



GLOBAL JOURNAL OF COMPUTER SCIENCE AND TECHNOLOGY: E
NETWORK, WEB & SECURITY

Volume 22 Issue 1 Version 1.0 Year 2022

Type: Double Blind Peer Reviewed International Research Journal

Publisher: Global Journals

Online ISSN: 0975-4172 & Print ISSN: 0975-4350

Synthesis of Low-Profile Antennas using Fractal Analysis

By S. V. Dvornikov, Vi Vlasenko & A. A. Rusin

St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

Abstract- The results of the synthesis of low-profile antennas based on taking into account the very similarity of their elements are presented. The main disadvantages of low-profile antennas and promising ways to overcome them are considered. The results of calculating their characteristics in the MMANA-GAL and CST Microwave Studio modeling environment are presented. Possibilities of fractal types of low-profile antennas are investigated. The prospects for their application have been determined.

Keywords: *low-profile antennas, fractal antennas, in-phase antenna systems.*

GJCST-E Classification: *1.3.7*



Strictly as per the compliance and regulations of:



© 2022. S. V. Dvornikov, Vi Vlasenko & A. A. Rusin. This research/review article is distributed under the terms of the Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International (CC BYNCND 4.0). You must give appropriate credit to authors and reference this article if parts of the article are reproduced in any manner. Applicable licensing terms are at <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>.

Synthesis of Low-Profile Antennas using Fractal Analysis

Синтез низкопрофильных антенн методом фрактального анализа

S. V. Dvornikov ^α, Vi Vlasenko ^σ & A. A. Rusin ^ρ

Abstract- Представлены результаты синтеза низкопрофильных антенн на основе учета самоподобия их элементов. Рассмотрены основные недостатки низкопрофильных антенн и перспективные пути их преодоления. Приведены результаты расчета их характеристик в среде моделирования MMANA-GAL и CST Microwave Studio. Исследованы возможности фрактальных типов низкопрофильных антенн. Определены перспективы их применения.

Ключевые слова: низкопрофильные антенны, фрактальные антенны, синфазные антенные системы.

Abstract- The results of the synthesis of low-profile antennas based on taking into account the very similarity of their elements are presented. The main disadvantages of low-profile antennas and promising ways to overcome them are considered. The results of calculating their characteristics in the MMANA-GAL and CST Microwave Studio modeling environment are presented. Possibilities of fractal types of low-profile antennas are investigated. The prospects for their application have been determined.

Keywords: low-profile antennas, fractal antennas, in-phase antenna systems.

I. Введение

Методы теории фракталов, разработанные Мандельбротом [1], находят самое широкое применение в различных практических приложениях радиотехники. В основе фрактального анализа лежат свойства самоподобия фракталов, как простейших элементов, комбинации которых позволяют синтезировать сложные конструкции с прогнозируемыми желательными свойствами [2, 3]. Строгая иерархия, определяемая фракталами, открывает особенно широкие возможности при построении и разработки излучающих устройств на основе антенных решеток [4].

В частности, анализ работ [5–7] показал, что методы фрактального анализа позволяют получать антенные решетки, обладающие не только гармоничной структурой, но и с необходимой формой диаграмм направленности. Фрактальная геометрия,

представленная в [8], показывает, что наиболее простые методы фрактального анализа реализуются в линейных антеннах, состоящих из совокупности самоподобных элементов.

В частности, в [9] обосновано, что такой подход обеспечивает высокое постоянство параметров излучающей системы в очень широком частотном диапазоне. При этом он позволяет уйти от непосредственного синтеза сигналов [10], к синтезу устройств, что особенно важно для мобильных систем [11].

В настоящее время фрактальный подход успешно используется при разработке логопериодических, биконических и различных спиральных антенн [12]. При этом следует понимать, что такой синтез ведет к увеличению размеров антенных систем, при том, что получаемые таким образом антенны не обладают высокой частотной селекцией, поскольку у них реализован принцип самопополнения. А переход к конечной структуре антенны приводит к ограничению ее диапазонных свойств.

Очевидно, что методы синтеза антенн на основе фрактальных элементов требуют детального теоретического осмысления, с последующим проведением практических экспериментов, направленных на поиск оптимальных структур. Учитывая указанные обстоятельства, в настоящей статье представлены результаты исследований, связанных с синтезом низкопрофильных антенных систем на основе фрактальных элементов.

II. Особенности низкопрофильных антенн

Низкопрофильные антенные системы известны достаточно давно и активно применяются как в системах связи, так и радиотехнических системах [13]. Практический аспект их развития связан с необходимостью миниатюризации размеров радиотехнических систем. Как правило, такие антенны изготавливают на основе различных металлических или диэлектрических излучателей, которые располагают на относительно небольшой высоте $h < 0,1\lambda$ над металлическим экраном.

Основным достоинством низкопрофильных антенн являются их небольшие габариты и относительно малый вес. Это обеспечивает удобство размещения таких антенн на подвижных

Author α: Ph.D., Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny, St. Petersburg, RF. e-mail: practicsdv@yandex.ru

Author σ: St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, St. Petersburg, Ph.D. tech. Science. e-mail: vlasenko1939@mail.ru

Author ρ: Ph.D. tech. Science, Senior Lecturer of the Department, Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny, candidate of technical sciences, associate professor. e-mail: arusin@yandex.ru

радиотехнических объектах, или в местах, с ограниченными геометрическими размерами.

К другим несомненным положительным моментам низкопрофильных антенн, следует отнести простоту их изготовления и достаточно низкую стоимость, обеспечиваемых применением интегральных технологий изготовления печатных плат, совмещенных с излучателем [14].

В настоящее время, актуальность миниатюризации антенн определяется активным развитием беспроводных систем связи [15]. Действительно, если на базе интегральных схем, возможен синтез антенных решеток сравнительно небольшого объема, массы и главное малой высоты, то почему бы их и не использовать.

В общем случае, форма излучателя низкопрофильной антенной решетки не обязательно может быть линейной (в виде вибратора). Как правило, в плоскостной (пластинчатой), щелевой, спиральной структурах используют антенные элементы с самыми различными геометрическими формами.

Вместе с тем, низкопрофильным антеннам присущи и определенные недостатки. К основным из которых следует отнести: узкая полоса рабочих частот; низкая эффективность (малый КПД); побочные излучения ее элементов и высокий уровень кроссполаризации.

В [16, 17] обосновано, что один из путей получения эффективных малогабаритных антенн, связан с использованием при их разработке методов фрактальной геометрии. Следовательно, целесообразно рассмотрим возможность применения простых фракционных элементов с целью устранения некоторых недостатков низкопрофильных антенных решеток.

III. Фрактальный синтез низкопрофильных антенн

В качестве примера рассмотрим синфазную антенную систему, состоящую из двух полуволновых вибраторов ($l/\lambda = 0,25$) на рабочей частоте $f = 750$ МГц. Будем полагать, что вибраторы расположены над рефлектором на высоте $h = 5$ см.

Далее исследуем характеристика такой системы при различном расположении вибраторов. В частности, при использовании однопроводных вибраторов, V-образных вибраторов, а также вибраторов, собранных на основе фрактальных элементов.

Модели антенных систем для V-образных вибраторов, а также вибраторов, собранных на основе фрактальных элементов, показаны на рис. 1. Справа представлена система на основе V-образных вибраторов, а справа – вибраторов, на основе фрактальных элементов.

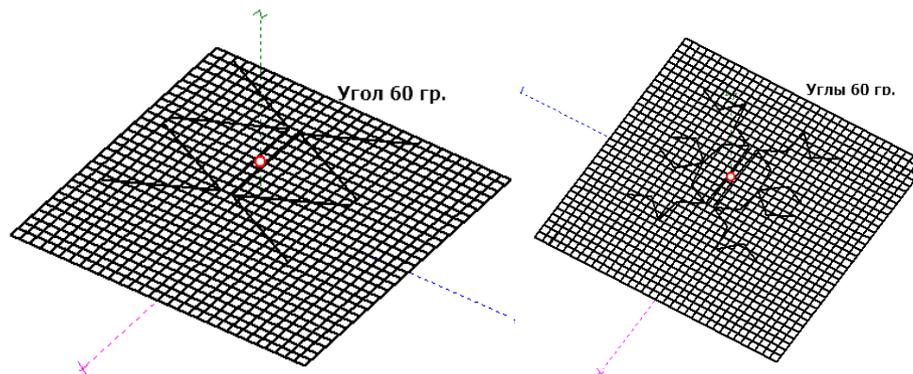
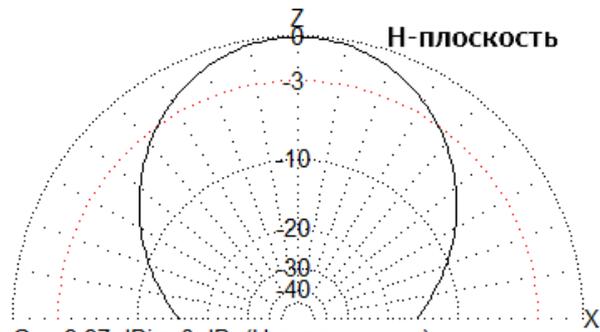


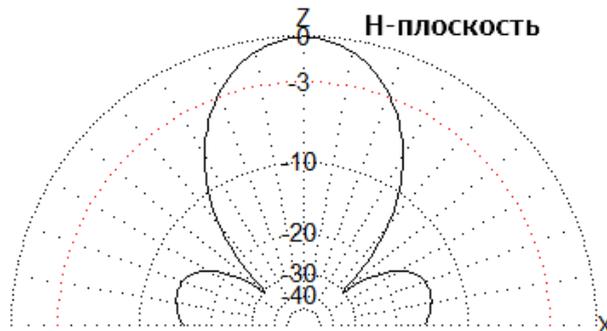
Рис. 1: Структуры элементов антенных решеток

Для получения и последующей оценки количественных параметров рассмотренных антенных систем, была использована компьютерная программа MMANA-GAL.

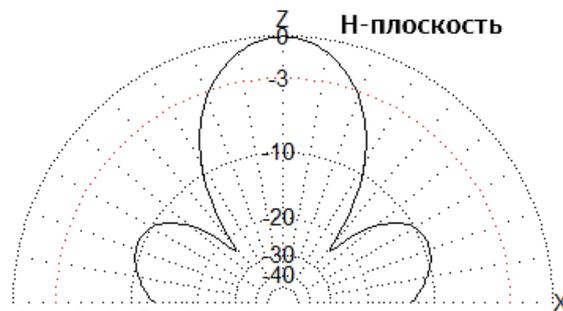
Так, на рис. 2, 3 и 4 показаны рассчитанные диаграммы направленности (ДН) рассматриваемых антенных систем на частотах 750 МГц, 1800 МГц и 2100 МГц. На указанных рисунках ДН приведены по мощности излучения с учетом отражающей поверхности.



G_a : 8.87 dBi = 0 dB (H поляризация)
 G_h : 6.72 dBd
 F/B: -13.07 dB; Тыл: Азим. 120 гр, Элевация 60 гр
 F : 750.000 МГц
 Z : 74.285 + j82.443 Ом
 КСВ: 2.9 (75.0 Ом).

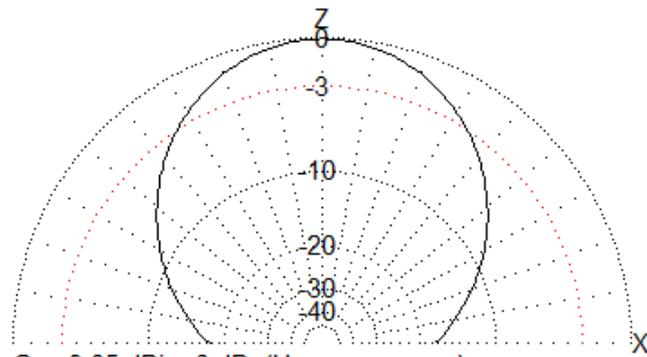


G_a : 13.62 dBi = 0 dB (H поляризация)
 G_h : 11.47 dBd
 F/B: -8.75 dB; Тыл: Азим. 120 гр, Элевация 60 гр
 F : 1800.000 МГц
 Z : 20.880 + j62.733 Ом
 КСВ: 6.2 (75.0 Ом),

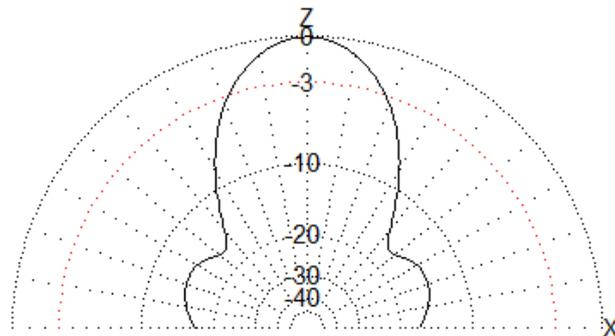


G_a : 12.12 dBi = 0 dB (H поляризация)
 G_h : 9.97 dBd
 F/B: -4.27 dB; Тыл: Азим. 120 гр, Элевация 60 гр
 F : 2100.000 МГц
 Z : 142.522 + j147.100 Ом
 КСВ: 4.2 (75.0 Ом),

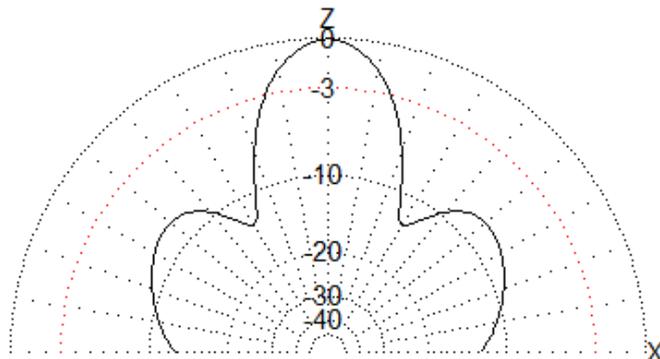
Рис. 2: Характеристики 2-х элементной системы с линейными вибраторами



G_a : 9.05 dBi = 0 dB (H поляризация)
 G_h : 6.9 dBd
 F/B: -15.07 dB; Тыл: Азим. 120 гр, Элевация 60 гр
 F: 750.000 МГц
 Z : 218.713 + j105.870 Ом
 КСВ: 3.7 (75.0 Ом),

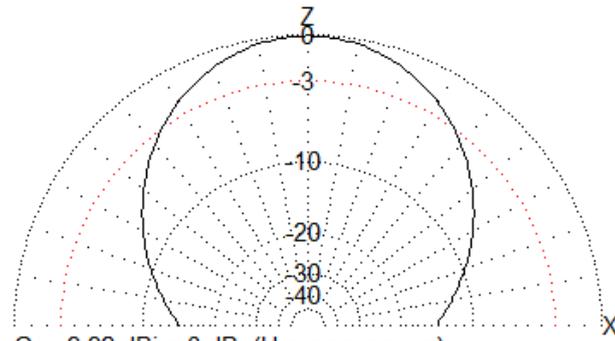


G_a : 13.13 dBi = 0 dB (H поляризация)
 G_h : 10.98 dBd
 F/B: -8.70 dB; Тыл: Азим. 120 гр, Элевация 60 гр
 F: 1800.000 МГц
 Z : 83.735 + j71.013 Ом
 КСВ: 2.4 (75.0 Ом).

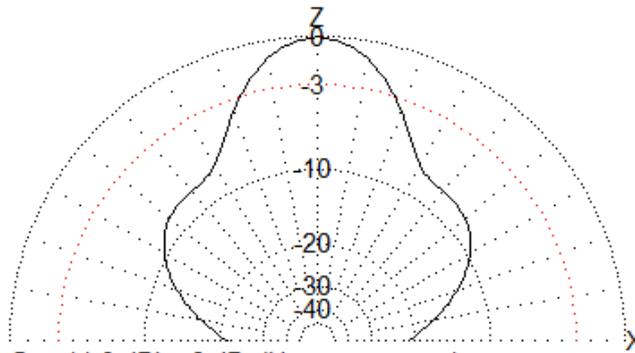


G_a : 11.46 dBi = 0 dB (H поляризация)
 G_h : 9.31 dBd
 F/B: -5.23 dB; Тыл: Азим. 120 гр, Элевация 60 гр
 F: 2100.000 МГц
 Z : 96.276 - j19.824 Ом
 КСВ: 1.4 (75.0 Ом),

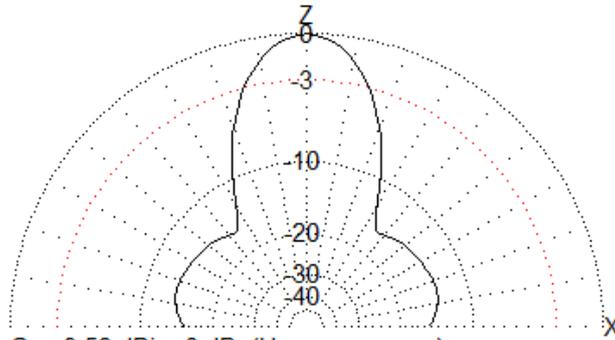
Рис. 3: Характеристики 2-х элементной системы
 с V-образными вибраторами



G_a : 8.82 dBi = 0 dB (H поляризация)
 G_h : 6.67 dBd
 F/B: -12.25 dB; Тыл: Азим. 120 гр, Элевация 60 гр
 F : 750.000 МГц
 Z : 263.748 + j50.955 Ом
 КСВ: 3.7 (75.0 Ом),



G_a : 11.3 dBi = 0 dB (H поляризация)
 G_h : 9.15 dBd
 F/B: -14.36 dB; Тыл: Азим. 120 гр, Элевация 60 гр
 F : 1800.000 МГц
 Z : 65.739 - j21.987 Ом
 КСВ: 1.4 (75.0 Ом),



G_a : 9.58 dBi = 0 dB (H поляризация)
 G_h : 7.43 dBd
 F/B: -2.57 dB; Тыл: Азим. 120 гр, Элевация 60 гр
 F : 2100.000 МГц
 Z : 28.618 + j47.560 Ом
 КСВ: 3.8 (75.0 Ом),

Рис. 4: Характеристики 2-х элементной системы
 с фрактальными вибраторами

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующее заключение. В ходе моделирования рассматривался достаточно широкий диапазон, с коэффициентом перекрытия равном 2,8. Следует отметить, что в номинальном значении, антенные системы охватывают диапазон работы сетей мобильной связи и широкополосного доступа.

Так, в нижней части (750 МГц) ДН у всех антенных систем примерно одинаковы. Но у 2-х элементной системы с линейными вибраторами величина коэффициента стоячей волны (КСВ) составляет 2,9, при значении комплексного сопротивления $z_1 = 74.3 + j82.4$. В то время как у 2-х элементной системы с V-образными вибраторами КСВ равно 3,7, но комплексное сопротивление $z_2 = 218.7 + j105.9$. А у 2-х элементной системы с фрактальными вибраторами, соответственно КСВ = 3,7, $z_3 = 263.7 + j50.9$.

Так, в средней части (1800 МГц) ДН у 2-х элементной системы с линейными вибраторами разваливается на три лепестка. Причем затухание у крайних лепестков на 15 дБ выше, относительно центрального. У 2-х элементной системы с V-образными вибраторами при таком же уровне

затухания, крайние лепестки ДН более локализованы. При том, что у 2-х элементной системы с фрактальными вибраторами уровень по крайним лепесткам составляет всего минус 8 дБ, относительно центрального. А ДН не имеет провалов. Следует отметить, что фрактальная система имеет самый низкий КСВ = 1,4. У 2-х элементной системы с V-образными вибраторами в 1,7 раза выше, а 2-х элементной системы с линейными вибраторами – в 3 раза.

В верхней части (2100 МГц), наиболее цельная ДН у 2-х элементной системы с V-образными вибраторами, ее КСВ = 1,4. У фрактальной системы КСВ в 2,7 раза выше, а у 2-х элементной системы с линейными вибраторами в 3 раза.

Для повышения надежности результатов, дополнительно были проведены расчеты с использованием компьютерной программы CST MicrowaveStudio. Согласно проведенным расчетам, характеристики ДН по двум компьютерным программам дают примерно одинаковые результаты. В качестве примера, на рис. 5 приведены характеристики излучения той же 2-х элементной антенной системы с фрактальными вибраторами, что и на рис. 4.

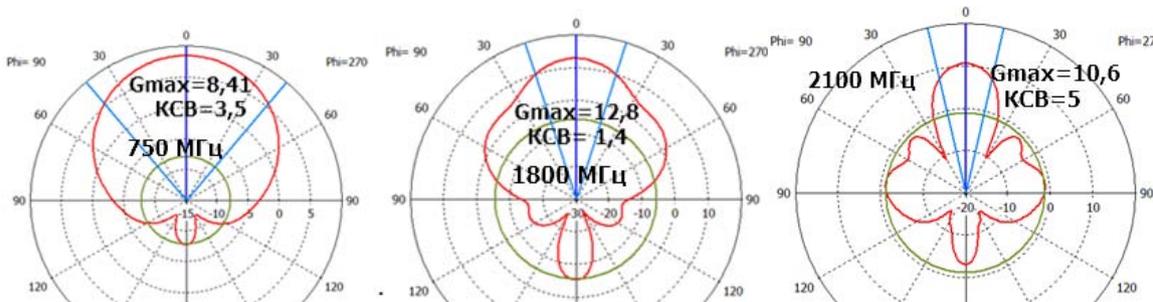


Рис. 5: Характеристики 2-х элементной системы с фрактальными вибраторами

В целом, все рассмотренные системы не являются оптимальными при работе в таком широком диапазоне частот. Но требования работоспособности сохраняют.

IV. Заключение

В заключении следует подчеркнуть, что коэффициент усиления всех рассмотренных антенных систем лежит в пределах 9...13 дБ. По условию согласования с фидером 75 Ом в диапазоне частот от 750 МГц до 2100 МГц лучшим вариантом является антенная система с V-образными вибраторами. Это объясняется тем, что в V-образном вибраторе, как и в биконическом, происходит трансформация волнового сопротивления, в результате чего наблюдается компенсация отраженной волны. Во фрактальной системе при увеличении частоты также наблюдается эффект четвертьволнового трансформатора, что приводит к улучшению условия согласования.

Таким образом, можно заключить, что применение фрактальных вибраторов в

низкопрофильных антенных системах требует дополнительного согласования с линиями питания элементов системы.

Очевидно, что использование фрактальных излучателей в низкочастотных диапазонах усложняет конструкцию антенн и снижает их надёжность, поэтому даже с учётом достижения незначительного положительного эффекта применение таких антенн требует дополнительного обоснования.

Дальнейшие исследования авторы связывают с анализом широкодиапазонных антенн, построенных на основе фрактального синтеза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Mandelbrot B. V. Lex objets fractals: Forme, Hasant el Dimension (Paris: Flammarion, 1975).
2. Дворников С.В., Сауков А.М. Метод распознавания радиосигналов на основе вейвлет-пакетов. Научное приборостроение. 2004. Т. 14. № 1. С. 85-93.

3. **Короленко П.В., Мишин А.Ю.** Физические аспекты феномена красоты фракталов. Международный научно-исследовательский журнал. 2019. № 1-1 (79). С. 7-11.
4. **Саяпин В.Н., Дворников С.В., Симонов А.Н., Волков Р.В.** Метод пространственно-временной фильтрации радиосигналов на основе антенных решеток произвольной пространственной конфигурации. Информация и космос. 2006. № 3. С. 83-89.
5. **Нудьга А. А., Савочкин А. А.** Разработка фрактальной антенны круговой поляризации. СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии. 2020. № 1-1. С. 235-236.
6. **Ландышев Ф.А.** Анализ подходов к разработке фрактальных антенн для решения задач беспроводной связи. Инженерные кадры - будущее инновационной экономики России. 2020. № 3. С. 75-78.
7. **Айкашев П.В.** Методы фрактальной геометрии в теории антенн. Modern Science. 2020. № 10-1. С. 362-369.
8. **Бойков И.В., Айкашев П.В.** К вопросу об анализе и синтезе фрактальных антенн. Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2018. – № 1 (45). С. 92–110.
9. **Крупенин С.В.** Моделирование фрактальных антенн. Радиотехника и электроника. 2006. Т. 51. № 5. С. 561-568.
10. **Dvornikov S.V., Dvornikov S.S., Kriachko A.F.** Digital synthesis of signals with a low level of manifestation of edge effects. В сборнике: 2020 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems, WECONF 2020. 2020. С. 9131500.
11. **Власенко В.И., Дворников С.В.** Двухполяризационная антенна для базовой станции подвижной радиосвязи. Телекоммуникации. 2021. № 5. С. 8-16.
12. **Евтихийев (ст.) Н.Н., Засовин Э.А., Кравченко В.Ф., Соколов А.В.** Моделирование фрактальных антенн. Радиотехника. 2007. № 9. С. 14-18.
13. **Виноградов, А. Ю., Кабетов Р.В., Сомов А.М.** Устройства СВЧ и малогабаритные антенны : Учеб.пособие для вузов под ред. А. М. Сомова. – М. : Горячая линия – Телеком, 2012. 440 С.
14. **Гончаренко И.В.** Антенны КВ и УКВ (Компьютерное моделирование) М. ИП Радио Софт, 2004. 124 С.
15. **Ефремова, А. О.** Применение фрактальных антенн для беспроводных широкополосных сетей четвертого поколения / А. О. Ефремова, О. А. Белоусов, С. Н. Калашников, О. А. Казарян // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2014. – № 3 (53). С. 56–61.
16. **Кравченко В.Ф., Масюк В.М.** Современные методы аппроксимации в теории антенн. Кн. 3. Новый класс фрактальных функций в задачах анализа и синтеза антенн. Радиотехника, М., 2002. 75 С.
17. **Дворников С.В., Власенко В.И.** Энергетический расчет радиолиний военного назначения: Учеб.пособие. – СПб.: ВАС, 2020. 180 С.