shows the status of the vehicle-borne antenna-feeder devices of the space vehicle target-oriented data radio transmitting line through the example of space vehicles "Meteor" series and space-based platform "Canopus-B". The future trends in the further development of the radio line vehicle-borne antennas are as well revealed and presented.

Keywords: antenna-feeder device, space vehicle, digital data transmission radio line.

References

1. Prigoda B.A., Kokunko V.S. Space-borne antennas. M : Voenizdat, 1964. 120 p.
2. Bocharov V.S., Generalov A.G., Gadzhiev E.V. Antenna-feeder devices in the development of OJSC ‘NIIEM’, Istra (Moscow region) // 23rd international Crimean Conference Microwave and Telecommunication Technology // Conference Proceedings. 2013. Pp. 46–47.
3. Bocharov V.S., Generalov A.G., Gadzhiev E.V. Flight test results of telecommanded system antenna feeder devices of SV “Kanopus-B” No.1 and Belorussian SV and ways of improving their characteristics // Radiotekhnicheskiye i telekommunikatsionnye sistemy. 2014. No. 4 (16). Pp. 5–12.
4. Generalov A.G., Gadzhiev E.V. Vehicle-borne antenna for communication and inter-satellite communication systems construction // "Iyosifian Scientific Conference 2017. Abstracts." Istra : JSC "Niiem". 2017. Pp. 262–265.
5. Bocharov V.S., Generalov A.G., Gadzhiev E.V. The alternate design of COSPAS-SARSAT antenna system // Proceedings of the VIII all-Russian scientific and technical conference "Topic issues of rocket and space instrumentation and information technologies". M. : JSC "RKC". 2016. Pp. 473–477.
6. Bocharov V.S., Generalov A.G., Gadzhiev E.V. COSPAS-SARSAT vehicle-borne antenna system. In the book: Iyosifian Scientific Conference 2016 abstracts of the conference. 2016. Pp. 20–23.
7. Bocharov V.S., Generalov A.G., Gadzhiev E.V. Space vehicle “Ionosfera” antenna system // Problems of electrical engineering // VNIEM collected works. M. : 2012. volume 131. No. 6. Pp. 11–14.

8. Space complex "Meteor-3M" of hydrometeorological and oceanographic support with space vehicle "Meteor-M" Nr.1: reference materials – M.: FSUE "NPP VNIIEM", 2008. 144 p.
9. Space complex "Meteor-3M" of hydrometeorological and oceanographic support with space vehicle "Meteor-M" No.1. M. : JSC "Corporation VNIIEM". 2014. 158 p.
10. Space complex "Meteor-3M" of hydrometeorological and oceanographic support with space vehicle "Meteor-M" No.2-1. M. : JSC "Corporation VNIIEM", 2017. 156 p.
11. JSC "Corporation "VNIIEM" [Electronic resource]: http://vniiem.ru/ru/index.php?option=com_content&view=article&id=830:-l-r-2-1-lr&catid=36:2008-03-09-13-50-48&Itemid=50 (accessed 01.02.2018 G.).
12. *Vladimirov A.V., Salikhov R.S., Senik N.A., Zolotoy S.A.* On-line monitoring space system of man-induced and natural emergencies based on SV "Kanopus-B" and the Belarusian space vehicle // Issues of electrical engineering. NPP VNIIEM Works. 2008. Vol. 105. Pp. 49–57.
13. On-line monitoring space complex "Kanopus-B" of man-induced and natural emergencies with space vehicle "Kanopus-B" Nr. 1. M.: FSUE "NPP VNIIEM", 2011. 110 p.
14. *Makridenko L.A., Volkov S.N., Gorbunov A.V., Salikhov R.S., Khodnenko V.P.* SV "Kanopus-B" Nr. 1 – the first Russian small-size space vehicle of new generation high-resolution remote sensing. // Issues of electrical engineering. VNIIEM works. 2017. Vol. 156. Pp. 2–11.
15. *Bekrenev O.V., Goncharov A.K., Martynov S.I.* Antenna systems of receiving complexes for equipping IGDRSIS (integrated geographically distributed remote sensing information systems) receiving stations. In the book: Iyosifian Scientific Conference 2017 proceedings. 2017. Pp. 240–241.
16. *Bakhtin A.A., Omelyanchuk E.V., Semenova A.Yu.* Analysis of the current capabilities of organizing superspeed satellite radio lines. MAI Proceedings. 2017. No. 96.
17. *Bocharov V.S., Generalov A.G., Gadzhiev E.V.* Investigation of the space vehicle body influence on the vehicle-borne antenna beam pattern. In the book: Iyosifian Scientific Conference 2015 proceedings. Pp. 61–63.
18. *Gadzhiev E.V., Kondratieva S.G., Ovchinnikova E.V.* Mathematical modeling of space-borne antennas with account of diffraction. In the collection of works: Gagarin Scientific Conference - 2016 Collection of abstracts of the XLII International Scientific Youth Conference. In 4 volumes. 2016. Pp. 499–500.
19. *Ovchinnikova E.V., Shmachilin P.A., Kondratieva S.G., Generalov A.G., Gadzhiev E.V.* Current state and development trends of antenna-feeder devices for space vehicle target-oriented data radio transmission line // Abstracts of the Fifth International Scientific and Technical Conference "Topical Issues of Developing Space-based systems of Earth remote sensing". M. : JSC "Corporation " VNIIEM". 2017. P. 160–162.