

К ВОПРОСУ О ПОСТРОЕНИИ ОСТРОНАПРАВЛЕННОЙ ПЕРЕНАЦЕЛИВАЕМОЙ БОРТОВОЙ АНТЕННЫ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

А. Г. Генералов, Э. В. Гаджиев

Данная работа посвящена поиску путей построения бортового антенно-фидерного устройства для радиолинии передачи целевой информации. В настоящее время остро возникает вопрос по разработке и внедрению высокоскоростных и сверхвысокоскоростных линий передачи информации. Одним из предлагаемых решений является применение остронаправленной антенны сантиметрового диапазона. Однако в ряде случаев перед разработчиками ставится задача сброса целевой информации на наземные пункты приёма информации, расположенные не по траектории движения космического аппарата. В данной работе сформулированы и предложены требования к приводу для бортовой остронаправленной антенны сантиметрового диапазона. Данное решение позволит спроектировать высокоскоростную радиолинию.

Ключевые слова: антенно-фидерное устройство, космический аппарат, привод, радиолиния передачи целевой информации, высокоскоростная радиолиния.

Традиционно на борту космического аппарата (КА) применяются антенны для следующих систем и комплексов [1]:

- телекомандная;
- навигационная;
- телеметрическая;
- научная;
- специальная;
- межспутниковой связи и т. д.

Помимо перечисленных выше бортовых систем и комплексов, не менее важной является радиолиния передачи целевой информации (РЛЦИ), которая предназначена для приёма цифровой информации от целевой аппаратуры и формирования цифровых потоков заданной структуры.

Целью данной работы является анализ возможности построения перенацеливаемой бортовой антенны для РЛЦИ.

В настоящее время применяются следующие диапазоны частот для бортовых антенн [2 – 7]:

- 137 ... 138 МГц;
- 1670 ... 1710 МГц;
- 8025 ... 8400 МГц;
- 25500 ... 27000 МГц.

В настоящее время широкое применение нашли следующие антенны [8]:

- спиральная антенна со специальной формой диаграммой направленности;
- рупорная антенна;
- зеркальная антенна;
- антенная решётка с различными типами излучателей.

Однако используемый в настоящее время подход к построению антенной системы РЛЦИ КА в виде применения зеркальных антенн с диаграммой направленности специальной формы на КА серии «Метеор-М» и «Канопус-В» № 1 обладает рядом недостатков [2, 5]:

– 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 [9, 10];

– ограничено количество наземных пунктов приёма информации, способных принимать сигнал с данной энергетикой;

– достаточно низким коэффициентом усиления (≈ 6 дБ);

– значительные габариты применяемых передающих антенн.

При построении антенной системы для современной РЛЦИ возникает ряд дополнительных требований [11]:

– увеличение скорости передачи данных на Землю, что в свою очередь приводит к увеличению полосы пропускания антенны;

– возможность сброса информации на определённые наземные пункты приёма;

– узкая диаграмма направленности;

– достаточно высокий коэффициент усиления;

– высокий коэффициент эллиптичности.

Учитывая всё вышесказанное, возникает задача по разработке скоростной и сверхскоростной радиолинии. Для решения поставленной задачи целесообразно применение сантиметрового диапазона частот (8025 ... 8400 МГц или 25 500 ... 27 000 МГц).

Однако применение более высоких частот (25 500 ... 27 000 МГц) приводит к ряду сложностей:

– дорогостоящая измерительная аппаратура;

– худшие энергетические параметры радиолинии;

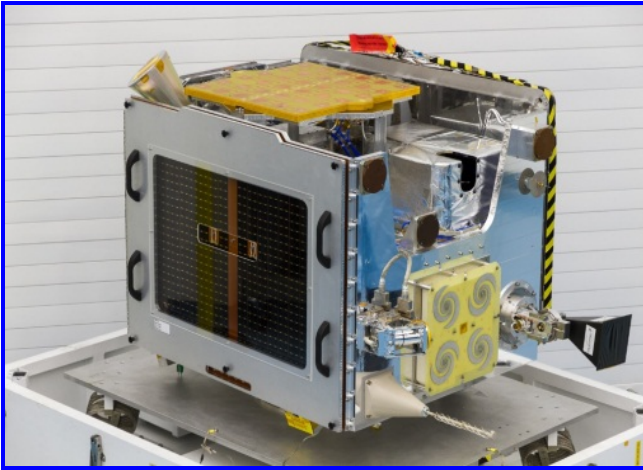


Рис. 1. КА «TechDemoSat-1»

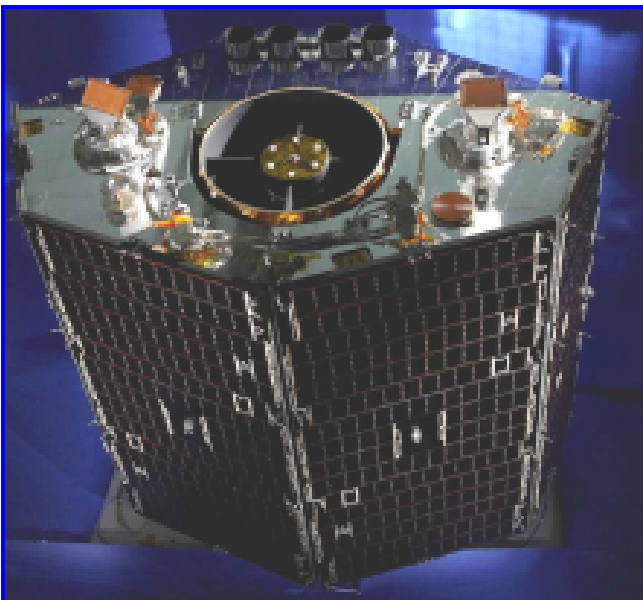


Рис. 2. КА «SSTL-300»

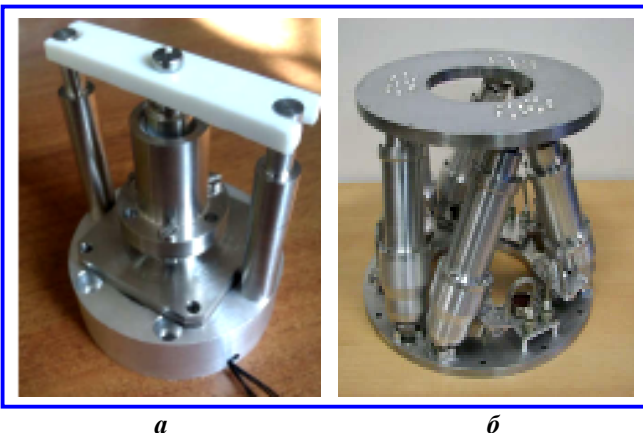


Рис. 3. Фото приводов ООО «Прикладная механика»: *a* – линейный электромеханический привод с шаговым двигателем для температур 4,2 К; *б* – координатный манипулятор типа гексапод в вакуумном, радиационно-стойком исполнении

- узкая диаграмма направленности антенн требует точной юстировки и ориентации самого КА;
- удорожание бортовой аппаратуры и антенн.

Таким образом, выбор сделан в пользу использования частотного диапазона 8025 ... 8400 МГц. В качестве бортовой антенны выбрана рупорная антенна. Данный тип антенн обладает такими свойствами, как широкополосность, простая конструкция, что в свою очередь позволяет увеличить скорость передачи данных, надёжность и т. д. [12]. Также такой тип антенн применим в качестве бортовых с учётом дестабилизирующего влияния космического пространства [13].

На рис. 1 показано применение бортовой рупорной антенны в составе малого КА.

В настоящее время даже размещение двух бортовых антенн с большим усилением, как показано на рис. 2, в ряде задач по проектированию сверхскоростных радиолиний не позволяет обеспечить пропускную способность радиолинии 1 Гбит/с [14].

Таким образом, учитывая требования к пропускной способности радиолинии (не менее 1 Гбит/с), возникает необходимость в применении перенацеливаемых бортовых антенн вместо традиционных стационарных [15].

В работе [16] предприятием ООО «Прикладная механика» предложены варианты построения бортового привода, представленные на рис. 3.

В работе [17] предприятием АО «Корпорация «ВНИИЭМ» представлена модель электропривода, показанная на рис. 4.

Крепление к корпусу КА осуществляется диском 1. Прямой электропривод поворота по углу азимута приводится во вращение многополюсным электродвигателем с дискретно-распределёнными обмотками и внешним ротором [18], который находится у основания 2 кольцевой фермы 3. Диаметр подшипника D_n электродвигателя приблизительно равен диаметру кольцевой фермы 3 антенно-фидерной системы. К кольцевой ферме 3 крепятся кронштейн 4 контррефлектора 5 и кронштейн 6 крепления рефлектора 7. Электродвигатель 2 поворачивает на заданный угол места контррефлектор 5 и узел крепления рефлектора 7 вокруг оси облучателя 8, жёстко закреплённого на волноводе. Второй электродвигатель поворачивает на заданный угол места узел крепления рефлектора 7.

В Акционерном обществе «Научно-исследовательский институт точных приборов» (АО «НИИ ТП») также разработаны и успешно применяются в составе бортовых антенных систем КА «Ресурс-ДК» привод [18].

В работе [19] Surrey Satellite Technology Ltd. (SSTL) представлен вариант построения двухкоординатного бортового привода, представленного на рис. 5.

Компании Tesat Spacecom, NEC Space Technologies Ltd.

и Thales Alenia Space предлагают для создания высокоскоростной радиолинии антенно-фидерные устройства (АФУ) с механизмом наведения, которые показаны на рис. 6 [20 – 22].

Учитывая существующие в настоящее время разработки привода космического применения, в таблице сведены предъявляемые требования.

Заключение

В работе рассмотрен и представлен применяемый подход к построению радиолинии передачи целевой информации. Показаны недостатки данного подхода. В ходе анализа возможных путей построения высокоскоростной радиолинии предложен вариант применения остронаправленной антенны сантиметрового диапазона с приводом.

Сформулированы и представлены требования к бортовому приводу.

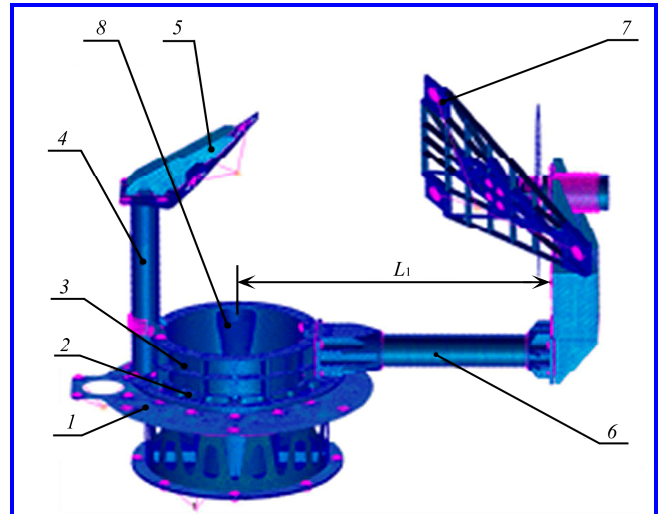


Рис. 4. Конечно-элементная модель электропривода антенно-фидерной системы

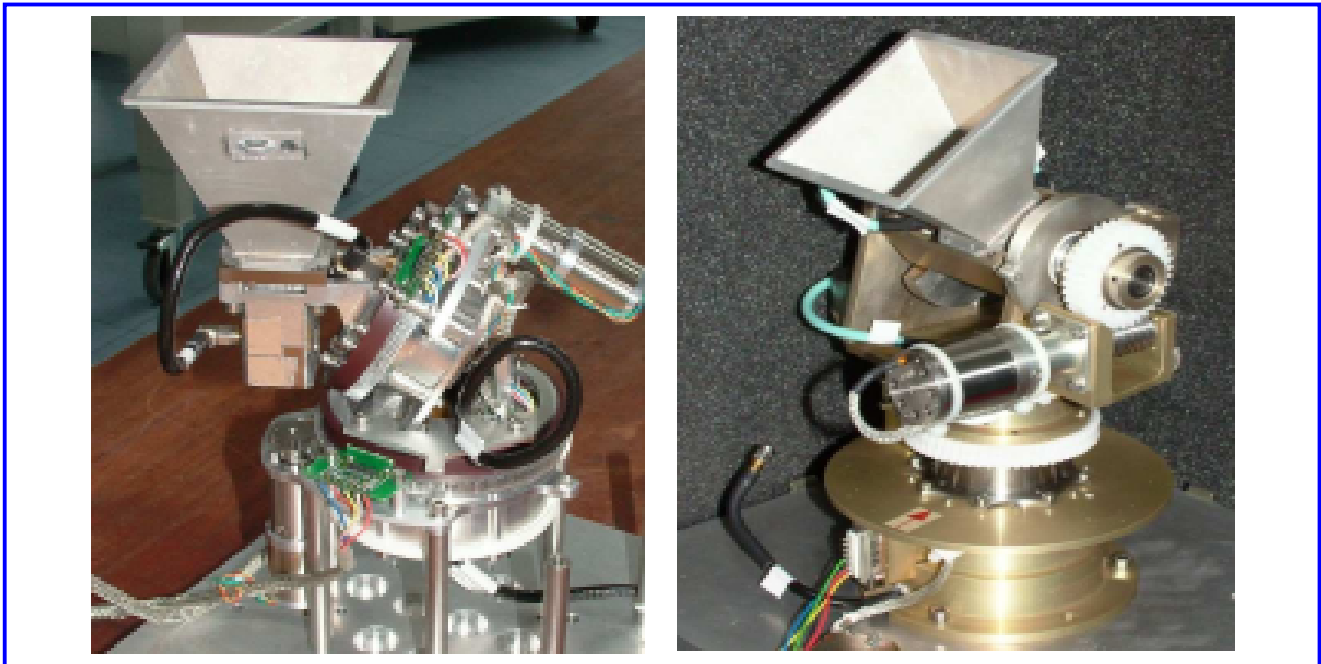


Рис. 5. Двухкоординатный привод фирмы SSTL



Рис. 6. АФУ с механизмом наведения: а – Tesat Spacecom; б – NEC Space Technologies Ltd.; в – Thales Alenia Space

Требования к приводу бортовой антенны скоростной радиолинии

Требования	Параметры
Количество осей вращения	Одна или две
Точность наведения	Не хуже 2 – 3 град.
Скорость перемещения антенны	Не более 45 град. в минуту
Максимальный угол вращения по азимуту	Не более 270 град.
Максимальный угол вращения по углу места	Не более ± 90 град.
Габариты привода	Диаметр 180 мм, высота 50 мм (при однокоординатном приводе)
Масса привода с вращающимся сочленением	1,4 кг (при однокоординатном приводе)

Литература

- 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.
- Космический комплекс оперативного мониторинга техногенных и природных чрезвычайных ситуаций «Канопус-В» с космическим аппаратом «Канопус-В» № 1. – М. : ФГУП «НПП ВНИИЭМ», 2011. – 110 с.
- Космический комплекс гидрометеорологического и океанографического обеспечения «Метеор-3М» с космическим аппаратом «Метеор-М». – М. : ФГУП «НПП ВНИИЭМ», 2008. – 143 с.
- Белорусский космический комплекс дистанционного зондирования Земли – М. : ФГУП «НПП ВНИИЭМ», 2011. – 88 с.
- Космический комплекс гидрометеорологического и океанографического обеспечения «Метеор-3М» с космическим аппаратом «Метеор-М» № 2. – М. : ОАО «Корпорация «ВНИИЭМ», 2014. – 158 с.
- Дятлов А. П. Системы спутниковой связи с подвижными объектами: Учебное пособие. Ч. 1. – Таганрог : ТРТУ, 2004. – 95 с.
- Бахтин А. А., Омельяничук Е. В., Семёнова А. Ю. Анализ современных возможностей организации сверхвысокоскоростных спутниковых радиолиний // Труды МАИ. – 2017. – № 96.
- Овчинникова Е. В., Шмачилин П. А., Кондратьева С. Г., Генералов А. Г., Гаджиев Э. В. Пути построения АФУ РЛЦИ КА // Тезисы докладов Шестой международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы создания космических систем дистанционного зондирования Земли». – М. : АО «Корпорация «ВНИИЭМ», 2018. – С. 131 – 132.
- Бочаров В. С., Генералов А. Г., Гаджиев Э. В. Исследование влияния корпуса космического аппарата на характеристики направленности бортовых антенн // Иосифьяновские чтения. – 2015. – Материалы конференции, 2015. – С. 61 – 63.
- Гаджиев Э. В., Кондратьева С. Г., Овчинникова Е. В. Математическое моделирование бортовых антенн космических аппаратов с учётом дифракции // Гагаринские чтения – 2016 : Сборник тезисов докладов XLII Международной научной молодёжной конференции. В 4-х тт. – 2016. – С. 499 – 500.
- 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 «ВНИИЭМ», 2017. – С. 160 – 162.
- Воскресенский Д. И., Гостюхин В. Л., Максимов В. М., Пономарёв Л. И. Устройства СВЧ и антенны. – М. : Радиотехника, 2008. – 384 с.
- Бочаров В. С., Генералов А. Г., Гаджиев Э. В. Особенности бортовых антенно-фидерных устройств космических аппаратов // Сборник тезисов научно-технического семинара «Перспективы развития антенно-фидерных устройств летательных аппаратов». – Истра: ОАО «НИИЭМ», 2013. – С. 55 – 58.
- Мартынов С. И., Гончаров А. К., Табенков А. В. Анализ энергетических характеристик бортовой аппаратуры радиолиний передачи информации КА ДЗЗ – ЗЕМЛЯ // Тезисы докладов Шестой международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы создания космических систем дистанционного зондирования Земли». – М. : АО «Корпорация «ВНИИЭМ», 2018. – С. 79.
- Генералов А. Г., Гаджиев Э. В. К вопросу о построении остронаправленной перенацеливаемой бортовой антенны космических аппаратов // Сборник тезисов Второй молодёжной конференции «Инновационная деятельность в науке и технике. Электромеханика, автоматика и робототехника». – Истра: АО «НИИЭМ», 2018. С. 33 – 36.
- Юсов А. В., Козлов С. А., Устинова Е. А., Васильченко Д. В., Архипов М. Ю. Кривовакуумный гексапод с субмикронным приводом для температур 4,2 К // Иосифьяновские чтения – 2017. – Материалы конференции. – 2017. – С. 231 – 233.
- Геча В. Я., Захаренко А. Б., Мартынова С. А., Красова Н. А. Оптимизация главных размеров электродвигателя для привода антенно-фидерной системы // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. – М. : АО «Корпорация «ВНИИЭМ», 2016. – Т. 151. – № 2. – С. 8 – 11.
- Патент Н02К19/10. Синхронный реактивный электродвигатель / Дульцев А. А., Мартынова С. А., Захаренко А. Б. : АО «Корпорация «ВНИИЭМ». – № 2551640 (РФ); Заявка № 2014116841; Опубл. 27.05.2015, Бюлл. № 15.
- Акционерное общество «Научно-исследовательский институт точных приборов» (АО «НИИ ТП»). –

URL: <http://www.niitp.ru/activities/34-vrl>. – (Дата обращения: 20.06.2018).

20. Mark Ferris, Nigel Phillips. The use and advancement of an affordable, adaptable antenna pointing mechanism. 14th European Space Mechanisms & Tribology Symposium – ESMATS 2011' Constance, Germany, 28 – 30 September 2011. – Pp. 227 – 234.

21. Thales Group. Thales Alenia Space. Avionics products.

URL: <https://www.thalesgroup.com/en/avionics-aocs>. – (Дата обращения: 20.06.2018).

22. NEC Space Systems. Products. – URL: <http://www.nec.com/en/global/solutions/space/>. – (Дата обращения: 20.06.2018).

23. Tesat Spacecom. Product lines. – URL: <http://www.tesat.de/en/>. – (Дата обращения: 20.06.2018).

Поступила в редакцию 16.03.2018

Александр Георгиевич Генералов, начальник лаборатории.

Эльчин Вахидович Гаджиев, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, т. (495) 994-55-57.

E-mail: otd24@niiem.ru.

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

ABOUT DESIGNING A NARROW-BEAM STEERABLE ON-BOARD ANTENNA FOR SATELLITES

A. G. Generalov, E. V. Gadzhiev

The article is devoted to the search of ways to build an on-board antenna-feeder device for the mission data radio link. At present the problem of development and introduction of a high-speed and ultra-high-speed data transmission links is of great importance. One of the suggested solutions is the application of a SHF narrow-band antenna. However, the designers are often charged with the task of mission data downlink to the ground receiving stations located out of the satellite track. This article defines and proposes the requirements to the drive mechanism for a SHF narrow-beam antenna. The proposed solution will help to design a high-speed radio link.

Key words: antenna-feeder device, satellite, drive, mission data radio link, high-speed radio link.

References

1. Bocharov V. S., Generalov A. G., Gadzhiev E. V. Antenna-feeder devices in the development of OJSC 'NIEM', Istra (Moscow region) // 23rd International Crimean Conference Microwave and Telecommunication Technology. Conference Proceedings. – 2013. – Pp. 46 – 47.
2. Canopus-V space system comprising Canopus-V No. 1 satellite for real-time monitoring of man-made and natural disasters. – M. : FGUE 'NPP VNIEM', 2011. – P. 110.
3. Meteor-3M hydrometeorological and oceanographic space system comprising Meteor-M satellite. – M. : FGUE 'NPP VNIEM', 2008. – P. 143.
4. Belarusian Earth remote sensing space system – M. : FGUE 'NPP VNIEM', 2011. – P. 88.
5. Meteor-3M hydrometeorological and oceanographic space system comprising Meteor-M No. 2 satellite. – M. : 'VNIEM Corporation' JSC, 2014. – p. 158.
6. Diatlov A. P. Satellite mobile communication systems: Textbook. Part 1. Taganrog: Taganrog Radio Technical University, 2004. – P. 95.
7. Bakhtin A. A., Omelianchuk E. V., Semenova A. Iu. Analysis of present-day capabilities of organizing ultra-high-speed satellite radio links // Proceedings of Moscow Aviation Institute. – 2017. – No. 96.
8. Ovchinnikova E.V., Shmachilin P.A., Kondrateva S.G., Generalov A.G., Gadzhiev E.V. Ways of building a satellite mission data radio link antenna-feeder device. // Abstracts of reports for the 6th International Scientific Conference 'Critical Issues in Designing of ERS Systems'. – M. : 'VNIEM Corporation' JC, 2018. – Pp. 131 – 132.
9. Bocharov V. S., Generalov A. G., Gadzhiev E. V. Investigation of satellite body influence on the on-board antenna beam patterns // Iosifian readings. – 2015. Conference proceedings. 2015. – Pp. 61 – 63.
10. Gadzhiev E. V., Kondrateva S. G., Ovchinnikova E. V. Mathematical simulation of satellite on-board antennas taking into account diffraction // Gagarin readings – 2016 : Collection of abstracts of reports for the 42nd International Youth Scientific Conference. 4 volumes. – 2016. – Pp. 499 – 500.
11. Ovchinnikova E. V., Shmachilin P. A., Kondrateva S. G., Generalov A. G., Gadzhiev E. V. Status and prospects of development of satellite mission data radio link antenna-feeder device // Abstracts of reports for the 5th International Scientific Conference 'Critical Issues in Designing of ERS Systems'. – M. : 'VNIEM Corporation' JC, 2017. – Pp. 160 – 162.
12. Voskresenskii D.I., Gostiukhin V. L., Maksimov V.M., Ponomarev L.I. Microwave devices and antennas. – M. : Radio-tekhnika (Radioengineering), 2008. – P. 384.

13. Bocharov V. S., Generalov A. G., Gadzhiev E. V. Features of satellite on-board antenna-feeder devices // Collection of abstracts for scientific seminar 'Prospects of development of satellite on-board antenna-feeder devices'. – Istra: JSC 'NIIEM', 2013. – Pp. 55 – 58.
14. Martynov S. I., Goncharov A. K., Tabenkov A. V. Analysis of energy characteristics of on-board equipment within ERS satellite – GROUND data transmission radio link // Abstracts of reports for the 6th International Scientific Conference 'Critical Issues in Designing of ERS Systems'. – M. : 'VNIIEEM Corporation' JC, 2018. – P. 79.
15. Generalov A. G., Gadzhiev E. V. About designing a narrow-beam steerable on-board antenna for satellites // Collection of abstracts for the Second Youth Conference 'Innovative activities in science and technology. Electromechanics, automation and robotics'. – Istra: JSC 'NIIEM', 2018. – Pp. 33 – 36.
16. Iusov A. V., Kozlov S. A., Ustinova E. A., Vasilchenko D. V., Arkhipov M. Iu. Cryogenic and vacuum compatible hexapod with sub-micron actuator for temperatures of 4.2K // Iosifian readings – 2017. – Conference proceedings. – 2017. – Pp. 231 – 233.
17. Gecha V. Ya., Zakharenko A. B., Martynova S. A., Krasova N. A. Optimization of major dimensions of electric motors for antenna-feeder system drives // Matters of Electromechanics. VNIIEEM Proceedings. – M. : 'VNIIEEM Corporation' JC, 2016. – V. 151. – No. 2. – Pp. 8 – 11.
18. Patent H02K19/10. Synchronous reaction motor / Dultsev A.A., Martynova S.A., Zakharenko A.B. : 'VNIIEEM Corporation' JC. – No. 2551640 (RF); Application No. 2014116841; Published on 27.05.2015, Bulletin No. 15.
19. Joint-Stock Company 'Research Institute of Precision Instruments' (JSC 'RIPI'). – URL: <http://www.niitp.ru/activities/34-vr1>. – (Accessed on 20.06.2018).
20. Mark Ferris, Nigel Phillips. The use and advancement of an affordable, adaptable antenna pointing mechanism. 14th European Space Mechanisms & Tribology Symposium – ESMATS 2011' Constance, Germany, 28 – 30 September 2011. – Pp. 227 – 234.
21. Thales Group. Thales Alenia Space. Avionics products. URL: <https://www.thalesgroup.com/en/avionics-aocs>. – (Accessed on 20.06.2018).
22. NEC Space Systems. Products. – URL: <http://www.nec.com/en/global/solutions/space/>. – (Accessed on 20.06.2018).
23. Tesat Spacecom. Product lines. – URL: <http://www.tesat.de/en/>. – (Accessed on 20.06.2018).

*Aleksandr Georgievich Generalov, Head of Laboratory.
Elchin Vakhidovich Gadzhiev, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Leading Researcher,
tel.: +7 (495) 994-55-57.
E-mail: otd24@niiem.ru.
(Joint-Stock Company 'Research Institute of Electromechanics' (JSC «NIIEM»)).*