

Темирбаев А.А.,  
Иманбаева А.К., Карибаев Б.А.,  
Намазбаев Т.А., Капурнова С.Т.,  
Тлеубаева И.С.

### **Исследование планарных фрактальных антенн**

В работе рассмотрены вопросы разработки и моделирования широкополосной фрактальной антенны, предназначенной для работы в системах беспроводной связи и исследование их электродинамических характеристик программном пакете Ansoft HFSS. Нами были изучены планарные фрактальные антенны, построенные на основе трех видов фракталов: анизотропного фрактала Жанабаева, треугольника и ковра Серпинского. Полученные результаты показали, что фрактальные антенны в планарном исполнении являются конкурентноспособными и их можно применять в системах беспроводной связи. Результаты компьютерного моделирования анизотропной антенны демонстрируют, что при правильном подборе размеров и типа подложки данная антенна имеет свойства широкополосности и может быть использована в беспроводных технологиях Wi-Fi, GPS.

**Ключевые слова:** фрактальная антенна, беспроводная связь, анизотропная антенна, фрактал Серпинского, Ansoft HFSS, компьютерное моделирование.

---

Temirbayev A.A.,  
Imanbayeva A.K., Karibayev B.A.,  
Namazbayev T.A., Kapurnova S.T.,  
Tleubayeva I.S.

### **Investigation of planar fractal antennas**

The paper considers a development and modelling of wide-band fractal antenna intended for use in wireless communication systems and investigation of their electrodynamic characteristics in Ansoft HFSS software package. Planar antennas constructed on the basis of three types of fractals were investigated in this work: anisotropic fractal of Zhanabaev, Sierpinski's triangle and Sierpinski's carpet. Received results show that fractal antennas in planar execution proved to be competitive for application in systems of a wireless communication. Modelling results of anisotropic antenna presents that with proper selection of the size and the type of substrate this antenna shows properties of wide-bandness and can be used in wireless Wi-Fi, GPS technology.

**Key words:** fractal antenna, wireless communication, anisotropic antenna, Sierpinski's fractal, Ansoft HFSS, computer modelling.

---

Темирбаев Ә.Ә.,  
Иманбаева А.К., Карибаев Б.А.,  
Намазбаев Т.А., Капурнова С.Т.,  
Тлеубаева И.С.

### **Планарлық фракталдық антенналарды зерттеу**

Жұмыста сымсыз байланыс жүйелерінде қолдануға арналған кең жолақты фракталдық антенналарды құру мен моделдеу және Ansoft HFSS программалық пакетінде олардың электродинамикалық сипаттамаларын зерттеу мәселелері қарастырылады. Берілген жұмыста фракталдардың үш түрі негізінде құрылған планарлық антенналар зерттелді: Жанабаевтың анизотропты фракталы, Серпинский үшбұрышы және Серпинский кілемі. Алынған нәтижелер бойынша планарлық түрде жасалған фракталдық антенналар сымсыз байланыс жүйелерінде қолданылу үшін бәсекеге қабілетті екендіктерін көрсетті. Анизотропты антеннаны моделдеу нәтижелері өлшемдері мен түптөсем типін дұрыс таңдау кезінде берілген антенна кең жолақтық қасиеттер байқататындығын және Wi-Fi, GPS сымсыз технологияларында қолданыла алатындығын көрсетті.

**Түйін сөздер:** фракталдық антенна, сымсыз байланыс, анизотропты антенна, Серпинский фракталы, Ansoft HFSS, компьютерлік моделдеу.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛАНАРНЫХ ФРАКТАЛЬНЫХ АНТЕНН**

### **Введение**

На сегодняшний день к основным проблемам беспроводной связи можно отнести передачу видеоданных, определение местоположения абонента, загрузку множества мобильных приложений, связанного с обслуживанием большого числа пользователей и др. Сейчас эти проблемы решаются в условиях ограничений на такие основные ресурсы, как спектр и мощность [1-3]. Поэтому всё чаще возникает потребность в организации системы связи в нескольких диапазонах частот. Расширение полосы частот обусловлено современными тенденциями в развитии радиотехники, телекоммуникации, радиолокации с целью повышения уровня помехозащищенности, скорости передачи информации и ёмкости радиосистем.

Практические данные из литературных источников показали, что использование фрактальной геометрии при проектировании антенных устройств позволяет создавать антенны, которые эффективно работают одновременно в нескольких диапазонах частот [2-4]. При этом в антенных решениях используются не подлинные фракталы, а лишь несколько первых их итерационных форм. В отличие от традиционных антенн, в основе теории синтеза фрактальных антенн лежит идея реализации характеристик излучения структур, повторяющихся на разных масштабах. Самоподобие фрактальных форм приводит к самоподобию излучающих характеристик. Свойство заполнения пространства увеличивает электрическую длину антенны и приводит к уменьшению размеров антенны. Однако, в настоящее время, теория фрактальных антенн развита не до конца, и в связи с этим возникает много трудностей при их разработке.

Для эффективной работы традиционных антенн размер антенны не должен быть меньше половины рабочей длины волны (в некоторых источниках, четверти рабочей длины волны). В противном случае, такая антенна становится неэффективной и ухудшаются их излучающие характеристики. Одним из решений для преодоления этих ограничений является использование фрактальных антенн [4-7]. Целью данной работы является исследование электродинамических свойств планарных

фрактальных антенн, построенных на основе трех видов фракталов: анизотропного фрактала Жанабаева, треугольника Серпинского и ковра Серпинского. Моделирование антенн проводилось в программном пакете Ansoft HFSS.

### Конструирование планарных антенн

Необходимость исследования свойств планарных фрактальных антенн объясняется двумя важными факторами. Во-первых, такие антенны малогабаритные и невыступающие. Во-вторых, планарные антенны обладают высокой защищенностью из-за отсутствия выступающих элементов.

Сначала нами была рассмотрена антенна на основе анизотропного фрактала. Данный вид фрактала был впервые предложен З.Ж. Жанабаевым в работе [8]. Здесь структуры появляются только в одном направлении, при этом боковые отрезки не меняют форму и длину. Здесь самоподобие наблюдается с участием

пяти отрезков, то есть  $N(\delta) = 5$ , а масштабный коэффициент равен  $\delta = 3$ . Таким образом, размерность данного фрактала равна 1,465. Для конструирования планарной антенны на основе анизотропного фрактала была использована подложка Rogers RO3006 (tm) с диэлектрической проницаемостью равной 6,15 и толщиной подложки – 2,3 мм. Ниже на рисунке 1 показан порядок построения симметричного анизотропного фрактала до второй итерации.

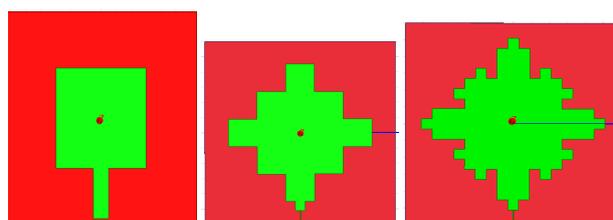


Рисунок 1 – Порядок построения анизотропного фрактала

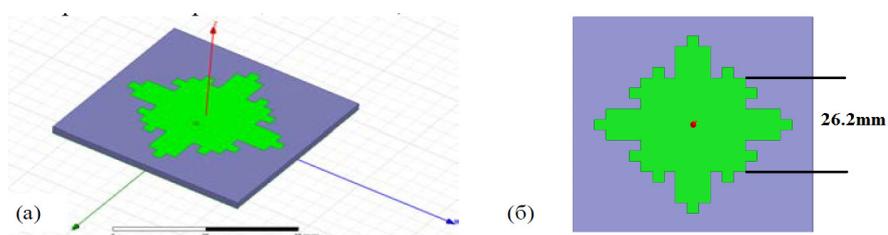


Рисунок 2 – Антенна на основе анизотропного фрактала для работы в частотном диапазоне GPS-устройств

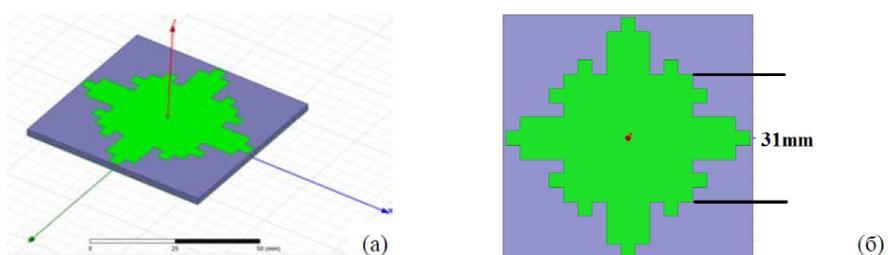


Рисунок 3 – Антенна на основе анизотропного фрактала для работы в частотном диапазоне Wi-Fi устройств

На рисунках 2 и 3 показаны внешние виды планарных антенн, сконструированных на основе второй итерации анизотропного фрактала. Данные фрактальные антенны были образованы из квадратного основания размерами 26,2x26,2 мм (используется для работы в

частотном диапазоне GPS-устройств) и 31x31 мм (для Wi-Fi), соответственно.

Следующая планарная фрактальная антенна была построена на основе одного из классических фракталов – треугольника Серпинского. Размерность данного фрактала равна 1,58.

Длина стороны равностороннего треугольника составляет 63 мм. Масштабный коэффициент равен 2, что соответствует уменьшению размера треугольника каждой итерации в два раза. При моделировании данной антенны была использована подложка Duroid (tm) с диэлектрической проницаемостью 2,2 и тангенсом угла диэлектрических потерь 0,0009, толщиной 3 мм. В качестве линии питания антенны выступает микрополосковая линия.

На рисунке 4 представлен порядок построения планарной фрактальной антенны на основе треугольника Серпинского.

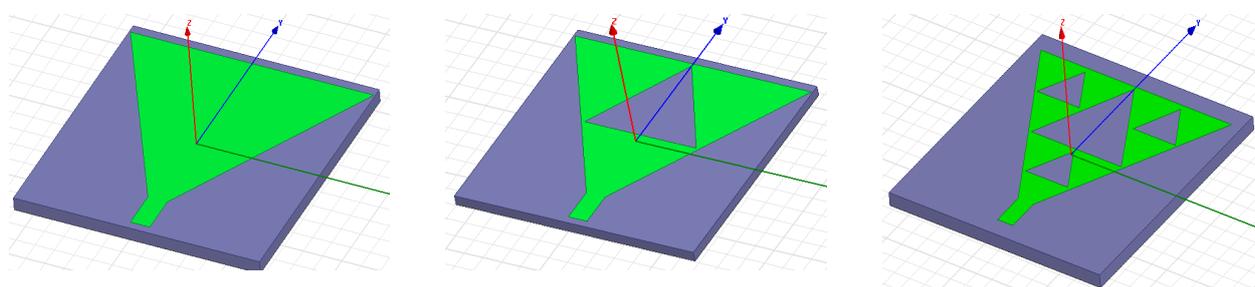


Рисунок 4 – Порядок построения фрактальной антенны на основе треугольника Серпинского

### Результаты исследования

Одними из основных параметров, определяющих работоспособность антенны на определенной частоте, являются S-параметры или коэффициенты отражения и коэффициент стоячей волны по напряжению (VSWR). Фрактальная антенна считается эффективной, при условии, если  $S_{11} < -10$  dB и KСВН  $< 2$ . Ниже будут

показаны результаты моделирования антенн в диапазоне частот от 1 ГГц до 10 ГГц.

На рисунке 6 показан S-параметр антенны, соответствующий второй итерации анизотропного фрактала. Как видно из рисунка, антенна имеет одну резонансную частоту на частоте 1,57 ГГц, коэффициент отражения на этой частоте равен -17,8 дБ, то есть данная антенна работает в частотном диапазоне GPS-устройств.

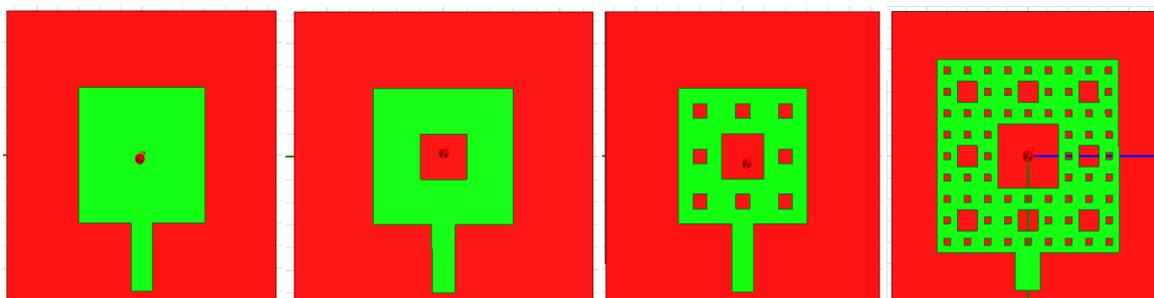


Рисунок 5 – Три итерации ковра Серпинского

На рисунке 7 показаны двумерная и трехмерная диаграммы направленности антенны на основе фрактала Жанабаева. Из диаграмм

направленностей видно, что она круговая. Из вертикальной (угломестной) диаграммы направленности видно, что главный лепесток

и задние лепестки расположены симметрично. Горизонтальная (азимутальная) диаграмма направленности также имеет круглую форму.

На рисунке 8 приведен соответствующий S-параметр (коэффициент отражения) для антенны с размерами 31x31 мм. Как видно из этого графика, резонансная частота антенны соответствует частоте 2,4 ГГц. Данная частота является нелицензируемой и основной для работы многих беспроводных систем связи. На рисунке 9 показан график КСВН анизотропной антенны. Значение КСВН на частоте 2,43 ГГц равен 1,05,

что означает хороший уровень согласования антенны с линией передачи.

На рисунке 10 показаны двумерная и трехмерная диаграммы направленности антенны размером 31x31 мм. Из диаграмм направленностей видно, что она почти круговая.

Из вертикальной (угломестной) диаграммы направленности видно, что главный лепесток и задние лепестки расположены симметрично. Горизонтальная (азимутальная) диаграмма направленности также похожа на вертикальную ДН (рисунки 11).

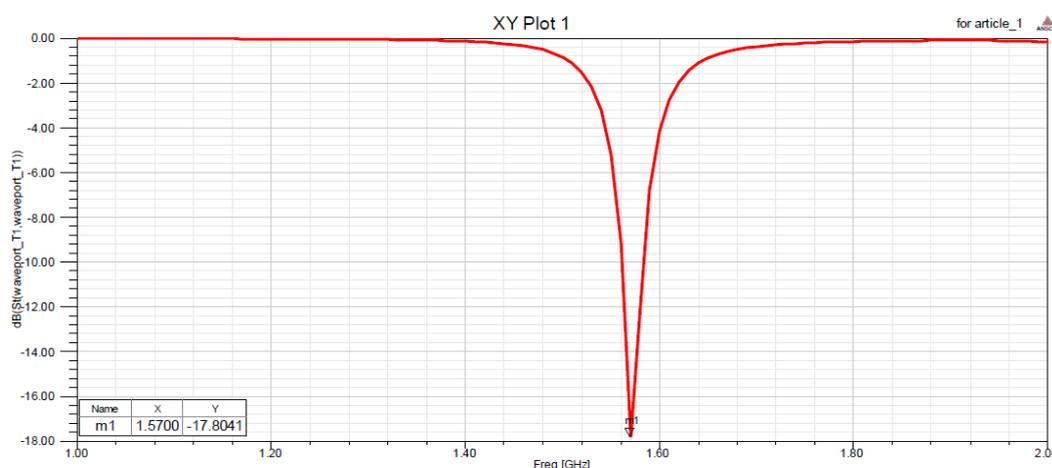


Рисунок 6 – Коэффициент отражения антенны, соответствующий второй итерации анизотропного фрактала размером 26,2×26,2 мм

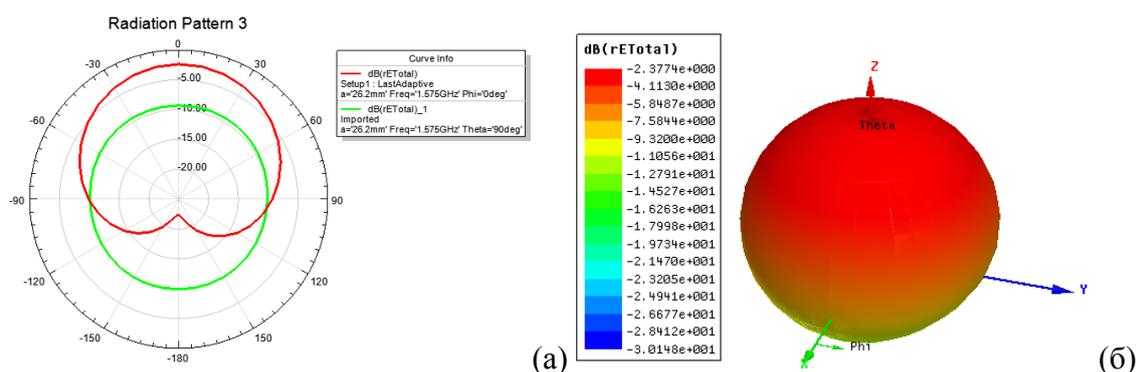
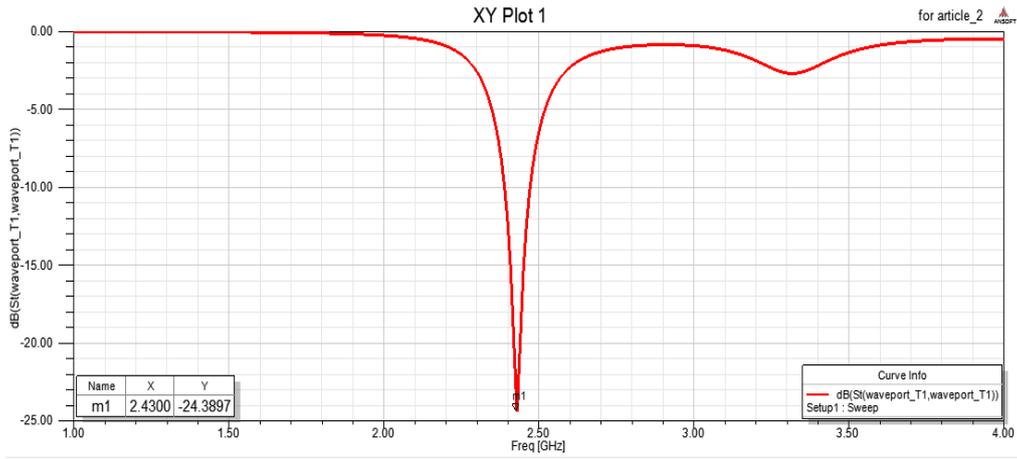
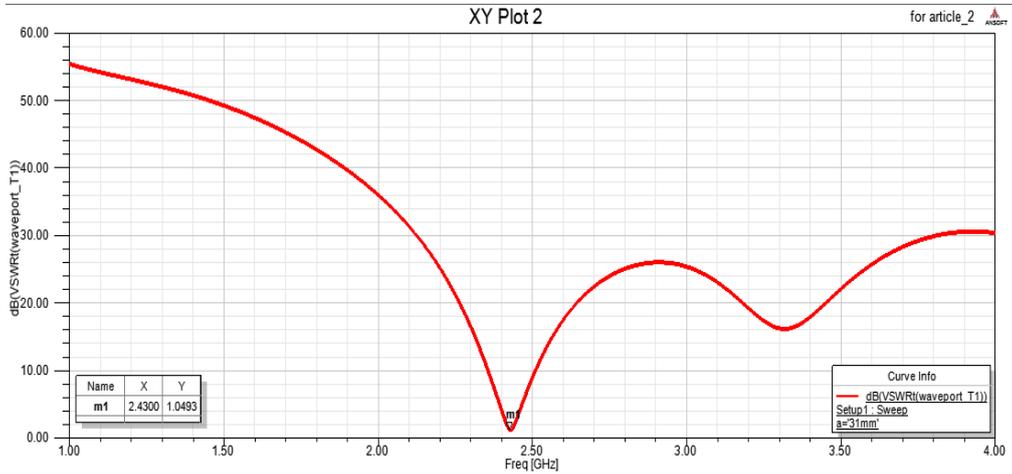


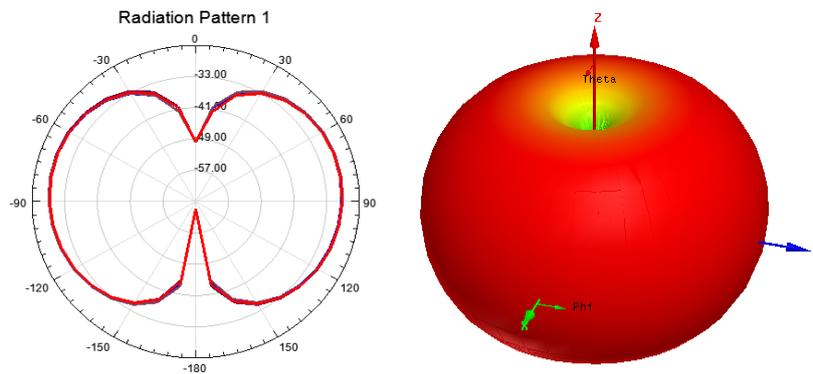
Рисунок 7 – Двухмерная (а) и трехмерная(б) диаграммы направленности анизотропной фрактальной антенны



**Рисунок 8** – S-параметр антенны, соответствующей второй итерации анизотропного фрактала размером 31x31 мм



**Рисунок 9** – КСВН антенны, соответствующей второй итерации анизотропной антенны



**Рисунок 10** – Двухмерная и трехмерная диаграммы направленности антенны размером 31x31 мм

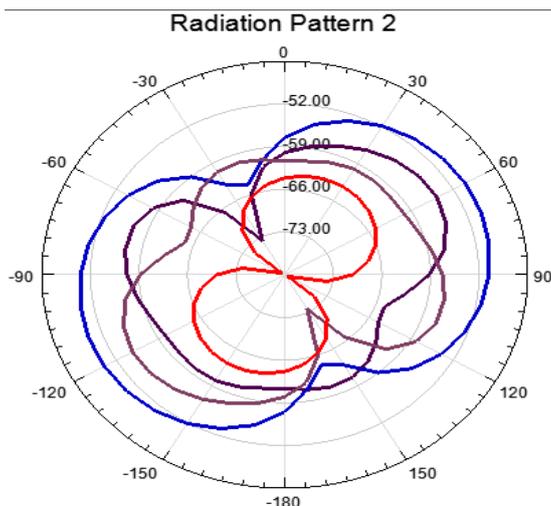


Рисунок 11 – Азимутальная диаграмма направленности

Следует отметить, что моделирование фрактальных антенн проводилось без использования рефлекторов, чем и объясняется

круговая форма диаграмм направленности. Для наглядности приведем полученные результаты в таблице.

Таблица 1 – Результаты, полученные при моделировании анизотропной фрактальной антенны.

Номер итерации	Размер основания антенн	Резонансные частоты, ГГц	Коэффициенты отражения, S11, дБ	Ширина полосы, МГц	КСВН, дБ
2	26,2×26,2	1,57	-17,8	23	2,24
2	31×31	2,43	-24,39	85	1,05
Материал подложки: Rogers RO3006 (tm), $\epsilon = 6,15 \tan\delta$					

Ниже показаны результаты исследований электродинамических свойств планарной фрактальной антенны, построенной на основе классического фрактала – треугольника Серпинского. На рисунке 12 представлены частотные зависимости коэффициента отражения микрополосковой треугольной антенны в диапазоне от 1 до 10 ГГц (рис. 12а и 12б) и в диапазоне от 6 до 20 ГГц (рис. 12в).

Как видно из рисунка 12, треугольная планарная антенна без фрактальности имеет резонансы на частотах 3.67, 5.66, 7.6, 8.8 ГГц. Ширина диапазонов, соответствующие четырем резонансным частотам, определенные по уровню коэффициента отражения -10 дБ, равны 0.094, 0.44, 0.34 и 0.32 ГГц, соответственно.

В свою очередь, на рисунке 13 представлены значения КСВН. Зависимость КСВН показывает возможность согласования антенны на резонансных частотах фрактальной структуры. Как вид-

но из графика КСВН, при нулевой итерации, на частотах 5,66 и 8,8 ГГц достигнут хороший уровень согласования, в то время как резонансные частоты – 3,67 и 7,6 ГГц требуют улучшения уровня согласования.

На рисунке 14 представлены трехмерные диаграммы направленности треугольной микрополосковой антенны и микрополосковых фрактальных антенн на основе треугольника Серпинского, согласно первой и второй итераций. Представленные результаты показывают увеличение неравномерности диаграмм направленности по мере увеличения числа итераций и рабочей частоты. ДН треугольной микрополосковой антенны соответствует ДН стандартной микрополосковой планарной антенны. На рассмотренных частотах 5,56 ГГц и 13,8 ГГц форма ДН антенны близка к осесимметричной. В конструкции данных антенн были использованы рефлекторы, из-за чего ДН предстает в форме полукруга.

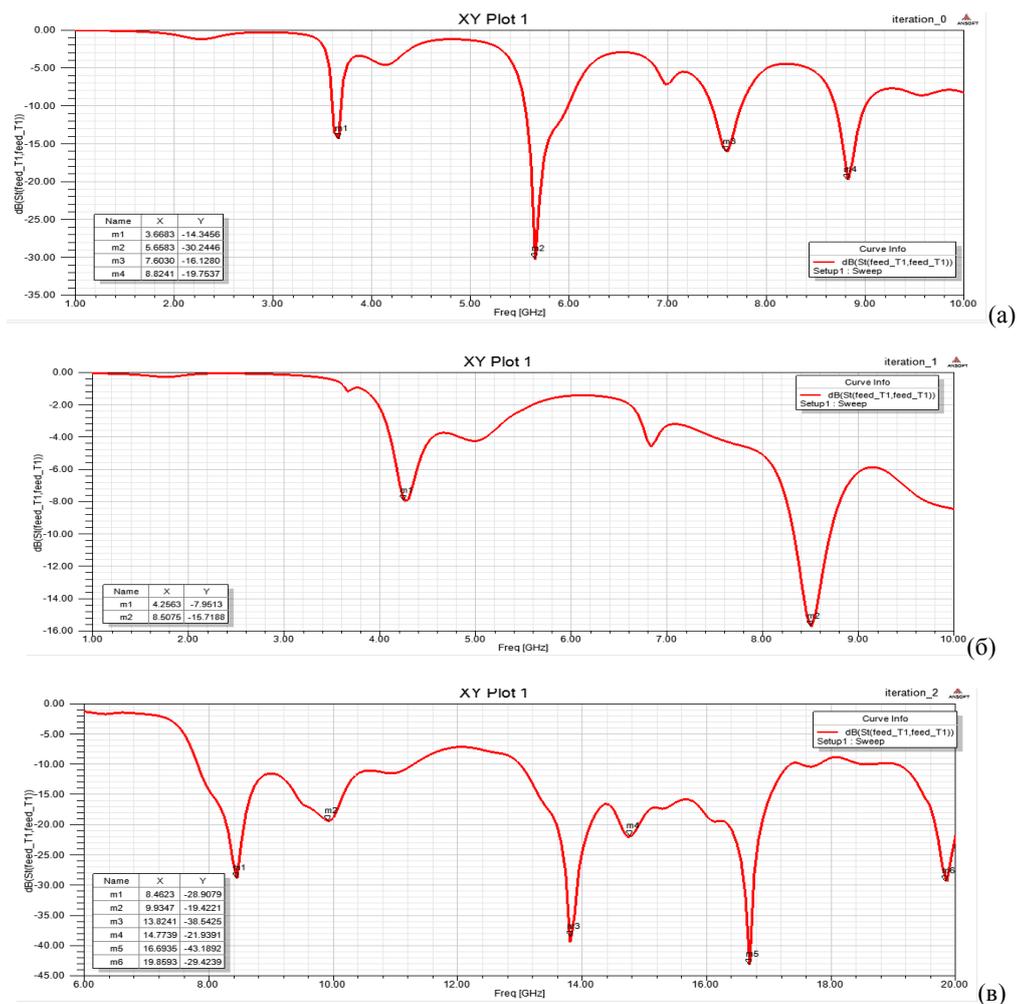


Рисунок 12 – S-параметры фрактальной антенны на основе треугольника Серпинского

Результаты моделирования, а именно антенны на основе треугольника Серпинского численные значения, планарной фрактальной указаны в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты, полученные при моделировании антенны Серпинского

Номер итерации	Длина сторон, мм	Резонансные частоты, ГГц	Коэффициенты отражения, S11, дБ	КСВН, дБ
0	63,3	3,67	-14,3	3,37
		5,66	-30,2	0,53
		7,6	-16	2,76
		8,8	-19,75	1,79
1	63,3	4,25	-7,95	7,4
		8,5	-15,7	2,8
2	63,3	8,46	-28,65	0,7
		9,9	-19	1,85
		13,8	-38,5	0,18
		14,8	-22	1,39
		16,7	-43	0,12
		19,86	-29,4	0,58

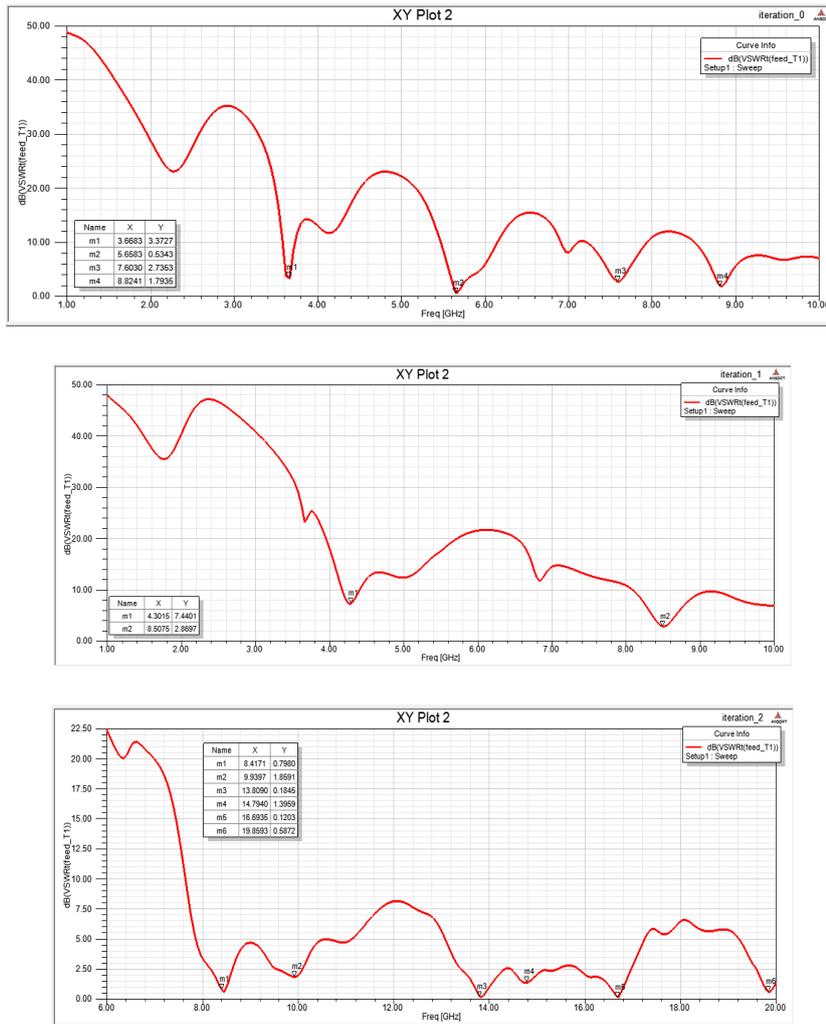
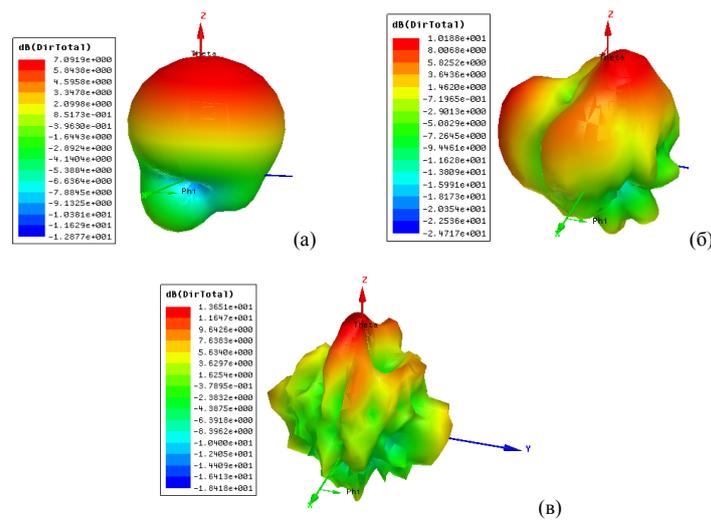


Рисунок 13 – КСВН фрактальной антенны на основе треугольника Серпинского



(a) – ДН треугольной МПА на резонансной частоте 5,56 ГГц; (б) – ДН фрактальной МПА первой итерации на частоте 8,5 ГГц; (в) – ДН фрактальной МПА второй итерации на частоте 13,8 ГГц.

Рисунок 14 – ДН исследованных фрактальных МПА

Таким образом, все рассмотренные антенны имеют резонансные частоты в диапазоне СВЧ. Как видно из таблицы 2, по мере увеличения итераций начальная резонансная частота 8,8 ГГц сместилась в левую сторону координатной системы, то есть при первой итерации значение резонансной частоты равно 8,5 ГГц, а при второй итерации – 8,46 ГГц. При второй итерации антенны, то есть частота 8,46 ГГц имеет максимум коэффициента отражения, который равен -28,65 дБ. А резонансная частота равная 5,66 ГГц также сместилась в левую сторону и стала равной 4,25 ГГц на первой итерации антенны, коэффициент отражения снизился от -30,2 дБ до -7,95 дБ.

На следующих рисунках 15 и 16 представлены коэффициенты отражения и КСВН квадратной микрополосковой антенны, соответствующие ковру Серпинского.

На рисунке 17 показаны трехмерные и двухмерная диаграммы направленности квадратной микрополосковой антенны на резонансной частоте 6,3 ГГц. Нужно отметить, что на форму ДН влияет рефлектор, входящий в конструкцию антенны.

Для наглядности полученные результаты приведены в таблице 3. Согласно таблице, квадратная МПА имеет три основных резонансных частоты – 6,3 и 9,2 ГГц. На первой и второй итерациях данные резонансные частоты остаются неизменными. Интересно, что коэффициент отражения, соответствующий частоте 6,3 ГГц сначала был равен -24 дБ, а при первой и второй итерациях уменьшился до -18,17 дБ и -16,25 дБ, соответственно. В то время как, коэффициент отражения, соответствующий второй резонансной частоте 9,5 ГГц немного увеличился от -12,6 дБ до 11,94 дБ.

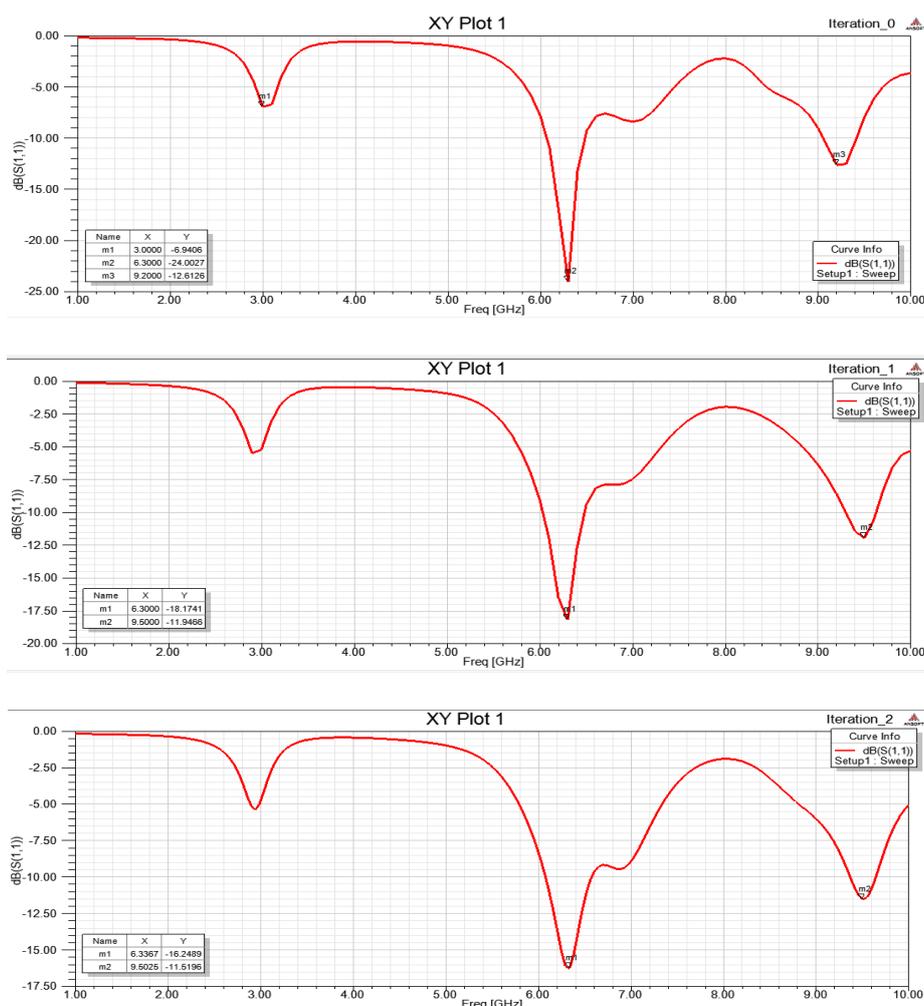


Рисунок 15 – S-параметры ФА на основе ковра Серпинского

Таблица 3 – Результаты, полученные при моделировании планарной фрактальной антенны Серпинского.

Номер итерации	Размер антенн, мм	Резонансные частоты, ГГц	Коэффициенты отражения, S11, дБ	КСВН, дБ
0	30×30	6,3 9,2	-24 -12,6	0,93 4,01
1	30×30	6,3 9,5	-18,17 -11,94	1,28 1,67
2	30×30	6,3 9,5	-16,25 -11,5	2,69 4,72

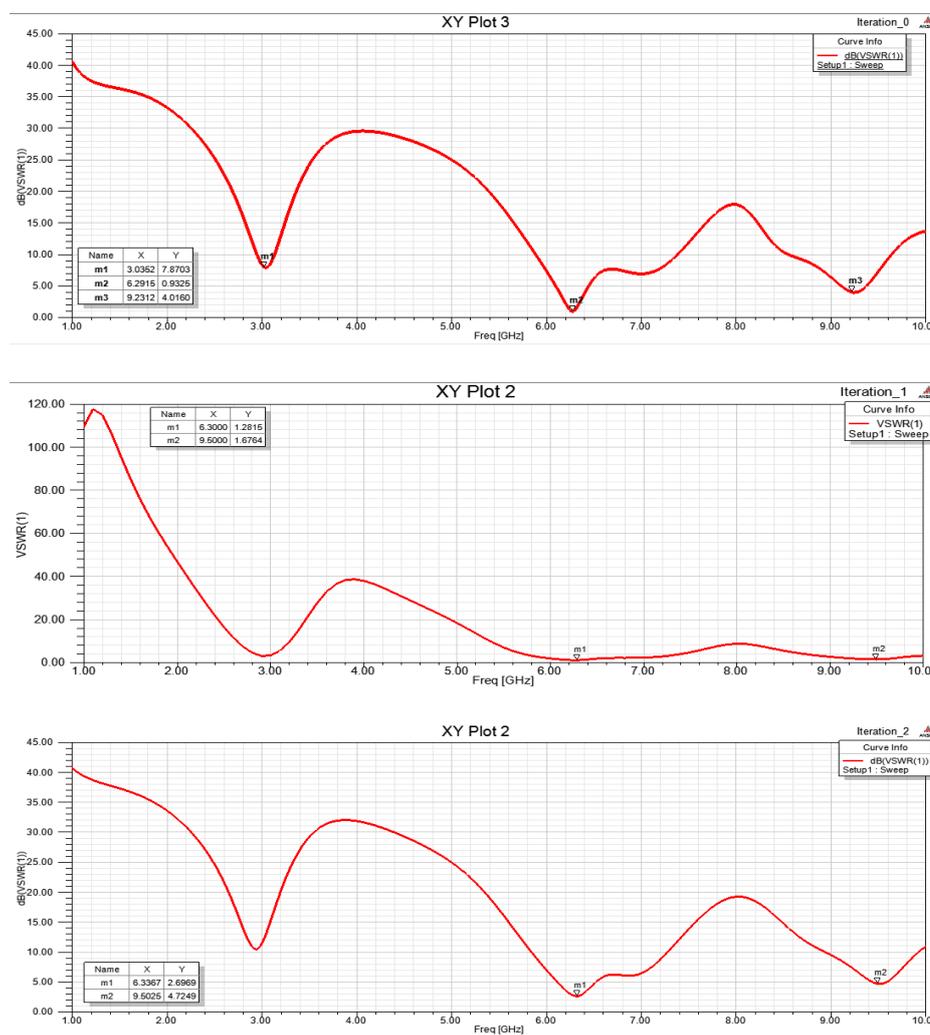


Рисунок 16 – КСВН ФА на основе ковра Серпинского

Из этой таблицы можно увидеть, что для работы на данных резонансных частотах лучше всего подходит антенна, сконструированная на

основе первой итерации ковra Серпинского. К сожалению, вторая итерация не приводит к усилению резонансных частот.

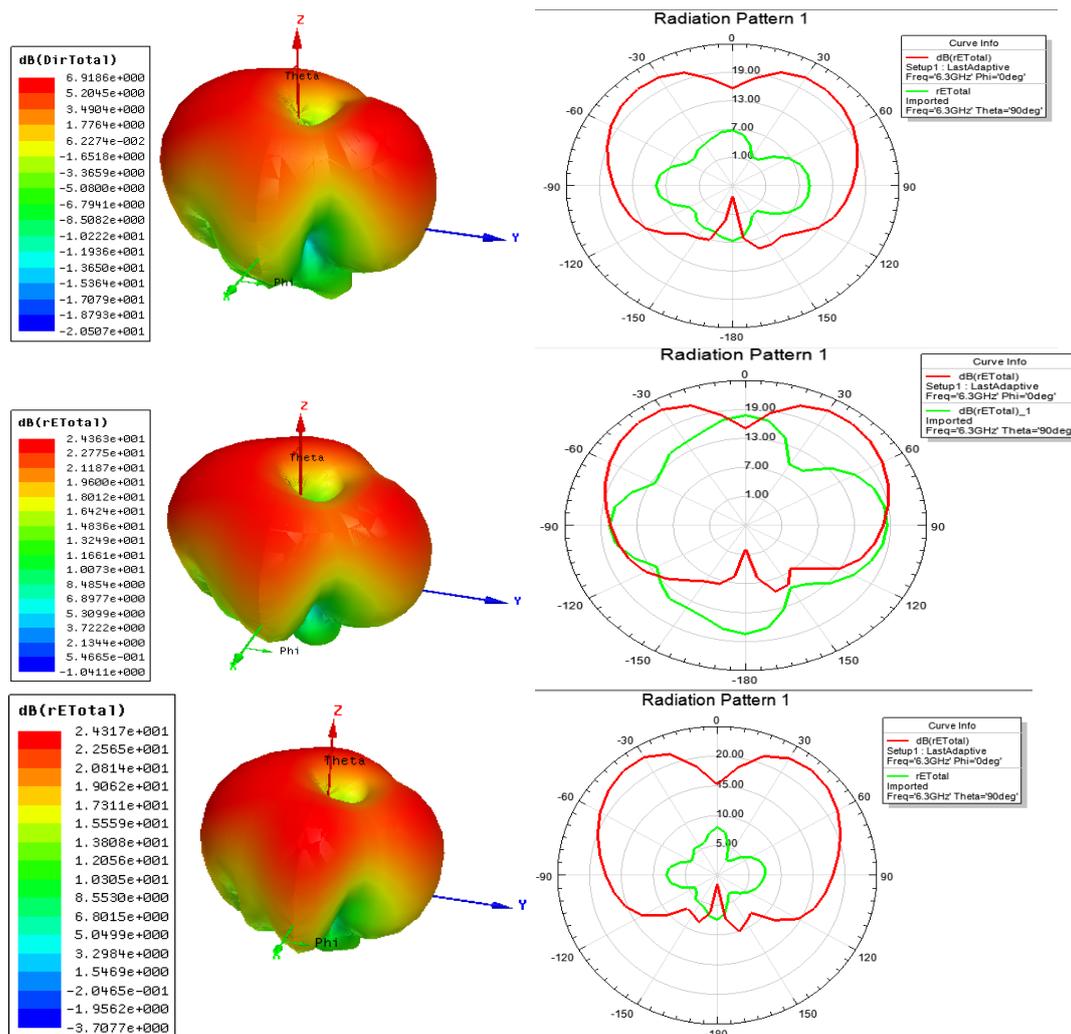


Рисунок 17 – Трехмерные и двухмерные диаграммы направленности ФА на основе ковра Серпинского

Нужно отметить, что в рассмотренных нами публикациях число итераций исследованных антенн не превышает четырех итераций, что показывает, в какой-то степени, неэффективность последующих итераций для дальнейшей миниатюризации и незначительность изменений характеристик излучения.

### Заключение

Подводя итоги результатов, можно сказать, что фрактальные антенны в планарном исполнении показали себя конкурентноспособными для применения в системах беспроводной связи. Результаты моделирования анизотропной антенны показали, что при правильном подборе размеров и типа подложки данная антенна показывает свойства широкополосности и мо-

жет быть использована в беспроводных технологиях Wi-Fi, GPS.

В конструировании фрактальных антенн очень важно правильно организовать параметрический анализ. В данной работе нами был проведен параметрический анализ анизотропной антенны, были выбраны самые эффективные параметры антенны, такие как: диэлектрическая подложка, тип порта, её расположение, вид фрактала и её размеры. Таким образом, были получена анизотропная антенна, которая эффективно работает на частоте беспроводных технологий Wi-Fi и GPS.

Исследованные фрактальные антенны могут быть использованы в беспроводных технологиях как сотовая связь, LTE 4G, WIMAX. Для этого должны быть учтены соответствующие частоты при конструировании. Из-за свойства

многочастотности фрактальной антенны есть возможность конструирования антенн соответствующих нескольким беспроводным технологиям.

*Настоящая работа выполнена при поддержке Комитета Науки Министерства образования и науки Республики Казахстан в рамках гранта №3837/ГФ4.*

#### Литература

- 1 Jawad K. Ali, Zaid A. Abed AL-Hussain, Ammer A. Osman and Salim Ali J. A New Compact Size Fractal Based Microstrip Slot Antenna for GPS Applications // Conference: Progress In Electromagnetics Research Symposium. PIERS Proceedings, Kuala Lumpur, Malaysia, March 27–30, 2012. – P.700-703.
- 2 Kumar R., Sawant K.K. On the Design of Circular Fractal Antenna with UShape Slot in CPW-Feed // Wireless Engineering and Technology. – 2010. – Vol. 1. – P. 81-87.
- 3 Suman L. Design and Simulation of Koch Fractal folded-slot Antenna for Next Generation Mobile Networks // International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering. – 2013. – Vol. 3, Issue 8. – P.237-251
- 4 Sarkar M., Sreelakshmi K., Mithun T.P. Multiband miniaturised fractal antenna for mobile communications // International Journal of Research in Engineering & Technology. – Apr 2014. – Vol. 2, Issue 4. – P.143-150.
- 5 Иманбаева А.К., Темирбаев А.А., Намазбаев Т.А., Хохлов С.А. Многочастотное свойство антенн на основе фрактальных структур // Известия НАН РК, серия физико-математическая. – 2015. – №6 (306). – С.40-46.
- 6 Жанабаев З.Ж., Иманбаева А.К., Карибаев Б.А., Намазбаев Т.А., Физические характеристики иерархии фрактальных антенн // Мат. 9-й межд. конф., Хаос и структуры в нелинейных системах. Теория и эксперимент, 18-20 июня, 2015 г. – С.339.
- 7 Темирбаев Ә.Ә., Иманбаева А.К., Капурнова С., Оралбаева Д. Серпинский үшбұрышына негізделген фракталдық антеннаны сымсыз байланыс технологияларында қолдануды зерттеу // ҚазҰУ-нің хабаршысы, физика сериясы. – 2015. – №2(53). – Б.117-122.
- 8 Жанабаев З.Ж. Фрактальная модель турбулентности в струе // Известия СО АН СССР, серия техн.-наук. – 1988. – Вып.4, № 15. – С.57-60.

#### References

- 1 Jawad K. Ali, Zaid A. Abed AL-Hussain, Ammer A. Osman and Salim Ali J. A Progress In Electromagnetics Research Symposium Proceedings, Kuala Lumpur, Malaysia, March 27–30, 700-703, (2012).
- 2 R. Kumar, K.K. Sawant, Wireless Engineering and Technology, 1, 81-87, (2010).
- 3 L. Suman, International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering, 3(8), 237-251, (2013).
- 4 M. Sarkar, K. Sreelakshmi, T.P. Mithun, International Journal of Research in Engineering & Technology, 2(4), 143-150, (2014).
- 5 A.K. Imanbayeva, A.A. Temirbayev, T.A. Namazbayev, S.A. Khohlov, News of the NAS of the Republic of Kazakhstan. Physico-Mathematical Series, 6(306), 40-46, (2015) (in russ.).
- 6 Z.Zh. Zhanabaev, A.K. Imanbayeva, B.A. Karibayev, T.A. Namazbayev, Materials of the 9<sup>th</sup> International Conference «Chaos and structures in nonlinear systems. Theory and experiment», 2015, June 18-20, 339 (in russ.).
- 7 A.A. Temirbayev, A.K. Imanbayeva, S. Kapurnova, D. Oralbayeva Serpinskiy ushburyshyna negizdelgen fraktaldyk antennany symсыз baylanys tekhnologiyalarynda koldanudy zertteu // KazUU-niy khabarshysy, fizika seriyasy. – 2015. – №2(53). – Б.117-122 (in kaz).
- 8 Z.Zh. Zhanabaev, News of the SB ASUSSR, series of Technical Sciences, 4(15), 57-60, (1988) (in russ.).