

УДК 629.783

Doi: 10.31772/2712-8970-2023-24-1-99-108

Для цитирования: Наземный комплекс управления космическими аппаратами дальнего космоса / Жуков А. О., Иванов К. А., Бондарева М. К. и др. // Сибирский аэрокосмический журнал. 2023. Т. 24, № 1. С. 99–108. Doi: 10.31772/2712-8970-2023-24-1-99-108.

For citation: Zhukov A. O., Ivanov K. A., Bondareva M. K. et al. [Ground control system for distant space vehicle]. *Siberian Aerospace Journal*. 2023, Vol. 24, No. 1, P. 99–108. Doi: 10.31772/2712-8970-2023-24-1-99-108.

Наземный комплекс управления космическими аппаратами дальнего космоса

А. О. Жуков^{1,2*}, К. А. Иванов³, М. К. Бондарева¹, М. Н. Бондарев¹, Д. С. Горовой³

¹ФГБНУ «Аналитический центр»
Российская Федерация, 109316, г. Москва, ул. Талалихина, 33/4
²Институт астрономии Российской академии наук
Российская Федерация, 119017, г. Москва, ул. Пятницкая, 48
³АО «ОКБ МЭИ»
Российская Федерация, 111250, г. Москва, ул. Красноказарменная, 14
*E-mail: aozhukov@mail.ru

В настоящее время востребованы исследования перспективного наземного комплекса управления космическими аппаратами дальнего космоса, обладающего большими возможностями не только в управлении космическими аппаратами дальнего космоса, но и в проведении фундаментальных и прикладных радиоастрономических исследований. Большое внимание уделяется анализу требований к радиотехническому комплексу, которые должны быть выполнены для реализации возможности проведения с его помощью нескольких направлений научных исследований и, прежде всего, планетной радиолокации, интерферометрии со сверхдлинными базами, радиопросвечивания, радиоастрономии. На основе анализа состояния наземного комплекса управления космическими аппаратами дальнего космоса раскрыты направления его развития на основе модернизации существующих средств, а также показаны перспективы применения новых технологий для освоения дальнего космоса на траекториях полета к Луне, Марсу, другим небесным телам Солнечной системы, объектам инопланетной и межпланетной инфраструктуры.

Ключевые слова: наземный комплекс управления, дальний космический аппарат, сеть, технология управления, радиоастрономические исследования, методы исследования космических тел.

Ground control system for distant space vehicles

A. O. Zhukov^{1,2*}, K. A. Ivanov³, M. K. Bondareva¹, M. N. Bondarev¹, D. S. Gorovoy³

¹Expert and Analytical Center
33, Building 4, Talalikhina St., Moscow, 109316, Russian Federation
²Institute of Astronomy of the Russian Academy of Sciences
48, Pyatnitskaya St., Moscow, 119017, Russian Federation
³JSC “Special Research of Moscow Power Engineering Institute”
14, Krasnokazarmennaya St., Moscow, 111250, Russian Federation
*E-mail: aozhukov@mail.ru

The demand for research of a promising ground-based long-range spacecraft control complex, which has great capabilities not only in the control of deep space vehicles, but also in carrying out fundamental and applied radio astronomical research. Much attention is paid to the analysis of the requirements to the

radio complex, which must be fulfilled to realize the possibility of several directions of scientific research and, first of all: planetary radiolocation; interferometry with ultra-long baselines; radio-reflecting; radioastronomy. Based on the analysis of the state of the ground control system of deep spacecraft, the directions of its development on the basis of modernization of existing facilities are revealed, and the prospects for the use of new technologies for the development of deep space on flight paths to the Moon, Mars, other celestial bodies of the solar system, the objects of alien and interplanetary infrastructure are shown.

Keywords: ground control complex, long-range spacecraft, network, control technology, radio astronomy research, space-body research methods.

Введение

При выполнении космических миссий по исследованию объектов дальнего космоса целевой задачей является доставка комплекса научных приборов в составе космического аппарата (КА) в заданную область космического пространства, проведение научных исследований в этой области и доставка полученной информации на Землю. Областью космического пространства, в которой проводятся научные исследования, может быть поверхность планеты или ее спутника, орбита искусственного спутника планеты, траектория полета КА, при которой обеспечивается пролет на заданном расстоянии от исследуемого объекта.

Методы исследования физических характеристик объектов дальнего космоса с помощью научных приборов, установленных на борту КА для дальнего космоса (ДКА), называются прямыми. Прямые методы обеспечили получение ценной информации о планетах Солнечной системы, а также о космической плазме, ионизированных и нейтральных оболочках планет и некоторых комет. В будущем исследования объектов Солнечной системы прямыми методами будут продолжаться, например, с помощью перспективных КА, таких как планируемый к запуску «ЭкзоМарс», управляемый создаваемыми многофункциональными наземными радиотехническими комплексами (НРТК). НРТК проводят траекторные измерения текущих навигационных параметров КА, по которым определяется траектория его движения, получают с борта телеметрическую информацию о работе служебных систем и научных приборов КА [1–5], с помощью передаваемых на борт команд управления обеспечивают их нормальную работу, принимают с бортовых систем КА информацию, полученную в процессе проведения научных исследований [6; 7].

Основной особенностью радиолиний дальней космической связи является необходимость осуществлять радиосвязь на гигантских расстояниях – сотен и тысяч миллионов километров. Время распространения сигнала на эти расстояния может достигать нескольких десятков минут, а при полете к дальним планетам – нескольких часов. Специфические особенности радиолиний дальней космической связи предъявляют к НРТК дополнительные требования, которые делают их уникальными по техническим характеристикам и значительно отличающимися от наземных станций слежения других космических систем [8–10].

Первыми поколениями НРТК, с помощью которых велось управление ДКА, являлись комплексы «Плутон» с антеннами АДУ 1000 и «Сатурн-МСД» с антеннами П-400 и П-200. С 1981 по 2000 гг. для управления ДКА использовался НРТК «Квант-Д», установленный на пунктах в Евпатории и Усурийске. Комплекс «Квант-Д», оснащенный антеннами П-2500 с диаметром зеркала 70 м и П-400 с диаметром зеркала 32 м, работал в двух диапазонах частот – L и S. За этот период с использованием комплекса «Квант-Д» были успешно выполнены космические программы по исследованию Венеры, Марса, кометы Галлея, а также научные исследования, проводимые с КА, находящимися на высокоэллиптических орбитах («Астрон», «Гранат», «Интербол»).

Однако на сегодняшний день аппаратура комплекса «Квант-Д» морально устарела, израсходовала свой технический ресурс и, главное, работает в диапазонах частот, не соответствующих регламенту Международного союза электросвязи, членом которого является Россия. Поэтому

вновь разрабатываемые КА для исследования дальнего космоса и соответствующие НРТК должны работать в отведенных для этого диапазонах частот – X, S и Ka.

Указанные обстоятельства явились основанием для разработки следующего поколения НРТК для управления перспективными ДКА и объединения их в региональные и глобальные сетевые структуры. Учитывая большую стоимость создания антенн, а также большую длительность их жизненного цикла (до 30–40 лет), в перспективе в наземном комплексе управления (НКУ) ДКА будут использоваться существующие антенны П-2500 и ТНА-1500, прошедшие восстановительный ремонт и модернизированные для работы в новых диапазонах, а новые комплексы будут разрабатываться на базе антенных систем с диаметрами зеркал 32 и 12 м.

Практика проведения натурных испытаний ДКА показывает, что даже при одновременном управлении двумя КА различных космических программ время задействования наземных средств на одном пункте не превышает 6–10 ч. Остальное время эти дорогостоящие средства не используются. Поэтому для увеличения времени использования наземных средств необходимо уже при проектировании комплекса предусмотреть возможность использования его для проведения других работ, таких как научные исследования и участие в управлении иностранными ДКА.

Поэтому необходимо комплексное исследование перспективного НКУ ДКА, обладающего большими возможностями не только в управлении ДКА, но и в проведении фундаментальных и прикладных радиоастрономических исследований. Большое внимание уделяется анализу требований к радиотехническому комплексу, которые должны быть выполнены для реализации возможности проведения с его помощью нескольких направлений научных исследований [11–14], и прежде всего:

- планетной радиолокации;
- интерферометрии со сверхдлинными базами;
- радиопросвечивания;
- радиоастрономии.

Конфигурация НРТК ДКА

Существующие средства наземного комплекса управления дальними космическими аппаратами построены по однопунктной схеме приема-передающего НРТК, решающего задачи управления определенным дальним КА.

В настоящее время для управления дальними КА привлекаются следующие средства НКУ ДКА:

- командно-измерительная система (КИС) «Кобальт-Р» на базе антенной системы (АС) ТНА-1500 (Медвежьи Озера);
- КИС «Клен-Д» на базе АС П-2500 «Уссурийск»;
- НРТК «Кобальт-М-ФГ» на базе АС ТНА-1500 (Медвежьи Озера);
- НРТК «Фобос» на базе АС П-2500 «Уссурийск»;
- наземная станция «Спектр-Х» на базе АС ТНА-57;
- центр управления полетом КК «Спектр-РГ» (на базе ЦУП ЦНИИмаш)
- сектор главного конструктора КК «Спектр-РГ» (на базе ЦУП-Л);
- центр управления полетом КА «Спектр-Р» (на базе ЦУП-Л);
- баллистический центр ИПМ им. М. В. Келдыша;
- баллистический центр ЦНИИмаш;
- ССПД (на базе существующих средств МССПД из состава НАКУ КА НСЭН и измерений, средств ССПД ОКБ МЭИ, НПО Лавочкина, ЦНИИмаш, п.э. Уссурийск, п.э. Байконур).

Однако существующие средства, обеспечивающие управление КА в дальнем космосе, имеют ряд существенных недостатков, не позволяющих в полной мере обеспечивать непрерывное и устойчивое управление, связь и навигацию отечественными и международными дальними космическими аппаратами, например:

- не обеспечивается круглосуточный режим радиосвязи с ДКА;
- технический ресурс больших антенных систем входящих в состав средств для управления ДКА заканчивается и бесконечно продлеваться не может;
- отсутствует единый стандарт по созданию средств НКУ ДКА (у каждого разработчика «своя школа» разработки);
- однопунктная схема приема-передающего НРТК неэффективна при увеличении группировки ДКА и не обеспечивает необходимый энергетический потенциал для радиосвязи с перспективными ДКА.

Модернизированные средства НКУ ДКА должны обеспечивать управление КА лунных проектов, запускаемых в интересах Госкорпорации «Роскосмос», оснащенными бортовыми радиокомплексами С-диапазона (типа БА КИС).

В связи с тем, что масса и возможности энергопитания ДКА весьма ограничены, мощность бортовых передатчиков и размеры бортовых антенн невелики. Для приема сигналов с ДКА на Земле приходится строить большие антенны с диаметром параболического зеркала 30–70 м. Необычно высокие требования предъявляются к точности наведения этих антенн при слежении за КА – доли угловых минут. Чувствительность приемных устройств НРТК должна быть предельно достижимой для современного уровня техники; мощность передающих устройств – достаточно высокой (десятки и сотни киловатт мощности в непрерывном режиме); долговременная стабильность излучаемых и гетеродинных частот комплексов дальней космической связи – очень большой (1×10^{-13} – 1×10^{-15}).

Необходимо обеспечивать высокую достоверность выдаваемых на ДКА команд управления, причем выдача команд, а также выполнение других основных операций комплексов дальней космической связи при осуществлении управления ДКА должны проводиться в автоматическом режиме.

Результаты исследований, проводимых в дальнем космосе, напрямую зависят от технических характеристик используемых НРТК управления [15–19]. По мере совершенствования технических характеристик этих средств, расширяются возможности и растут результаты проводимых научных экспериментов. Поэтому совершенствование технических характеристик наземных и бортовых радиосистем идет постоянно, но главным образом при смене поколений этих систем. Технические характеристики нового поколения НРТК управления ДКА должны соответствовать последним достижениям науки, техники и технологии на момент его создания [20–25].

Стоимость создания таких радиотехнических комплексов управления весьма велика, срок службы их может доходить до 20 лет. Поэтому разработка аппаратуры должна вестись таким образом, чтобы обеспечить гибкость в модернизации комплекса, что позволит в процессе использования модернизировать отдельные системы, не влияя на работу остальной части комплекса.

Методы исследования Солнечной системы

Для получения информации с объектов Солнечной системы, недоступных для прямых методов исследований в настоящее время, таких как солнечная корона, солнечный ветер на малых расстояниях от Солнца, астероиды и кометы, атмосферы некоторых планет и их спутников и др., используются не прямые или дистанционные методы исследований, основанные на связи между физическими свойствами объектов и характеристиками радиосигналов, распространяющихся через исследуемую среду или отражающихся от поверхности объектов исследования.

В проводимых с помощью НРТК радиоастрономических исследованиях используются в качестве зондирующих естественные источники излучения – квазары и пульсары либо искусственные источники радиоволн, излучаемых бортовыми или наземными передатчиками.

К дистанционным методам исследований относятся:

- радиопросвечивание атмосфер планет (радиозатменные методы исследований), исследование солнечной плазмы;

- радиолокационные исследования, проводимые с помощью наземного планетного радиолокатора и радиолокатора, расположенного на КА – спутнике планеты (радиолокатор бокового обзора), а также бистатическая радиолокация;
- исследования, проводимые с использованием доплеровского смещения частоты, вызываемого взаимным движением исследуемого объекта и станции слежения;
- исследования с использованием радиоинтерферометров со сверхбольшой базой;
- радиоастрономические исследования.

Чувствительность дистанционных методов космических исследований зависит от соотношения между эффектами, создаваемыми исследуемой средой на пути распространения радиоволны, и инструментальными погрешностями используемых НРТК, обусловленными шумами приемных систем.

Совершенствование радиотехнических комплексов, диктуемое требованиями новых космических программ, повышает возможности использования НРТК в качестве инструмента для проведения дистанционных радиофизических исследований. Технические характеристики отечественных НРТК управления из состава НКУ ДКА оказались адекватными для проведения высокоэффективных радиотехнических исследований, проводимых дистанционными методами, обеспечивших получение уникальной и, в ряде случаев, приоритетной научной информации о различных объектах Солнечной системы.

Заключение

Главной задачей перспективного НКУ является управление перспективными ДКА, поэтому намечены пути повышения технических возможностей комплекса при управлении перспективными ДКА и методы обеспечения совместимости с космическими радиоприемниками иностранных ДКА. Создание НКУ ведется поэтапно. На первом этапе создается НКУ ДКА в составе, обеспечивающем выполнение космических программ с территории России. На последующих этапах осуществляется дооснащение и территориальное расширение НКУ ДКА с целью улучшения его технических характеристик, что позволит обеспечить управление группировкой перспективных ДКА и пилотируемых миссий. Использование перспективных технологий позволит осуществлять это в непрерывном режиме радиосвязи.

В настоящий момент АО «ОКБ МЭИ», в рамках эскизного проекта «Развитие структуры и систем наземного комплекса управления КА дальнего космоса», утвержден облик глобальной радиоинтерферометрической сети НКУ КА дальнего космоса. Глобальная сеть позволит решать задачи по оказанию услуг непрерывного и устойчивого управления, связи и навигации для российской орбитальной группировки пилотируемых и автоматических КА (в том числе при выполнении программ освоения дальнего космоса на траекториях полета к Луне, Марсу, другим небесным телам Солнечной системы); международных КА; объектов напланетной и межпланетной инфраструктуры, а также по обеспечению проведения фундаментальных научных исследований в дальнем космосе. Долгосрочная программа создания такой сети НКУ ДКА до 2035 г. утверждена при защите эскизного проекта Заключением Госкорпорации «Роскосмос». Создаваемая как синтезированная когерентная пространственно-временная радиоизмерительная система, сеть НКУ ДКА может быть использована в качестве базовой платформы для создания пространственно-временной системы наземно-космической связи и навигации Российской Федерации.

Благодарности. Работа подготовлена при финансовой поддержке гранта Президента России (Проект НШ-1357.2022.6 «Модели, методы и средства получения и обработки информации о космических объектах в широком спектральном диапазоне электромагнитных волн»).

Acknowledgements. The work was prepared with the financial support of a grant from the President of Russia (Project NSH-1357.2022.6 “Models, methods and means of obtaining and processing information about space objects in a wide spectral range of electromagnetic waves”).

Библиографические ссылки

1. Pseudolite systems for close-range navigation: the problem of synchronization / I. N. Kartsan, A. E. Goncharov, I. V. Kovalev et al. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. XX International Scientific Conference Reshetnev Readings–2016. 2017. P. 012011.
2. Карцан И. Н. Наземный комплекс управления для малых космических аппаратов // Вестник СибГАУ. 2009. № 3 (24). С. 89–92.
3. Карцан И. Н., Жукова Е. С., Карцан Р. В. Баллистическое и временное обеспечение космических аппаратов на различных орбитах // Доклады Томского гос. ун-та систем управления и радиоэлектроники. 2012. № 2-2 (26). С. 19–24.
4. Phase methods for measuring the spatial orientation of objects using satellite navigation equipment / Fateev Y. L., Dmitriev D. D., Tyapkin V. N. et al. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Scientific and Research Conference on Topical Issues in Aeronautics and Astronautics (Dedicated to the 55th Anniversary from the Foundation of SibSAU). 2015. P. 012022.
5. Development of methods for equivalent transformation of gert networks for application in multi-version software / Saramud M. V., Zelenkov P. V., Kovalev I. V., Kovalev D. I. et al. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2016. P. 012015.
6. Мониторинг космических объектов с использованием перспективных радиотехнических средств / А. О. Жуков, И. В. Минин, И. Н. Валяев и др. // Технологии получения и обработки информации о динамических объектах и системах : сб. тез. Всеросс. науч.-практ. конф. Москва, 01 октября 2020 г. М. : ОКБ МЭИ, 2020. С. 153–161.
7. Иванов К. С., Бондарева М. К. Метод идентификации дефектов бортовых программных комплексов анализа информации космических аппаратов дальних космических миссий // Идентификация систем и задачи управления : тр. X междунар. конф. Москва, 26–29 января 2015 г. / Ин-т проблем управления им. В. А. Трапезникова. М. : Ин-т проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2015. С. 967–978.
8. Иванов И. Г., Бондарева М. К., Иванов К. А. Система оценки технического состояния средств наземного комплекса управления космическими аппаратами // Технологии получения и обработки информации о динамических объектах и системах : сб. тез. II Всеросс. науч.-практ. конф. Москва, 01 октября 2021 г. М. : ОКБ МЭИ, 2021. С. 199–206.
9. Гуляев М. А., Бондарева М. К. Подход к реализации адаптивного управления космическими аппаратами на основе интеллектуального анализа телеметрической информации // Технологии получения и обработки информации о динамических объектах и системах : сб. тез. II Всеросс. науч.-практ. конф. Москва, 01 октября 2021 г. М. : ОКБ МЭИ, 2021. С. 207–212.
10. Карцан И. Н. Метод исключения ошибок определения местоположения при одновременном использовании навигационных систем // Вестник СибГАУ. 2008. № 3 (20). С. 101–103.
11. Предложения по автоматизации приема, обработки и анализа телеметрической информации в наземных комплексах управления космическими аппаратами / И. Г. Иванов, М. А. Гуляев, М. К. Бондарева и др. // Технологии получения и обработки информации о динамических объектах и системах : сб. тез. Всеросс. науч.-практ. конф. Москва, 01 октября 2020 г. М. : ОКБ МЭИ, 2020. С. 174–177.
12. Васильев М. А., Бондарева М. К. Методика расчета коэффициента достаточности наземных средств для управления космическими аппаратами // Вопросы электромеханики. Тр. ВНИИЭМ. 2020. Т. 176, № 3. С. 19–22.
13. Область применения космической навигации / Е. С. Жукова, С. В. Литошик, В. И. Колесник, И. Н. Карцан // Решетневские чтения. 2010. Т. 1. С. 146–148.
14. Гамишаев Р. А., Карцан И. Н. Радионавигационные системы и их классификация // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2011. Т. 1, № 7. С. 293–295.

15. Using glonass for precise determination of navigation parameters under interference from various sources / V. N. Tyapkin, Y. L. Fateev, D. D. Dmitriev et al. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 19th International Scientific Conference Reshetnev Readings 2015. 2016. P. 012035.
16. Определение навигационных параметров объектов в условиях действия помех различного происхождения / И. Н. Карцан, А. С. Тимохович, Т. И. Карцан, Д. Д. Дмитриев // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М.Ф. Решетнева. 2015. Т. 16. № 4. С. 891–897.
17. Астрономические источники первичной навигационной информации для автономного определения движения объектов / И. Н. Карцан, В. С. Пономарев, Е. С. Жукова, С. В. Литошик // Вестник СибГАУ. 2011. № 1 (34). С. 96–101.
18. Карцан И. Н., Тяпкин В. Н., Жукова Е. С. Резервная система навигации // Решетневские чтения. 2009. Т. 1. С. 300–302.
19. Карцан И. Н., Ковалев И. В., Ефремова С. В. Проблемы анализа и синтеза структур сложных систем сетевого взаимодействия наземных пунктов управления космическими аппаратами // Решетневские чтения. 2017. Т. 1. С. 390–391.
20. Молотов Е. П. Наземные радиотехнические системы управления космическими аппаратами. М. : Физматлит, 2004. 254 с.
21. Мешков М. Н., Чаплинский В. С. Применение радиолокационного комплекса «Кобальт-РЛС» совместно с радиоинтерферометром «Ритм» для контроля процессов выведения космических аппаратов на геостационарные и высокоэллиптические орбиты // Радиотехнические тетради. 2002. № 24. С. 8–11.
22. Мешков М. Н. Радиоинтерферометрические средства пункта космической связи «Медвежьи озера» // Радиотехнические тетради. 1997. № 11. С. 30–39.
23. Рембовский А. М., Ашихмин А. В., Козьмин В. А. Радиомониторинг: задачи, методы, средства / под ред. А. М. Рембовского. М. : Горячая линия – Телеком. 2006. 624 с.
24. Solving navigation-temporal tasks in different coordinate systems / V. E. Chebotarev, V. V. Brezitskaya, I. V. Kovalev et al. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. electronic edition. 2018. P. 022029.
25. Жуков А. О., Карцан И. Н. Перспективы повышения измерительной информации для определения параметров орбиты космических аппаратов // Решетневские чтения. 2019. С. 300–302.
26. Оценка возможности практической реализации автономной навигации космических аппаратов в дальнем космосе по астероидам / М. Г. Никифоров, А. И. Захаров, М. Е. Прохоров и др. // Механика, управление и информатика. 2015. Т. 7, № 2(55). С. 311–322.
27. Прохоров М. Е., Захаров А. И. Ориентация и навигация в космосе – новые методы и перспективы // Физика космоса : тр. 40 Междунар. студ. науч. конф. Екатеринбург, 2011. С. 170–195.
28. Сазонова Т. В., Шелагурова М. С. Геоинформация в комплексах бортового оборудования летательных аппаратов. М. : Научтехлит, 2018. 148 с.
29. Spatial filtering algorithms in adaptive multi-beam hybrid reflector antennas / V. N. Tyapkin, I. N. Kartsan, D. D. Dmitriev, A. E. Goncharov // 2015 International Siberian Conference on Control and Communications, SIBCON 2015 – Proceedings. 2015. P. 714.
30. Применение перспективных радиотехнических средств в интересах контроля космических объектов / А. О. Жуков, И. В. Минин, И. Н. Валяев, М. К. Бондарева, И. Н. Карцан // Вопросы контроля хозяйственной деятельности и финансового аудита, национальной безопасности, системного анализа и управления : сб. материалов VI Всеросс. науч.-практ. конф. Москва, 2021. С. 388–397.

References

1. Kartsan I. N., Goncharov A. E., Kovalev I. V. et al. Pseudolite systems for close-range navigation: the problem of synchronization. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2017. P. 012011.
2. Kartsan I. N. [Land control complex for small space vehicles]. *Vestnik SibGAU*. 2009, No. 3 (24), P. 89–92 (In Russ.).
3. Kartsan I. N., Zhukova E. S., Kartsan R. V. [Ballistic and time maintenance of space vehicles in various orbits]. *Proceedings of TUSUR University*. 2012, No. 22 (26), P. 19–24 (In Russ.).
4. Fateev Y. L., Dmitriev D. D., Tyapkin V. N. et al. Phase methods for measuring the spatial orientation of objects using satellite navigation equipment. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2015, P. 012022.
5. Saramud M. V., Zelenkov P. V., Kovalev I. V. et al. Development of methods for equivalent transformation of gert networks for application in multi-version software. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2016, P. 012015.
6. Zhukov A. O., Minin I. V., Valyayev I. N. et al. [Monitoring of space objects using advanced radio equipment]. *Sbornik materialov Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Tekhnologii polucheniya i obrabotki informatsii o dinamicheskikh ob"yektakh i sistemakh"* [Collection of materials of the All-Russian scientific-practical conference "Technologies for obtaining and processing information about dynamic objects and systems"]. Moscow, 2020, P. 153–161.
7. Ivanov K. S., Bondareva M. K. [Method for Identification of Defects onboard Software Complexes for Information Analysis of Spacecrafts of Deep Space Missions]. *Trudy X mezhdunarodnoy konferentsii "Identifikatsiya sistem i zadachi upravleniya"* [Proceedings of the X International Conference "Identification of systems and control tasks"]. Moscow, 2015, p. 967-978.
8. Ivanov I. G., Bondareva M. K., Ivanov K. A. Sistema otsenki tekhnicheskogo sostoyaniya sredstv nazemnogo kompleksa upravleniya kosmicheskimi apparatami [The system for assessing the technical condition of the facilities of the ground-based spacecraft control complex]. *Sbornik materialov II Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Tekhnologii polucheniya i obrabotki informatsii o dinamicheskikh ob"yektakh i sistemakh"* [Collection of materials of the II All-Russian scientific-practical conference "Technologies for obtaining and processing information about dynamic objects and systems"]. Moscow, 2022, P. 199–206.
9. Gulyayev M. A., Bondareva M. K. [An Approach to the Implementation of Adaptive Control of Spacecraft Based on Intelligent Analysis of Telemetric Information]. *Sbornik materialov II Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Tekhnologii polucheniya i obrabotki informatsii o dinamicheskikh ob"yektakh i sistemakh"* [Collection of materials of the II All-Russian scientific-practical conference "Technologies for obtaining and processing information about dynamic objects and systems"]. Moscow, 2022, P. 207–212.
10. Kartsan I. N. [The exceptions mistakes method of posit ion determination when navigation systems at the same time are used]. *Vestnik SibGAU*. 2008, No. 3 (20), P. 101–103 (In Russ.).
11. Ivanov I. G., Gulyayev M. A., Bondareva M. K., Zubkov G. A. [Proposals for automating the reception, processing and analysis of telemetric information in ground-based spacecraft control complexes]. *Sbornik materialov Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Tekhnologii polucheniya i obrabotki informatsii o dinamicheskikh ob"yektakh i sistemakh"* [Collection of materials of the All-Russian scientific-practical conference "Technologies for obtaining and processing information about dynamic objects and systems"]. Moscow, 2020, P. 174–177.
12. Vasilev M. A., Bondareva M. K. [Method of calculating the sufficiency coefficient of ground spacecraft control stations]. *Electromechanical matters. VNIEM studies*. 2020, No 3 (176), P. 19–22.
13. Zhukova E. S., Litoshik S.V., Kolesnik V.I., Kartsan I.N. [Application area of space navigation]. *Reshetnev reading*. Krasnoyarsk, 2010, P. 146–148 (In Russ.).
14. Gamishaev R. A., Kartsan I. N. Radionavigatsionnyye sistemy i ikh klassifikatsiya [Radio navigation systems and their classification]. *Topical Issues in Aeronautics and Astronautics*. 2011, P. 293–295.

15. Tyapkin V. N., Fateev Y. L., Dmitriev D. D. et al. Using glonass for precise determination of navigation parameters under interference from various sources. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2016, P. 012035.
16. Kartsan I. N., Timokhovitch A. S., Kartsan T. I., Dmitriev D. D. [Determining navigation parameters of objects under the action of interference of various origins]. *Vestnik SibGAU*. 2015, No. 4 (16), P. 891–897 (In Russ.).
17. Kartsan I. N., Ponomarev V.S., Zhukova E.S., Litoshik S.V. [Astronomical sources of primary navigation information for autonomous definition of the object motion]. *Vestnik SibGAU*. 2011, No. 1 (34), P. 96–101 (In Russ.).
18. Kartsan I. N., Tjpkov V. N., Zhukova E. S. [Reserve system of navigation]. *Reshetnev reading*. Krasnoyarsk, 2009, P. 300–302 (In Russ.).
19. Kartsan I. N., Kovalev I. V., Efremova S. V. [Problems of analysis and synthesis of structures of complex systems of network interaction of ground points of control of space appliances]. *Reshetnev reading*. Krasnoyarsk, 2017, P. 390–391 (In Russ.).
20. Molotov E. P. *Nazemnyye radiotekhnicheskiye sistemy upravleniya kosmicheskimi apparatami* [Ground-based radio control systems for spacecraft]. Moscow, 2004, P. 256.
21. Meshkov M. N., Chaplinskiy V. S. [The use of the radar complex "Cobalt-RLS" together with the radio interferometer Ritm to control the processes of launching spacecraft into geostationary and highly elliptical orbits]. *Radiotekhnicheskiye Tetradi*. 2002, No. 24, P. 8–11 (In Russ.).
22. Meshkov M. N. [Radio interferometric facilities of the Medvezhye Lakes space communications center]. *Radiotekhnicheskiye Tetradi*. 1997, No. 11, P. 30–39 (In Russ.).
23. Rembovskiy A. M., Ashikhmin A. V., Koz'min V. A. *Radiomonitoring: zadachi, metody, sredstva* [Radio monitoring: tasks, methods, means]. Moscow, Goryachaya liniya – Telekom Publ., 2006, 624 p.
24. Chebotarev V. E., Brezitskaya V. V., Kovalev I. V. et al. Solving navigation-temporal tasks in different coordinate systems. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018, P. 022029.
25. Zhukov A. O., Kartsan I. N. [Prospects for increasing the measurement information to determine the parameters of the spacecraft' orbit]. *Reshetnevskie chteniya*". Krasnoyarsk, 2019, P. 300–302 (In Russ.).
26. Nikiforov M. G., Zakharov A. I., Prokhorov M. Ye. Et al. [Evaluation of the possibility of practical implementation of autonomous navigation of space vehicles in deep space on asteroids]. *Mekhanika, upravleniye i informatika*. 2015, No. 2(55), P. 311–322 (In Russ.).
27. Prokhorov M. Ye., Zakharov A. I. [Orientation and navigation in space – new methods and perspectives]. *Trudy 40 Mezhdunarodnoy studencheskoy nauchnoy konferentsii "Fizika kosmosa"* [Proceedings of the 40th International Student Scientific Conference "Physics of Space"]. Ekaterinburg, 2011, P. 170–195 (In Russ.).
28. Sazonova T. V., Shelagurova M. S. *Geoinformatsiya v kompleksakh bortovogo oborudovaniya letatel'nykh apparatov* [Geoinformation in aircraft onboard equipment complexes]. Moscow, 2018, 148 p.
29. Tyapkin V. N., Kartsan I. N., Dmitriev D. D., Goncharov A. E. Spatial filtering algorithms in adaptive multi-beam hybrid reflector antennas. *International Siberian Conference on Control and Communications, SIBCON 2015 – Proceedings*. 2015, P. 714.
30. Zhukov A. O., Minin I. V., Valyaev I. N. et al. [The use of advanced radio engineering tools in the interests of monitoring space objects]. *Sbornik materialov VI Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Collection of materials of the VI All-Russian Scientific and Practical Conference]. Moscow, 2021, P. 388–397 (In Russ.).

Жуков Александр Олегович – доктор технических наук, профессор, заместитель директора по научной работе, ФГБНУ «Аналитический центр»; ведущий научный сотрудник, ФГБУН «Институт астрономии Российской академии наук». E-mail: aozhukov@mail.ru.

Иванов Константин Алексеевич – директор проектов НКУ ДКА, главный конструктор направления; АО «ОКБ МЭИ». E-mail: nbr200@yandex.ru.

Бондарева Марина Константиновна – доктор технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник; ФГБНУ «Аналитический центр». E-mail: mkbond@mail.ru.

Бондарев Максим Николаевич – инженер; ФГБНУ «Аналитический центр». E-mail: mn-bondarev@yandex.ru.

Горовой Дмитрий Сергеевич – научный сотрудник; АО «ОКБ МЭИ». E-mail: dmitrygorovoybmstu@gmail.com.

Zhukov Aleksandr Olegovich – Dr. Sc., professor, Senior Researcher, deputy scientific director, Expert and Analytical Center; leading researcher, Institute of Astronomy of the Russian Academy of Sciences. E-mail: aozhukov@mail.ru.

Ivanov Konstantin Alekseevich – Director of NKU DKA projects, chief designer of the division; JSC “Special Research of Moscow Power Engineering Institute”. E-mail: nbr200@yandex.ru.

Bondareva Marina Konstantinovna – Dr. Sc., Docent, Leading Researcher; Expert and Analytical Center. E-mail: mkbond@mail.ru.

Bondarev Maxim Nikolaevich – engineer; Expert and Analytical Center. E-mail: mn-bondarev@yandex.ru.

Gorovoy Dmitry Sergeevich – Researcher; JSC “Special Research of Moscow Power Engineering Institute”. E-mail: dmitrygorovoybmstu@gmail.com.
