

**НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ
ИНСТИТУТ АВТОМАТИКИ И ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
КЫРГЫЗСКО-РОССИЙСКИЙ СЛАВЯНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

ИМ. Б. Н. ЕЛЬЦИНА

Диссертационный совет Д. 05.18.579

На правах рукописи

УДК 621.396.677:004.94 (575.2)

АБДЫРАЕВА НУРИПА РАХМАТИЛЛАЕВНА

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ ФРАКТАЛЬНЫХ
АНТЕНН НА ОСНОВЕ КРИВОЙ КОХА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАКЕТА
ПРОГРАММ MMANAGAL**

Специальность 05.13.18- Математическое моделирование, численные методы и
комплексы программ

АВТОРЕФЕРАТ

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Бишкек-2019

Диссертационная работа выполнена в Ошском Технологическом Университете имени академика М.М.Адышева на кафедре «Сети связи и системы телекоммуникации»

Научный руководитель: доктор физико-математических наук, профессор **Ташполотов Ысламидин (ОшГУ, профессор)**

Официальные оппоненты: доктор технических наук, с.н.с **Пресняков Константин Александрович** (ИАИТ НАН КР, гл. н.с.)

Кандидат технических наук **Абыкеев Капарбек Джолдошбекович** (КГУСТА им. Н.Исанова, и.о. доцента)

Ведущая организация: КГТУ им. Раззакова, кафедра информатики и вычислительной техники, г. Бишкек 720044, пр. Мира 66.

Защита диссертации состоится 1-апреля 2019 года в 13.00 часов на заседании Диссертационного совета Д 05.18.579 при Институте автоматизации и информационных технологий Национальной академии наук Кыргызской Республики и Кыргызско-Российском Славянском Университете им. Б.Н. Ельцина по адресу: 720071, г. Бишкек, пр. Чуй, 265, ауд.346.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Национальной академии наук Кыргызской Республики по адресу: 720071, г. Бишкек, пр. Чуй, 265 «а» и на сайте ИАИТ НАН КР по адресу www.iait.kg. Email: gulsaat@mail.ru.

Автореферат разослан «27» февраля 2019 г.

Ученый секретарь
Диссертационного совета к.ф.-м. н

Керимкулова Г.К.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации. В настоящее время беспроводные технологии системы передачи информации все больше нуждаются в компактных приемо-передающих антеннах.

Теория взаимодействия электромагнитных волн с фрактальными антеннами интенсивно разрабатывается, так как фрактальные антенны (ФА) совмещают в единой конструкции свойства, несовместимые для антенн евклидовой геометрии - многодиапазонность, широкополосность, миниатюрность и высокую эффективность.

Антенны на основе фрактальных структур эффективно излучают и принимают электромагнитную энергию в широком частотном интервале. Это связан с итерационным процессом её формирования, так как на каждой итерации увеличивается физическая длина проводников, и соответственно растёт электрическая длина антенны.

С развитием сетей связи третьего (3G) и четвертого поколений (4 G) требуется модернизация антенной части как базовых станций так и сотовых телефонов. Антенны должны работать в новых дополнительных диапазонах превышающих 2,2 ГГц.

Первые исследования о фрактальной антенне и фрактальной решетке появились в работе зарубежных ученых Й Ким, Д. Л. Джаггард [Jaggard] , а в России широкое применение фрактальной теории в радиофизике, радиотехнике и электронике получил в Институте радиоэлектроники им. В. А. Котельникова РАН (А.А. Потапов, Д.А. Бабичев и др).

Проведенный анализ степени разработанности исследований в моделировании фрактальных антенн для улучшения качества сотовой связи за счет устойчивой зоны покрытия показал **актуальность исследований** математического моделирования режимов фрактальных антенн на основе кривой Коха с использованием пакета программ MMANAGAL.

Цель и задачи исследования является улучшение геометрических и электродинамических параметров фрактальных антенн по средствам применения пакета программ MmanaGal.

Поставленная цель достигнута решением в диссертации следующих задач:

- определение фрактальной размерности базовых станций расположенных в г. Ош с применением ГИС-технологий;
- разработать модель фрактальной антенны n-й итерации на основе математических численных методов;
- проведения исследования и определения режимных параметров: (коэффициент стоячей волны (КСВ), волновое сопротивление (Z), коэффициент усиления (КУ), диаграммы направленности (ДН)) фрактальных антенн на основе кривой Коха с использованием пакета программ MmanaGal.

- **Объект исследования:** фрактальная антенна на основе Кривой Коха.

- **Предмет исследования:** численные методы и моделирования с использованием прикладных пакетов ArcGIS и MmanaGal.

Научная новизна диссертационной работы заключается в определении фрактальной размерности базовых станций расположенных в микрарайоне Курманжан-Датка г. Ош, в исследовании и определении режимных параметров: диаграмма направленности (ДН), коэффициент стоячей волны (КСВ), коэффициент усиления (КУ) и волновое сопротивление (Z) фрактальных антенн, в улучшении геометрических параметров ФА третьей итерации на частотах: 900 и 1800 МГц для стандарта GSM и 800, 2600 МГц для LTE-сетей с использованием пакета программ MmanaGal.

Практическая значимость результатов работы. Моделирована новая модель фрактальной антенны на основе Кривой Коха в разных частотах (800МГц, 900 МГц, 1800 МГц, 2600 МГц) для определения наилучших показателей режимов антенн сотовых систем связи.

Результат исследований, подтвержденные соответствующими актами внедрены в учебный процесс Ошского технологического университета для направления 690300 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи», а также внедрен для прогнозирования развития новых технологий в ЗАО «Альфа Телеком». Технический совет Южного управления радиорелейными станциями рекомендовал внедрить разработанную фрактальную антенну в качестве встроенной приемной антенны в бытовых радиотелевизионных устройствах.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

1. Полученный результат фрактальной размерности (1,22) как числовой характеристики мобильной связи существующих базовых станций микрарайона Курманжан-Датка г.Ош показывает нахождения наиболее оптимального расположения базовых станций с учетом топографии местности;
2. Получено дальнейшее развитие математического моделирования ФА на основе кривой Коха третьей итерации с применением уравнений Максвелла с граничными условиями;
3. Созданы модели ФА на основе Кривой Коха с использованием пакета программ MManaGal для диапазонов частот 900 и 1800 МГц для стандарта GSM;
4. Разработаны модели ФА на основе Кривой Коха с использованием пакета MManaGal для диапазонов частот 800 и 2600 МГц LTE-сетей и практические рекомендации по повышению электродинамических параметров ФА.

Личный вклад соискателя. Все результаты, представленные в диссертационной работе и имеющие научную новизну получены лично автором. Построенные модели фрактальных антенн для разных итераций и определения фрактальной размерности базовых станций сотовой связи с использованием ГИС-технологий созданы и проведены автором. Научному руководителю принадлежат общая постановка задач и обсуждение полученных результатов.

Апробации результатов исследования. Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих конференциях: на международной научно-технической конференции «Современное состояние, направления, развития инженерной техники и технологий» посвященные 50-летию юбилею ОшТУ им. М. М. Адышева; на

международной научной конференции «Актуальные вопросы образования, науки, культуры и роль Ошского Государственного университета в устойчивом развитии и расширении международной интеграции в образовательное пространство», посвященный к 75-летию ОшГУ (Ош, 23-24 октября 2014г); на III Международной научно-практической конференции "Современное телевидение: между национальным и глобальным - 2018" Казанского (Приволжский) федерального университета.

Полнота отражения результатов диссертации в публикациях. Основные результаты диссертации отражены в 10 работах. Из них 4 опубликованы в Российских журналах, которые входят в РИНЦ. А также получены 2 свидетельства Кыргызпатент на авторскую работу.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы, включающего 97 наименований и 7 приложений. Работа изложена на 148 страницах стандартного машинописного текста, содержит 6 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновано актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель, задачи и научная новизна, практическая значимость результатов исследований, а также основные положения вносимые на защиту.

В I главе дается краткий обзор фрактальных антенн, современное состояние и развитие фрактальной антенны, а также применение ГИС-технологий в телекоммуникации. Проведен анализ литературных источников научно-технической информации по фрактальным антеннам.

В II главе разработана математическая модель и методика моделирования фрактальной антенны на основе кривой Коха, а также рассмотрены уравнения Максвелла являющийся основой программы MmanaGal для расчета антенн.

Рассматривается диаграмма направленности антенны, выраженная функцией $f(\theta, \varphi)$. Требуется определить функцию $F(\xi, \eta)$ в раскрыве фрактальной антенны.

Предполагается, что фрактальная антенна составленная из источников излучения является плоскость раскрыва антенны. Величина поля в произвольной точке определяется формулой:

$$E_m(M) = \frac{i}{2\pi\lambda} \frac{e^{-\kappa R}}{R} \cos \theta \int_{\sigma} E_m(\xi, \eta) e^{i(k_1 \xi + k_2 \eta)} d\xi d\eta \quad (1)$$

где $E_m(M)$ - одна из компонент напряженности электрического и магнитного поля в прямоугольной системе координат;

$E_m(\xi, \eta)$ -функция, соответствующая компоненте в раскрыве антенны, R , θ , φ - координаты точки М в сферической системе координат;

$$k_1 = k \sin \theta \cos \varphi, k_2 = k \sin \theta \sin \varphi$$

k_1, k_2 -составляющая вектора $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ относительно оси ox и oy ;

σ -поверхность раскрыва антенны, λ - длина волны.

Любая антенна, в том числе фрактальные антенны характеризуются следующими основными параметрами:

1. Диаграмма направленности (ДН) антенны вводится формулой:

$$f(\theta, \varphi) = AE_m(P)e^{ikR}, \quad (2)$$

где A -коэффициент подбирается таким образом, чтобы максимальное значение $f(\theta, \varphi)=1$.

ДН определяется формулой:

$$f(\theta, \varphi) = \int_{\sigma} F(\xi, \eta) e^{i(k_1 \xi + k_2 \eta)} d\xi d\eta \quad (3)$$

$F(\xi, \eta)$ - распределение поля излучения в раскрыве антенны.

2. Мощность излучения является важной характеристикой антенны, которая определяется формулой:

$$P_m = \int_{\sigma} |F(\xi, \eta)|^2 d\xi d\eta \quad (4)$$

3. Качества антенны характеризуется также коэффициентом стоячей волны (КСВ):

$$\text{КСВ} = \frac{W_1 + W_2}{W_1 - W_2} \quad (5)$$

где W_1 – мощность падающей волны, W_2 -мощность отражающей волны.

Решение уравнения (1) будем искать в виде кусочно-постоянной функции.

В ходе работы выбирается модель антенны, которая наилучшим образом соответствует характеристикам, а также техническим и конструктивным требованиям. Выбор основан на изучении типичных характеристик антенн разных типов и их сравнении с требованиями предъявленные к антеннам. Таким образом, геометрические параметры антенны выбранного типа модифицируются для максимального удовлетворения заданным требованиям. Этими параметрами являются: линейные размеры, порядок фрактальных геометрических антенн и количество итераций сложных треугольных антенн.

Например, изменение геометрических размеров антенны позволяет настроить ее на нужный диапазон частот, а изменение порядка фрактала или числа итераций в большую сторону способствует увеличению количества рабочих полос, а также улучшению направленных свойств антенны.

В результате получается система линейных алгебраических уравнений (6). Решение уравнения (6) с использованием электродинамического уравнения Максвелла позволяет находить неизвестные коэффициенты, которые позволяют нам определить желаемые функции распределения мощности для различных диффузоров системы.

При вычислении антенн со сложной конфигурацией, такой как фрактальная, использовались дополнительные алгоритмы для построения автоматизированной геометрии. Используя эти алгоритмы, можно рассчитать геометрию конструкции фрактальной антенны на основе кривых Коха любой итерации и диполей ФРМ (фрактальное разделение медианами) каждой итерации.

На рисунке 1, приведен алгоритм для построения фрактальной кривой Коха, а в рисунке 2 приведена фрактальная кривая Коха первой итерации для наглядного объяснения данного алгоритма.



Рис.1. Алгоритм построения кривой Коха.

Рассмотрим подробно представленный алгоритм построения кривой Коха n -й итерации. Построение данной кривой начинается с задания исходных данных, а именно задания координат начальной $A(x_1, y_1)$ и конечной точки $B(x_2, y_2)$, а также задания итерации фрактала.

Далее выполняется процедура построения единичного отрезка (AB), который, по сути, является предфракталом нулевой итерации. Замена предфрактала на образующий элемент – кривую из четырех прямолинейных звеньев ACDEB (Рис. 2(а)), каждое из которых имеет длину, равную $1/3$, позволяет получить кривой Коха n -й итерации.

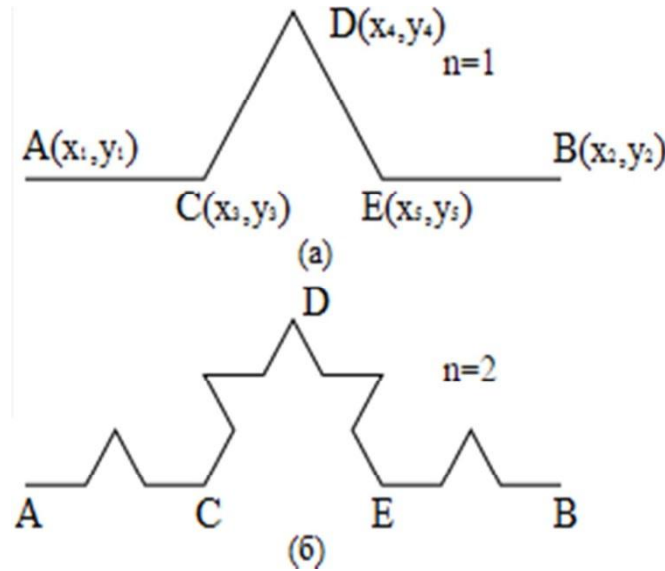


Рис. 2. Фрактальные кривые Коха первой (а) и второй (б) итерации.

При этом координаты точек данной кривой вычисляются в соответствии со следующими выражениями:

$$\begin{aligned} C(x_3, y_3) &= A(x_1, y_1) + \frac{1}{3}(B(x_2, y_2) - A(x_1, y_1)), \\ E(x_5, y_5) &= A(x_1, y_1) + \frac{2}{3}(B(x_2, y_2) - A(x_1, y_1)), \end{aligned} \quad (5)$$

$$D(x_4) = C(x_3) + (E(x_5) - C(x_3)) \cos \frac{\pi}{3} - (E(y_5) - C(y_3)) \sin \frac{\pi}{3},$$

$$D(y_4) = C(y_3) + (E(x_5) - C(x_3)) \sin \frac{\pi}{3} + (E(y_5) - C(y_3)) \cos \frac{\pi}{3}.$$

Затем вычисляется длина данной фрактальной кривой. Длина рассматриваемой фрактальной Коха 1-й итерации равна $4/3$. Длина фрактальной кривой Коха n -й итерации определяется следующим образом:

$$L = z \left(\frac{4}{3} \right)^n, \quad (6)$$

где n - число итераций, z - длина исходной линии.

В случае, если вычисленная длина кривой совпадает с длиной, определяемой формулой (5), то происходит завершение алгоритма. В противном случае происходит замена каждого получившегося звена на уменьшенный образующий элемент. В результате получается кривая, состоящая из 16 звеньев (Рис. 2 (б)), каждое из которых имеет длину $(1/3)/3=1/9$. При этом общая длина равна $16/9$.

Таким образом, заменив каждые группы звеньев на образующие элементы, можно получить фрактальную кривую Коха n -й итерации.

На заключительном этапе происходит уточнение геометрических размеров антенны, порядка фракталов и числа итераций для антенн со сложной конфигурацией до полного удовлетворения техническим требованиям в соответствии с полученным расчетом.

Таким образом, разработанная методика позволяет моделировать фрактальную антенну на основе кривой Коха, которая имеет сложную конфигурацию и соответствует требованию предъявляемым к антеннам.

В III главе определена фрактальная размерность базовых станций микрорайона Курманжан-Датка г.Ош. Поставленный вопрос решен с применением ГИС-технологий. Исходя из того, что моделирование сотовых сетей связи является сложной задачей была применена геоинформационная система для определения фрактальных размерностей.

В ГИС создаются базы данных цифровой, картографической основы с тематическими слоями и доступом к базе данных и создает хорошие условия для работы всех систем. В зависимости от типа телекоммуникаций проводится сбор и анализ пространственно-распределенных данных влияющих на выбор местоположения антенн.

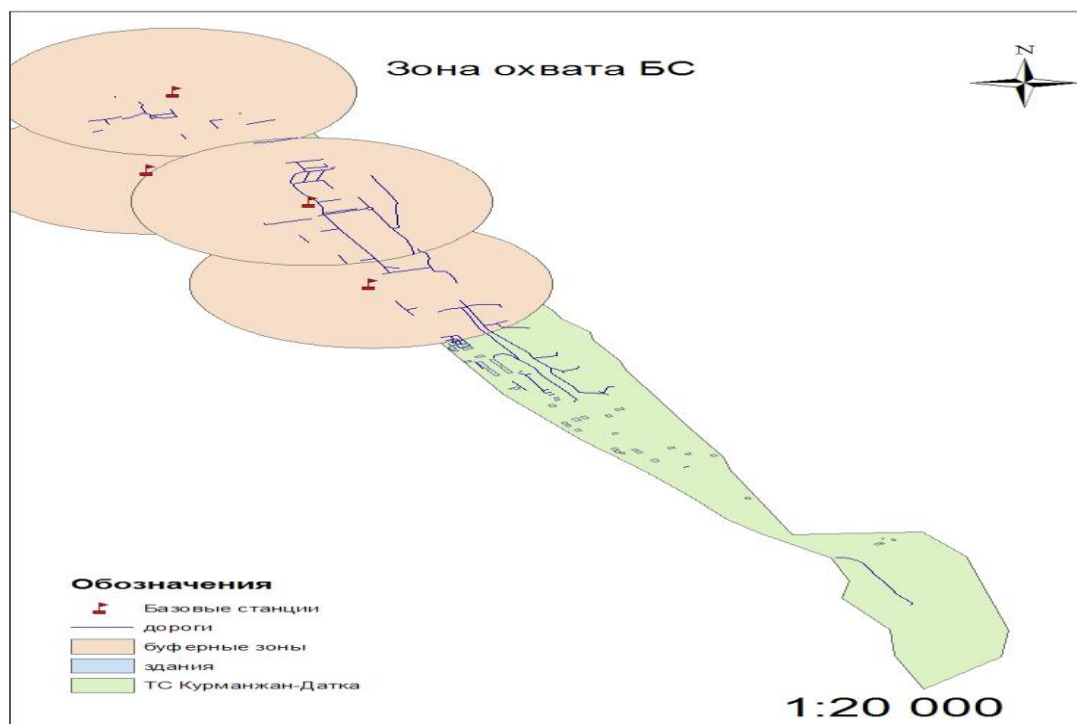


Рис. 3. Зона охвата базовых станций микрорайона Курманжан-Датка г. Ош.

Количество абонентов обменивающихся информацией увеличивается за счет улучшения систем связи и поэтому возникает проблема организовать новые каналы связи для создания сложных структур системы.

С этой точки зрения из-за перегрузки каналов связи проявится задержка информации во время передачи приводящий к потери данных.

Дальнейшее увеличение каналов и динамичный рост количества подписчиков, приводят к ограничению возможностей оптимизации. В связи с этим проблема анализа систем сотовой связи, изучения их новых свойств, которые в основном связаны с большой и сложной геометрией или топологией является актуальной.

Одна из этих особенностей связана с зависимостью трафика данных в сетях сотовой связи от их топологического измерения, имеющего фрактальную природу.



Рис. 4. Фрактальная размерность базовых станций расположенных в микрорайоне Курманжан-Датка г. Ош.

Определение фрактальной размерности расположения базовых станций сотовой связи в микрорайоне Курманжан-Датка г. Ош. проведена на основе программы ArcGIS. В таблице 1 показана что, фрактальная размерность расположения базовых станций в изучаемом микрорайоне составлял $D=1.22$, что полученное значение сопоставимо к фрактальной размерности Кривой Коха.

Таблица 1. Фрактальная размерность расположения базовых станций микрорайона Курманжан-Датка г. Ош.

k_d :: Features total: 1, filtered: 1, selected: 0					
	Id	name	name_1	NumberofCr	mink_dem
1	0		КурманжанД	21	1.224090460418...

Таким образом, применение методов фрактальной геометрии для моделирования сетей сотовой связи позволяет изучать рост сетей и дает новые методы для их анализа на системном уровне. В то же время интересно определить зависимость сетевых свойств от фрактальной размерности развития сотовых сетей, чтобы предсказать их развитие и повысить эффективность их использования.

Например, сети связи, такие как транспортные сети и сети сотовой сети, способствуют развитию и росту городов с сильной обратной связью. Поэтому нужно получить представление о связи базовых станций, имеющих отношение к географической геометрии улиц и районов. Геометрия городских зданий определяется топологией сетей связи сотовых систем.

В то же время, если фрактальная размерность геометрии объекта (города, региона и т.д.) равна D_0 , то справедливо следующее утверждение: для оптимального покрытия сети связи его топология должна координироваться с топологией объекта. Для этого должно выполняться следующее соотношение: $D_c \geq D_0$, где D_c - размер сети связи.

В IV главе было промоделировано 2 образца фрактальных антенн на

основе Кривой Коха и получены необходимые данные представленные далее. При моделировании использовалась программное обеспечение MmanaGal. Антенна разрабатывается в плоскости XZ с частотой равной 900 и 1800 МГц. В результате анализируются четыре параметра антенны: диаграмма направленности (ДН), коэффициент стоячей волны (КСВ), активные и реактивные сопротивления и коэффициент усиления (КУ). Результаты моделирования указывают, что нами разработанная антенна на основе Кривой Коха подходит для приложений мобильной связи.

В настоящее время в результате многочисленных экспериментов установлено, что фрактальные антенны позволяют получить практически тот же коэффициент усиления, что и обычные, при меньших габаритных размерах. На рис 5 показан трех итерационный фрактал Коха для частоты 900 МГц.

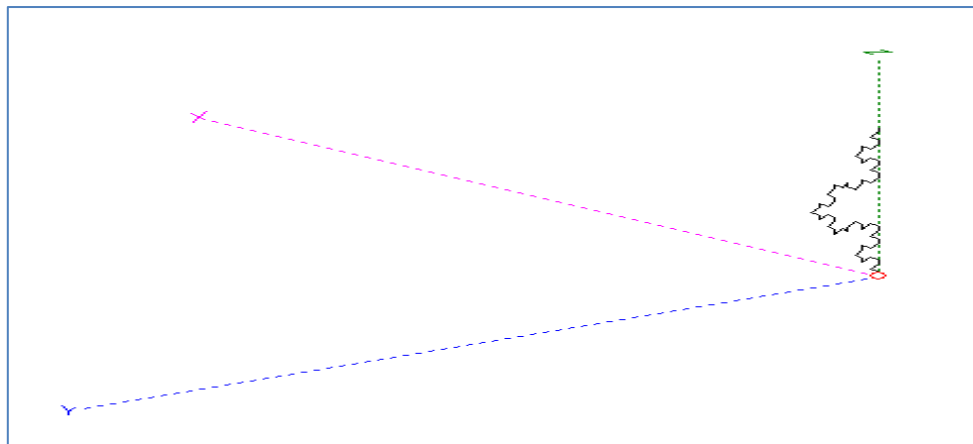


Рис. 5. Модель фрактальной антенны на основе Кривой Коха.

Основное преимущество фрактальной антенны - это сокращение высоты диполя с увеличением порядка итерации.

В ходе работы представлена фрактальная антенна имеющий итерацию $n=3$ замкнутого типа одинаковой длины фрактала равной 0,002 м, с периметром $L=0,128$ м и имеющие $n=64$ сегментов.

Резонансную частоту фрактальной антенны определяют условием:

$$L = 0,49 \frac{\lambda}{\sqrt{\varepsilon_{эф}}} \quad (7)$$

где λ – резонансная длина волны;

$\varepsilon_{эф}$ – эффективная диэлектрическая проницаемость среды между ФА и земляной плоскостью.

При параметрах L и $\varepsilon_{эф}=2,2$ с помощью формулы (7) можно получить рабочую длину волны $\lambda=0,94$ для исследованной антенны.

Симметричную полуволновую диполь выбрали в качестве эталонной антенны, так как геометрические размеры и параметры этой антенны хорошо известны и использованы при сравнении с модулированной фрактальной антенной.

Сотовые компании Кыргызской Республики работают на частоте 900 МГц, в связи с чем при моделировании нашей антенны использована это же частота.

По литературным данным известно, что в вибраторе точная резонансная длина намного меньше $\lambda/2$. Это связано с тем, что стоячие волны в вибраторе меняются при распределении в отличие от линии передачи, где не имеются потери на излучение. При уменьшении резонансной длины вибратора появляется индуктивная составляющая входного сопротивления, которая уменьшается при укорочении вибратора примерно на 5 % длины антенны.

По формуле (4) можно рассчитать резонансную длину полуволнового вибратора:

$$L \approx 0,95 \frac{\lambda}{2} = \frac{143}{f}, \quad (8)$$

где L – длина в метрах, f – частота в мегагерцах.

При нашем моделировании частота (f) равно 900 МГц и при расчете получено $L \approx 143/900 \approx 0,1589$ м. При нашем опыте полуволновая диполь состоит из двух плеч имеющих одинаковую длину $\lambda/4$ для определения резонансной частоты. Длину плеч рассчитываем по формуле $\lambda = c/f$, где c – скорость света.

Известно, что фракталы самоподобны и это свойство позволяет уменьшать размер антенны. В настоящей работе проводится сравнение исследуемой фрактальной антенны и линейного диполя с $\lambda/4$ -плечами имеющую резонансную частоту 900 МГц.

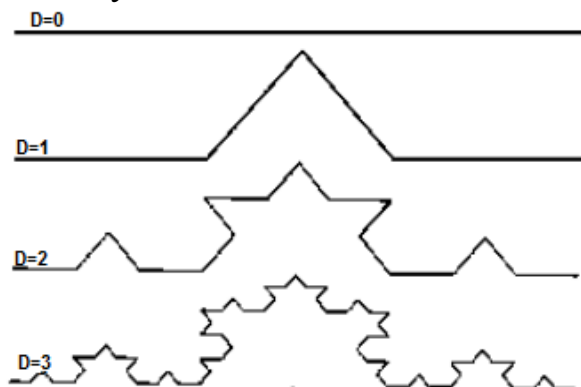


Рис. 6. Кривая Коха с итерацией $n=3$.

На рисунке 6 изображены Кривая Коха с различными итерациями для подсчета фрактальной антенны. По ниже следующей формуле можно вычислить размерность D фрактала Коха:

$$D = \frac{\lg 4}{\lg [2(1 + \cos \Theta)]}. \quad (9)$$

Если стандартный угол изгиба кривой Коха равно $\Theta=60^\circ$, то при расчете по формуле (9) получим $D = 1,26$.

По формуле (6) можно определить зависимость резонансной частоты диполя Коха f_k от следующих параметров:

- размерности фрактала D ;

- номера итерации n ;
- резонансной частоты прямолинейного диполя f_D .

$$f_K = f_D \left[1 - \frac{\ln D}{D} \cdot \exp \left(\frac{n-1}{n} \right) \right]. \quad \dots\dots\dots (10)$$

Для рисунка 6 при $D = 1,26$ и $n = 1$ из формулы (6) получаем:

$$f_K = f_D \cdot 0,81, \quad f_K = 900 \text{ МГц} \cdot 0,81 = 734 \text{ МГц} \quad (11)$$

Для рисунка 6 при $D = 1,26$ и $n = 2$ из формулы (6)

получаем:

$$f_K = f_D \cdot 0,696, \quad f_K = 900 \text{ МГц} \cdot 0,696 = 621 \text{ МГц}. \quad \dots (12)$$

Для рисунка 6 при $D = 1,26$ и $n=3$ из формулы (6) получаем:

$$f_K = f_D \cdot 0,610, \quad f_K = 900 \text{ МГц} \cdot 0,610 = 549 \text{ МГц}. \quad \dots (13)$$

Используя формулы (7, 8) и (9) можно решить и обратную задачу. Для получения прямолинейных диполей на следующих частотах мы должны использовать частоту $f_K = 900$ МГц, в фрактальных антеннах:


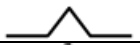



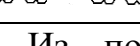
$$\text{для } n = 1 \quad f_D = f_K / 0,816 = 900 \text{ МГц} / 0,816 = 1102 \text{ МГц}, \quad \dots (14)$$

$$\text{для } n = 2 \quad f_D = f_K / 0,696 = 900 \text{ МГц} / 0,696 = 1293 \text{ МГц}. \quad \dots (15)$$

$$\text{для } n = 3 \quad f_D = f_K / 0,610 = 900 \text{ МГц} / 0,610 = 1476 \text{ МГц}. \quad \dots (16)$$

В таблице 1 приведены полученные нами расчетные и анализируемые данные, из которых видно, что значение теоретически рассчитанной частоты (f_T) отличается от анализируемой (f_a) не более чем на 4–9 %.

Таблица 1. Сравнение данных резонансной частоты фрактальных антенн, полученные при разработке на основе кривой Коха

Вид антенны	Итерация n	Длина $\lambda/4$ -плеча, мм	f_T , МГц	f_a , МГц
	1	78	734	767
	1	63,5	900	945
	2	78	621	658
	2	55	900	980
	3	78	549	580
	3	51	900	1020

Из полученных результатов видно, что с уменьшением размера фрактальной антенны и с увеличением числа итераций основанной на кривой Коха изменяется резонансная частота фрактальной антенны с 767 МГц до 1020 МГц, а у линейного диполя с 734 до 900 МГц.

Диаграмма направленности фрактальной антенны определялась с использованием программного пакета MManaGal.

Из рисунка 7-9 видно, что теоретические и анализируемые данные диаграммы направленности антенн, рассматриваемые в вариантах 1-ой, 2-ой и 3-ей итерации отличаются.

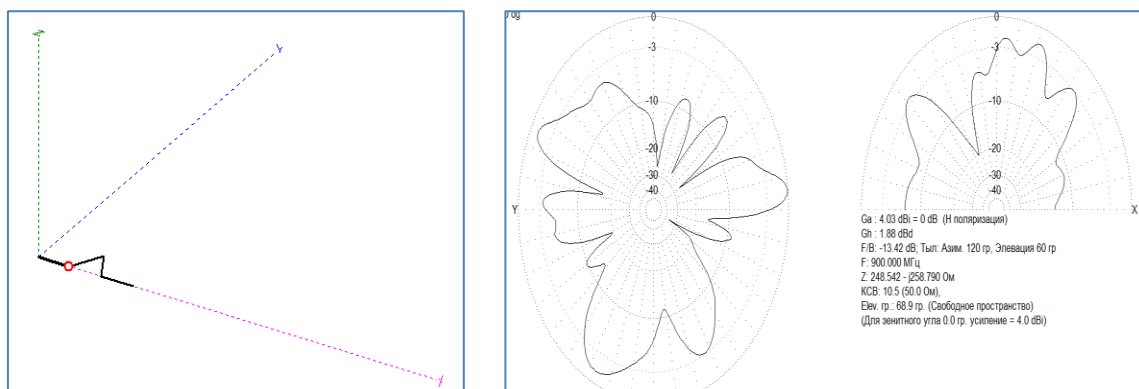


Рис. 7. Диаграммы направленности вибратора с формой кривой Коха 1-ой итерации, $f = 900$ МГц.

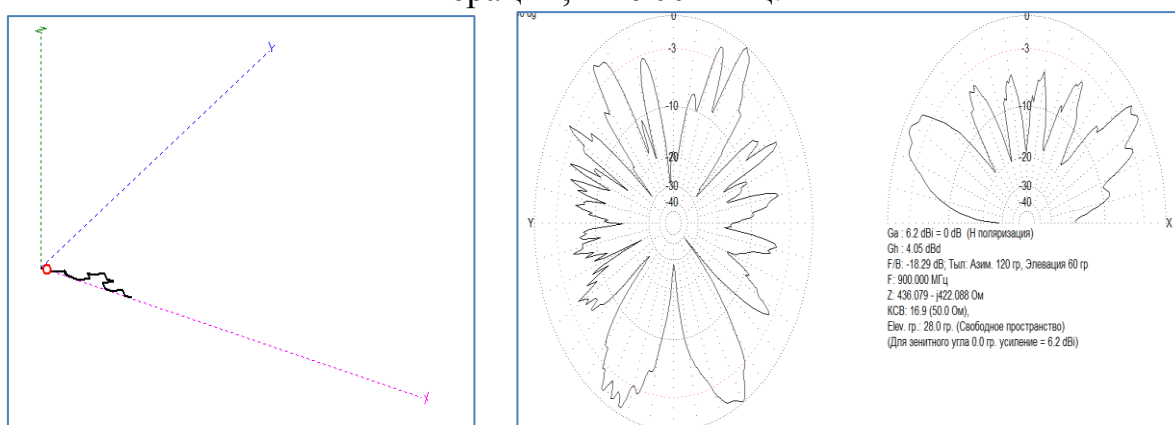


Рис. 8. Диаграммы направленности вибратора с формой кривой Коха 2-й итерации, $f = 900$ МГц.

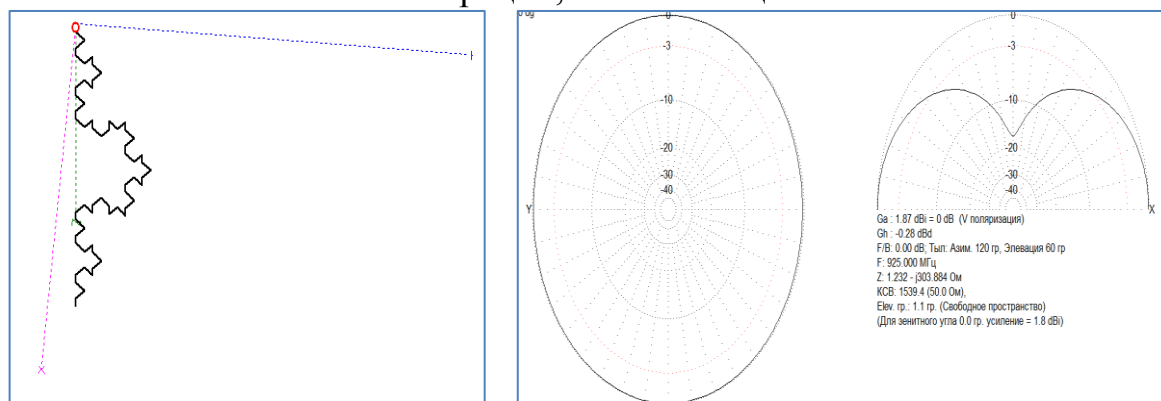


Рис. 9. Диаграммы направленности вибратора с формой кривой Коха 3-ей итерации, $f = 900$ МГц.

Изучены режимные параметры фрактальных антенн работающие на частотах 900 МГц и 1800 МГц.

В ходе моделирования был взят провод с радиусом 0,1 мм, 1мм, 2мм, 3мм, 4мм, 5мм, 6мм и 6,8мм. КСВ был принят для импеданса питания 50 Ом, длина провода которых составляет 2 см.

На рис 10а-10г показаны полученные данные при моделировании фрактальной антенны Кривой Коха на частоте 900 МГц.

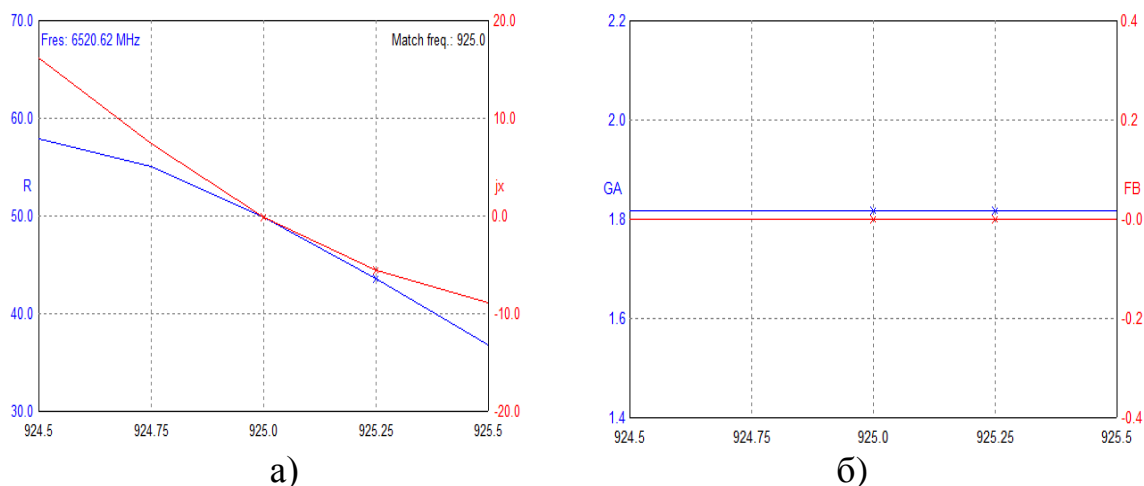


Рис. 10 (а) график активной и реактивной составляющей сопротивления, 10 (б) график частоты сравнительно к коэффициенту усиления для радиуса 1мм.

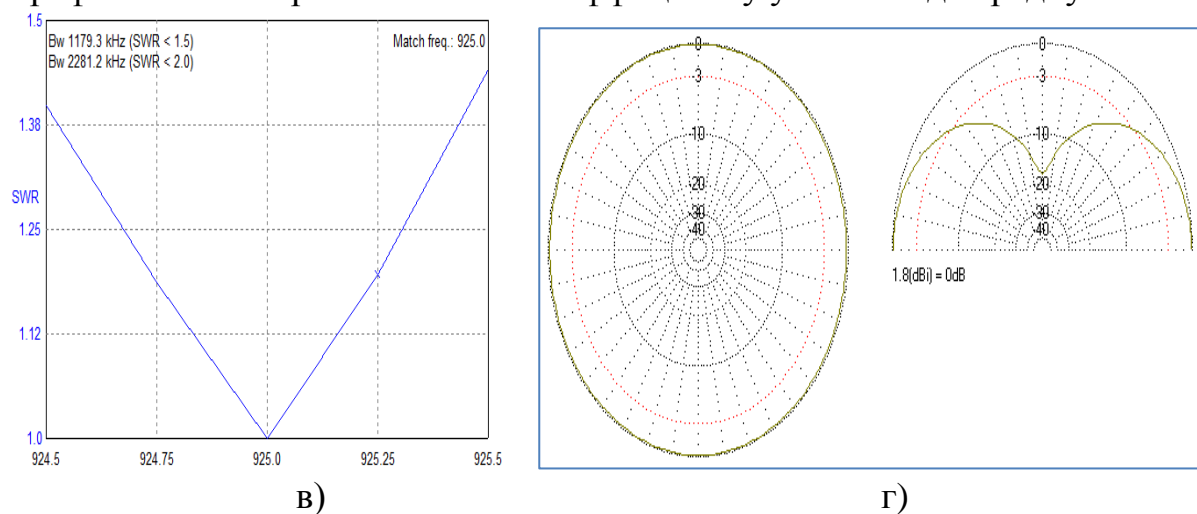


Рис. 10 (в) график частотной зависимости КСВ, 10 (г) ДН в горизонтальной и вертикальной плоскости для радиуса 1 мм.

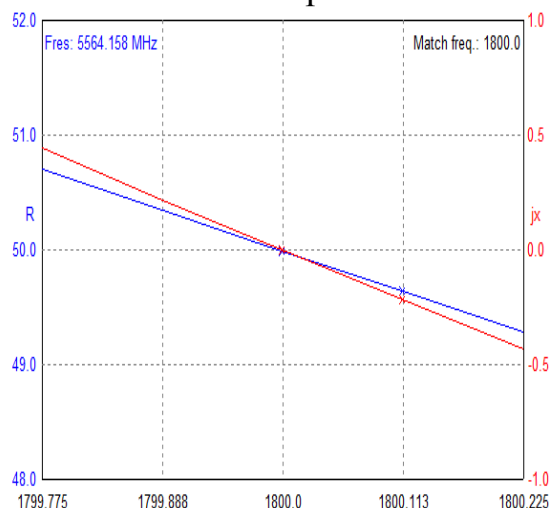
GSM-900 работает в диапазоне частот 890-915 МГц для связи (от телефона к базовой станции) по восходящей линии связи и 935-960 МГц для связи (от базовой станции к телефону) по нисходящей линии связи.

Таблица 2. Результаты моделирования для частоты GSM-900 МГц.

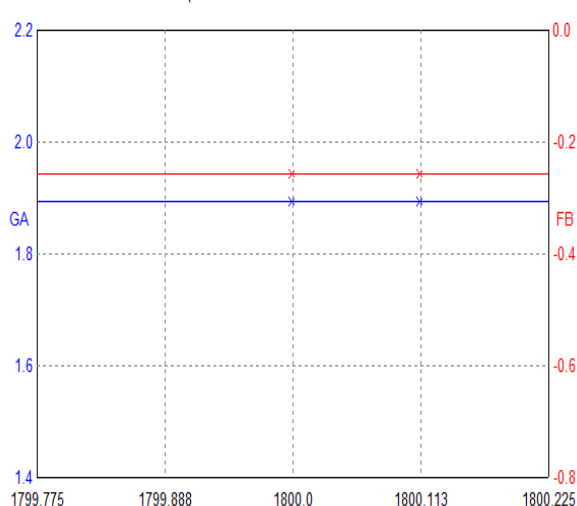
Радиус (мм)	Коэффициент усиления (db)	КСВ
0,1	1,5	1,5
1	1,8	1,4
2	1,9	1,1
3	1,9	1,2
4	1,9	1,2
5	1,9	1,0
6	1,9	1,0
6,8	1,9	1,1

GSM-1800 работает в диапазоне частот 1710-1785 МГц для связи по восходящей линии связи и 1805-1880 МГц для связи по нисходящей линии связи.

На рисунке 11а-г показаны моделированные данные фрактальной антенны на основе Кривой Коха на частоте 1800 МГц.

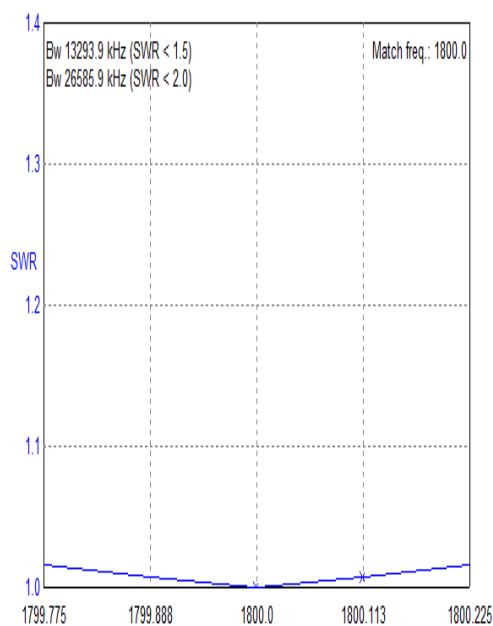


а)

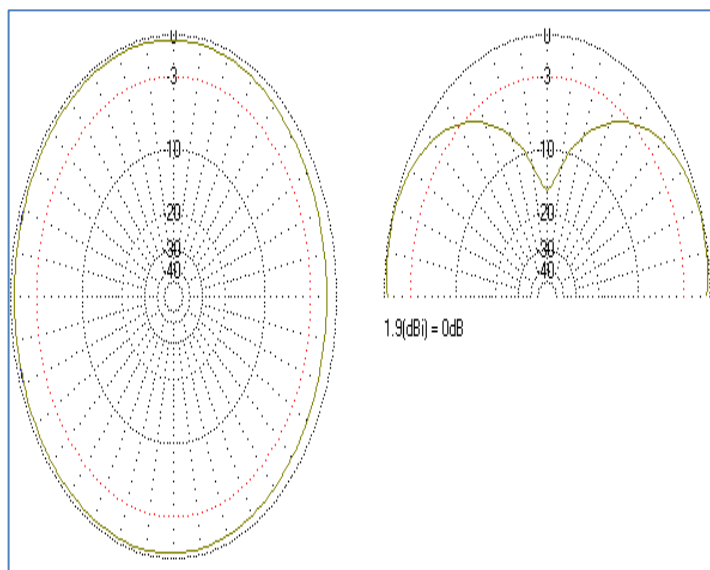


б)

Рис. 11(а) график активной и реактивной составляющей сопротивления, 11(б) график частоты сравнительно к коэффициенту усиления для радиуса 1 мм.



в)



г)

Рис. 11 (в) график частотной зависимости КСВ для радиуса 1 мм, 11 (г) ДН в горизонтальной и вертикальной плоскости.

Радиус провода при исследовании составляет 0,1 мм, при этом увеличивая радиус провода можно увеличить пропускную способность антенны. При моделировании кривой Коха третьей итерации с длиной 2 см была сгенерирована антенна с использованием программного пакета MMANAGAL. Диполь Коха демонстрирует отличную производительность на частоте 1800 МГц и имеет свойства излучения, почти идентичные свойствам традиционных монополей с прямой проволокой на этой частоте. Диаграмма направленности однородна во всех направлениях.

Таблица 3. Результаты моделирования GSM-1800

Радиус (мм)	Коэффициент усиления (db)	KCB
0,1	1,1	1,4
1	1,9	1
2	2,1	1
3	2,2	1
4	2,3	1
5	2,4	1
6	2,5	1
6,5	2,6	1
6,8	2,6	1

KCB был принят для импеданса питания 50 Ом. Радиус провода составлял 0.1 мм, 1 мм, 2 мм, 3 мм, 4мм, 5мм, 6мм, 6,5мм и 6,8 мм. Было отмечено, что с увеличением радиуса антенны на частоте 900 МГц выявлено увеличения КУ до 2 мм, а на частоте 1800 МГц КУ увеличивается до радиуса 6 мм. А в радиусах 6.5мм и 6.8мм можно увидеть стабильный коэффициент усиления. Диаграмма направленности антенн изменяется с изменением коэффициента усиления.

Анализируя таблицу можно прийти к выводу, что КУ увеличивается параллельно радиусу провода и достигает 1,9 дБ в стандарте GSM-900, а в стандарте GSM-1800 КУ достигается до 2,6 дБ. Моделированные фрактальные антенны на частоте 1800 МГц в рассмотренных радиусах показывает KCB>1,1. Чем меньше его значение, тем лучше. Идеальное значение - 1, но на практике оно недостижимо из-за потерь сигнала в кабеле и разъемах, рабочим считается значение 1,1 – 1,5.

В V главе была разработана модель фрактальной антенны Кривой Коха для LTE сетей на частотах 800 МГц и 2600 МГц, так как операторы сотовой связи КР работают на этих частотах.

Сотовая связь 4-го поколения основана на стандарте LTE и LTE-Advanced.

На рисунке 13а и 13г приведены компьютерные модели фрактальных антенн. Модели антенн были построены в среде MMANAGAL и взяты следующие входные данные для анализа:

- количество итераций равна 3;
- рабочий диапазон 800 и 2600 МГц;
- радиусы 1мм, 2мм, 3мм, 4мм, 5мм, 6мм, 6,5мм, 6,8мм.

По результатам моделирования получили данные о форме диаграммы направленности антенны, ее усилении, а также расчеты значений коэффициента стоячей волны (КСВ) и диаграмма направленности по горизонтальной и вертикальной плоскости. На основе рисунка 5 представлены результаты моделирования: значения активного и реактивного сопротивления, КУ, ДН антенны, а также значение KCB в данном диапазоне частот.

На рисунке 13а-13г показаны графики фрактальной антенны для LTE-сетей при частоте 800 МГц

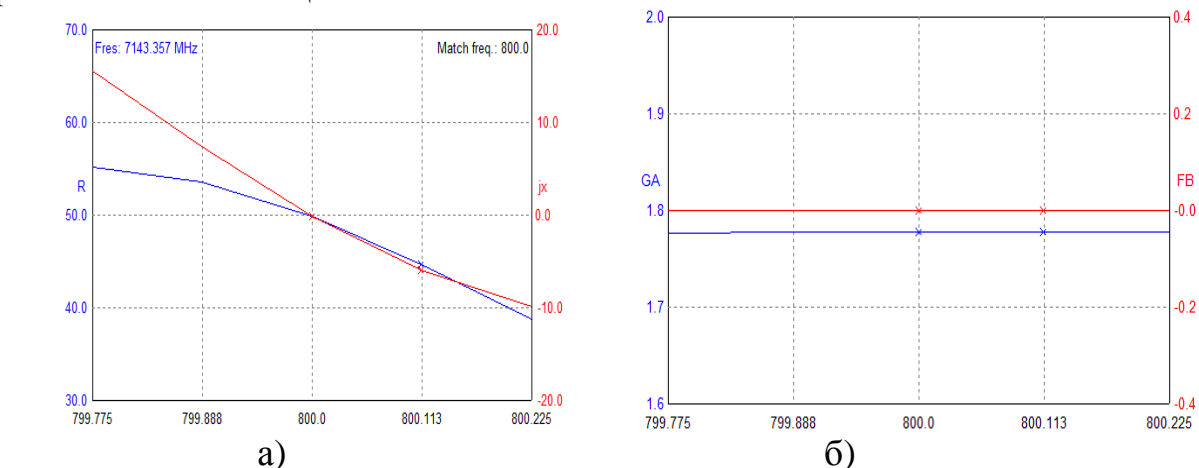


Рис. 13(а) график активной и реактивной составляющей сопротивления для радиуса 1 мм, 13(б) график частоты сравнительно к коэффициенту усиления для радиуса 1 мм

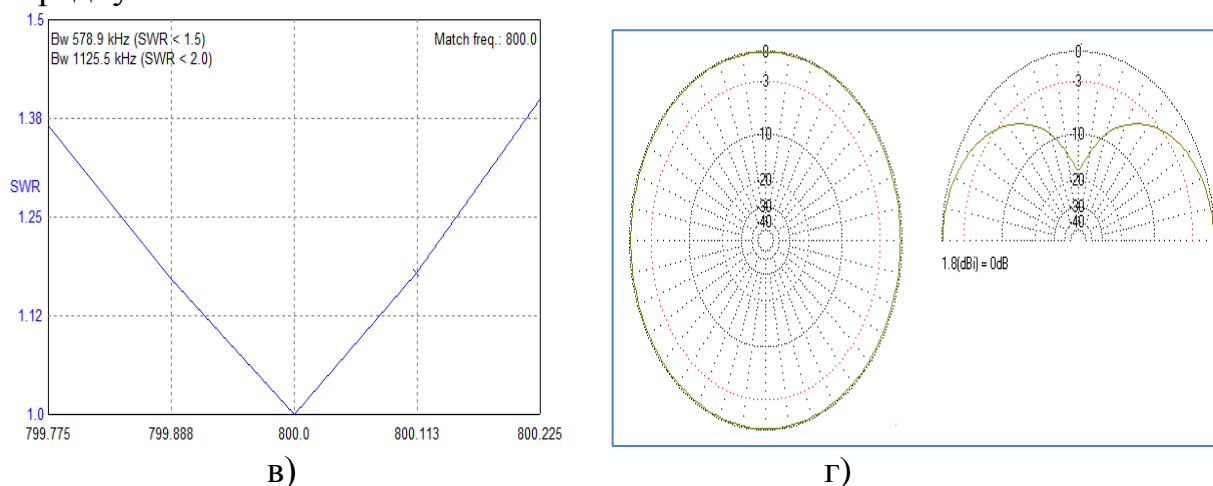


Рис. 13(в) график частоты сравнительно к коэффициенту усиления для радиуса 1 мм, 13(г). ДН в горизонтальной и вертикальной плоскости

По результатам моделирования были получены показатели фрактальной антенны, которая показывает наилучшие показатели.

Таблица 4. Показатели фрактальной антенны LTE-сетей при частоте 800 МГц

Радиус (мм)	Коэффициент усиления (db)	KCB
1	1,8	1,2
2	1,8	1,2
3	1,8	1,2
4	1,8	1,1
5	1,8	1,1
6	1,8	1,1
6,5	1,9	1,1
6,8	1,9	1,1

На рисунках 14а-14г показаны графики полученные при моделировании фрактальной антенны на основе Кривой Коха для LTE-сетей при частоте 2600 МГц.

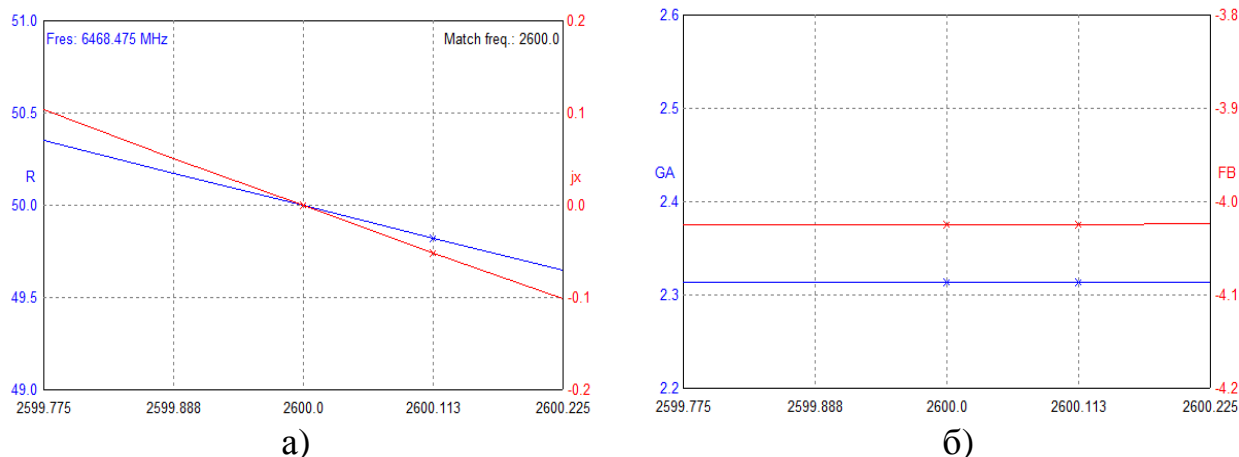


Рис. 14 (а) график активной и реактивной составляющей сопротивления для радиуса 1мм, 14 (б) график частоты сравнительно к коэффициенту усиления для радиуса 1 мм.

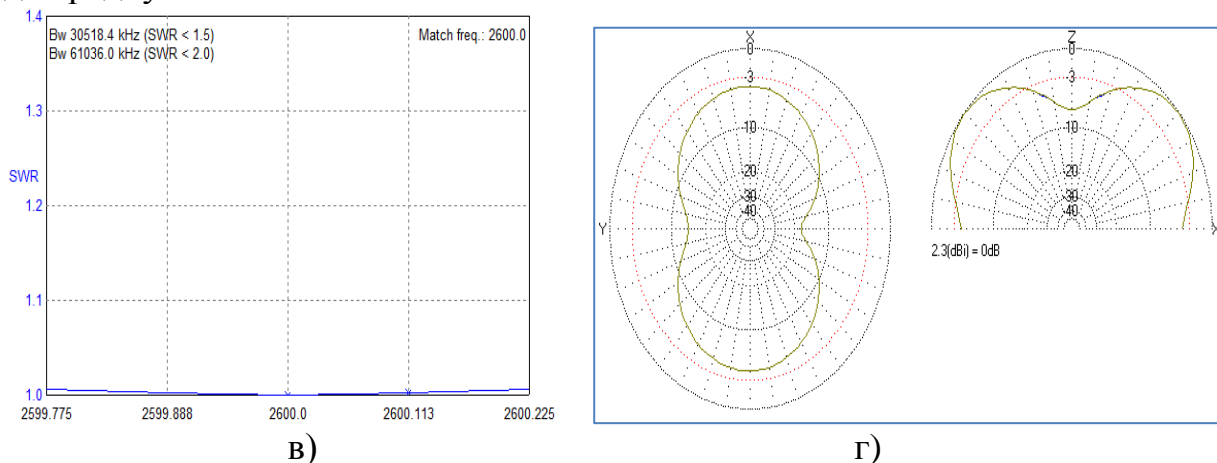


Рис. 14(в) график частотной зависимости КСВ для радиуса 1 мм, 14(г). ДН в горизонтальной и вертикальной плоскости.

Таблица 5. Показатели фрактальной антенны LTE-сетей при частоте 2600 МГц

Радиус (мм)	Коэффициент усиления (db)	КСВ
1	2,3	1
2	2,6	1
3	2,8	1
4	3,0	1
5	3,2	1
6	3,3	1
6,5	3,3	1
6,8	3,4	1

Результат показывает, что на частоте 2600 МГц коэффициент усиления намного больше чем на частоте 800 МГц, но при этом диаграмма направленности уже.

Основные результаты и выводы

1. Выполнена разработка математической модели и методики моделирования фрактальной антенны. Было показано, что антенны сотовой связи на основе фрактальных структур Коха являются приоритетными. С использованием известных методов электродинамического анализа разработаны математическое моделирование и методы моделирования фрактальных антенн с многочастотными и широкополосными характеристиками и алгоритмами автоматического построения фрактальной геометрии;

2. Установлена, что фрактальная размерность базовых станций расположенных в микрорайоне Курманжан-Датка г.Ош с применением ГИС-технологий составляет 1,22, что соответствует с фрактальной размерностью Кривого Коха в третьей итерации. Числа итерации позволило определить изменение диаграммы направленности антенны, т.е. улучшение показателей КСВ. Полученный результат фрактальной размерности как числовой характеристики мобильной связи существующих базовых станций исследованного микрорайона показывает нахождения наиболее оптимального расположения базовых станций с учетом топографии местности;

3. Выявлено, что параметры: коэффициент стоячей волны (КСВ), волновое сопротивление (Z) и диаграмма направленности (ДН), коэффициент усиления (КУ) влияет в режим фрактальных антенн. Проведенные численные моделирования ФА кривой Коха с третьей итерации с использованием пакета программ MManaGal позволило определить оптимальный размер ФА: на частотах 900 и 1800 МГц для стандарта GSM и на частотах 800, 2600 МГц для LTE-сетей промодулированы антенны на размерах диаметрах 0,1мм, 1мм, 2мм, 3мм, 4 мм, 5мм, 6 мм, 6,5мм и 6,8 мм. С увеличением размера ФА с 0,1-6,8мм для 900 и 1800 МГц показывает, что КУ антенны увеличивался с 1,9 до 2,6 дБ, а на частотах 800 и 2600 МГц КУ возросло с 1,8 до 3,4 дБ, что позволяет сотовым сетям работать на малогабаритной антенне с наилучшими техническими параметрами;

4. Установлено, что моделированная ФА на основе Кривой Коха с использованием программного пакета MManaGal в диапазонах частот 900, 1800 МГц для стандарта GSM и в диапазонах частот 800, 2600 МГц для LTE-сетей позволяет обеспечить высокую скорость и стабильность приема и передачи в сотовых системах связи за счет устойчивой зоны покрытия ФА на основе кривой Коха. В рассмотренных диапазонах частот диаграмма направленности принимают наилучшие показатели для частот 800, 900 и 1800 МГц.

5. Результаты полученные в ходе выполнения диссертационной работы с использованием программного обеспечения, основанный на методах фрактальной геометрии позволило проводить количественное сравнение, анализ и синтез ФА для сотовой связи с улучшенными параметрами (размер антенны 2см, КСВ < 1,4, КУ до 3,4 дБ и волновое сопротивление ≈ 50 Ом) для обеспечения качественной связью жителей г.Ош.

Основное содержание диссертации опубликованы в следующих работах:

1. **Абдыраева Н.Р.** Анализ системы передачи данных на базе беспроводных технологий. [Текст] / Раимбек уулу Э, Б. Кочконбаева, Н.Р. Абдыраева // Известия Ошского технологического университета, №2.- Ош, 2011.-С. 13-17.
2. **Абдыраева Н.Р.** Особенности конструирования фрактальных антенн [Текст] / Ы.Т. Ташполотов, Н.Р. Абдыраева // Вестник Ошского государственного университета, №2.-Ош, 2013.-С. 166-169.
3. **Абдыраева Н.Р.** Проектирование и анализ фрактальных антенн основанных на кривой Коха и решетке Серпинского [Текст] / Н.Р. Абдыраева // Известия Ошского технологического университета, № 2.-Ош 2014.-С. 29-31.
4. **Абдыраева Н.Р.** Применение ГИС в телекоммуникациях [Текст] / Н.Р. Абдыраева // Вестник Ошского государственного университета, № 1.-Ош, 2015.-С. 137-140.
5. **Абдыраева Н.Р.** Особенности применения ГИС-технологий в современных информационно-телекоммуникационных системах. [Текст] / Н.А.Абдыраева // Известия Ошского технологического университета №1.-Ош 2015.-С. 35-38.
6. **Абдыраева Н.Р.** Анализ существующих базовых станций города Ош с применением ГИС-технологий [Текст] / А.Н. Абдыраева // Наука образование техника, № 2.-Ош 2016.-С. 10-16.
7. **Абдыраева Н.Р.** Особенности беспроводной широкополосной связи LTE с использованием фрактальной антенны на основе Кривой Коха [Текст] / Н.Р. Абдыраева // Бюллетень науки и практики, №3.- Нижневартовск, 2018. С.164-169.
8. **Абдыраева Н.Р.** Исследования диаграмм направленности фрактальной антенны Кривой Коха на основе модели MmannaGal [Текст] / Н.Р. Абдыраева // Бюллетень науки и практики, №4.-Нижневартовск, 2018.-С. 275-281.
9. **Абдыраева Н.Р.** Разработка фрактальной антенны Кривой Коха для сотовых систем связи работающих на частоте 2100 и 2600 МГц [Текст] / Ы. Т. Ташполотов // Бюллетень науки и практики, №6.-Нижневартовск, 2018.-С.197-204.
10. **Абдыраева Н.Р.** Фрактальная размерность и информационный обмен в сотовых сетях связи [Текст] / Ы. Т. Ташполотов // Бюллетень науки и практики, №7.-Нижневартовск, 2018.-С.198-202.
11. **Абдыраева Н.Р.** Особенности беспроводной широкополосной связи LTE с использованием фрактальной антенны на основе кривой Коха//Свидетельство КР, №3290.- Кыргызпатент, 05.04.2018.
12. **Абдыраева Н.Р.** «Фрактальная размерность и информационный обмен в сотовых сетях связи» [Текст] / Ы. Т. Ташполотов // Свидетельство КР, №3422-Кыргызпатент, 21.09.2018.

Абдыраева Нурипа Рахматиллаевнанын 05.13.18 - “Математикалык моделдөө, эсептөө ыкмалары жана программалар комплекси” адистиги боюнча «MmanaGal программалар пакетин колдонуу менен Кохтун ийрисиинин негизинде фракталдык антенналардын режимдеринин математикалык моделдөө» аттуу темада техника илимдеринин кандидаты окумуштуулук даражасын изденип алуу үчүн жазылган диссертациясынын

ТАРЖЫМАЛЫ

Ачкыч сөздөр: фракталдык антенна, фракталдык өлчөмдүүлүк, моделдөө, ГМС технологиясы, ТТК, күчөтүү коэффициенти, багытталуу диаграммасы, базалык станция, уюлдук түйүн.

Изилдөө объектиси: Кохтун ийрисиинин негизинде фракталдык антенна.

Иштин максаты: ГИС-технологиясы жана MmanaGal программалык пакетин колдонуу менен берилген жыштыктагы көп диапазондук жана кеңири өткөрүмдүүлүк касиетине ээ болгон фракталдык антенналардын режимдик параметрлерин жакшыртуу.

Изилдөөнүн методдору: коюлган көйгөйдүн аймагында теоретикалык жана эмпирикалык (адабияттан алынган) берилиштерди салыштырма талдоо. ArcGIS жана MmanaGal колдонмо пакеттерин колдонуу менен математикалык жана компьютердик моделдөө жана эсептөө ыкмалары

Алынган натыйжа жана анын жаңылыктуулугу: Ош шаарынын Курманжан-Датка кичи районунда жайгашкан базалык станциялардын фракталдык өлчөмү аныкталды. Фракталдык антеннанын негизги режимдик параметрлери: багытталган диаграмма, тик толкун коэффициенти (КСВ), толкундук каршылык (Z) аныкталды жана изилденди. MManaGal пакет программасын колдонуу менен GSM стандарта үчүн 900 жана 1800 МГц, LTE-сети үчүн 800 МГц жана 2600 МГц жыштыктарында фракталдык антенна моделденди жана уюлдук байланыш үчүн ФАнын жакшыртылган параметрлери алынды.

РЕЗЮМЕ

диссертации Абдыраевой Нурипы Рахматиллаевны на тему: «Математическое моделирование режимов фрактальных антенн на основе Кривой Коха с использованием пакета программ MmanaGal» на соискание ученой степени кандидата технических наук специальности 05.13.18 - Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Ключевые слова: Фрактальная антенна, фрактальная размерность, моделирование, геоинформационные системы, коэффициент стоячей волны, коэффициент усиления, диаграмма направленности, базовая станция, сотовая сеть.

Объект исследования: Фрактальная антенн на основе Кривой Коха.

Цель исследования: Улучшение режимных параметров фрактальных антенн, обладающей свойствами многодиапазонности и широкополосности при заданной частоте.

Методы исследования: сравнительный анализ теоретических и эмпирических (литературных) данных в области поставленной проблемы. Применение численных методов, математического и компьютерного моделирования с использованием прикладных пакетов ArcGIS и MManaGal.

Полученные результаты и их новизна. Определена фрактальная размерность базовых станций расположенных в микрарайоне Курманжан-Датка г. Ош, исследована и определена режимные параметры: диаграмма направленности (ДН), коэффициент стоячей волны (КСВ), коэффициент усиления (КУ) и волновое сопротивление (Z) фрактальных антенн, улучшена геометрические параметры ФА третьей итерации на частотах: 900 и 1800 МГц для стандарта GSM и 800, 2600 МГц для LTE-сетей с использованием пакета программ MmanaGal.

THE RESUME

The theses of Abdyraeva Nuripa Rakhmatillaevna on the theme: "Mathematical modeling of the models of fractal antennas based on Koch Curve using the software package MmanaGal" for the academic degree of candidate of technical sciences, specialty 13.05.18 - Mathematical modeling, numerical methods and program complexes.

Keywords: Fractal dimension, fractal antenna, GIS technology, SWR, gain factor, directional pattern, base station, cellular network.

Object of research : Computer modeling of a fractal antenna.

The purpose of the study: Improving the operating parameters of fractal antennas with multi-bandwidth and wideband properties at a given frequency.

Research methods: comparative analysis of theoretical and empirical (literature) data in the field of the problem posed. Application of numerical methods, mathematical and computer modeling using application packages ArcGIS and MManaGal.

The results and their novelty. The fractal dimension of the base stations located in the Kurmanzhan-Datka micro district of city Osh was determined, the operating parameters were studied and determined: directivity pattern (DN), standing wave ratio (SWR), gain (KU) and wave resistance (Z) of fractal antennas, improved geometric the third iteration FA parameters at frequencies: 900 and 1800 MHz for the GSM standard and 800, 2600 MHz for LTE networks using the MmanaGal software package.

АБДЫРАЕВА НУРИПА РАХМАТИЛЛАЕВНА

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ ФРАКТАЛЬНЫХ
АНТЕНН НА ОСНОВЕ КРИВОЙ КОХА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАКЕТА
ПРОГРАММ MMANAGAL**

АВТОРЕФЕРАТ

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать 22.02.2019.
Формат 60x84 1/16. Объем 1,5 уч.-изд.л.
Печать офсетная. Бумага офсетная.
Тираж 100 экз. Заказ 693

720020, г. Бишкек, ул. Малдыбаева, 34, б
Кыргызский государственный университет
строительства, транспорта и архитектуры