

8. *Labsker L.G.* Teoriya kriteriev optimal'nosti i ekonomicheskie resheniya: monografiya. M.: KnoRus, 2012. 744 s.
9. *Labsker L.G.* Usloviya otsutstviya u kriteriya Gurvitsa svojstva sglazhivaniya i ekonomicheskoe prilozhenie // *Ekonomika i predprinimatel'stvo*. 2016. № 9 (74). С. 141–149.
10. *Livshits V.N.* Marginal'nye rassuzhdeniya i inzhenerno-ekonomicheskaya praktika // *Ekonomika i matematicheskie metody*. 1999. Т. 35. № 4.
11. *Smolyak S.A.* Otsenka effektivnosti investitsionnykh proektov v usloviyakh riska i neopredelennosti (teoriya ozhidaemogo effekta). M.: Nauka, 2002.
12. *Hurwicz L.* Optimality Criteria for Decision Making under Ignorance // *Cowles Commission Papers*. 1951. № 370.
13. *Kannai Y, Peleg B.* A Note on the Extension of an Order on Set to the Power Set // *Journal of Economic Theory*. 1984. Vol. 32.

DOI: 10.25586/RNU.V9I187.20.03.P.066

УДК 62-5

М.В. Рыжов, А.С. Маругин, В.К. Орлов, А.В. Демьянов, М.В. Гриднев

УПРАВЛЕНИЕ ЧАСТОТНОЙ НАСТРОЙКОЙ КОСМИЧЕСКОЙ АНТЕННОЙ СИСТЕМЫ

Построение большинства систем с элементами космического базирования включает в себя применение радиосредств. В некоторых случаях, например при решении задач дистанционного зондирования Земли, принципиально важным является обеспечение очень высокого энергетического потенциала радиолиний. Значимым инструментом для достижения необходимой энергетики являются антенные системы. По причинам, определяемым особенностями размещения и условиями эксплуатации, к ним, помимо большого коэффициента усиления и достаточно низкого уровня боковых лепестков, предъявляется еще ряд дополнительных требований и ограничений. В их числе: необходимость обеспечения минимальной массы и энергопотребления, достаточной широкодиапазонности, стабильности геометрических и электрических характеристик, очень малый объем в процессе транспортировки к месту развертывания и возможность приведения в рабочее состояние исключительно средствами автоматики, простота и надежность конструкции, а в ряде случаев наличие возможности электронного управления электрическими характеристиками.

Ключевые слова: антенная система, антенна Френеля, экран с реконфигурируемыми проводящими поверхностями, управление частотной настройкой антенной системы.

M.S. Ryzhov, A.S. Marugin, V.K. Orlov, A.V. Demyanov, M.V. Gridnev

FREQUENCY TUNING OF THE SPACE ANTENNA SYSTEM

The construction of most systems with space-based elements includes the use of radio facilities. In some cases, for example, when solving problems of remote sensing of the Earth, it is fundamentally important to ensure a very high-energy potential of radio lines. A significant tool for achieving the necessary energy are antenna systems. For reasons determined by the particular placement and operating conditions, in

Рыжов М.В. и др. Управление частотной настройкой космической антенной системы

addition to a large gain and a sufficiently low level of side lobes, a number of additional requirements and restrictions are imposed. Among them: the need to ensure minimum mass and energy consumption, a sufficient wide range, stability of geometric and electrical characteristics, a very small volume during transportation to the place of deployment and the ability to bring into working condition exclusively by automation, simplicity and reliability of the design, and in some cases it is desirable to have possibilities of electronic control of electrical characteristics.

Keywords: antenna system, Fresnel antenna, screen with reconfigurable conductive surfaces, control of the frequency tuning of the antenna system.

Введение

Принимая во внимание изложенное, а также возрастающие требования к разрешающей способности и возможности выполнения гиперспектральной съемки, можно утверждать, что существует потребность в антенных системах, максимально удовлетворяющих совокупности перечисленных требований и ограничений.

В числе традиционно используемых на космических аппаратах дистанционного зондирования Земли антенных систем следует указать: зеркальные антенны различных модификаций и фазированные и активные фазированные антенные решетки (ФАР и АФАР) [17]. Такой выбор определен наличием у них очень ярко выраженных направленных свойств, а также отработанных технологий их доставки и развертывания в пункте назначения. Другие антенные системы с высоким коэффициентом усиления оказались востребованы значительно меньше по целому ряду причин. Например, линзовые антенны Лüneберга при всех своих достоинствах обладают достаточно большой массой, объемом и конструкцией, чувствительной к неравномерному прогреву составных частей. Многоэлементные фазированные антенные решетки, обладая большим коэффициентом направленного действия, отличаются значительными потерями в диаграммобразующих схемах. И даже широко применяемые активные фазированные антенные решетки отличаются значительной массой и объемом. Это вынуждает ограничивать количество элементов в них и препятствует росту усиления.

Другой вид антенных систем, которые называют «антеннами Френеля» или «зональными антеннами Френеля» (АФ) [6; 10], отличается невозможностью перестройки по частоте. Кроме того, антенны Френеля примерно вдвое уступают зеркальным параболическим антеннам аналогичного размера по значению коэффициента направленного действия (рис. 1) [14; 16].

С другой стороны, такая антенная система имеет простую и стабильную конструкцию. Масса экрана при изготовлении его из диэлектрической пленки с пленочным же проводящим покрытием очень мала. Благодаря этому становится возможным кратное увеличение его площади. Направленные свойства при сборе энергии электромагнитной волны сразу в обоих фокусах приближаются к значениям параболических антенн.

Перечисленные достоинства позволяют авторам сделать попытку преодоления главного недостатка антенны Френеля с целью улучшения диапазонных свойств и получения возможности электронного управления ее настройкой.

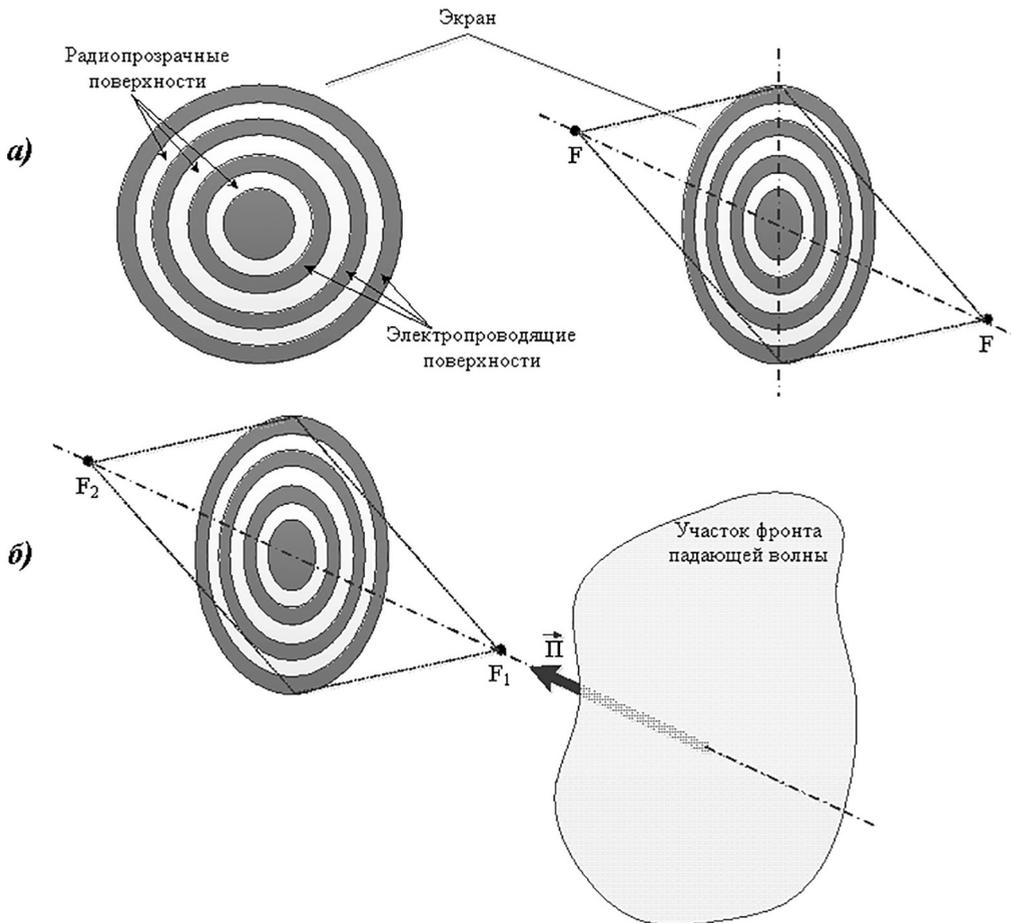


Рис. 1. Антенна Френеля:

а – устройство экрана; б – пояснение принципа действия, где F_1 – фокус, в котором собираются синфазные ЭВМ, отраженные от проводящих поверхностей экрана; F_2 – фокус, в котором собираются синфазные ЭВМ, прошедшие через радиопрозрачные поверхности экрана

Предложения по созданию узконаправленной антенной системы с управляемой частотой настройки

Высокий коэффициент направленного действия антенных систем достигается увеличением отношения размера раскрытия антенной системы к длине волны. Так, в зеркальных и линзовых антеннах для этого увеличивается диаметр фокусирующих элементов. В ФАР и АФАР включается большее количество активных элементов (излучателей), размещаемых на большей площади. Диапазонные свойства большинства антенных систем определяются в основном способностью излучателей работать на разных частотах.

Основной недостаток АФ связан с принципом ее действия. А именно, со способом создания в фокусах электромагнитного поля с постоянной фазой (см. рис. 1).

Рыжов М.В. и др. Управление частотной настройкой космической антенной системы

Для работы на заданной частоте необходимо точно выдержать их размеры

$$\rho_n = \sqrt{\left(\frac{n\lambda}{2}\right)^2 + n\lambda F},$$

где n – номер зоны Френеля; ρ_n – внешний радиус n -й зоны Френеля; λ – длина волны; F – расстояния от фокуса до экрана [7; 11]. При изготовлении проводящих элементов экрана по традиционной планарной технологии, такое возможно лишь на определенной частоте. Таким образом, в АФ экран является узкополосным частотным фильтром [2] и, следовательно, создание экрана с реконфигурируемыми проводящими поверхностями способно существенно улучшить ее диапазонные свойства.

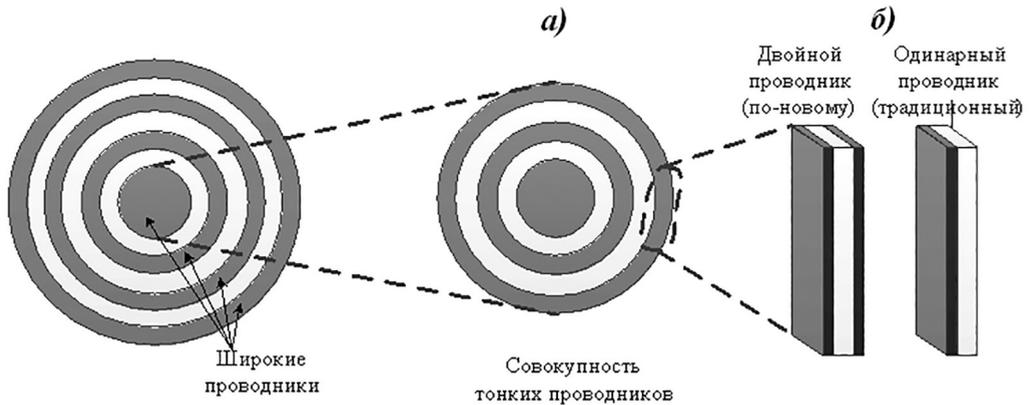


Рис. 2. Изменение ширины и количества проводников в антенне Френеля

С целью получения возможности реконфигурации отражающих поверхностей в соответствии с рабочей частотой предлагается [1; 3; 12]:

- сплошные, широкие проводники заменить совокупностями тонких, повторяющих конфигурацию исходных (рис. 2-а);
- тонкими проводниками покрыть и радиопрозрачные участки поверхности экрана (рис. 1-а);
- тонкие проводники выполнить двухслойными, симметрично с обеих сторон диэлектрического основания (рис. 2-б);
- получившиеся проводники разделить на совокупность более коротких (рис. 3-а), снабженных средствами коммутации (рис. 3-б).

В процессе эксплуатации отражающие поверхности создаются коммутацией тонких коротких проводников в кольца, соответствующие зонам Френеля на заданной частоте. Оставшиеся незадействованными проводники, в силу малости длины по сравнению с длиной волны, значительного влияния на прохождение ЭМВ не оказывают.

Дробление длинных проводников и возможность перенаправления токов между слоями, а также возможность составления отрезков нужной протяженности потенциально позволяет формировать отраженную волну с требуемым профилем фронта. Таким образом появляется возможность получения более ровного фазового распределения отражения от проводящих поверхностей экрана, соответствующих заданной частоте.

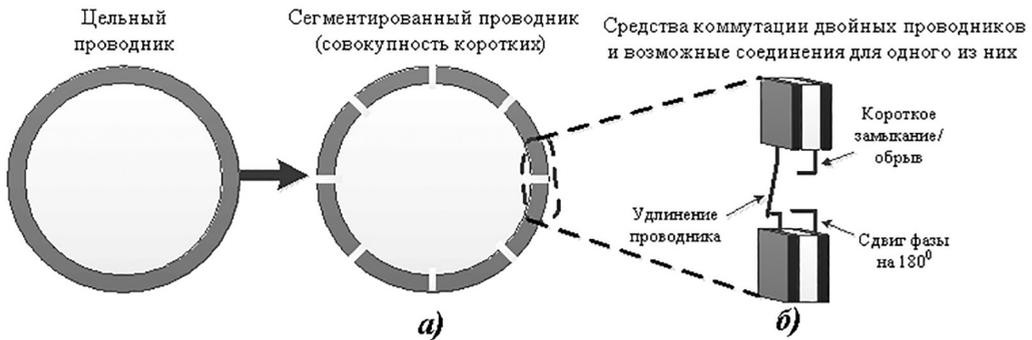


Рис. 3. Изменение протяженности проводников в антенне Френеля и варианты их совместного использования

Затенение тылового облучателя, расположенного в фокусе F_2 (см. рис. 1), оставшимися незадействованными отрезками проводников, может быть скомпенсировано формированием из них отражателей, обеспечивающих сдвиг фазы, более чем на $\pm\pi/2$. Таким образом, радиопрозрачные области экрана превращаются в отражающие поверхности с управляемой фазой отраженной ЭМВ. Так как отраженная ЭМВ будет формироваться всей поверхностью экрана, а ее фронт станет близким к плоскому, реализация описанного в пределе увеличивает мощность ЭМВ во фронтальном фокусе F_1 (см. рис. 1) вдвое, приближая АФ по эффективности к параболической зеркальной. Кроме того, полное отражение экраном падающей волны делает бессмысленным наличие облучателя в тыловом фокусе, а заодно с ним и сопутствующего фазовращателя.

Фазосдвигающие отражатели могут выполняться:

- подбором протяженности проводников (рис. 4-а; рис. 3-б – «сдвиг фазы на 180° » и «удлинение проводника»);
- формированием путей протекания токов в отражателях через сочетания проводников на фронтальной и тыльной сторонах экрана (рис. 4-б).

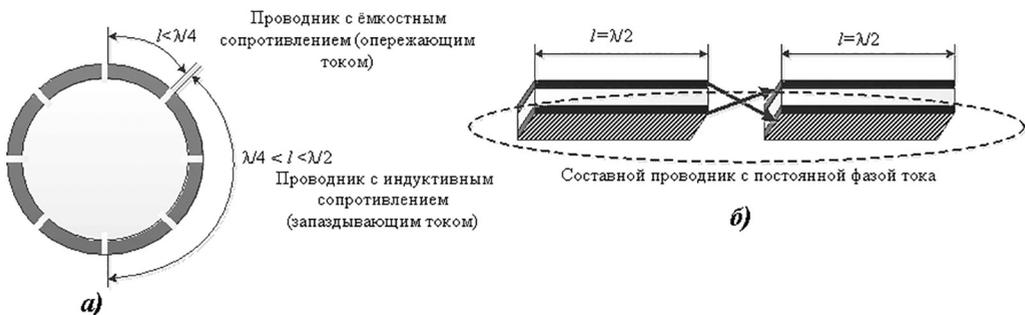


Рис. 4. Изменение протяженности проводников в антенне Френеля и варианты их совместного использования

Поворот фазы также может выполняться включением простых и составленных из более коротких отрезков проводников в режиме короткого замыкания либо обрыва (рис. 3-б – «короткое замыкание/обрыв»). Возможность реализации описанного способа формирования, близкого к плоскому фронту ЭМВ, подтверждается приведенными на рисунке 5 зависимостями [11].

Рыжов М.В. и др. Управление частотной настройкой космической антенной системы

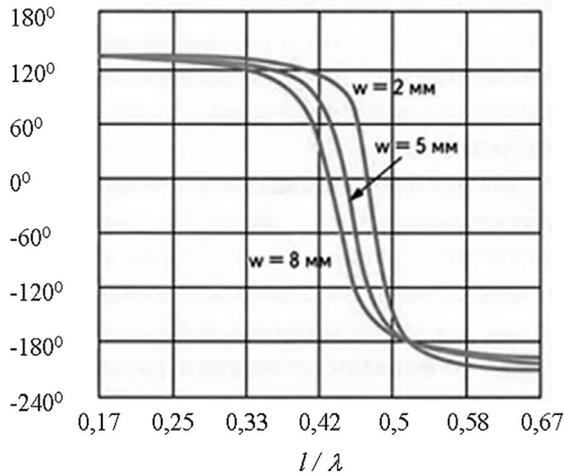


Рис. 5. Зависимость фазы коэффициента отражения ЭМВ от электрической длины отражателя l/λ и его ширины w

Проблема подбора средства оперативной коммутации коротких отрезков проводников может разрешаться различными средствами. При их выборе приходится руководствоваться требованиями по затуханию электрических колебаний, возможности электронного управления ими, малоразмерности относительно рабочей длины волны, низкого энергопотребления и устойчивости к неблагоприятным факторам космического пространства. Совокупности перечисленных требований для диапазона СВЧ наиболее полно соответствуют микроэлектромеханические коммутаторы [4; 5; 15], пример характеристик которых приведен на рисунке 6.

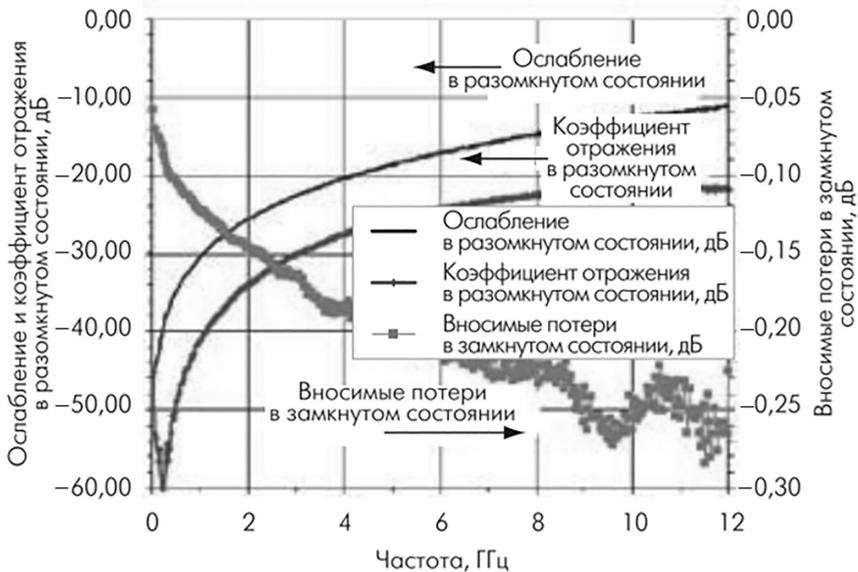


Рис. 6. Частотные характеристики МЭМС-ключа RMSW100 компании Radant MEMS

Заключение

При проектировании космических аппаратов, в зависимости от задач, решаемых с помощью их бортовых антенных систем [9], приходится делать непростой выбор. Особенности назначения, траекторий полета и многое другое определяют его. Неизменным является требование обеспечения необходимого энергетического потенциала радиолиний в любое время [18]. Ввиду наличия различных недостатков у традиционно используемых антенных систем существует необходимость в их совершенствовании либо других антенных системах [8], максимально удовлетворяющих совокупности предъявляемых требований и ограничений [13]. В их числе АФ. Как показано, такая антенна обладает важными достоинствами, а также значительными возможностями по устранению имеющихся недостатков. Особую привлекательность ей придает возможность существенного повышения потребительских свойств посредством внедрения электронного управления ее электрическими характеристиками – ее частотной настройкой.

Литература

1. Антенны и распространение радиоволн: практикум / Е.О. Галицкая и др. Казань: Казанский (Приволжский) ФУ, Институт физики, 2014. 50 с.
2. Антенны. Лабораторный практикум: учебно-методическое пособие / А.В. Кухарев и др. Минск: БУГИР, 2013. 109 с.
3. Антенны: учебное пособие / Ю.Т. Зырянов и др. Тамбов: Изд-во ГОУ ВПО «ТГТУ», 2014. 128 с.
4. Белов Л.Б. МЭМС-компоненты и узлы радиочастотной аппаратуры // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. 2008. Вып. 8.
5. Гуртов В.А., Беяев М.А., Бакиева А.Г. Микроэлектромеханические системы: учебное пособие. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2016. 171 с.
6. Каменев А.В. Фокусировка Френеля для создания систем связи и радиотомографии: [магистерская дис.]. Томск: Изд-во НИ ТГУ, 2018. 73 с.
7. Ксенофонтов Ю.Г. Методология проектирования антенны Френеля применительно к спутниковым мобильным телевизионным системам // Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. 2014. № 3 (25). С. 9–14.
8. Лоскутов А.И., Дуников А.С., Артюшкин А.Б., Нечай А.А. Математическая модель системы символической синхронизации наземной приемно-регистрирующей станции телеметрической информации в условиях флуктуаций амплитуды сигнала // Вестник Российского нового университета. Серия «Сложные системы: модели, анализ и управление». 2017. Вып. 1. С. 11–19.
9. Нечай А.А., Борисов А.А., Борисова Ю.И. Точечный анализ данных дистанционного зондирования Земли средствами языка программирования Python // Вестник Российского нового университета. Серия «Сложные системы: модели, анализ и управление». 2019. Вып. 1. С. 49–55.
10. Никитин В., Пясецкий В. Зональная антенна Френеля // Теле-Спутник. 1998. № 6 (32).
11. Орест В., Парнес М., Корольков В., Шифман Р. Плоская отражательная печатная антенна или параболическая антенна, что технологичнее? // Беспроводные технологии. 2007. № 1.
12. Основы теории антенн: учебное пособие / А.П. Пудовкин [и др.]. Тамбов: Изд-во ГОУ ВПО «ТГТУ», 2011. 92 с.

Рыжов М.В. и др. Управление частотной настройкой космической антенной системы

13. Полончик О.А., Артюшкин А.Б., Нечай А.А., Полончик Е.О. Радиолокационные системы дистанционного зондирования Земли на базе спутников со стабилизацией вращением // Вестник Российского нового университета. Серия «Сложные системы: модели, анализ и управление». 2017. Вып. 1. С. 35–41.
14. Рефлекторная антенна Френеля. Изобретение № 0002533636 от 20 ноября 2014 г. // ЕДРИД. URL: <https://edrid.ru/rid/216.013.08bb.html> (дата обращения: 04.09.2020).
15. Рыжов М.В., Долгов И.И. Метод повышения надежности радиоприемного устройства космического аппарата за счет применения микроэлектромеханических систем // Авиакосмическое приборостроение. 2019. № 12.
16. Самодельная антенна. Зональная антенна Френеля // Audio USSR. URL: <http://donex-ua.narod.ru/sat/articles/43-zaf.htm> (дата обращения: 04.09.2020).
17. Сомов А.М. Расчет антенн земных станций спутниковой связи: учебное пособие для вузов. М.: Горячая линия-Телеком, 2010. 290 с.
18. Шаймарданов А.М., Нечай А.А., Лепехин С.В. Математические модели систем автоматического управления с широтно-импульсной модуляцией // Вестник Российского нового университета. Серия «Сложные системы: модели, анализ и управление». 2019. Вып. 2. С. 27–39.

Literatura

1. Antenny i rasprostranenie radiovoln: praktikum / Е.О. Galitskaya i dr. Kazan': Kazanskij (Privolzhskij) FU, Institut fiziki, 2014. 50 s.
2. Antenny. Laboratornyj praktikum: uchebno-metodicheskoe posobie / A.V. Kukharev i dr. Minsk: BUGIR, 2013. 109 s.
3. Antenny: uchebnoe posobie / Yu.T. Zyryanov i dr. Tambov: Izd-vo GOU VPO "TGTU", 2014. 128 s.
4. Belov L.B. MEMS-komponenty i uzly radiochastotnoj apparatury // Elektronika: Nauka, Tekhnologiya, Biznes. 2008. Vyp. 8.
5. Gurtov V.A., Belyaev M.A., Baksheeva A.G. Mikroelektromekhanicheskie sistemy: uchebnoe posobie. Petrozavodsk: Izd-vo PetrGU, 2016. 171 s.
6. Kamenev A.V. Fokusirovka Frenelya dlya sozdaniya sistem svyazi i radiotomografii: [magisterskaya dis.]. Tomsk: Izd-vo NI TGU, 2018. 73 s.
7. Ksenofontov Yu.G. Metodologiya proektirovaniya anteny Frenelya primenitel'no k sputnikovym mobil'nym televizionnym sistemam // Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova. 2014. № 3 (25). S. 9–14.
8. Loskutov A.I., Dumikov A.S., Artyushkin A.B., Nechaj A.A. Matematicheskaya model' sistemy simvol'noj sinkhronizatsii nazemnoj priemno-registriruyushchej stantsii telemetricheskoy informatsii v usloviyakh fluktuatsij amplitudy signala // Vestnik Rossijskogo novogo universiteta. Seriya "Slozhnye sistemy: modeli, analiz i upravlenie". 2017. Vyp. 1. S. 11–19.
9. Nechaj A.A., Borisov A.A., Borisova Yu.I. Tochechnyj analiz dannykh distantsionnogo zondirovaniya Zemli sredstvami yazyka programmirovaniya Python // Vestnik Rossijskogo novogo universiteta. Seriya "Slozhnye sistemy: modeli, analiz i upravlenie". 2019. Vyp. 1. S. 49–55.
10. Nikitin V., Pyasetskij V. Zonal'naya antenna Frenelya // Tele-Sputnik. 1998. № 6 (32).
11. Orest V. Parnes M., Korol'kov V., Shifman R. Ploskaya otrazhatel'naya pechatnaya antenna ili parabolicheskaya antenna, chto tekhnologichnee? // Besprovodnye tekhnologii. 2007. № 1.
12. Osnovy teorii anten: uchebnoe posobie / A.P. Pudovkin [i dr.]. Tambov: Izd-vo GOU VPO "TGTU", 2011. 92 s.

13. *Polonchik O.L., Artyushkin A.B., Nechaj A.A., Polonchik E.O.* Radiolokatsionnye sistemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli na baze sputnikov so stabilizatsiej vrashcheniem // Vestnik Rossijskogo novogo universiteta. Seriya "Slozhnye sistemy: modeli, analiz i upravlenie". 2017. Vyp. 1. S. 35–41.
14. Reflektornaya antenna Frenelya. Izobrenenie № 0002533636 ot 20 noyabrya 2014 g. // EDRID. URL: <https://edrid.ru/rid/216.013.08bb.html> (data obrashcheniya: 04.09.2020).
15. *Ryzhov M.V., Dolgov I.I.* Metod povysheniya nadezhnosti radiopriemnogo ustrojstva kosmicheskogo apparata za schet primeneniya mikroelektromekhanicheskikh sistem // Aviakosmicheskoe priborostroenie. 2019. № 12.
16. Samodel'naya antenna. Zonal'naya antenna Frenelya // Audio USSR. URL: <http://donex-ua.narod.ru/sat/articles/43-zaf.htm> (data obrashcheniya: 04.09.2020).
17. *Somov A.M.* Raschet antenn zemnykh stantsij sputnikovoj svyazi: uchebnoe posobie dlya vuzov. M.: Goryachaya liniya-Telekom, 2010. 290 s.
18. *Shajmardanov A.M., Nechaj A.A., Lepekhin S.V.* Matematicheskie modeli sistem avtomaticheskogo upravleniya s shirotno-impul'snoj modulyatsiej // Vestnik Rossijskogo novogo universiteta. Seriya "Slozhnye sistemy: modeli, analiz i upravlenie". 2019. Vyp. 2. S. 27–39.

DOI: 10.25586/RNU.V9187.20.03.P.074

УДК 355/359.08

С.Н. Булычев, А.В. Столбов, А.А. Мокиевский

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТРУКТУРЫ СЛОЖНОЙ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Представлены результаты анализа существующих методов и методик обоснования организационных структур. На основе анализа предложены частные методики определения типа организационной структуры, расчета и распределения персонала, привлекаемого для проведения работ при эксплуатации любого вооружения, на которых базируется данная методика. Эта методика может использоваться при недостатке априорных данных и позволяет компенсировать недостатки, выявленные в существующих методиках.

Ключевые слова: методика, метод, организационная структура, организационно-техническая система.

S.N. Bulychev, A.V. Stolbov, A.A. Mokievskij

METHODOLOGY FOR STRUCTURE DETERMINATION OF THE COMPLEX ORGANISATIONAL AND TECHNICAL SYSTEM

The article presents the results of existing methods and techniques analysis for determination of the complex systems. Individual techniques of the organizational structure type determination are proposed based on this analysis. These techniques can be used by the lack of basic information and allow to compensate for disadvantages in other methodologies.

Keywords: technique, method, the organizational structure, the organizational and technical system.