

КОСМИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА. КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ. ИССЛЕДОВАНИЕ ОКОЛОЗЕМНОГО КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА

УДК 621.396.6

ДВУХДИАПАЗОННАЯ МИКРОПОЛОСКОВАЯ АНТЕННАЯ РЕШЁТКА СИСТЕМЫ СПУТНИКОВОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ

В. В. Фам, Э. В. Гаджиев, О. В. Васильев,
Т. В. Калинин, В. Д. Васильев

Рассмотрены двухдиапазонные антенные решётки систем спутникового телевидения. Отмечены достоинства и недостатки таких антенн по сравнению с широко применяемыми зеркальными антеннами. Разработана конструкция двухдиапазонного микрополоскового излучателя. Проведена параметрическая оптимизация излучателя с целью улучшения частотных характеристик согласования. Разработаны модели расчёта отдельных элементов и решётки из широкополосных микрополосковых излучателей с применением современных пакетов прикладных программ, применяемых для расчёта антенн и устройств СВЧ. Определены характеристики направленности и частотные характеристики излучателей микрополосковой антенной решётки, работающей в режимах приёма и передачи. Показана возможность совместной независимой работы передающего и приёмного каналов антенной решётки за счёт развязки по поляризации. Определены характеристики направленности микрополосковой антенной решётки, работающей в режимах приёма и передачи.

Ключевые слова: антенные решётки систем спутникового телевидения, микрополосковые антенные решётки, двухдиапазонные антенны, коэффициент стоячей волны, диаграмма направленности, коэффициент усиления.

Введение

Антенные решётки (АР) систем спутникового телевидения, применяемые для непосредственного приёма или устанавливаемые на стационарных или мобильных ретрансляторах, как правило, строятся из широкополосных элементов, изготовленных по печатной технологии [1, 2]. При этом антенное полотно решётки совмещается с распределительной системой, что обеспечивает малую глубину антенно-фидерного устройства.

Печатные антенны обладают некоторыми преимуществами по сравнению с другими типами антенн: низкий профиль, малый вес и стоимость производства, совместимость с интегральными схемами. Однако типовые печатные антенны имеют узкую рабочую полосу частот. Поэтому для расширения рабочей полосы или реализации диапазонной работы применяется совмещение излучателей различных диапазонов в одном раскрыве, а также используется широкополосная или диапазонная распределительная система [3, 4]. Кроме типовых печатных антенн, в настоящее время

разработаны и широко применяются на практике широкополосные антенны [5, 6].

Антенная решётка системы спутникового телевидения, устанавливаемая на ретрансляторе, должна обеспечивать работу в двух диапазонах частот. При работе на приём используется нижний поддиапазон Ку-диапазона от 10,7 до 12,75 ГГц и линейная горизонтальная поляризация. Для передачи используется верхний поддиапазон Ку-диапазона от 12,75 до 14,75 ГГц и линейная вертикальная поляризация [7].

Поскольку антенная решётка работает в двух диапазонах последовательно во времени, то можно её выполнить из широкополосных излучателей. В настоящее время широкое применение нашли излучатели типа «бабочка».

Широкополосные и двухдиапазонные излучатели

Для построения двухдиапазонной антенной решётки можно применить совмещённый печатный излучатель, элементы которого работают в отдельных поддиапазонах на приём и передачу. Конструкция такого излучателя показана на рис. 1.

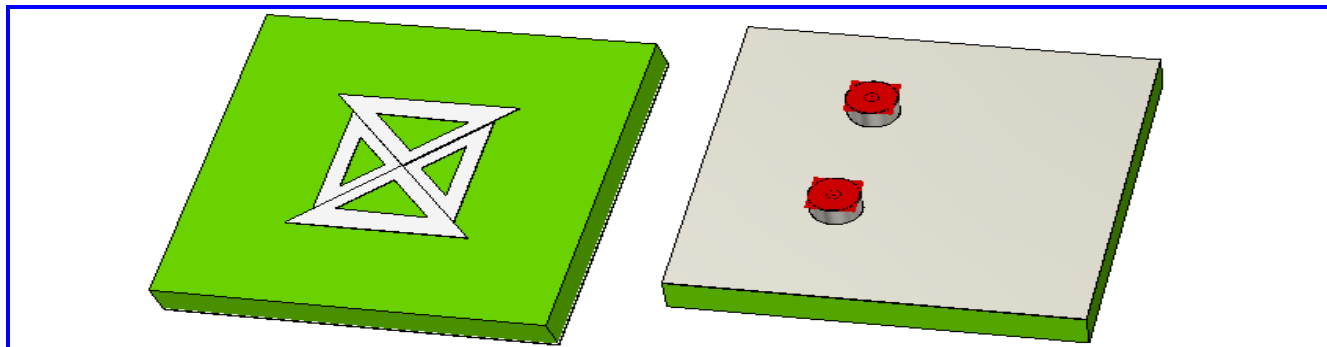


Рис. 1. Общий вид печатного двухдиапазонного излучателя

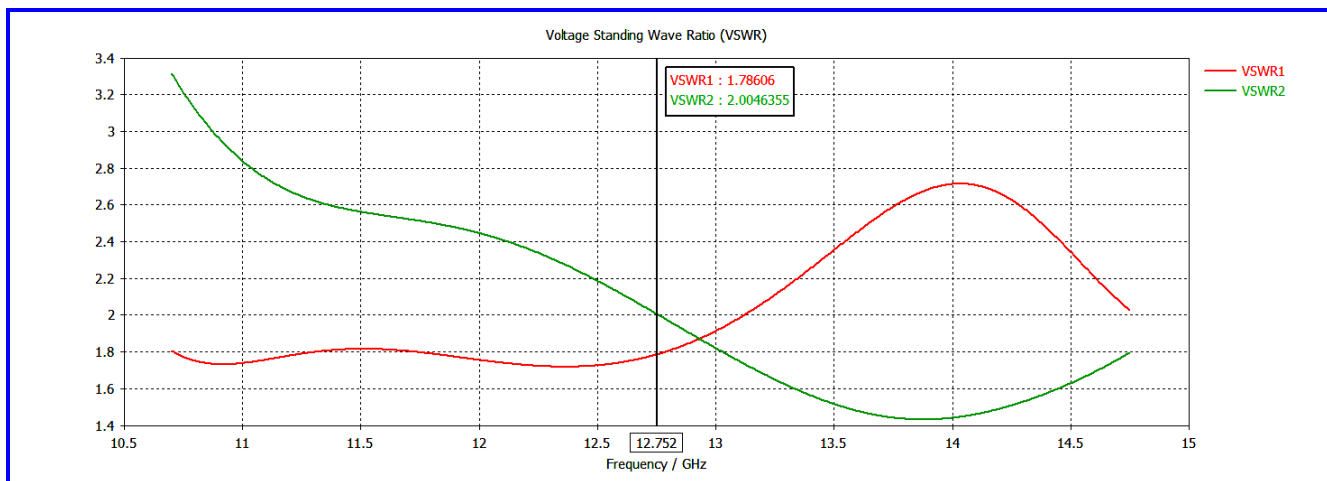


Рис. 2. Зависимости КСВ от частоты: красная – при работе антенны в режиме приёма; зелёная – в режиме передачи

Возможность применения рассматриваемого типа антенн для работы в двух диапазонах частот иллюстрируется зависимостями коэффициента стоячей волны (КСВ) от частоты, которые приведены на рис. 2.

Из рис. 2 видно, что антенна согласована в рабочем диапазоне частот по уровню КСВ < 2 при совместной работе в двух диапазонах частот.

Одной из важнейших характеристик антенн является характеристика направленности. Пространственная диаграмма направленности излучателя, работающего в режиме приёма, приведена на рис. 3.

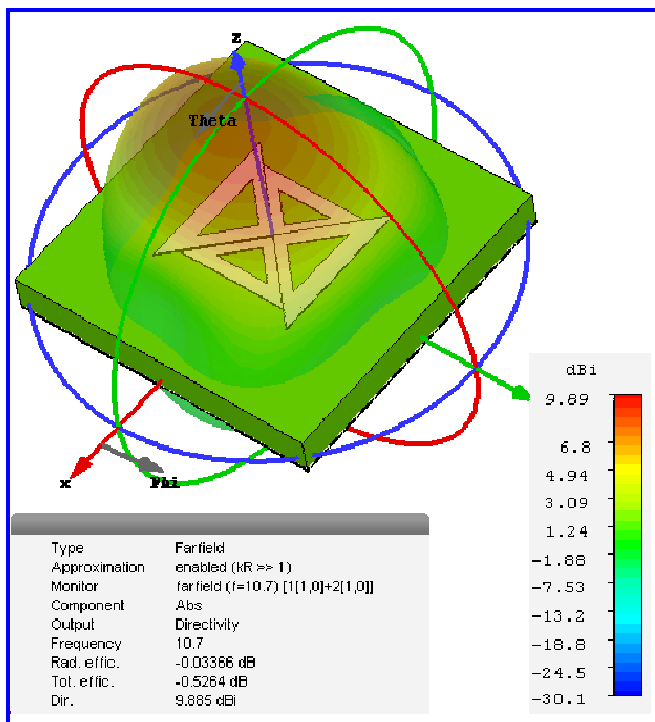


Рис. 3. Пространственная диаграмма направленности излучателя

При этом излучатель, работающий в режиме передачи, нагружен на согласованную нагрузку. Диаграммы направленности излучателя, работающего в режимах приёма и передачи в плоскости *E*, приведены, соответственно, на рис. 4 и 5.

Диаграммы направленности излучателя, работающего в режимах приёма и передачи в плоскости *H*, приведены соответственно на рис. 6 и 7.

Антенная решётка

из двухдиапазонных излучателей

Антенная решётка из двухдиапазонных микрополосковых излучателей показана на рис. 8. На рис. 8, а показан 1 модуль антенной решётки, состоящей из 64 элементов. На рис. 8, б показана антенная решётка, состоящая из 1024 элементов.

По размерам апертуры антенная решётка соответствует зеркальной антенне диаметром $D = 60$ см. Коэффициент усиления прямофокусной зеркальной антенны (G_a) выражается следующей формулой:

$$G_a = 10 \log ((\pi d)^2 p / 100 \lambda^2), \text{ дБ}, \quad (1)$$

где d – диаметр антенны, м; p – процент эффективности антенны; λ – длина волны, м.

На рис. 9 приведена ДН микрополосковой антенной решётки, работающей в режиме приёма в *E* и *H* плоскостях. На этом же рисунке приведены ДН излучателей в соответствующих плоскостях.

На рис. 10 показаны зависимости коэффициента усиления от частоты антенной решётки и зеркальной антенны при разной эффективности.

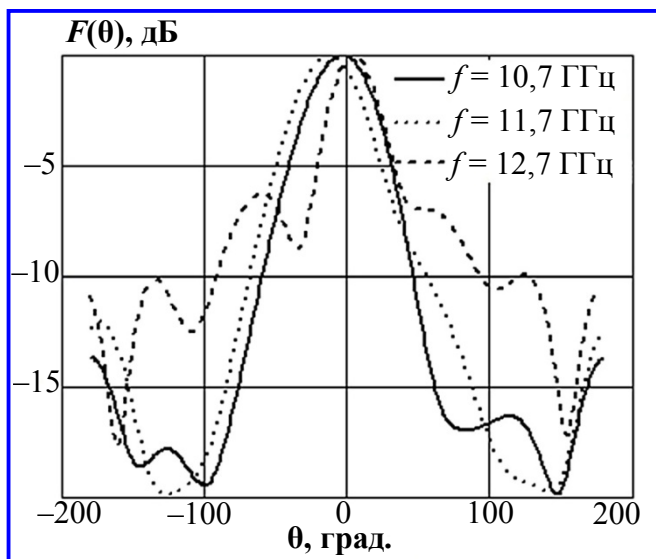


Рис. 4. Диаграммы направленности излучателя, работающего в режиме приёма в плоскости E

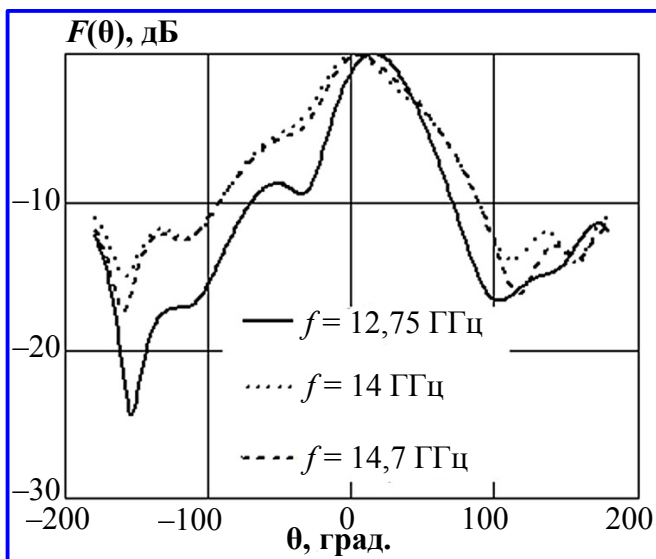


Рис. 5. Диаграммы направленности излучателя, работающего в режиме передачи в плоскости E

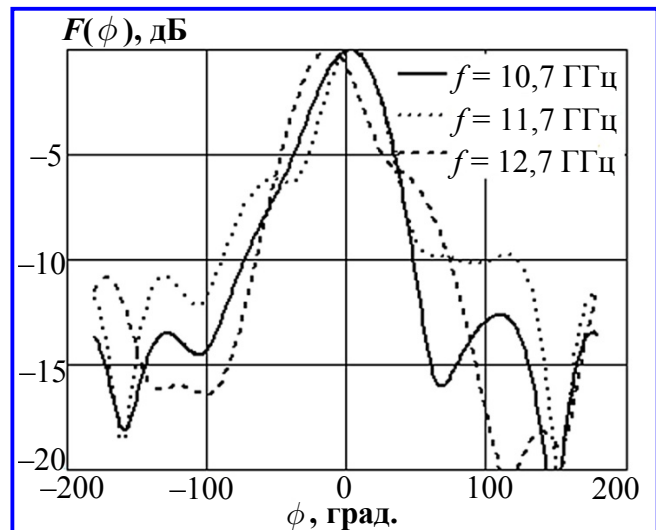


Рис. 6. Диаграммы направленности излучателя, работающего в режиме приёма в плоскости H

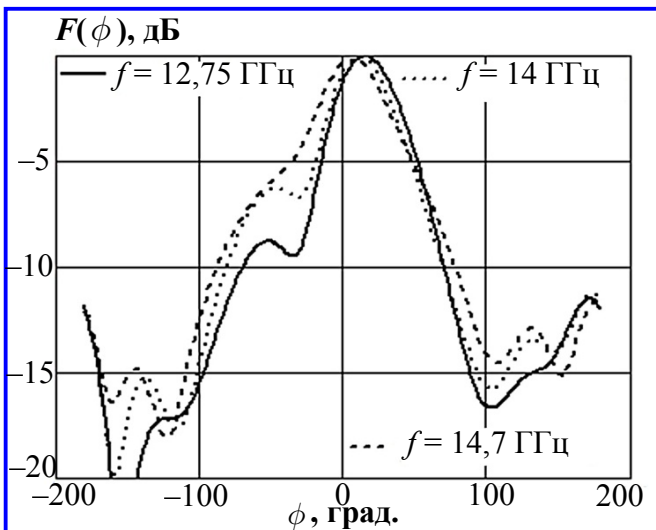


Рис. 7. Диаграммы направленности излучателя, работающего в режиме передачи в плоскости H

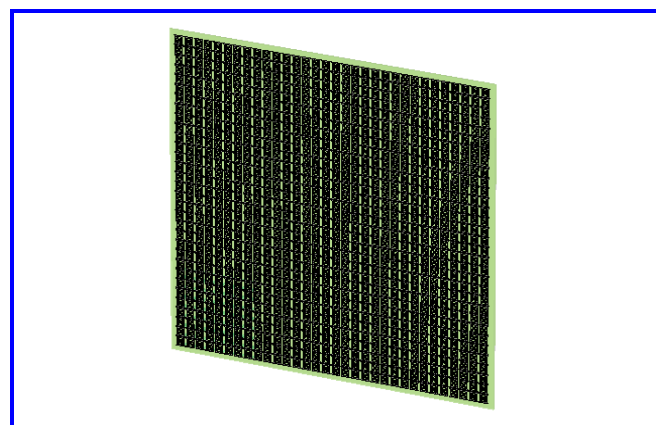
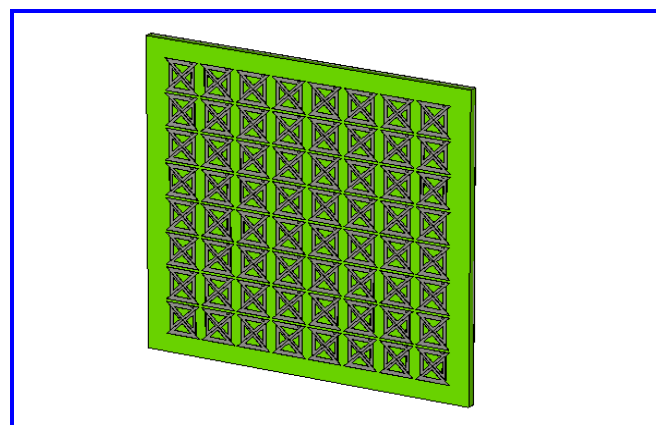


Рис. 8. Антенная решётка из двухдиапазонных микрополосковых излучателей

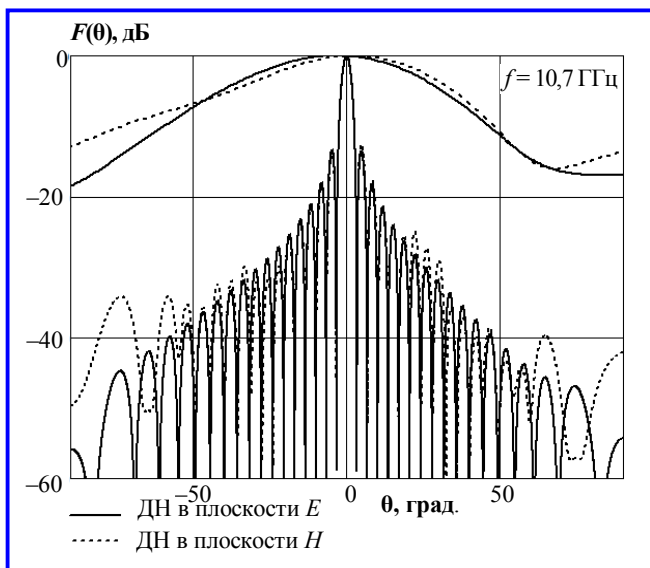


Рис. 9. ДН микрополосковой антенной решётки, работающей в режиме приёма

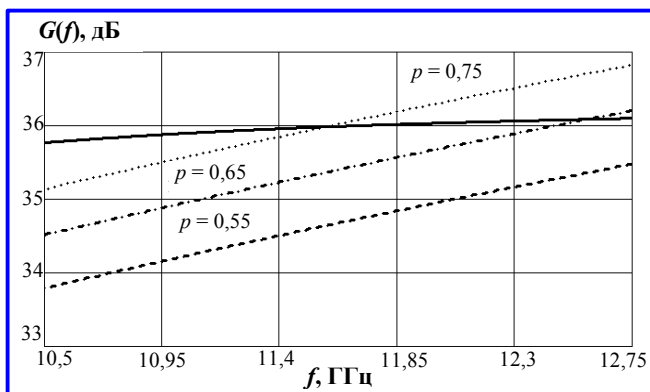


Рис. 10. Зависимости коэффициента усиления от частоты антенной решётки и зеркальной антенны при разной эффективности p

Заключение

В статье представлены модели двухдиапазонных и широкополосных излучателей, работающих

в Ку-диапазоне. Определены характеристики направленности и частотные характеристики отдельных элементов и в составе антенной решётки из 1024 элементов. Приведены модели двухдиапазонных антенных решёток, изготовленных по печатной технологии. Рассмотрены диаграммы направленности и характеристики согласования. Показана возможность совмещения двух диапазонов в одной апертуре при допустимом изменении характеристик направленности и частотных характеристик.

Литература

1. Парнес М. Фазированные антенные решётки / М. Парнес // Теле-Спутник. – СПб. : Телеспутник, 1997, август. – № 8 (22). – С. 58.
2. Система спутниковой мобильной связи Инмарсат / Всеволод Колубакин // Теле-Спутник. – СПб. : Телеспутник, 2008, октябрь. – № 156. – С. 90.
3. Семенин С. Н., Бушкин С. С., Колмакова Н. Г. и [и др.]. Широкополосная печатная антенна X-диапазона // Электроника и микроэлектроника СВЧ / С. Н. Семенин, С. С. Бушкин, Н. Г. Колмакова, Р. Д. Меджитов. – СПб. : Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина). – С. 241 – 245.
4. Двухдиапазонные микрополосковые антенны сотовой связи / Д. И. Воскресенский, Е. В. Овчинникова, Као Нинь Буй, С. Г. Кондратьева // Антенны. – 2015. – № 1. – С. 17 – 27.
5. Сверхширокополосные антенны / Пер. с англ.; под ред. Л. С. Бененсона. – М. : Мир, 1964. – 416 с.
6. Rani M. S. A., Rahim S. K. A., Kamarudin M. R., Peter T., Cheung S. W., and Saad B. M. Electromagnetic behaviors of thin film CPW-fed CSRR loaded on UWB transparent antenna // IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters. – 2014, December. – Vol. 13. – Pp. 1239 – 1242.
7. Спутниковая связь и вещание: справочник / Под. ред. Я. Л. Кантора. – М. : Радио и связь, 1997. – 528 с.

Поступила в редакцию 26.12.2017

Фам Ван Винь, аспирант, т. (925) 468-95-51, e-mail: phamvinh1609@gmail.com.
Московский авиационный институт (ФГБОУВО «МАИ НИУ»).

Эльчин Вахидович Гаджиев, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник,
т. (495) 994-55-57, e-mail: otd24@niem.ru.

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

Олег Викторович Васильев, кандидат технических наук, начальник отдела,
т. (919) 109-53-94, e-mail: oea8888@gmail.com.

Московский научно-исследовательский радиотехнический институт (АО «МНИРТИ»).

Тимур Валерьевич Калинин, кандидат технических наук, профессор, т. (981) 895-72-93,
e-mail: timurkalinin@yandex.ru.

Владимир Дмитриевич Васильев, студент, т. (981) 895-72-93, e-mail: timurkalinin@yandex.ru.
(Военно-космическая академия имени А. Ф. Можайского).

TWO-BAND MICROSTRIP ANTENNA ARRAY OF SATELLITE TELEVISION SYSTEMS

V. V. Pham, E. V. Gadzhiev, O. V. Vasilev,
T. V. Kalinin, V. D. Vasilev

The article deals with two-band antenna arrays of satellite television systems. The description of advantages and disadvantages of these antennas as compared to widely used reflector antennas is presented. The design of a two-band microstrip radiator has been developed. The radiator parameter optimization has been performed in order to improve frequency characteristics of antenna matching. Models of design of individual elements and arrays consisting of wideband microstrip radiators have been developed using up-to-date application packages applied for designing antennas and microwave devices. Directivity and frequency characteristics of radiators of a microstrip antenna array operating in reception and transmission modes have been determined. The possibility of the simultaneous independent operation of transmitting and receiving channels of the antenna array ensured by means of polarization isolation is demonstrated. Directivity characteristics of a microstrip antenna array operating in reception and transmission modes have been determined.

Key words: antenna arrays of satellite television systems, microstrip antenna arrays, two-band antennas, standing-wave ratio, radiation pattern, gain.

List of References

1. Parnes M. Phased antenna arrays / M. Parnes // Telesputnik Journal. – St. Petersburg : Telesputnik Publishing House, 1997, August. – No. 8 (22). – P. 58.
2. Mobile Satellite Communications System INMARSAT / Vsevolod Koliubakin // Telesputnik Journal. – St. Petersburg : Telesputnik Publishing House, 2008, October. – No. 156. – P. 90.
3. Semenina S.N., Bushkin S.S., Kolmakova N.G. [et al.]. Wideband printed antenna of X-band // Microwave Electronics and Microelectronics / S.N. Semenina, S.S. Bushkin, N.G. Kolmakova, R.D. Medzhitov. – St. Petersburg : Saint Petersburg State Electrotechnical University 'LETI' named after V.I. Ulianov (Lenin). – Pp. 241 – 245.
4. Two-band microstrip antennas for mobile communications / D. I. Voskresenskii, E. V. Ovchinnikova, Cao Ninh Bui, S. G. Kondrateva // Antennas. – 2015. – No. 1. – Pp. 17 – 27.
5. Ultra-wideband antennas / Translated from English; edited by L. S. Benenson. – M. : Mir Publishers, 1964. – 416 p.
6. Rani M. S. A., Rahim S. K. A., Kamarudin M. R., Peter T., Cheung S. W., and Saad B. M. Electromagnetic behaviors of thin film CPW-fed CSRR loaded on UWB transparent antenna // IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters. – 2014, December. – Vol. 13. – Pp. 1239 – 1242.
7. Satellite communications and broadcasting: Handbook / Edited by Ia. L. Kantor. – M. : Radio and Communications, 1997. – 528 p.

Pham Van Vinh, Ph.D. Student, tel.: +7 (925) 468-95-51, e-mail: phamvinh1609@gmail.com.
Moscow Aviation Institute (National Research University).

Elchin Vakhidovich Gadzhiev, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Leading Researcher,
tel.: +7 (495) 994-55-57, e-mail: otd24@niem.ru.
Scientific and Research Institute of Electromechanics (JSC «NIEM»).

Oleg Viktorovich Vasilev, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Head of Department,
tel.: +7 (919) 109-53-94, e-mail: oea8888@gmail.com.
Moscow Scientific and Research Radio Engineering Institute (JSC «MNIRTI»).

Timur Valerevich Kalinin, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Professor,
tel.: +7 (981) 895-72-93, e-mail: timurkalinin@yandex.ru.

Vladimir Dmitrievich Vasilev, Student, tel.: +7 (981) 895-72-93, e-mail: timurkalinin@yandex.ru.
(A. F. Mozhaisky Military Space Academy).