

Двухдиапазонные и широкополосные антенны телекоммуникационных систем

Е.В. Овчинникова¹, Фам Ван Винь¹, С.Г. Кондратьева¹, П.А. Шмачилин¹, Э.В. Гаджиев²

¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», 125993 г. Москва, Волоколамское шоссе, д.4, E-mail: oea8888@gmail.com

²Акционерное общество «Научно-исследовательский институт электромеханики», 143502, Московская область, г. Истра, ул. Панфилова, д. 11, E-mail: otd24@niiem.ru

В работе приводятся конструкции широкополосных микрополосковых антенны для бортовых телекоммуникационных систем. Рассматриваемые антенны представляют собой модифицированные широкополосные антенны типа «бабочка». Представлены результаты численного электродинамического моделирования. Определены параметры и основные характеристики антенны.

In this paper the construction of a broadband microstrip antenna for airborne telecommunication systems is described. Considered antenna represented modified broad-band antenna of butterfly-style. The electro-dynamic numerical simulation results are obtained. The parameters and the basic characteristics of antenna are determinated.

В настоящее время широкое практическое применение получили многодиапазонные и широкополосные радиотехнические системы. При этом технические характеристики таких систем во многом определяются характеристиками антенно-фидерных устройств. Многодиапазонное функционирование антенной системы реализуется путем применения многодиапазонных или широкополосных антенн и распределительных систем.

В работе [1] рассматриваются широкополосные волноводные излучатели как с линейной (H-образные, рупорно-волноводные), так и с вращающейся (крестообразные, четырехребенчатые) поляризацией. Предложенные конструкции излучателей позволяют компоновать антенные полотна с плотной упаковкой элементов в апертуре. Однако, приводимые в работе схемы построения антенных полотен, не обеспечивают требуемые характеристики направленности при совмещении излучателей, работающих в соседних поддиапазонах Ku – диапазона на различных поляризациях. Также не рассматриваются распределительные системы для приведенных структур антенных полотен.

Особенностью функционирования антенных систем спутниковой телевидения является работа в двух поддиапазонах Ku-диапазона с разделением их по поляризации. Такой режим работы можно обеспечить, используя различные схемы построения антенного полотна. Здесь возможно применение широкополосных элементов работающих на двух ортогональных поляризациях, как, например, в работах [2–5], возбуждение которых осуществляется с помощью широкополосных распределительных систем, рассмотренных в работах [6–8].

Для сохранения энергетических характеристик желательно применять широкополосные или двухдиапазонные излучатели, работающие на ортогональных линейных поляризациях.

Современные связные, навигационные и другие антенны размещают на поверхности носителя. Остронаправленные антенны РЛС, опознавания, навигации и других радиотехнических систем размещают под обтекателем, что приводит к увеличению массогабаритных характеристик и к проблемам создания соответствующих

обтекателей. На больших самолетах размещают до ста антенн. Устанавливаемые на борту антенны должны обладать требуемыми характеристиками направленности и не нарушать аэродинамику и механическую прочность летательного аппарата (ЛА).

В настоящее время широко используют невыступающие антенны типа щелей и печатных излучателей. Для формирования остронаправленных диаграмм применяют конформные антенные решетки из таких излучателей [9]. Как щелевые, так и печатные антенны являются резонансными, а, следовательно, узкополосными.

Одной из задач современной бортовой радиоэлектроники является создание интегрированных радиоэлектронных комплексов с объединенной антенной системой, т.е. с антенной совмещенной, многочастотной, работающей на традиционных используемых частотах для данной радиосистемы. Таким образом, возникает задача разработки антенн, размещаемых на внешней поверхности ЛА и обладающей широким рабочим диапазоном в октавы и даже декады.

Широкополосные слабонаправленные антенны, излучение которых рассматривается в свободном пространстве, известны, однако изготовленные по печатной технологии, эти антенны теряют свою широкополосность. Ниже, для сохранения широкополосности и направленных свойств предлагается использовать известные в радиотехнике композитные материалы, позволяющие в широких пределах изменять свои электрофизические параметры: диэлектрическую и магнитную проницаемость, включая и отрицательные значения. В таких материалах можно создать «запрещенную зону» [10], в которой отсутствует распространение электромагнитных волн СВЧ и по сравнению с проводником знак коэффициента отражения изменяется на обратный.

Кроме широкополосной работы антенна должна обеспечивать приемлемые энергетические характеристики в зоне обслуживания пользователей, а, следовательно, иметь в этом секторе достаточно широкую диаграмму направленности. Наряду с энергетическими и частотными характеристиками, немаловажными являются массогабаритные параметры. Поэтому значительная часть антенн для бортовых телекоммуникационных систем изготавливаются в печатном исполнении.

Известны различные конструкции микрополосковых антенн, обладающих расширенным рабочим диапазоном, достигаемым путем применения многослойных технологий изготовления.

Наиболее простым способом расширения рабочей полосы микрополосковых антенн является реализация широкополосных антенн в печатном исполнении, описанных в работе [11]. Расширение полосы рабочих частот, в настоящее время достигается в первую очередь по согласованию излучателей с фидерным трактом. При этом усложняются конструкции элементов фидерного тракта и излучающей системы.

Известна широкополосная печатная антенна, работающая в полосе 40% в X-диапазоне. Конструкция и характеристики антенна приведены в статье [12]. Недостатком такой антенны является существенное увеличение толщины излучателя из-за использования экрана для расширения рабочего диапазона частот.

Аналогичными недостатками обладают и сверхширокополосные микрополосковые антенны, выполненные на основе расширяющихся щелевых линий. Такие антенны широко освещены в современной периодической литературе, например, в статье [13]. Недостатком антенн на основе симметричных щелевых линий являются большие продольные габариты.

Более просты в конструкции дипольные антенны с расширенным рабочим диапазоном волн. Один из вариантов двухдиапазонной печатной дипольной антенны рассмотрен в патенте [14]. Такая антенна может быть использована в качестве элемента печатных фазированных антенных решеток (ФАР) радиолокационных и

радионавигационных систем. Однако она имеет недостатки аналогичные рассмотренным выше конструкциям антенн.

Рабочую полосу печатных антенн можно расширить до 20–40% путем применения многослойных технологий изготовления печатных плат. В работах [15–20] приводятся конструкции многослойных печатных антенн.

Благодаря хорошим массогабаритным параметрам микрополосковые антенны удобно использовать для диапазонной работы. В патенте [21] рассматривается широкополосная микрополосковая антенна, элементы которой располагаются над экраном на обеих сторонах диэлектрической подложки. Микрополосковая антенна возбуждается двухпроводной линией передачи, к одному проводнику которой на расстоянии половины соответствующей резонансной длины волны попеременно присоединены четвертьволновые вибраторы. К другому проводнику линии на обратной стороне подложки присоединены в середине полуволновые симметричные вибраторы. В таком излучателе сохраняются основные преимущества микрополосковой антенны и возрастает ширина полосы пропускания. При большой высоте над экраном, рабочая полоса достигает величины 20–25%. Однако, такая антенна имеет большие продольные и поперечные габаритные размеры, а также небольшое усилие.

Известны классические планарные микрополосковые антенны, описанные, например, в работе [22]. Однако они обладают серьезным недостатком – в силу резонансного характера планарные микрополосковые антенны и решетки из них узкополосны, относительная полоса рабочих частот таких антенн составляет доли и единицы процентов.

Если требуется более широкая рабочая полоса частот (20% и выше), то на смену классическим поперечным излучателям приходят широкополосные и сверхширокополосные печатные антенны продольного излучения, а также комбинированные варианты конструкции продольного и поперечного излучателей, рассмотренные в работе [23]. Рабочая полоса и коэффициент усиления таких антенн зависят от длины, поэтому они также имеют большие продольные габариты.

Известны широкополосные антенны на основе взаимодополняющих структур, рассмотренные, например, в работе [24]. Они имеют различную форму, но практическое применение получила структура «бабочка» или "bow-tie". Антенна типа «бабочка» обеспечивает допустимое согласование в широкой полосе частот. Размещение «бабочки» над экраном приводит к сужению рабочей полосы частот. Для расширения рабочей полосы частот приходится усложнять структуру печатной антенны и использовать многослойные печатные антенны. В этом случае возникает необходимость разработки широкополосных возбуждателей и оптимизации их характеристик с целью получения допустимого согласования антенны в рабочей полосе частот.

Расширение рабочей полосы микрополосковых антенн или реализация многодиапазонной работы обычно достигается путем изготовления широкополосных антенн по печатной технологии и применения многослойных структур. В качестве примера можно привести многослойную антенну, образованную несколькими излучателями типа «бабочка» [25]. Однако такая антенна не обеспечивает возможность работы в Ку-диапазоне, так как имеет более узкую рабочую полосу по согласованию, а также её сложно использовать в качестве элемента антенной решетки, т.к. диаграмма направленности элемента не перекрывает зону обслуживания пользователей.

Для решения поставленной задачи можно изменить конструкцию и размеры излучающего элемента. Например, добавить кольцевой шлейф, что позволяет расширить рабочую полосу частот. Общий вид микрополосковой антенны с кольцевым шлейфом, работающей в Ку-диапазоне (10,7–14,75 ГГц) показан на рис. 1. Здесь

обозначены следующие позиции: 1 – бабочка; 2 – коаксиальное питание; 3 – кольцевой шлейф; 4 – диэлектрик. Для практической реализации подложки антенны могут быть использованы фольгированные диэлектрики, а также воздушные линии. На рис. 2 приведены диаграммы направленности антенны, показанной на рис. 2, в плоскостях Е и Н. На рис. 2 обозначены диаграммы направленности в плоскостях Е и Н на трёх частотах: 1 – 10.7 ГГц; 2 – 12.7 ГГц; 3 – 14.75 ГГц.

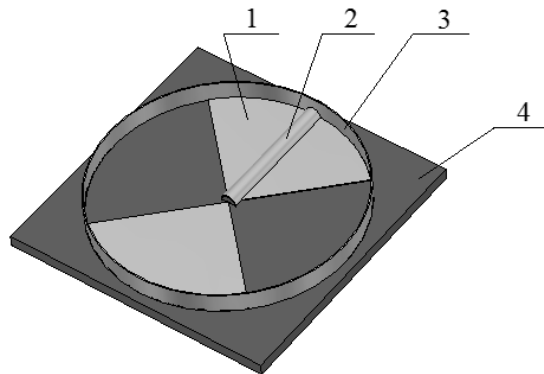


Рис. 1. Общий вид микрополосковой антенны с кольцевым шлейфом

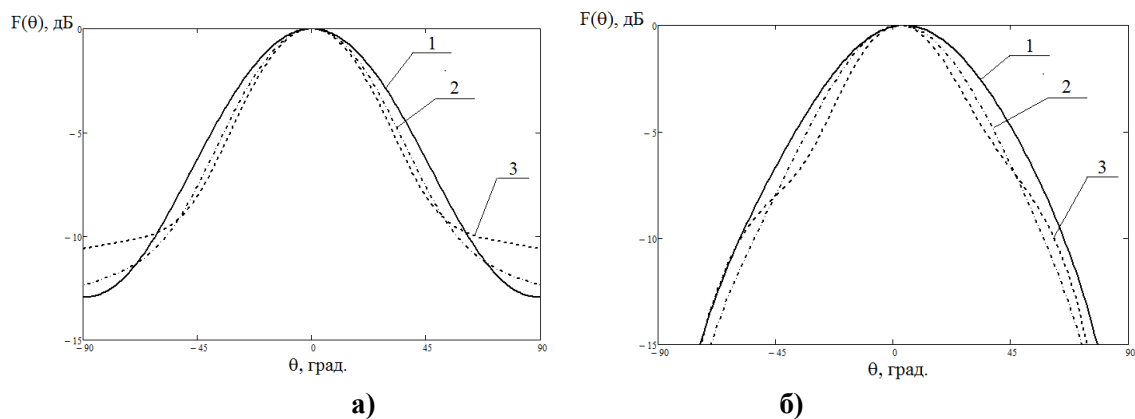


Рис. 2. Диаграмма направленности микрополосковой антенны с кольцевым шлейфом: а – в плоскости Е, б – в плоскости Н

На рис. 3 приведена зависимость КСВ от частоты для антенны, показанной на рис. 1.

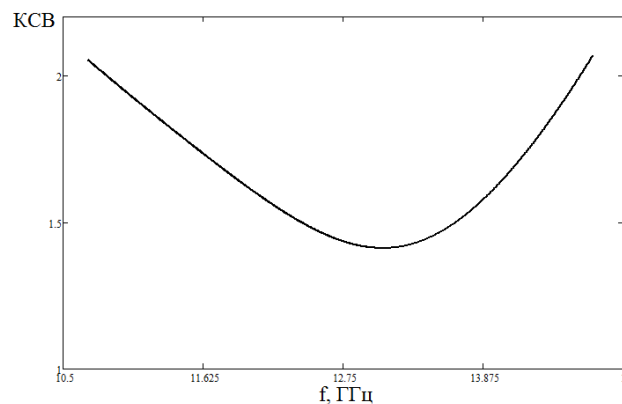


Рис. 3. Зависимость КСВ от частоты

Благодаря хорошим массогабаритным характеристикам рассматриваемая антенна может использоваться и в мобильных системах. В современных мобильных

радиоэлектронных комплексах применяются антенны с механическим или электро-механическим сканированием. Перспективным направлением является разработка антенных систем с электрическим сканированием. Сектор сканирования в угломестной плоскости зависит от направленных свойств элемента, поэтому целесообразно оптимизировать конструкцию элемента таким образом, чтобы получить требуемую форму диаграммы в угломестной плоскости. Для расширения диаграммы направленности в одной или двух плоскостях можно использовать периодические структуры. Пример широкополосной антенны, выполненной над экраном с периодической структурой, показан на рис. 4.

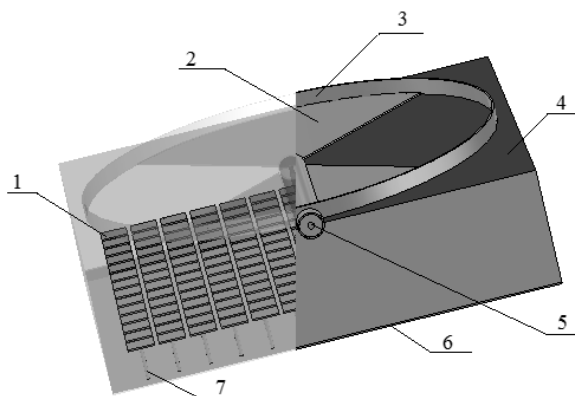


Рис. 4. Широкополосная антенна над экраном с периодической структурой

На рис. 4 показан общий вид микрополосковой антенны с кольцевым шлейфом и замедляющей структурой. Здесь обозначены следующие позиции: 1 – элемент импедансной поверхности; 2 – бабочка; 3 – кольцевой шлейф, 4 – диэлектрик, 5 – коаксиальное питание; 6 – экран; 7 – крепление элемента импедансной поверхности. На рис. 5 показан общий вид и приведены размеры импедансной структуры с высотой 3.46 мм. На рис. 6 представлены диаграммы направленности антенны, приведённой на фиг. 5, в плоскостях Е и Н. На рис. 6 обозначены диаграммы направленности в плоскостях Е и Н на трёх частотах: 1 – 10.7 ГГц; 2 – 12.7 ГГц; 3 – 14.75 ГГц.

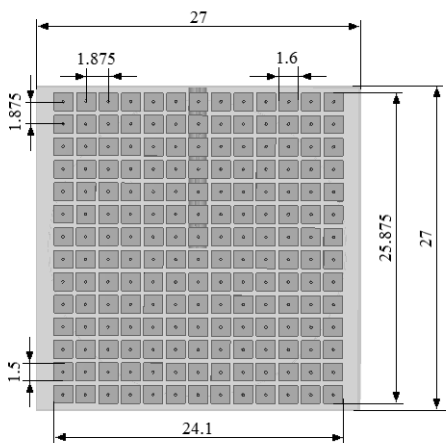


Рис. 5. Общий вид и размеры импедансной структуры

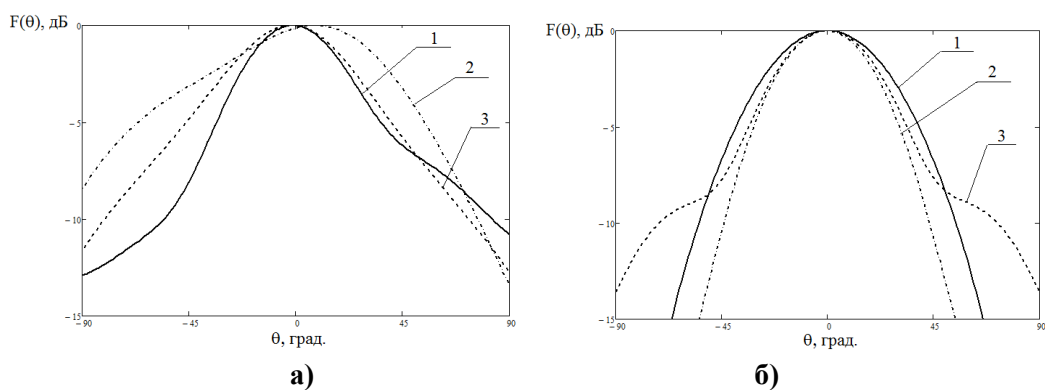


Рис. 6. Диаграмма направленности микрополосковой антенны с кольцевым шлейфом, размещенной над экраном с периодической структурой: *а* – в плоскости *E*, *б* – в плоскости *H*

На рис. 7 приведена зависимость КСВ от частоты для антенны, показанной на рис. 4.

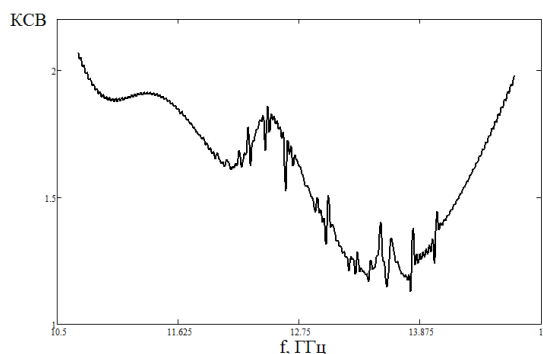


Рис. 7. Зависимость КСВ от частоты

Отличие антенны без импедансной структуры и с импедансной структурой проиллюстрировано диаграммами направленности рис. 8–10. На рис. 8 совмещены диаграммы в *H*-плоскости на частоте $f=10,7$ ГГц для антенны без замедляющей структуры, обозначенной позицией 1, и с замедляющей структурой, обозначенной позицией 2.

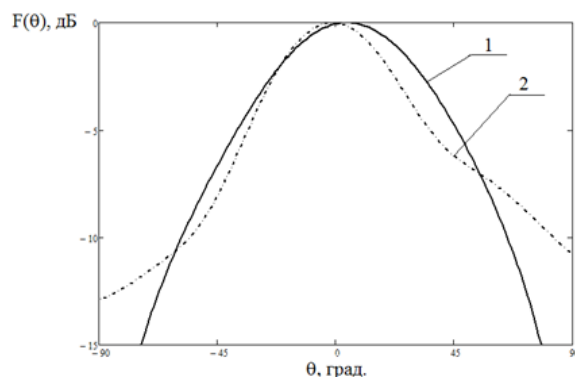


Рис. 8. Диаграммы в *H*-плоскости на частоте $f=10,7$ ГГц для антенны без замедляющей структуры и с замедляющей структурой

На рис. 9 совмещены диаграммы в *H*-плоскости на частоте $f=11,7$ ГГц для антенны без замедляющей структуры, обозначенной позицией 1, и с замедляющей структурой, обозначенной позицией 2.

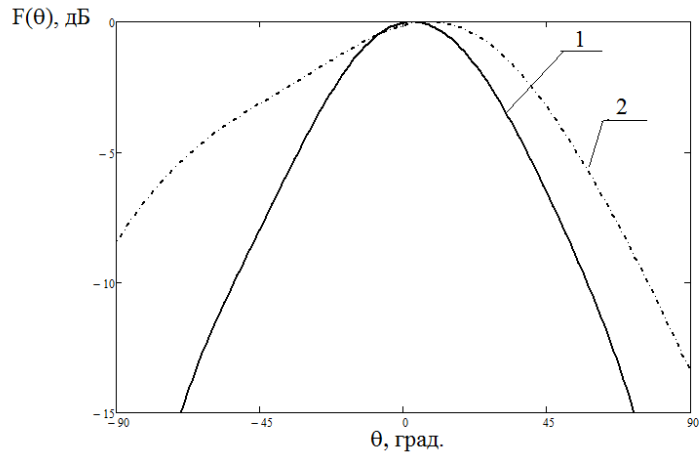


Рис. 9. Диаграммы в Н-плоскости на частоте $f=11,7$ ГГц для антенны без замедляющей структуры и с замедляющей структурой

На рис. 10 совмещены диаграммы в Н-плоскости на частоте $f=12,7$ ГГц для антенны без замедляющей структуры, обозначенной позицией 1, и с замедляющей структурой, обозначенной позицией 2.

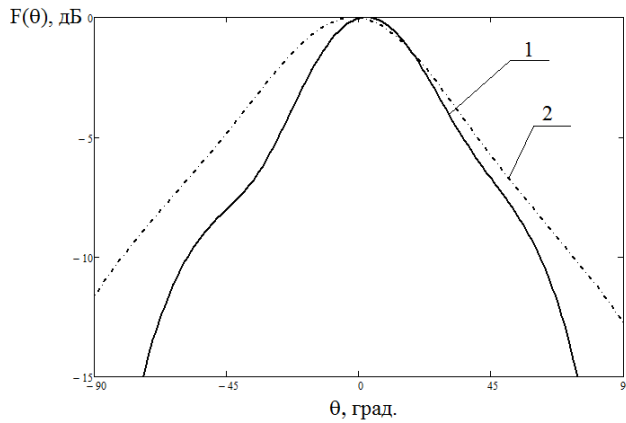


Рис. 10. Диаграммы в Н-плоскости на частоте $f=12,7$ ГГц для антенны без замедляющей структуры и с замедляющей структурой

Расширение диаграммы происходит при сохранении частотных характеристик согласования, что иллюстрируется рис. 11. График на рис. 11, соответствующий антенне без замедляющей структуры обозначен позицией 1, с замедляющей структурой – позицией 2.

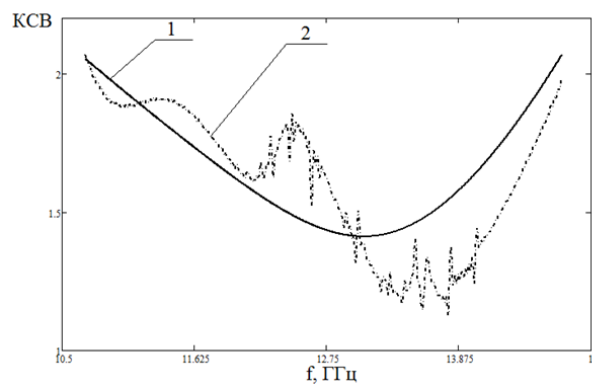


Рис. 11. Зависимость КСВ от частоты

Таким образом, разработана широкополосная антенна, обеспечивающая работу в полосе, соответствующей Ku - диапазону, в котором осуществляется спутниковая связь и телевидение.

Литература

1. Котов Ю.В. Широкополосные волноводные антенные решётки интегрированных радиоэлектронных комплексов. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. Москва, МАИ, 2004, 359 с.
2. T.A. Axness, R.V. Coffman, B.A. Kopp, and K.W. O' Haver. Shared aperture technology development. Jones Hopkins APL Technical digest, vol. 17, N 3, 1996, pp. 285-294.
3. M.J. Vaughan, R.C. Compton. Omni-directional quasi-optical transmitter array, 1995 IEEE Trans. Microwave theory and techniques, Vol.43, pp.2507-2509.
4. Broadband dual polarized antenna arrays for mobile communication applications, Stefan Balling, Matthias Hein, Marko Hennhöfer, Gerd Sommerkorn, Ralf Stephan, Reiner Thomä, the 33rd European Microwave Conference, Munich, Germany, October 6-10 2003, pp. 2-5.
5. Hung Loui, Jan Peeters, Zoya Popovic. A dual band-dual dual 3-polarized nested Vivaldi slot array with multilevel ground plane, IEEE Trans Antennas and propagation, vol.51,N9, September 2003, pp. 2168-2175.
6. Овчинникова Е.В., Соколов А.А. Двухдиапазонная антенная решетка с косекансной диаграммой направленности. «Антенны». №4. 2011 г. С. 14–20.
7. Яковлев А. С. Двухчастотные моноимпульсные антенные решетки. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. - Москва, 2009, 126 с.
8. Кондратьева С. Г. Двухчастотная фазированная мобильная антенная решётка РЛС L-диапазона. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. - Москва, 2015, 150 с.
9. Воскресенский Д. И., Пономарев Л. И., Филиппов В. С.. Выпуклые сканирующие антенны. – М.: Сов. радио, 1978.
10. Гринев А.Ю., Волков А.П., Мосейчук Г.Ф., Синани А.И. Полосно-заграждающие частотно-селективные структуры для контроля диаграммы обратного рассеяния линейной АФАР L-диапазона. Антенны. 2016. № 10, С. 60–70.
11. Сверхширокополосные антенны. Перевод с американского под редакцией Бененсона Л.С. М., Мир, 1964 г.
12. Семенин С.Н., Бушкин С.С., Колмакова Н.Г., Меджитов Р.Д. Микрополосковая антенна X-диапазона с полосой пропускания 45%. Труды 24-й Международной конференции "СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии" Севастополь, сентябрь 2014 г, С. 489–490.
13. Воскресенский Д.И., Котов Ю.В., Овчинникова Е.В. Тенденции развития широкополосных фазированных антенных решеток (обзор работ), журнал «Антенны». 2005. №11.
14. Пат. RU № 2432646
15. Дженг Сын. Разработка технологии формообразования заготовок плоских волноводно-щелевых антенных решеток для спутникового телевидения на основе физического и математического моделирования. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Москва, МСИС, 2003, 166 с.
16. Чон Кён-Хван. Широкополосные многоэлементные микрополосковые антенные решетки. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Москва, МТИЭМ, 2004, 176 с.

17. Чон К. Х., Микрополосковые антенные решетки для стационарных и мобильных систем спутниковых телекоммуникаций. // Тезисы докладов на конф. МТИЭМ, Москва. 2003. С. 329–330.
18. James J.R., Hall P.S. Handbook of microstrip antennas. - London: Peregrinus Ltd, 1989.- 1312 pp.
19. Garg R., Bhartia P., Bahl L Microstrip antenna handbook. London: Artech House Books, 2000. - 868 pp.
20. Carver K.R., Mink J.W. Microstrip antenna technology. - IEEE Trans. AP, 1981, vol.29, N. 1, pp. 2-24.
21. Пат. RU №2122263
22. Мушников В. В. Печатная ФАР с продольными излучателями, VIII Всероссийская научная конференция студентов и аспирантов «Техническая кибернетика, радиоэлектроника и системы управления», Тезисы докладов, 2006 г., с. 40.
23. Касьянов А. О., Обуховец В. А., Мушников В. В. Результаты численного и экспериментального исследований широкополосных печатных излучателей антенных решеток. Антенны. 2007. № 5 (120). С. 9–15.
24. Clarke R. A High Efficiency Bow-tie Antenna//Microwave Journal.- 2001.- №8. -Р. 94–105.
25. Буй Као Нинь. Малогабаритные диапазонные печатные антенны сотовых телефонов. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Москва, МАИ, 2015, 107 с.