

**МОДЕЛИРОВАНИЕ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНОЙ АНТЕННЫ
С РЕКУРСИВНЫМ ТОПОЛОГИЧЕСКИМ РИСУНКОМ**

Драч Владимир Евгеньевич

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Проектирование и технология производства электронных приборов» Калужского филиала ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)».

E-mail: drach@bmstu-kaluga.ru

Мишенев Роман Александрович

магистрант кафедры «Проектирование и технология производства электронных приборов» Калужского филиала ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)».

E-mail: mishenev.r@yandex.ru

Адрес: 248000, Российская Федерация, г. Калуга, ул. Баженова, д. 2.

Аннотация: В настоящее время разрабатывается широкий спектр многофункциональных телекоммуникационных устройств беспроводной связи, имеющих малые массогабаритные характеристики, т.к. это портативные устройства. Одним из важнейших элементов таких устройств является антенна. К антенне предъявляется целый ряд противоречивых требований: широкая полоса частот, компактные размеры, простая технология изготовления, низкая цена, способность работать в нескольких частотных диапазонах и т.п. Одним из перспективных видов сверхширокополосных антенн с высоким коэффициентом усиления являются фрактальные антенны с рекурсивным топологическим рисунком. Цели работы: показать преимущества фрактальной структуры с рекурсивным топологическим рисунком при проектировании сверхширокополосных антенн; промоделировать сверхширокополосную антенну для заданного частотного диапазона. С применением компьютерного моделирования разработана модель фрактальной сверхширокополосной антенны с копланарным волноводом. Получены коэффициент отражения в диапазоне частот 2-20 ГГц и диаграммы направленности в дальней зоне. Предложены различные конфигурации сверхширокополосной антенны с рекурсивным топологическим рисунком и показана возможность ее применения. Промоделированы основные характеристики. Рассмотрены конструктивы с разным количеством шагов итерации.

Ключевые слова: антенна, сверхширокополосный, HFSS, моделирование.

Введение

Развитие систем аэрокосмической гражданской связи, дальней космической связи [1], мобильных сетей пятого поколения (5G) и рост популярности носимых электронных устройств обуславливают интерес к поиску новых конструкций приёмных и передающих антенн. Создаётся огромное количество многофункциональных телекоммуникационных устройств беспроводной связи, имеющих малые массогабаритные характеристики. Такие устройства широко применяются в радарх подповерхностного зондирования, радарх наблюдения сквозь стены, автомобильных радарх, медицинских системах визуализации и системах связи. Наиболее перспективными

являются устройства, совместимые с Bluetooth, Wi-Fi, GSM-стандартами, работающими в беспроводных локальных сетях, а также системах спутниковой и наземной радиосвязи, телевидении (С-, X-, Ku-диапазоны).

Основные научные исследования в области создания сверхширокополосных устройств сосредотачиваются на разработке новых геометрических форм и поиске новых материалов диэлектрической подложки. В качестве диэлектрической подложки в микрополосковых устройствах (антеннах в частности) используется множество различных материалов, как керамических на основе бинарного соединения алюминия с кислородом [2], так и на основе органических соединений. Диапазон зна-

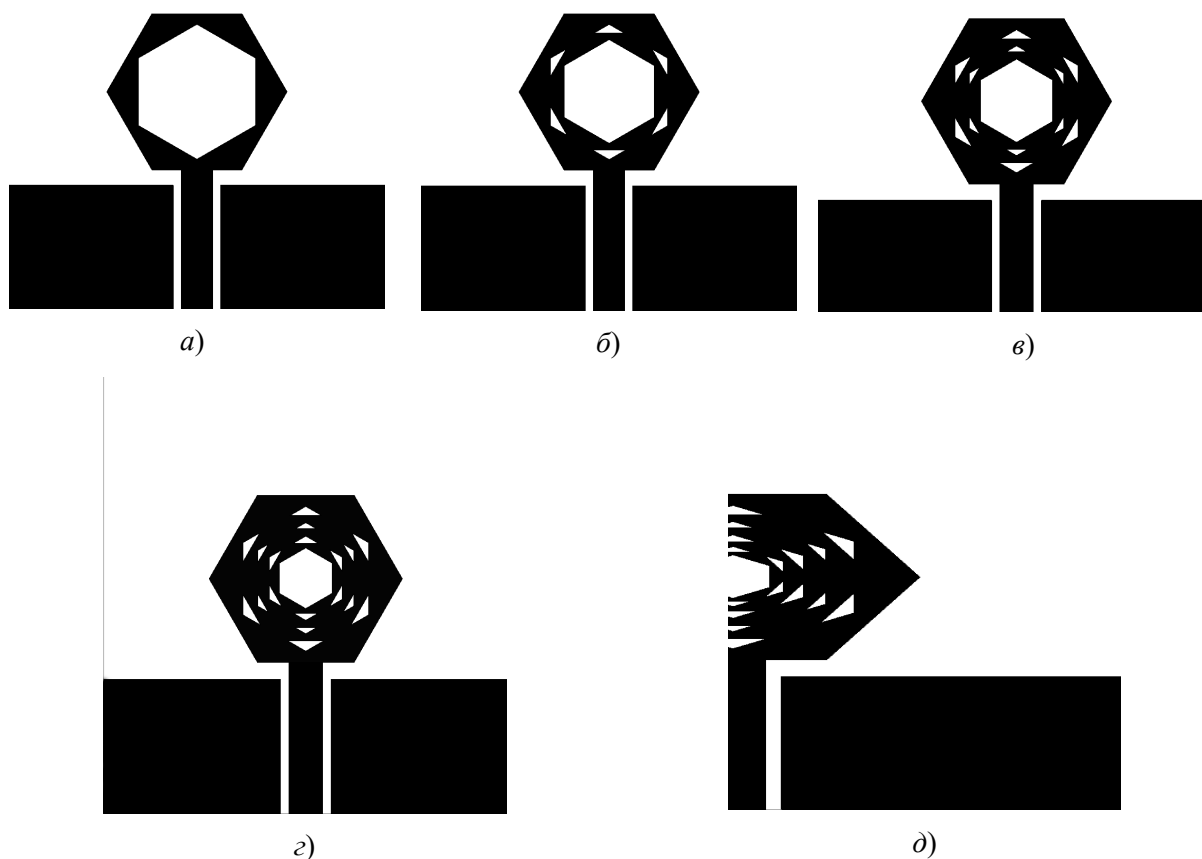


Рис. 1. Предлагаемый топологический рисунок антенного устройства (*a* — первая итерация, *б* — вторая итерация, *в* — третья итерация, *г* — четвёртая итерация, *д* — пятая итерация)

чений диэлектрической проницаемости лежит в очень широких пределах, но наиболее часто применяются материалы с диэлектрической проницаемостью 2–20 [3].

Раньше, ввиду высокой рентабельности конструкции, микрополосковые антенны использовались совместно с земляным полигоном, действующим как отражатель [4-5]. Такие антенны использовали канонические формы излучающего элемента: треугольные, прямоугольные, круглые и т.д.

В современных беспроводных системах все чаще применяются антенны с излучающим элементом, выполненным в виде сложной иррегулярной структуры, которые не описываются правилами евклидовой геометрии. Ключевыми преимуществами так называемых

фрактальных антенн являются их улучшенные широкополосные характеристики и пассивность к частотам нерабочего диапазона [6].

Моделирование сверхширокополосной антенны

Фрактальная антенна с шестиугольным излучающим элементом уже рассмотрена в [7]. В данной статье рассматривается подобный конструктив с дополнительной пятой итерацией и возможностью использования такого решения на частотах выше 5 ГГц.

Предлагаемый топологический рисунок излучающего элемента (ИЭ) представлен на рис. 1, на котором показаны шаги итерации при последовательном приближении к результирующей геометрии. Как видно из рис. 1, ан-

тенна представляет собой структуру, образованную из шестиугольников.

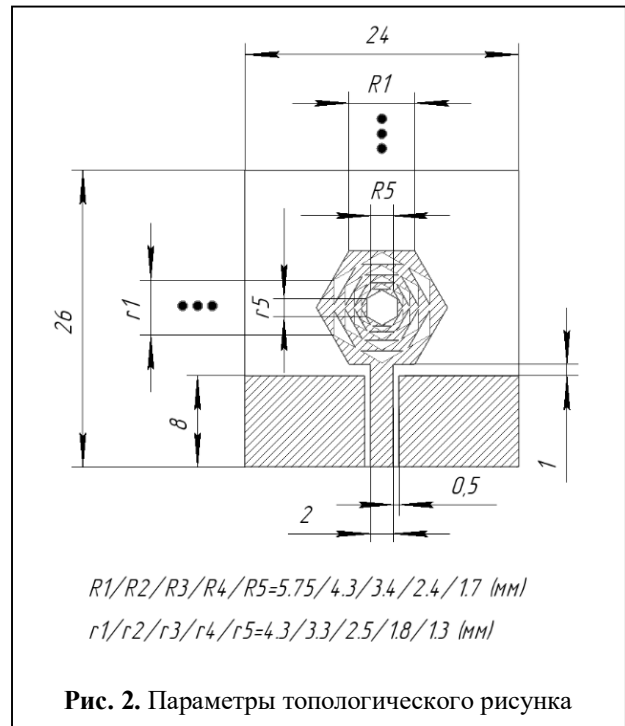
Вместе с излучающим элементом, на рис. 1 показаны поверхности нулевого потенциала (плоскости «земли» или ПЗ), расположенные симметрично относительно копланарного волновода.

Моделирование антенного устройства и численные эксперименты произведены с помощью САПР ANSYS Electronics Desktop с интегрированным модулем анализа сложных элементов ВЧ/СВЧ-схем HFSS. Излучающий элемент, центральный проводник (ЦП) и плоскость земли размещены на лицевой стороне диэлектрической подложки толщиной 1,6 мм с габаритными размерами 24×26 мм. При этом расстояние «ПЗ — ЦП» и «ПЗ — ИЭ» приняты равными 0,5 и 1 мм соответственно. В качестве материала подложки выбран стеклотекстолит FR4 со значением диэлектрической проницаемости 4,4. Значения остальных параметров, используемых в процессе моделирования, представлены на рис. 2.

Ширина центрального проводника рассчитана исходя из величины волнового сопротивления $Z = 50$ Ом. Известно, что антенны с очень широкой полосой и копланарным волноводом имеют хорошую диаграмму направленности, пригодную для широкополосной передачи [8].

Излучающий элемент возбуждается при помощи копланарного волновода, состоящего из центрального проводника, плоскости земли и расположенного перпендикулярно ему копланарного волноводного порта, как показано на рис. 3.

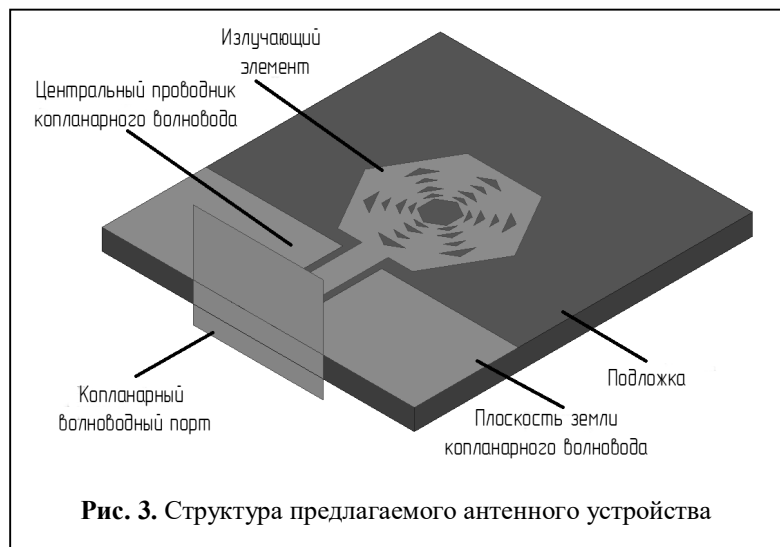
Рис. 4 иллюстрирует динамику изменения коэффициента отражения от входа. Введение пятой итерации приводит к возникновению четырёх резонансных частот: 6,2 ГГц; 10,1 ГГц; 13,1 ГГц; 16,5 ГГц. Соответствующие этим значениями полосы пропускания:

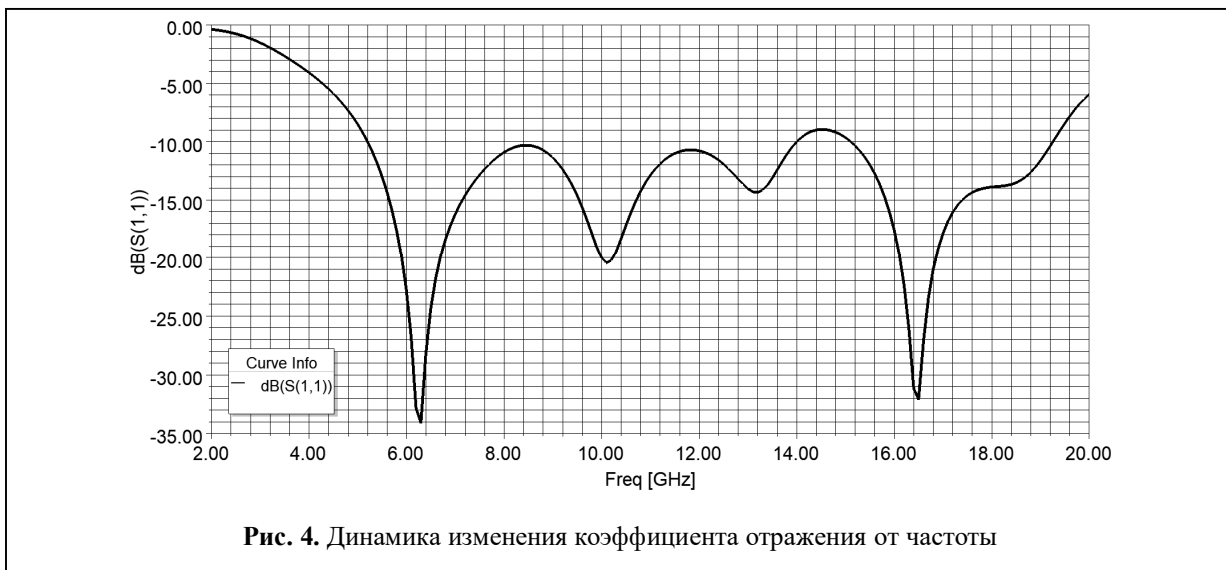


2,9 ГГц; 2,8 ГГц; 1,8 ГГц; 4,2 ГГц измерены относительно эталонной линии -10 дБ. Значения коэффициента отражения для резонансных частот: -33,09 дБ; -20,1 дБ; -14,7 дБ; -32,4 дБ.

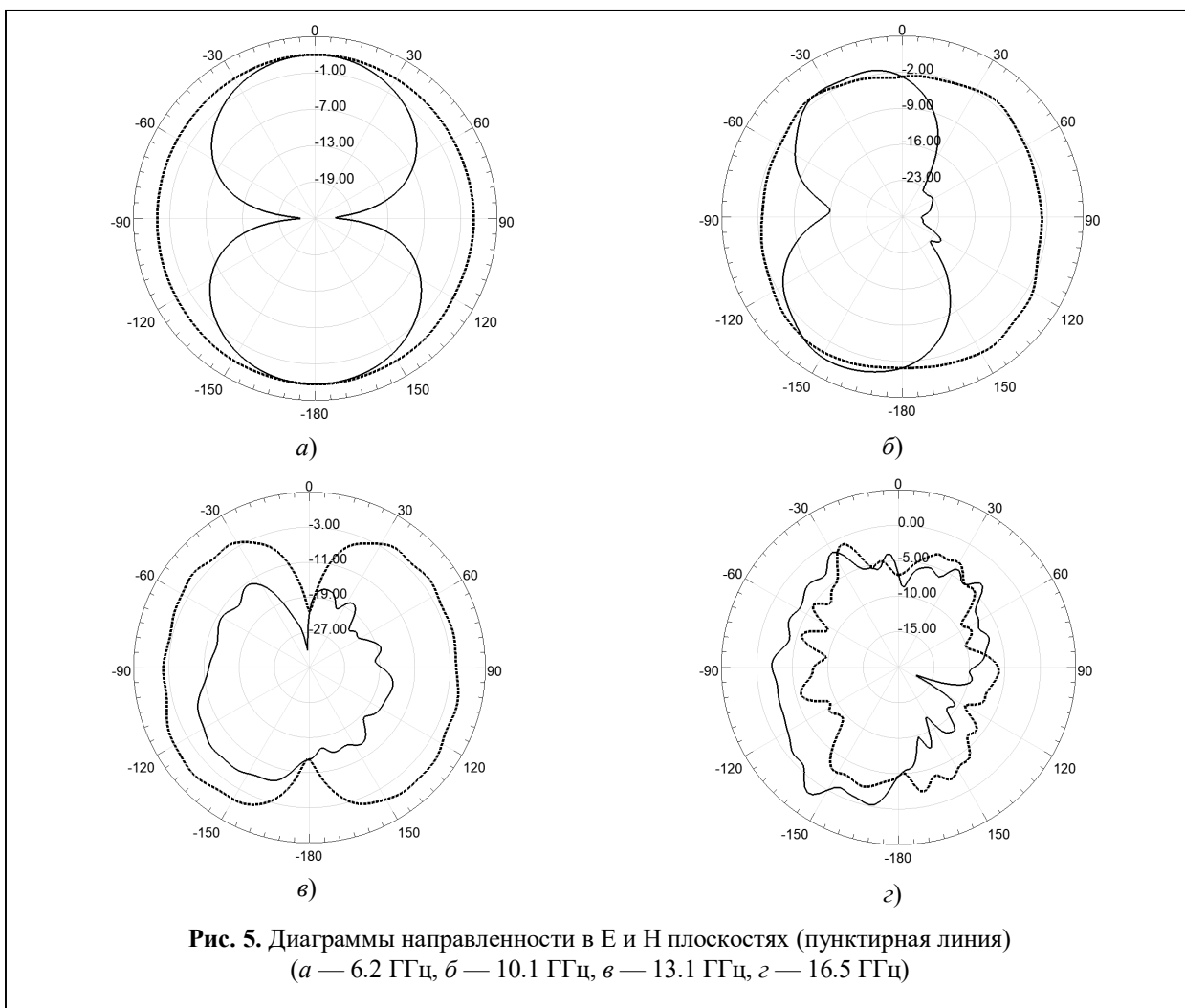
Диаграммы направленности в дальней зоне для четырёх резонансных частот в плоскостях E и H представлены на рис. 6.

Можно заметить, что для всех резонансных частот излучение в H-плоскости почти всенаправленно. На частотах 6,2 ГГц и 10,1 ГГц наблюдается стабильная диаграмма направленности в E-плоскости.





Стабильность диаграммы направленности в системах наземной и спутниковой радиосвязи на частотах выше 5 ГГц. позволяет рекомендовать к применению предложенный вариант для работы



Выводы

В статье рассмотрена сверхширокополосная антенна с рекурсивной топологией на базе шестиугольника, описана область применения и построена компьютерная модель, учитывающая пять шагов итераций. Основные параметры антенны были получены с использованием САПР ANSYS Electronics Desktop.

Простота исполнения и стабильность диаграммы направленности позволяют рекомендовать применение антенны в С, Х и Ku-диапазонах.

Несомненными преимуществами данной антенны являются компактность, простота изготовления, низкая себестоимость, гибкость применения в сверхширокополосных прикладных задачах. Результаты моделирования показали, что рассматриваемая антенна обладает хорошей направленностью и коэффициентом усиления по сравнению с обычной патч-антенной.

В качестве дальнейшего развития работы планируется исследование влияния различных диэлектрических материалов, в том числе подложек фирмы Rogers на электрофизические свойства антенны, а также анализ диссипативных потерь в излучающем элементе

Литература

1. Антипенко О.В., Дубинина М.С., Ловецкий Г.И., Рыжов С.В., Сиркели А.И. Техника и технология космической связи: методология исследо-

ваний // Электронный журнал: наука, техника и образование. 2017. № СБ2 (13). С. 225-230. URL: <http://nto-journal.ru/uploads/articles/1985605f7b45f0a41d8320dd8a9f003a.pdf> (дата обращения 10.11.2021)

2. Симин А., Холодняк Д. Многослойные интегральные схемы сверхвысоких частот СВЧ на основе керамики с низкой температурой обжига [Электронный ресурс] // Компоненты и Технологии. 2005. №49. URL: <https://kit-e.ru/svch/integralnyeshemy-sverhvysokih-chastot-svch/> (дата обращения: 10.11.2021).

3. Абдрахманова Г.И., Багманов В.Х. Сверхширокополосная антенна на основе фрактальных структур // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2013. Т.3 №3. С. 52–59.

4. Romeu J., Soler J. Generalized Sierpinski fractal multiband antenna // IEEE Transactions on Antennas and Propagation. 2001. V.49. No. 8. Pp. 1237–1239.

5. Krzysztofik W.J. Take advantage of fractal geometry in the antenna technology of Modern Communications // 11th International Conference on Telecommunications in Modern Satellite, Cable and Broadcasting Services (TELSIKS). 2013. Pp. 419–428.

6. Потанов А.А., Матвеев Е.Н. Фрактальная электродинамика, скейлинг фрактальных антенн на основе кольцевых структур и мультимасштабные частотно-избирательные 3D-среды или фрактальные "сэндвичи": переход к фрактальным наноструктурам. Радиотехника и электроника. 2010. Т. 55. № 10. С. 1157–1177.

7. Yogaprasad K., Anitha V.R. CPW Fed Hexa-to-Hexa Fractal Antenna for Multiband Applications // Microelectronics, Electromagnetics and Telecommunications. Springer Singapore: Lecture Notes in Electrical Engineering. Vol. 655. Pp. 277–283.

8. Хабаров А. Компактная антенна Wi-MAX/WLAN // Электронные компоненты. 2014. №8. С. 22–24.

Поступила 11 октября 2021 г.

English

SIMULATION OF ULTRABROADBAND ANTENNA WITH RECURSIVE TOPOLOGY-BASED DESIGN

Vladimir Evgenyevich Drach — PhD, Associate Professor, Kaluga Affiliated Branch of "Bauman Moscow State Technical University (National Research University of technology)".

E-mail: drach@bmstu-kaluga.ru

Roman Aleksandrovich Mishenev — Graduate Student, Kaluga Affiliated Branch of "Bauman Moscow State Technical University (National Research University of technology)".

E-mail: mishenev.r@yandex.ru

Address: 248000, Russian Federation, Kaluga, Bazhenov str., 2.

Abstract: The development of aerospace civil communication systems, deep-space communication, 5G (the fifth generation) mobile networks, popularity rise of wearable electronic devices contribute to increasing demand level for inexpensive broadband printed antennas that can operate in a few frequency bands. One of

the advanced types of ultrabroadband high-gain antennas are fractal antennas with recursive topology-based design, which are not described as per Euclidean geometry principles. Key benefits of so-called fractal antennas are their improved broadband response and passivity to frequencies of non-operational range. The paper proposes various configurations of ultrabroadband antenna and possibility of its application. Key features are simulated and dynamic pattern of frequency-dependent reflection factor is analyzed. Constructs with different numbers of iteration step are proposed. Antenna basic parameters were calculated using ANSYS Electronics Desktop CAD. Implementation simplicity and antenna diagram stability enable to regard its operational use in C, X and Ku bands.

Keywords: antenna, ultrabroadband, HFSS, simulation.

1. *Antipenko O.V., Dubinina M.S., Lovetsky G.I., Ryzhov S.V., Sirkeli A.I.* Technology and technology of space communication: research methodology // Electronic journal: Science, Technology and education. 2017. No. SV2 (13). Pp. 225–230. URL: <http://nto-journal.ru/uploads/articles/1985605f7b45f0a41d8320dd8a9f003a.pdf> (access date 15.04.2021)

2. *Simin A., Kholodnyak D.* Multilayer integrated circuits of ultrahigh microwave frequencies based on ceramics with a low firing temperature [Electronic source]. Components and Technologies. 2005. No.49. URL: <https://kit-e.ru/svch/integralnye-shemy-sverhvysokih-chastot-svch> (access date 04.15.2021).

3. *Abdrakhmanova G.I., Bagmanov V.H.* Ultra-broadband antenna based on fractal structures. Elektrotehnicheskie i informacionnye komplekсы i sistemy. 2013. Vol. 3. No. 3. Pp. 52–59.

4. *Romeu J., Soler J.* Generalized Sierpinski fractal multiband antenna. IEEE Transactions on Antennas and Propagation. 2001. Vol. 49. No. 8. Pp. 1237–1239.

5. *Krzysztofik W.J.* Take advantage of fractal geometry in the antenna technology of Modern Communications. 11th International Conference on Telecommunications in Modern Satellite, Cable and Broadcasting Services (TEL-SIKS). 2013. Pp. 419–428.

6. *Potapov A.A., Matveev E.N.* Fractal electrodynamics, scaling of fractal antennas based on ring structures and multiscale frequency-selective 3D media or fractal "sandwiches": transition to fractal nano-structures. Radiotekhnika i elektronika. 2010. Vol. 55. No. 10. Pp. 1157–1177.

7. *Yogaprasad K., Anitha V.R.* CPW Fed Hexa-to-Hexa Fractal Antenna for Multiband Applications. Microelectronics, Electromagnetics and Telecommunications. Springer Singapore: Lecture Notes in Electrical Engineering. Vol. 655. Pp. 277–283.

8. *Khobarov A.* Compact WI-MAX/WLAN antenna. Elektronnyye komponenty. 2014. №8. Pp. 22–24.