

Казахский национальный исследовательский технический университет  
имени К.И. Сатпаева

УДК 004.75

На правах рукописи

**МЕНДАКУЛОВ ЖАСУЛАН КОРАБАЕВИЧ**

**Разработка возможности позиционирования внутри помещений с  
использованием низкоэнергетических сигналов Bluetooth**

6D071900 – Радиотехника, электроника и телекоммуникации

Диссертация на соискание степени

доктора философии PhD

Научные консультанты:

Хачикян В.С.  
к.ф.-м.н., доцент ВАК  
Республика Казахстан

Simone. Morosi  
Ph. D. Assistant Professor  
Information Engineering Department of  
University of Florence,  
Florence, Italy

Республика Казахстан

Алматы, 2021

## ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

BLE – Bluetooth Low Energy

RSSI – Received Signal Strength Indicator

MIMO – Multiple Input Multiple Output

СВЧ – СВЕРХВЫСОКИЕ ЧАСТОТЫ

LOS – Line-of-sight

NLOS – Non-line-of-sight

TG – Tracking Generator

SA – Spectrum Analyzer

СКО – Среднеквадратическое Отклонение

dBm – decibel-milliwatts

dBi – decibel-isotropic

dBc – decibels relative to the carrier

HID – Human Interface Device

PD – Phase Detector

FHSS – Frequency-Hopping Spread Spectrum

GFSK – Gaussian Frequency Shift Keying

# СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	5
1 Определение местоположения стационарных и подвижных объектов с использованием наземных технологий .....	8
1.1 Мотивация в исследовании наземных методов позиционирования объектов .....	8
1.2 Обзор литературы .....	9
1.3 Цели и задачи исследования.....	13
1.4 Методика проведения исследования .....	14
2 Исследование возможности определения местоположения объектов экспериментальными методами .....	15
2.1 Проектирование и изготовление маяков, выбор оборудования для измерения и анализ методов определения координат .....	15
2.1.1 Радиомодули: аппаратная и программная части .....	16
2.1.2 Bluetooth Low Energy маяки: аппаратная и программная части .....	17
2.1.3 Средства для измерения сигнала: анализатор спектра и стандартное программное приложение для смартфонов.....	18
2.2 Техники позиционирования.....	21
2.2.1 Методы трилатерация мобильных и стационарных объектов .....	21
2.2.2 Влияние ошибок в измерении расстояний на точность позиционирования .....	23
2.2.3 Методы триангуляция мобильных и стационарных объектов.....	25
2.2.4 Влияние ошибок в измерении углов на точность позиционирования.....	25
3 Проведение экспериментальных измерений.....	30
3.1 Блок-схемы организации эксперимента .....	30
3.2 Математическая подготовка к проведению эксперимента .....	33
3.3 Методика проведения экспериментов и результаты.....	35
3.3.1 Измерение силы принимаемого сигнала (RSSI) USB-генератора анализатором спектра при прямой видимости (LOS) в закрытом помещении.....	35
3.3.2 Измерение величины принимаемого сигнала (RSSI) USB-генератора анализатором спектра при не прямой видимости (NLOS) при наличии преграды из железа в закрытом помещении .....	37
3.3.3 Измерение уровня принимаемого сигнала (RSSI) USB-генератора анализатором спектра при не прямой видимости (NLOS) при наличии преграды в виде стены в закрытом помещении .....	39
3.3.4 Измерение силы принимаемого сигнала (RSSI) USB-генератора анализатором спектра при не прямой видимости (NLOS) при наличии преграды в виде межэтажного пространства в закрытом помещении .....	41
3.3.5 Измерение уровня принимаемого сигнала (RSSI) BLE передатчика анализатором спектра при прямой видимости (LOS) в закрытом помещении.....	44

3.3.6 Измерение уровня принимаемого сигнала (RSSI) BLE передатчика смартфоном при прямой видимости (LOS) в закрытом помещении.....	45
4 Эксперименты по использованию многочастотного метода передачи и приема и применению многоэлементной антенной системы .....	47
4.1 Настройка антенной решетки для многочастотного режима передачи.....	47
4.1.1 Моделирование антенной решетки в программной среде MMANA-GAL .....	48
4.1.2 Эксперименты по настройке антенной решетки .....	56
4.2 Выявление дальней зоны разработанной антенной решетки .....	63
4.3 Влияние расстояния между передающей антенной решеткой и приемной антенной решеткой.....	72
4.4 Влияние человека на прохождение сигнала между передающей антенной решеткой и приемной антенной решеткой .....	78
4.5 Влияние движения человека на прохождение сигнала между передающей антенной решеткой и приемной антенной решеткой .....	81
4.6 Влияние углового смещения от прямой видимости между передающей антенной решеткой и приемной антенной решеткой .....	84
4.7 Влияние смещения по высоте от прямой видимости между передающей антенной решеткой и приемной антенной решеткой .....	87
5 Компьютерное моделирование многолучевого распространения радиоволн.....	89
5.1 Моделирование влияния отраженного сигнала на уровень принимаемого сигнала.....	89
5.2 Моделирование многочастотного способа усреднения уровня сигнала .....	91
5.3 Моделирование способа «минимакса» при многочастотном усреднении уровня сигнала .....	95
5.4 Моделирование влияния дальности на ослабление уровня сигнала .....	99
5.5 Моделирование некогерентного метода накопления уровней сигнала для улучшения отношения сигнал/шум.....	100
5.6 Моделирование влияния высоты передатчика и приемника на уровень принимаемого сигнала в условиях интерференции.....	101
Заключение .....	104
Список использованных источников .....	106

## **Введение**

**Тема:** Разработка возможности позиционирования внутри помещений с использованием низкоэнергетических сигналов Bluetooth.

### **Общая характеристика работы**

Работа посвящена экспериментальному и теоретическому исследованию возможности позиционирования внутри помещений с использованием низкоэнергетических сигналов Bluetooth, а также сравнению достижимой точности позиционирования, устойчивости к помехам между различными подходами к позиционированию. Результаты проведенных физических экспериментов и моделирования могут быть использованы при проектировании новых систем позиционирования в закрытых помещениях. В работе исследована возможность повышения точности позиционирования объектов в закрытых помещениях, включая шахтные выработки, за счёт использования многочастотных радиосигналов. Показано, что влияние многолучевого распространения радиосигналов от стен сооружений, от препятствий различного происхождения, и, связанную с ними интерференцию, можно ослабить, используя усреднённые значения затуханий на разных частотах. Использование маяков со многими частотами может дать новые возможности в решении вопроса о позиционировании объектов в закрытых помещениях.

### **Актуальность темы**

При развертывании систем позиционирования в закрытых помещениях используются методы с различными точностями позиционирования и устойчивостью к помехам. Повышение точности позиционирования и устойчивости к интерференционным помехам в задачах с повышенными требованиями является актуальной. Отсутствие единого стандарта и целесообразность исследования в этом направлении обосновывается на обзоре литературы и патентного поиска.

**Целью работы** является исследование влияния условий LOS/NLOS на прохождение радиосигнала и возможность уменьшения интерференционных помех использованием многочастотного метода передачи и приема для задач определения местоположения в закрытых помещениях.

### **Задачи исследования**

Проверить отличие точности измерений при приеме сигнала на одной частоте от приема сигнала на нескольких частотах, объединением результатов измерений отдельных частот в одно показание. Проверить влияние различных преград на прохождение сигнала. Провести компьютерное моделирование по выявлению влияния соседних антенн в матрице передающих и матрице приемных антенн. Провести экспериментальные измерения по использованию матрицы передающих и матрицы приемных антенн. Провести компьютерное моделирование распространения радиоволн в условиях интерференции и

влияния многочастотного способа приема-передачи, метода «минимакса», некогерентного накопления, высоты расположения антенн передатчиков и приемников на уровень принятого сигнала. Провести сравнение на основе среднеквадратичных ошибок.

#### **Объекты исследования**

Bluetooth Low Energy маяки, USB радиомаяки, анализатор спектра, смартфон с установленным стандартным программным приложением, матрица передающих и матрица приемных антенн.

#### **Предмет исследования**

Показатель уровня принимаемого сигнала (RSSI), устойчивость к интерференционным помехам, точность позиционирования.

#### **Метод исследования**

Самостоятельное проектирование СВЧ – генератора и BLE – маяков с возможностью установления частот вещания и настройки мощности передачи. Применение многочастотного метода передачи и приема. Применение матрицы передающих и матрицы приемных антенн.

#### **Основные положения, выносимые на защиту**

Многочастотный способ измерения уровня сигнала при определении координат позволяет снизить ошибки в определении координат, возникающие из-за интерференции;

Разработанный метод «минимакса» для определения уровня сигнала, позволяет в десятки раз снизить среднеквадратичные ошибки при измерении уровней сигнала в условиях интерференции;

Снижение высоты расположения передатчиков и приемников относительно пола помещения приводит к снижению величины ошибки при измерении уровня сигнала в условиях интерференции;

Некогерентное накопление результатов измерений на парциальных частотах позволяет повысить точность измерения уровней сигнала даже при малой разрядности аналого-цифровых преобразователей приемных устройств.

#### **Научная новизна**

Анализ публикаций и патентный поиск по теме диссертационного исследования показывает, что предложенные методы являются оригинальными, новыми и направлены на решение задач по повышению устойчивости уровня принятого сигнала, что позволит повысить точность разрабатываемых систем позиционирования в закрытых помещениях.

#### **Теоретическая и практическая значимость работы**

Полученные экспериментальные и компьютерные результаты могут быть использованы при развертывании систем позиционирования в закрытых помещениях. Предлагаемые методы многочастотной передачи и многочастотного приема, метод «минимакса» позволят снизить среднеквадратичные ошибки, тем самым стабилизировать показание уровня

сигнала. Стабильность уровня принятого сигнала уменьшает неопределенность в определении координат. Предложение по снижению высоты расположения передатчиков и приемников относительно пола помещения направлено на уменьшение величины ошибки при измерении уровня сигнала в условиях интерференции. Данный метод имеет практическую пользу при применении на мобильных роботизированных транспортных средствах. Предлагается некогерентное накопление результатов измерений. Данный метод позволит повысить отношение сигнал/шум. При слабом уровне принятого сигнала, на дальних расстояниях этот метод позволит устранить неопределенность в определении координат.

#### **Источники исследования**

Результаты оригинальных научных работ, приведенных в списке использованных источников и результаты патентного поиска по данной теме.

**Личный вклад автора** заключается в том, что основные результаты физического эксперимента, численного анализа и компьютерных расчетов, моделирования были получены лично соискателем. Постановка задач и обсуждение результатов проводились совместно с научными консультантами.

#### **Достоверность результатов**

Достоверность научных выводов работы подтверждается воспроизводимостью экспериментальных результатов, соответствием данных компьютерного моделирования с экспериментальными результатами, согласованностью полученных результатов с теоретическими предпосылками и выводами, полученными другими авторами в близких по содержанию работах, использованием апробированных методик численного анализа.

#### **Апробация работы**

По материалам диссертационной работы: 1 статья опубликована в рецензируемом журнале в базе данных Scopus, 2 статьи опубликованы в изданиях, рекомендуемых Комитетом по контролю в сфере образования и науки МОН РК, 2 статьи опубликованы в результате доклада на международных научно-практических конференциях, получено 2 патента на полезную модель, получено 1 свидетельство на объект авторского права, поданы 2 заявки на патент на изобретение.

#### **Структура и объём диссертации**

Диссертация состоит из введения, пяти разделов, заключения, списка использованных источников и содержит справку о патентном поиске.

Докторант  
Научный консультант,  
к.ф.-ф.н., доцент ВАК  
Заведующий  
кафедрой ЭТиКТ, к.т.н.. асоц. профессор

Мендакулов Ж.К.

Хачикян В.С.

Таштай Е.

# **1 Определение местоположения стационарных и подвижных объектов с использованием наземных технологий**

## **1.1 Мотивация в исследовании наземных методов позиционирования объектов**

Определение местоположения в закрытых помещениях является одной из основных задач в приложениях для подземного строительства, позиционирования роботизированных транспортных средств, служб спасения, музейных экскурсий. Эти и другие задачи требуют определения местоположения с большой точностью. Для определения местоположения объекта можно применять технологии Bluetooth, Wi – Fi, RFID, UWB, инфракрасное излучение, инерциальные навигационные системы, видимый свет, компьютерное зрение, микро-электромеханические системы, геомагнитные поля и псевдо-спутники [1]. В данной диссертационной работе в качестве технологии передачи использовалась технология Bluetooth Low Energy – BLE. Были спроектированы не стандартные, а измененные для задач исследований маяки, на основе этой технологии, а также устройство, способное вещать на частотах от 0.025 до 6 ГГц, который в дальнейшем будем именовать СВЧ маяк. Считывая уровень сигнала в dBm от этих устройств до приемника, их нужно преобразовать в шкалу длины в метрах. Зная координаты передающих устройств и расстояний до приемника от них, на основе пересечения окружностей, решая уравнения нужно найти местоположение искомого объекта. Но в закрытых пространствах местоположение объекта будет определяться с ошибкой если использовать лишь теоретические вычисления. Предварительно необходимо провести практические детектирования по определению ослабления сигнала при прямой видимости и при наличии препятствий. Опыты необходимо проводить многократно и с точным считывающим устройством. В данной диссертационной работе в качестве считывающего устройства использовались точный пятиканальный анализатор спектра и программное приложение для смартфонов. Программное приложение для смартфонов использовалось, также для сравнения результатов считывания сигналов различными средствами. BLE и СВЧ маяками передавались сигналы на различных частотах. Для устранения интерференционных помех, если сигнал на одной из частот испытает помехи остальные сигналы при усреднении не позволят сильно испортить результат. Таким образом, на основе практических результатов анализируется отличие метода определения местоположения на одной частоте от метода определения на нескольких частотах.

## 1.2 Обзор литературы

Согласно ГОСТ Р 55154-2012 п. 6.3, п. п. 6.3.9.2. [2] имеется требование, о том, что подсистема должна непрерывно в реальном времени определять местонахождение каждого спустившегося в шахту работника с разрешением  $\pm 20$  м. В [3] предлагается комплекс позиционирования персонала и транспорта с функцией оповещения персонала «Аргус-контроль». Назначением является определение положения персонала, находящегося в подземных выработках и внутришахтного транспорта; оповещение персонала. В представленной технической характеристике указывается диапазон частот радиосвязи в 2.405-2.485 ГГц, что приблизительно одинаково с использованным диапазоном частот в данной диссертационной работе, максимальная длина сегмента кабеля до ретранслятора в 1200 м и гарантированное расстояние обнаружения мобильных объектов в 100 м, что не соответствует требованиям нормативного документа [2]. Необходимо повышать точность позиционирования до 20 м.

В [4] авторы указывают, что с учетом разрешенного передвижения людей в угольной шахте с максимально возможной скоростью на ленточном конвейере в 3.15 м/с, период обновления данных о местоположении персонала не должен превышать 1 - 3 с. Отмечается, что при больших значениях этого периода параметр точности позиционирования в 20 м существенно расширится и система потеряет свою практическую ценность. Обоснованием использования в диссертационном исследовании Bluetooth Low Energy (BLE) перед другими технологиями обосновано этим замечанием, так как BLE имеет высокую скорость сканирования и время между двумя событиями достигает 7.5 мс. При выборе технологии для позиционирования внутри помещений можно руководствоваться статьей [5]. Авторы этой статьи провели сравнительный анализ этих двух технологий. BLE имеет низкую мощность относительно мВт – 1 дБ (20 дБ – Wi - Fi), высокую сканирующую скорость – 30 Гц (1 Гц – Wi - Fi), низкую потребляемую мощность – 30 мВт (1 Вт – Wi - Fi). Проведя эксперимент внутри помещений, они показали, что BLE имеет преимущества перед Wi – Fi. Три основные преимущества: скачкообразная перестройка частоты – если на одном из каналов имеется интерференция, то происходит переход на другой канал; низкая передаточная мощность – помогает избежать эффекты многолучевого распространения, т.е. лучи, идущие с отражением, слышатся лишь как шум; высокая скорость сканирования – позволяет усреднить возможные выбросы от интерференции или многолучевого распространения. Также, при развертывании точек доступа Wi - Fi руководствуются обеспечением хорошего покрытия, нежели задачами позиционирования.

В [6] авторы сделали обзор технологий позиционирования, подходящих для развертывания в подземных шахтах. Авторы указывают на те пробелы, которые никто еще не преодолел: доступность; присутствие условий прямой и не прямой видимостей – LOS/NLOS; функциональная безопасность. Эти задачи должны быть преодолены с учетом ценовой эффективности. Авторы указывают, что из-за узких туннелей и больших транспортных средств в подземных шахтах, условия LOS/NLOS меняются часто и быстро. Часто трудно оценить, когда объект находится в условиях LOS или NLOS. Транспортные средства также могут влиять на интерференцию. Замирание радиосигнала из-за этого может достигать 50 % или даже больше, что в свою очередь влияет на точность определения местоположения. В данной диссертационной работе опытным путем исследуются задачи влияния условий LOS/NLOS, уменьшение интерференционных помех.

В [7] авторы представили свою разработку подземной навигационной системы, основанную на технологии Bluetooth. Система отслеживает точное местонахождение каждого самосвала в подземной шахте с помощью датчиков, анализирует возможную подъездную дорогу с текущего места до пункта назначения и отображает путь на мобильном устройстве. Авторы указывают на недостаток системы в задержке во времени при определении сигнала от одного передающего устройства до следующего. Возможным решением предлагают устанавливать больше передающих устройств на коротком расстоянии друг от друга и улучшить программное приложение по уменьшению задержки в определении сигналов. Авторы указывают, что многие системы позиционирования в шахтах запатентованы компаниями. В статье предлагается своя разработка датчиков Bluetooth Low Energy, но возможность объединения сигналов различных частот не рассматривается. В статье нет результатов проведенных опытов исследования ослабления сигналов от различных препятствий.

В [8] авторы представили предупреждающую систему, необходимую для обнаружения приближения объекта в шахтах. Опыты по детектированию сигнала приемником от BLE передающих устройств показали, что необходимое среднее расстояние до объекта составило от 18.4 м до 37.4 м. Точность зависела от расположения препятствий, что обосновывает важность многолучевого распространения. Уменьшая вызванные этим помехи, можно приблизиться к требованиям нормативного документа [1]. В [9] авторы предложили использовать для определения прохождения мобильного объекта в подземных шахтах разность времени определения первого маяка и последнего. Авторы в качестве предложений для будущих исследований предлагают обратить

внимание на методы позиционирования для повышения точности, так как в статье не исследовались влияния препятствий и многолучевого распространения.

В [10-11] авторы указывают на необходимость проведения большего количества практических исследований.

В [12] авторы указывают, на основе анализа подземных шахт, что перед развертыванием систем на основе BLE необходимо учитывать строение туннелей, частые отражения и препятствий из различных материалов.

В [13] авторы указывают, что в подземных шахтах точность позиционирования ухудшается из-за отражений от стен туннелей. Ими разработан алгоритм, определяющий местоположение мобильных объектов, учитывающий ошибки при считывании расстояний. Недостатком является отсутствие опытов по считыванию сигнала при наличии препятствий, таких как межэтажное пространство и металлические предметы. Также авторы указывают на важность решения проблемы с интерференционными помехами.

В [14] авторы представили метод позиционирования внутри помещений для динамической коррекции RSSI развертыванием Bluetooth шлюза. Авторы провели опыт в офисном помещении прямоугольной формы с множеством работающих людей и офисной техники и мебели. Авторы указывают, что ими не были рассмотрены особые случаи в опыте, такие как углы комнат и другие сложные электромагнитные области. В [15] авторы предлагают адаптивный и надежный алгоритм, основанный на разделении каналов, на модели с отдельным ослаблением сигнала, на стратегии выбора расстояния и взвешенном алгоритме определения координат пересечением окружностей, использующем BLE датчики и известные марки смартфонов. Авторы подчеркивают, что NLOS – это основной фактор, ухудшающий оценку расстояния радиочастотными сигналами. В проведенном ими замере NLOS случаи не рассматривались в полном объеме для стабилизации позиционирования. Авторы предлагают провести дополнительные исследования с различным развертыванием станций для оценки ошибок позиционирования. В [16] авторы указывают, что одним из интересных направлений для будущих исследований является разработка новых алгоритмов и адаптация существующих алгоритмов для более сложных сценариев локализации внутри помещений в сложных NLOS обстановках. NLOS может существенно снизить точность локализации, особенно в тех случаях, когда окружающая конфигурация неизвестна, т.е. где заранее неизвестно какой канал LOS, а какой NLOS. Вместо того, чтобы выделять между LOS и NLOS каналами и пренебрегать NLOS каналом, считая его неправильно принятым сигналом, целесообразно выделить смещение NLOS канала относительно шума и использовать эту возможность для повышения точности позиционирования в

сложных обстановках. В [17] авторы предлагают полноценную систему для определения местоположений людей внутри помещений. Авторы предлагают для улучшения работы провести анализ влияния присутствия людей в качестве препятствий. Авторы [18] проводили считывание уровня сигнала в пустом помещении, при малом количестве препятствий и при наличии большого количества препятствий. В [19] авторы предлагают алгоритм определения местоположения в закрытом объекте с помощью смартфона, используя BLE датчики. Описание алгоритма авторов статьи: требуется найти местоположение приемника. Приемник отдельно для трех каналов обмеривает уровень сигнала RSS от них. Затем, эти показания проходят сглаживание. Методом полиномиальной регрессии PRM (polynomial regression model) определяется расстояние, а методом отпечатывания FP (fingerprinting) определяется местоположение приемника. Используя среднее всех трех вещательных каналов, методом детектирования выбросов определяется доверительный интервал. Если любые смиренные расстояния будут находиться за пределами доверительного интервала, то они будут отбрасываться как выбросы. Данные проходят расширенную фильтрацию Калмана. Здесь происходит процесс предсказания вектора состояния и ковариационной матрицы и обновление на основе модели измерения. После этого, еще раз проходят детектирование выбросов. Эти данные и являются конечными результатами. Они отправляются на выход и в базу отпечатывания FP для улучшения базы. Модель полиномиальной регрессии в отличие от простой модели распространения PM (propagation model) использует полином  $n$ -й степени. Коэффициенты полинома находятся при процессе калибровки. При процессе калибровки вычисляется ошибка разности оцененного расстояния и истинного расстояния. Затем по условию минимизации ошибки по отношению к коэффициентам берутся частные производные и приравниваются к нулю. Решая уравнения находятся оптимальные коэффициенты. Авторы указывают, что обычная модель распространения не подходит для использования в закрытых объектах, из-за большого количества препятствий и невозможности различить LOS от NLOS. Но, ими предложенная модель полиномиальной регрессии PRM при нахождении коэффициентов полинома также не учитывала комбинацию LOS и NLOS для обстановки внутри помещений. При считывании уровня сигнала RSS приемником нужно учитывать всевозможные сценарии LOS, NLOS, преграды, межэтажные пространства. Затем, использовать усредненные данные. Это даст приемлемый результат для комнат со сложной геометрической обстановкой. Затем, эти показания уровня сигнала могут быть использованы для оценки коэффициентов полинома методом авторов статьи. Авторы указывают, что, используя среднее всех трех вещательных каналов, методом детектирования

выбросов определяется доверительный интервал. Если любые считанные расстояния будут находиться за пределами доверительного интервала, то они будут отбрасываться как выбросы. Но если в этом блоке три вещательных канала объединяются, то этот метод похож на метода совместного использования каналов. Практические результаты показали, что конфигурация с редким расположением датчиков показала точность выше над аналогичной конфигурацией с объединением каналов. Но, при их большем количестве точность алгоритма авторов статьи и алгоритма с объединением каналов приблизительно одинаковая. Таким образом можно использовать большее количество датчиков.

Определение местоположения объекта в закрытых помещениях осуществляется двумя методами: триангуляция и алгоритм, основанный на использовании расстояний. Метод триангуляции выполняется посредством вычисления углов между тремя датчиками с известными координатами и направлением движения искомого объекта. Применяя метод комплексных чисел и решая уравнение, находятся координаты искомого объекта. Метод, основанный на использовании расстояний, выполняется посредством детектирования величины мощности (RSSI – received signal strength indicator) от трех передающих устройств с известными координатами до искомого объекта. Показания величины мощности преобразуются в шкалу длины, в метрах и решая уравнение определяются координаты искомого объекта.

Теоретические исследования определяют координаты объекта, но в практических приложениях координаты объекта определяются с ошибками из-за нестабильности показаний, наличия шумов в окружающем пространстве, многолучевого распространения.

Необходимо провести экспериментальные исследования, определяющие практические значения показаний величины мощности от датчиков. Применяя эти данные, можно скорректировать точность координат искомого объекта.

Для актуализации темы диссертации и дополнительного обзора был проведен анализ литературы [61-145].

### **1.3 Цели и задачи исследования**

Целью данной диссертационной работы является исследование влияния условий LOS/NLOS на прохождение радиосигнала и возможность уменьшения интерференционных помех использованием многочастотного метода передачи и приема для задач определения местоположения объектов в закрытых пространствах.

## 1.4 Методика проведения исследования

Для исследования необходимо проверить отличие точности измерений при приеме сигнала на одной частоте от приема сигнала на нескольких частотах, объединением результатов измерений отдельных частот в одно показание и проверить влияние различных преград на прохождение сигнала. Также, необходимо провести компьютерное моделирование по выявлению влияния соседних антенн в матрице передающих и матрице приемных антенн, провести экспериментальные измерения по использованию матрицы передающих и матрицы приемных антенн. Необходимо провести компьютерное моделирование распространения радиоволн в условиях интерференции и влияния многочастотного способа приема-передачи, метода «минимакса», некогерентного накопления, высоты расположения антенн передатчиков и приемников на уровень принятого сигнала и провести сравнение на основе среднеквадратичных ошибок.

Учитывая обзор текущей литературы по теме, здесь приводятся основные задачи для проведения экспериментальных измерений по измерению величины мощности сигнала СВЧ датчика и BLE-маяка в условиях LOS/NLOS:

эксперимент проводится в конфигурациях для определения величины мощности сигнала СВЧ-маяка, когда передатчик и приемник расположены:

- 1) при прямой видимости – line-of-sight (LOS);
  - 2) при не прямой видимости – non-line-of-sight (NLOS), объект преграды выполнен из железа;
  - 3) при не прямой видимости – non-line-of-sight (NLOS), объект преграды представляет собой стену;
  - 4) при не прямой видимости – non-line-of-sight (NLOS), объект преграды – материал между этажами; (4й-3й, 4й-2й, 4й-1й);
- также:
- 5) проведение экспериментов на различных частотах: 1800, 2000, 2200, 2400 (МГц);
  - 6) сравнение результатов для отдельных каналов с результатами для объединенных каналов;
  - 7) провести обмеривание точным пятиканальным анализатором спектра;

далее эксперимент проводится в конфигурациях для считывания величины мощности сигнала Bluetooth Low Energy – BLE маяка, когда передатчик и приемник расположены:

8) при прямой видимости – line-of-sight (LOS);

также:

9) проведение экспериментов на различных частотах: 2405, 2423, 2429, 2477 (МГц);

10) сравнение результатов для отдельных каналов с результатами для объединенных каналов.

11) провести обмеривание точным пятиканальным анализатором спектра и стандартным программным приложением для смартфонов BLE – scanner.

## **2 Исследование возможности определения местоположения объектов экспериментальными методами**

### **2.1 Проектирование и изготовление маяков, выбор оборудования для измерения и анализ методов определения координат**

Для проведения экспериментальных измерений с желаемой конфигурацией возникла необходимость в проектировании оборудования.

Для выполнения практических задач были спроектированы два генератора. Первый, подключаемый по USB каналу к компьютеру способен вещать сигнал на частотах от 0.025 до 6 ГГц. Второй, также подключаемый по USB каналу к компьютеру, представляет собой BLE – маяк, вещающий сигнал в стандартном диапазоне частот для Bluetooth, но имеющий ширину канала в 2 МГц.

Для задач определения величины мощности сигналов был использован анализатор спектра, способный работать одновременно на пяти каналах, спроектированный объединением пяти блоков USB-SA 124B, способных обмеривать сигналы на частотах от 100 кГц до 12.4 ГГц. Для сравнения отличия в точности и в возможностях отображения результатов сигнал от BLE маяка был обмерен смартфоном, с установленным приложением BLE scanner.

## 2.1.1 Радиомодули: аппаратная и программная части

Технические характеристики СВЧ маяка: микрочип: HMC833LP6GE. Он имеет низкий уровень шума, широкополосный, использует Fractional-N Phase-Locked-Loop (PLL) состоящий из Integrated Voltage Controlled Oscillator (VCO) с основной частотой от 1500 до 3000 МГц и встроенный VCO внешний делитель (делит на 1/2/4/6.../60/62), что совместно позволяет HMC833LP6GE генерировать сигналы на частотах от 0.025 до 6 ГГц. Это его ширина полосы. Встроенный детектор фазы – Integrated Phase Detector (PD) и delta sigma modulation, способные работать до 100 МГц, обеспечивают более широкую контурную полосу частот с превосходными спектральными характеристиками. Маяк вещает синусоидальные частоты. Очень низкий фазовый шум: -110 dBc/Hz in Band Type; добротность: -227 dBc/Hz; среднеквадратическое отклонение: <180 fs; изменение мощности: 0 dB: -0.5 dB (step): -31.5dB; точность частоты: 3 Hz; максимальная мощность сигнала: на 1 GHz-17 dBm, на 2 GHz-16 dBm, на 3 GHz-12 dBm; мощность: 1 мВт. Программная часть написана в фреймворке Qt, в интегрированной среде разработки Visual Studio и с использованием спецификации USB HID.

Изображение USB-генератора приведено на рисунке 1.

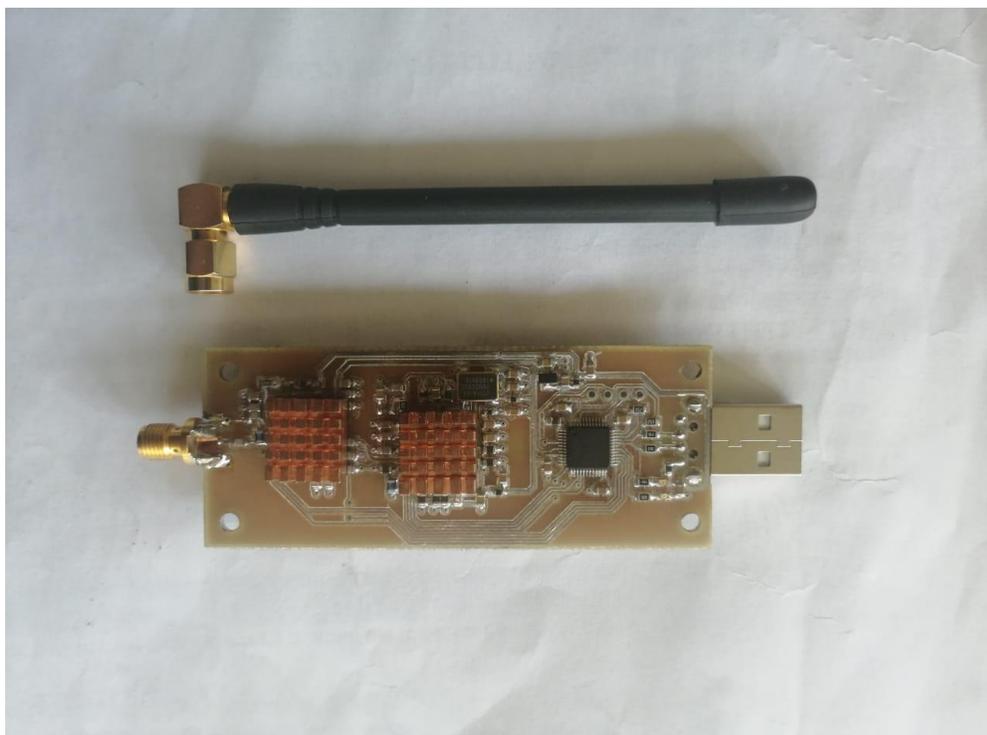


Рисунок 1. USB – генератор с антенной

Окно задания частоты, ослабления и режима USB генератора представлено на рисунке 2.

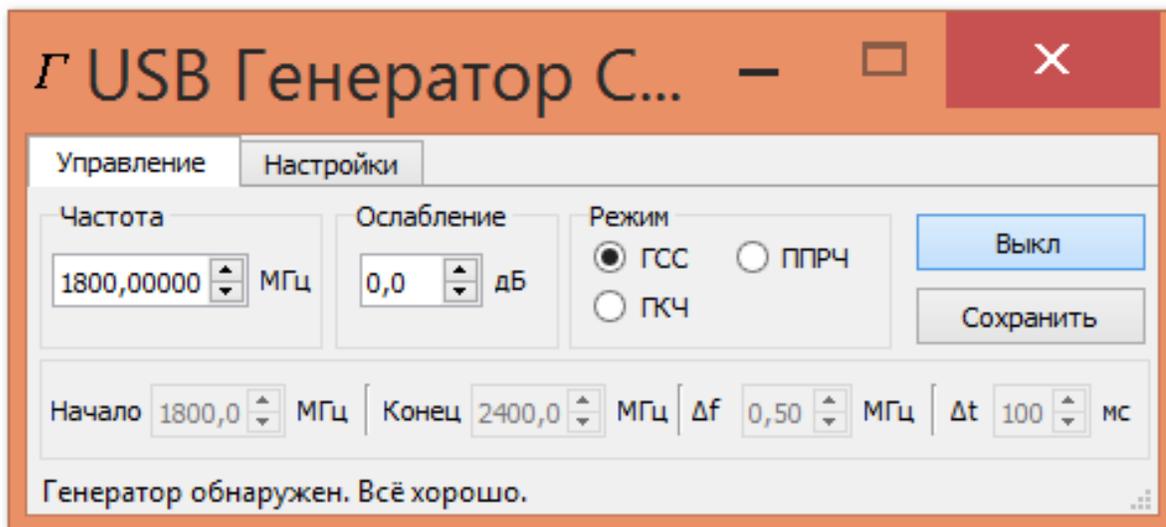


Рисунок 2 – Окно задания частоты, ослабления и режима USB генератора

### 2.1.2 Bluetooth Low Energy маяки: аппаратная и программная части

Используемый диапазон радиочастот Bluetooth Low Energy маяков: 2.4 ГГц ISM. Эта полоса делится на 40 каналов от 2.4 ГГц до 2.4835 ГГц. 37 из этих каналов используются для обмена данными, а остальные три канала: 37-й, 38-й и 39-й используются как широковещательные для настройки соединений и отправки широковещательных данных. Стандарт использует метод FHSS (frequency hopping spread spectrum) псевдослучайную перестройку рабочей частоты. Этот метод минимизирует радио интерференцию между любыми единичными каналами. Модуляция, используемая для кодирования поток битов по воздуху GFSK (Gaussian Frequency Shift Keying). Скорость модуляции равна 1 Мбит/с.

Для практических задач по определению координат использованием расстояний был использован спроектированный для этих задач BLE передатчик. В конструкторском бюро были изготовлены BLE передатчики, основанные на чипе nRF24L01 и работающие в полосе ISM – 2.4 GHz. BLE передатчики были изготовлены для выполнения экспериментов и их характеристики схожи со стандартной спецификацией. Стандартное Bluetooth оборудование использует ISM полосу и имеет ширину полосы одного канала в 1 MHz. Программируя самостоятельно, BLE передатчики, ширина полосы каналов была изменена с

1 MHz на 2 MHz. Таким образом, в спроектированном BLE передатчике 40 каналов. Для экспериментального использования передатчики отправляют данные на 4-х каналах, на частотах 2405 MHz, 2423 MHz, 2429 MHz, 2477 MHz. Принятая мощность сигналов – received signal strength RSS от этих 4-х каналов измерялась анализатором спектра и программным приложением для смартфонов «BLE scanner».

Изображение BLE генератора приведено на рисунке 3.

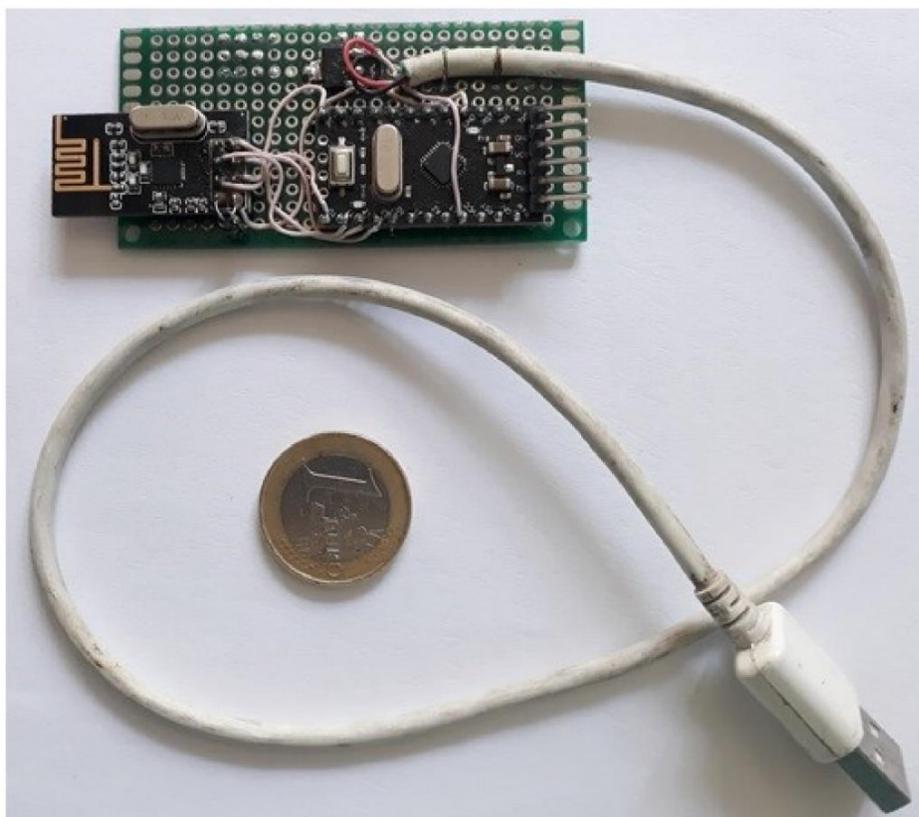


Рисунок 3. BLE генератор (beacon), вещающий сигнал на стандартной частоте Bluetooth Low Energy, но с удвоенной шириной канала

### **2.1.3 Средства для измерения сигнала: анализатор спектра и стандартное программное приложение для смартфонов**

Модули анализатора спектра для пяти каналов способны измерять сигнал от 100 кГц до 12.4 ГГц. Модули имеют относительную точность в 0.25 дБ.

Технические характеристики анализатора спектра «БАРС»: диапазон частот: 1 Hz – 4.4 (12.4) GHz; динамический диапазон: (-151) – (+10) dBm; разрешение по частоте: 0.1 Hz-250 kHz; точность измерения уровней: 0.25 dB; полоса частот I/Q демодулятора: 240 kHz; сканирующая скорость 140 MHz/s: 140 MHz/s.

Также необходим смартфон, с установленным стандартным приложением BLE scanner, способным измерять уровень мощности сигнала от маяков.

Оборудование для измерения уровня сигнала – анализатор спектра «БАРС» представлен на рисунке 4.

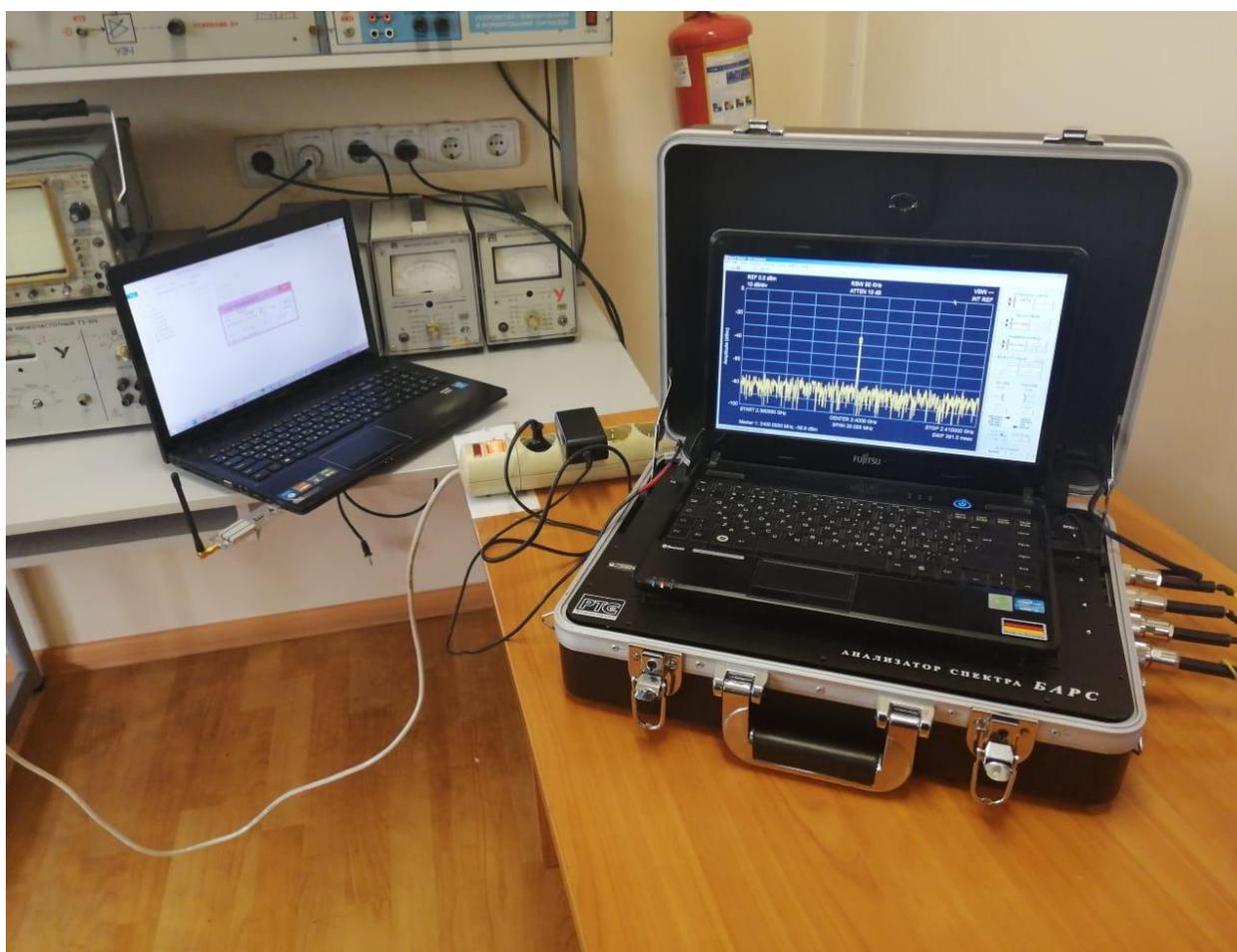


Рисунок 4. Пример измерения уровня мощности сигнала частоты 2400 МГц от USB-генератора на анализаторе спектра БАРС

Внешний вид модуля анализатора спектра представлен на рисунке 5.



Рисунок 5 – Модуль анализатора спектра USB-SA124B (100 кГц-12.4 ГГц)

Внешний вид окна настроек анализатора спектра БАРС представлен на рисунке 6.

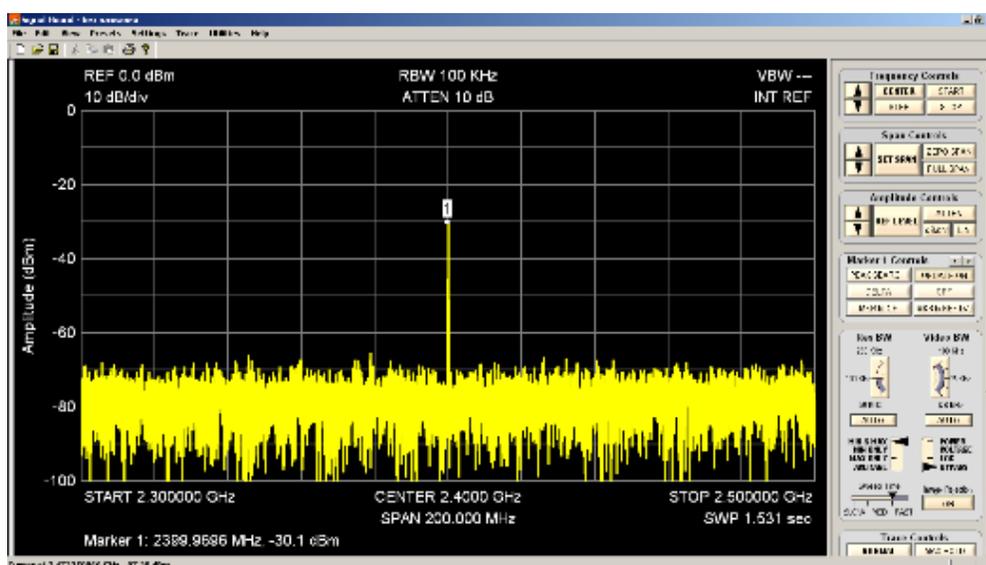


Рисунок 6 – Основное окно программы для задания частоты измерения и настроек

## 2.2 Техники позиционирования

Определение местоположения объекта в закрытых помещениях осуществляется двумя методами: триангуляция и алгоритм, основанный на использовании расстояний. Метод триангуляции выполняется посредством вычисления углов между тремя датчиками с известными координатами и направлением движения искомого объекта.

Перед тем как создать программу нужно учитывать чувствительность методов к ошибкам. В частности, необходимо проанализировать чувствительность алгоритмов трилатерации и триангуляции к ошибкам. Выводы на основе моделирования должны учитываться при дальнейшем проектировании программных приложений по определению координат в закрытых помещениях.

### 2.2.1 Методы трилатерация мобильных и стационарных объектов

Ниже приводится вывод алгоритма трилатерации:

Координаты 1-го маяка:  $x_{T1}, y_{T1}$

Координаты 2-го маяка:  $x_{T2}, y_{T2}$

Координаты 3-го маяка:  $x_{T3}, y_{T3}$

Координаты искомого объекта:  $x_R, y_R$

Расстояние до 1-го маяка:  $l_{M1}$

Расстояние до 2-го маяка:  $l_{M2}$

Расстояние до 3-го маяка:  $l_{M3}$

Для определения координат искомого объекта начнем с уравнения окружности:

$$l^2 = x^2 + y^2$$

Подставим индексы трех маяков и индексы искомого объекта:

$$l_{M1}^2 = (x_R - x_{T1})^2 + (y_R - y_{T1})^2$$

$$l_{M2}^2 = (x_R - x_{T2})^2 + (y_R - y_{T2})^2$$

$$l_{M3}^2 = (x_R - x_{T3})^2 + (y_R - y_{T3})^2$$

Раскроем уравнения:

$$l_{M1}^2 = x_R^2 - 2x_R x_{T1} + x_{T1}^2 + y_R^2 - 2y_R y_{T1} + y_{T1}^2$$

$$l_{M2}^2 = x_R^2 - 2x_R x_{T2} + x_{T2}^2 + y_R^2 - 2y_R y_{T2} + y_{T2}^2$$

$$l_{M3}^2 = x_R^2 - 2x_R x_{T3} + x_{T3}^2 + y_R^2 - 2y_R y_{T3} + y_{T3}^2$$

Вычтем с 1-го уравнения второе, со 2-го 3-е уравнение:

$$l_{M1}^2 - l_{M2}^2 = -2x_R(x_{T1} - x_{T2}) + x_{T1}^2 - x_{T2}^2 - 2y_R(y_{T1} - y_{T2}) + y_{T1}^2 - y_{T2}^2$$

$$l_{M2}^2 - l_{M3}^2 = -2x_R(x_{T2} - x_{T3}) + x_{T2}^2 - x_{T3}^2 - 2y_R(y_{T2} - y_{T3}) + y_{T2}^2 - y_{T3}^2$$

$$x_R(x_{T1} - x_{T2}) + y_R(y_{T1} - y_{T2}) = \frac{x_{T1}^2 - x_{T2}^2 + y_{T1}^2 - y_{T2}^2 - l_{M1}^2 + l_{M2}^2}{2} = X$$

$$x_R(x_{T2} - x_{T3}) + y_R(y_{T2} - y_{T3}) = \frac{x_{T2}^2 - x_{T3}^2 + y_{T2}^2 - y_{T3}^2 - l_{M2}^2 + l_{M3}^2}{2} = Y$$

Приведем уравнения в виде матриц:

$$\begin{vmatrix} (x_{T1} - x_{T2}) & (y_{T1} - y_{T2}) \\ (x_{T2} - x_{T3}) & (y_{T2} - y_{T3}) \end{vmatrix} \begin{vmatrix} x_R \\ y_R \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} X \\ Y \end{vmatrix}$$

$$\begin{vmatrix} x_R \\ y_R \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} (x_{T1} - x_{T2}) & (y_{T1} - y_{T2}) \\ (x_{T2} - x_{T3}) & (y_{T2} - y_{T3}) \end{vmatrix}^{-1} \begin{vmatrix} X \\ Y \end{vmatrix}$$

Только в случае матриц с размерностью 2x2 для вычисления обратной матрицы переставим местами 1-й и 4-й элементы и поменяем знаки 2-го и 3-го элементов и разделим на определитель:

$$\begin{vmatrix} x_R \\ y_R \end{vmatrix} = \frac{1}{D} \begin{vmatrix} (y_{T2} - y_{T3}) & -(y_{T1} - y_{T2}) \\ -(x_{T2} - x_{T3}) & (x_{T1} - x_{T2}) \end{vmatrix} \begin{vmatrix} X \\ Y \end{vmatrix}$$

$$D = \frac{1}{(y_{T2} - y_{T3})(x_{T1} - x_{T2}) - (x_{T2} - x_{T3})(y_{T1} - y_{T2})}$$

$$\begin{vmatrix} x_R \\ y_R \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} (y_{T2} - y_{T3}) & -(y_{T1} - y_{T2}) \\ -(x_{T2} - x_{T3}) & (x_{T1} - x_{T2}) \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \frac{x_{T1}^2 - x_{T2}^2 + y_{T1}^2 - y_{T2}^2 - l_{M1}^2 + l_{M2}^2}{2} \\ \frac{x_{T2}^2 - x_{T3}^2 + y_{T2}^2 - y_{T3}^2 - l_{M2}^2 + l_{M3}^2}{2} \end{vmatrix}$$

## 2.2.2 Влияние ошибок в измерении расстояний на точность позиционирования

Для вычисления координат искомого объекта воспользуемся программой MatLab. Координаты 1-го маяка:  $x_{T1}=3$ ;  $y_{T1}=3$ ; 2-го маяка:  $x_{T2}=6$ ;  $y_{T2}=7$ ; 3-го маяка:  $x_{T3}=9$ ;  $y_{T3}=3$ . Найдем координаты искомого объекта. Входными данными к программе являются расстояния до искомого объекта от каждого маяка. В приведенном примере расстояние от 1-го маяка до искомого объекта: 3, расстояние от 2-го маяка до искомого объекта: 4, расстояние от 3-го маяка до искомого объекта: 3. На рисунке 7 представлены границы и координаты маяков и координаты искомого объекта. Координаты искомого объекта:  $x_R=6$ ,  $y_R=3$ .

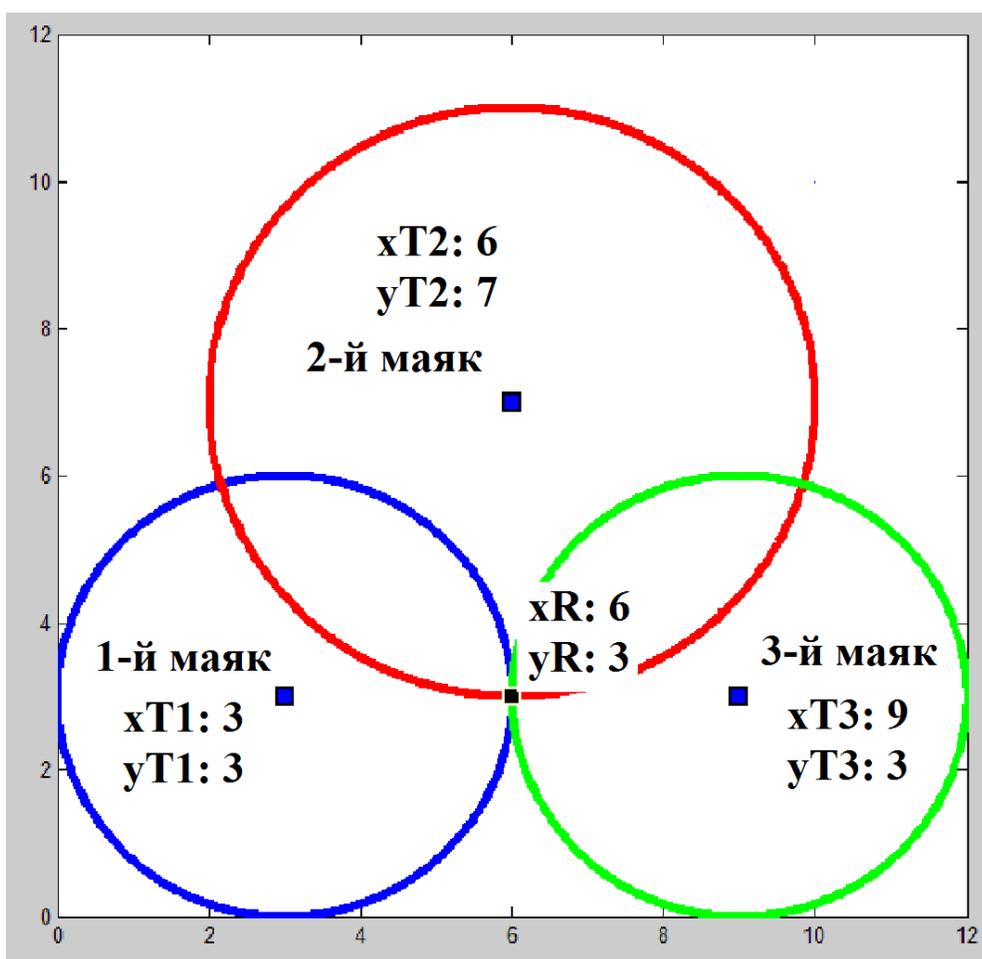


Рисунок 7. Координаты искомого объекта в точке пересечения трех окружностей

Если при измерении расстояния от 3-го маяка значение будет равно 5, то при пересечении окружностей появится неопределенность. Координаты искомого объекта будут вычислены как  $x_R=4.67$ ,  $y_R=4$ . Это приблизительные координаты. На рисунке 8 раскрашенная область является областью неопределенности.

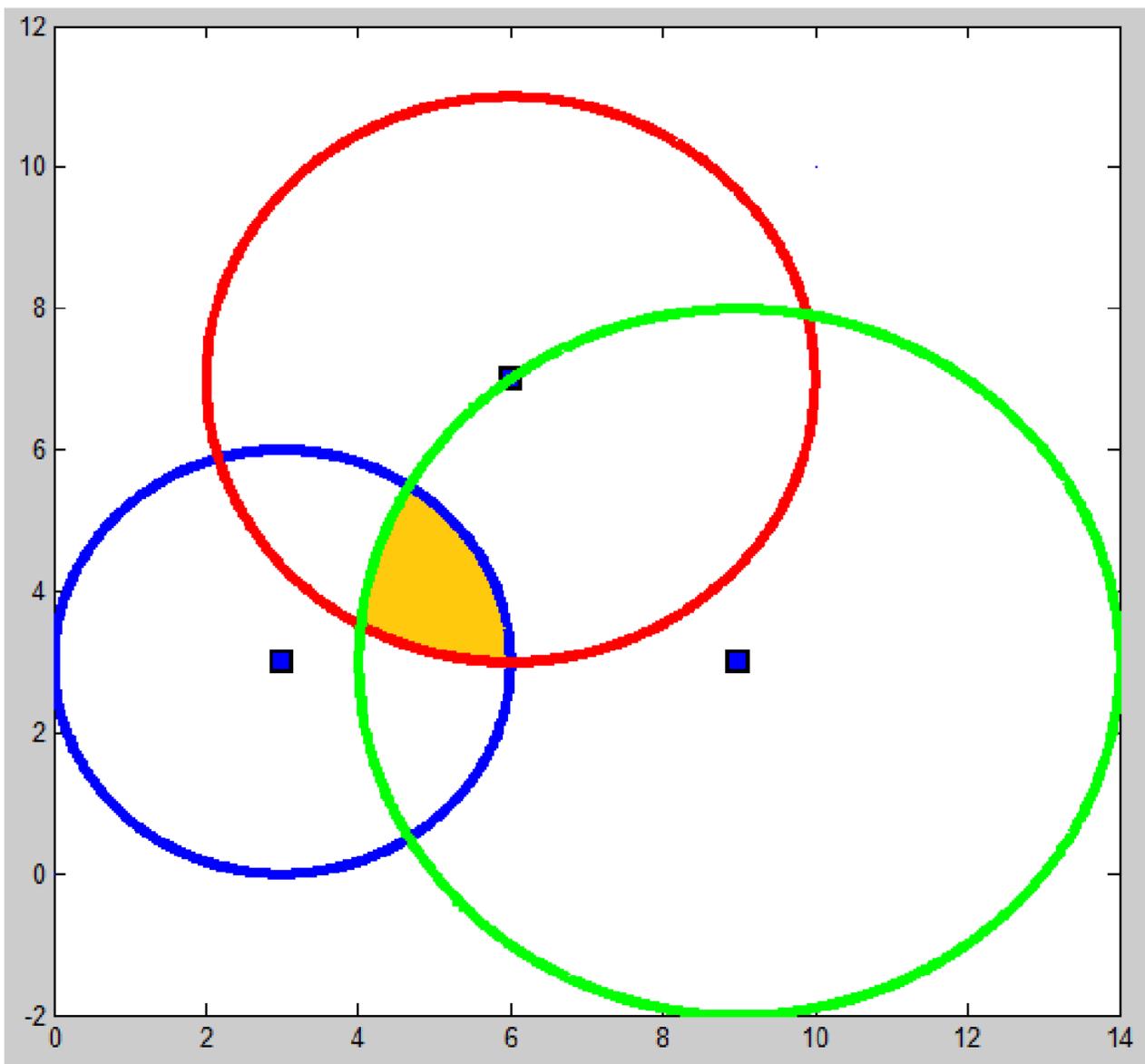


Рисунок 8. Координаты искомого объекта в месте пересечения трех окружностей имеют площадь неопределенности

### 2.2.3 Методы триангуляция мобильных и стационарных объектов

Для проведения моделирования описание алгоритма приводится в виде программного кода. Ниже приведен листинг программы на языке MatLab алгоритма триангуляции на основе статьи [20]:

```
function [Xr, Yr] = ToTal(x1, y1, x2, y2, x3, y3, phi1, phi2, phi3)
%step1
x1l=x1-x2;
y1l=y1-y2;
x3l=x3-x2;
y3l=y3-y2;
%step2
T12=cot((phi2-phi1)*pi/180);
T23=cot((phi3-phi2)*pi/180);
T31=(1-T12*T23)/(T12+T23);
%step3
x12l=x1l+T12*y1l;
y12l=y1l-T12*x1l;
x23l=x3l-T23*y3l;
y23l=y3l+T23*x3l;
x31l=(x3l+x1l)+T31*(y3l-y1l);
y31l=(y3l+y1l)-T31*(x3l-x1l);
%step4
k31l=x1l*x3l+y1l*y3l+T31*(x1l*y3l-x3l*y1l);
%step5
D=(x12l-x23l)*(y23l-y31l)-(y12l-y23l)*(x23l-x31l);
%step6
Xr=x2+((k31l*(y12l-y23l))/D)
Yr=y2+((k31l*(x23l-x12l))/D)
```

### 2.2.4 Влияние ошибок в измерении углов на точность позиционирования

Задача алгоритма триангуляции в определении местоположения объекта по измерениям углов от трех маяков. Точность позиционирования ухудшается из-за наличия ошибок в измерении углов. Промоделируем влияние наличия ошибок в измерении углов на точность позиционирования. В примере взят частный случай,

когда первый угол равен 270 градусов, второй угол равен 45 градусов, третий угол равен 180 градусов. В первом примере угол в 270 градусов отклоняется до ошибки в 5 градусов. Во втором примере второй угол в 45 градусов отклоняется до ошибки в 5 градусов. В третьем примере угол в 180 градусов отклоняется до ошибки в 5 градусов. При измерении координат в метрах это приводит до ошибки в 13 сантиметров [148, 149].

**a) ToTal(x1, y1, x2, y2, x3, y3, phi1, 45, 180)**

Градусы phi1	266	267	268	269	270	271	272	273	274	275
Xr	-2.04	-2.03	-2.02	-2.01	-2	-1.99	-1.98	-1.98	-1.97	-1.96
Yr	0.11	0.08	0.05	0.03	0.00	-0.03	-0.05	-0.08	-0.10	-0.13

**b) ToTal(x1, y1, x2, y2, x3, y3, 270, phi2, 180)**

Градусы phi2	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
Xr	-2.07	-2.05	-2.03	-2.02	-2.00	-1.98	-1.96	-1.95	-1.93	-1.91
Yr	-0.07	-0.05	-0.04	-0.02	0.00	0.02	0.03	0.05	0.07	0.08

**c) ToTal(x1, y1, x2, y2, x3, y3, 270, 45, phi3)**

Градусы phi3	176	177	178	179	180	181	182	183	184	185
Xr	-1.90	-1.92	-1.95	-1.97	-2.00	-2.03	-2.05	-2.08	-2.11	-2.13
Yr	-0.03	-0.02	-0.02	-0.01	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05

**d) ToTal(x1, y1, x2, y2, x3, y3, phi1+(q), phi2+(2\*q), phi3+(3\*q))**

Градусы phi1+1	266	267	268	269	270	271	272	273	274	275
Градусы phi2+2.5	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
Градусы phi3+3	176	177	178	179	180	181	182	183	184	185
Xr	-2.00	-2.04	-2.07	-2.11	-2.15	-2.19	-2.23	-2.28	-2.33	-2.38
Yr	0.00	0.04	0.07	0.11	0.15	0.19	0.23	0.28	0.33	0.38

Эти данные получены посредством введения циклов в программу триангуляции.

В примере взят частный случай, когда первый угол равен 270 градусов, второй угол равен 45 градусов, третий угол равен 180 градусов. В первом примере

угол в 270 градусов отклоняется до ошибки в 5 градсов. Во втоом примере второй угол в 45 градуов отклоняется до ошибки в 5 градусов. В третьем примере угол в 180 граудсов отклоняется до ошибки в 5 градусов. При измерении координат в метрах это приводит до ошибки в 13 сантиметров. Соответственно при проектирвни систем позиционирования внутри помещений нужно учитывать точность датчиков измерения углов.

Также было создано программное приложение для определения координат объекта в подземных сооружениях на основе алгоритма триангуляции. Программное приложение написано на языке программирования С++ в среде разработки Visual Studio 2010. Программное приложение основывается на алгоритме триангуляции [21, 22, 23].

На графическом интерфейсе располагаются следующие объекты:

- 1) Карта закрытого помещения квадратной формы с размерами по горизонтали и по диагонали. Размеры помещения: 500x500;
- 2) Поля для введения координат маяков;
- 3) Поля для введения данных с датчиков углов между тремя маяками и направлением движения искомого объекта, принятым по умолчанию от юга на север;
- 4) Поле для вывода координат искомого объекта.

Внешний вид графического интерфейса пользователя до введения данных координат маяков приведен на рисунке 9.



Рисунок 9. Графический интерфейс пользователя приложения для определения координат объекта в подземных сооружениях до введения координат маяков

Внешний вид графического интерфейса пользователя после введения данных координат маяков приведен на рисунке 10.

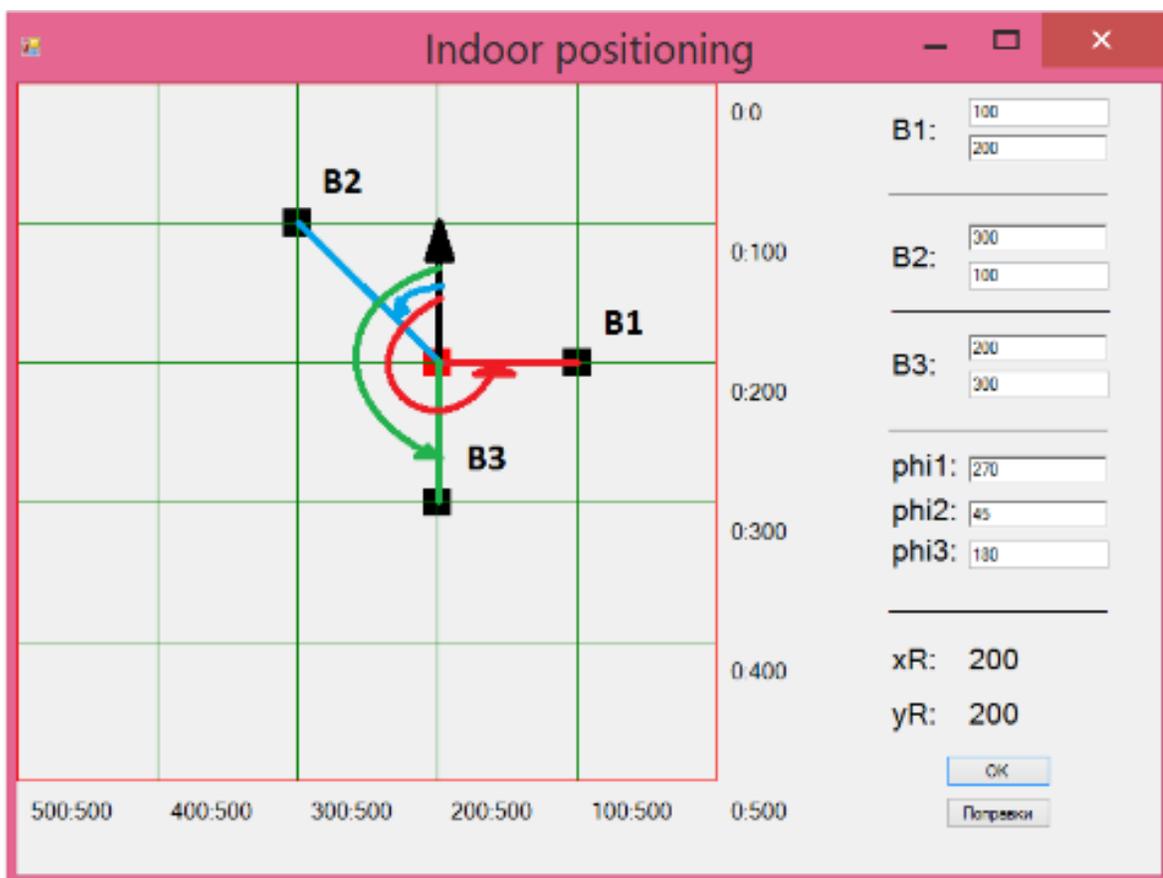


Рисунок 10. Графический интерфейс пользователя приложения для определения координат объекта в подземных сооружениях после введения координат маяков

Влияние ошибок в измерении углов на точность определения координат объекта при среднеквадратическом отклонениях в 0.1, 1, 2 градуса и с нулевым математическим ожиданием.

Добавим Гауссовский шум к значениям углов со средним математическим ожиданием, равным нулю и со среднеквадратическим отклонением в 0.1, 1, 2 градуса.

Проведем эксперимент 1000 раз.

На рисунке 11 показаны точное значение и накладываемые значения с ошибками разных цветов для трех различных среднеквадратических отклонений в 0.1, 1, 2 градуса и с нулевым математическим ожиданием.

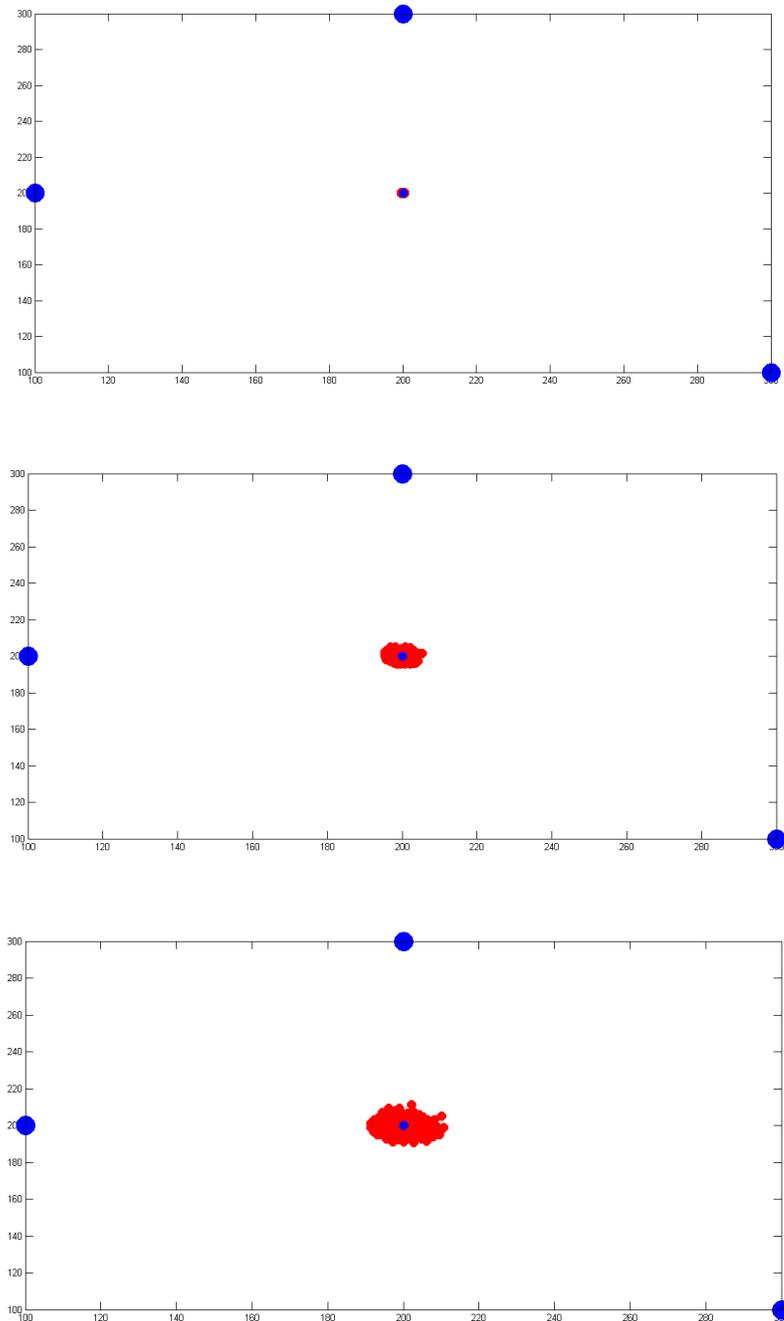


Рисунок 11. Точное значение координат и значения, накладываемые с ошибками разных цветов для трех различных среднеквадратических отклонений в 0.1, 1, 2 градуса и с нулевым математическим ожиданием.

### 3 Проведение экспериментальных измерений

#### 3.1 Блок-схемы организации эксперимента

- 1) Показатель силы принимаемого сигнала (RSSI) радиомаяка при прямой видимости (LOS), схематическое изображение приведено на рисунке 12.

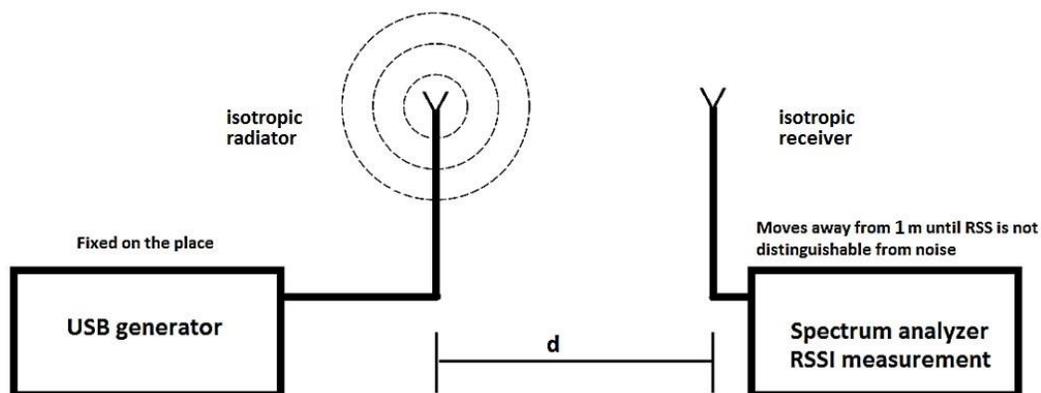


Рисунок 12. Расположение передатчика и приемника для измерения сигнала радиомаяка при прямой видимости – line-of-sight (LOS)

- 2) Показатель силы принимаемого сигнала (RSSI) радиомаяка при не прямой видимости (NLOS) при наличии преграды из железа в закрытом помещении, схематическое изображение приведено на рисунке 13.

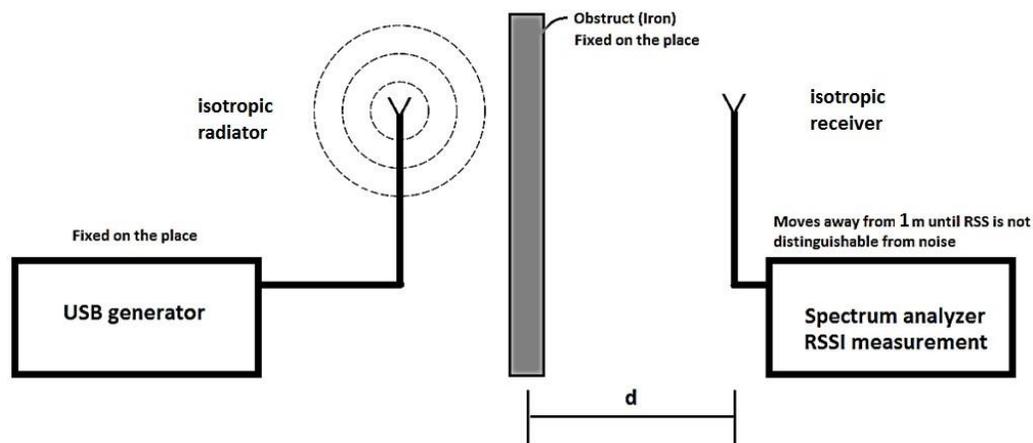


Рисунок 13. Расположение передатчика и приемника для измерения сигнала радиомаяка при не прямой видимости – non-line-of-sight (NLOS). Материал преграды – железо.

3) Показатель силы принимаемого сигнала (RSSI) радиомаяка при не прямой видимости (NLOS) при наличии преграды в виде стены в закрытом помещении, схематическое изображение приведено на рисунке 14.

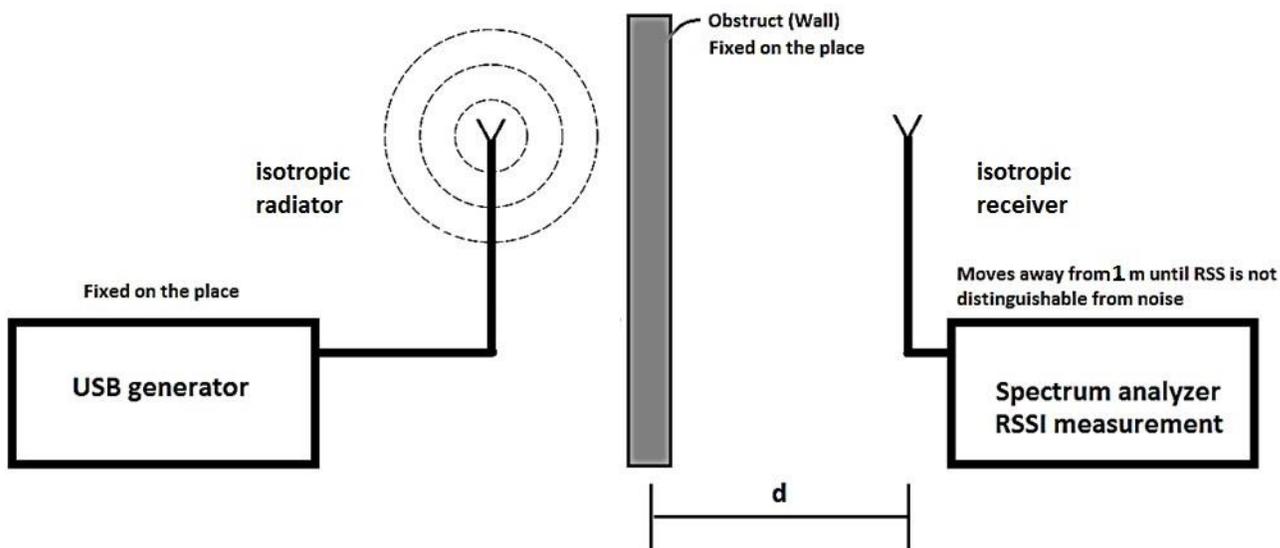


Рисунок 14. Расположение передатчика и приемника для измерения сигнала радиомаяка при не прямой видимости – non-line-of-sight (NLOS). Материал преграды – стена.

4) Показатель силы принимаемого сигнала (RSSI) радиомаяка при не прямой видимости (NLOS) при наличии преграды в виде межэтажного пространства в закрытом помещении, схематическое изображение приведено на рисунке 15.

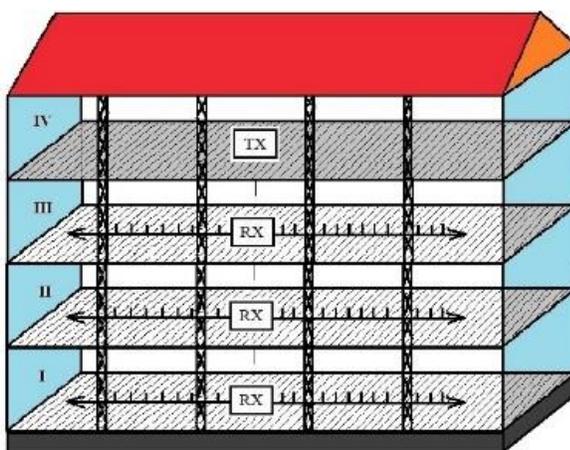


Рисунок 15. Расположение передатчика и приемника для измерения сигнала радиомаяка при не прямой видимости – non-line-of-sight (NLOS). Материал преграды – межэтажное пространство – (4й-3й, 4й-2й, 4й-1й).

5) Показатель силы принимаемого сигнала (RSSI) BLE маяка при прямой видимости (LOS) в закрытом помещении, схематическое изображение приведено на рисунке 16.

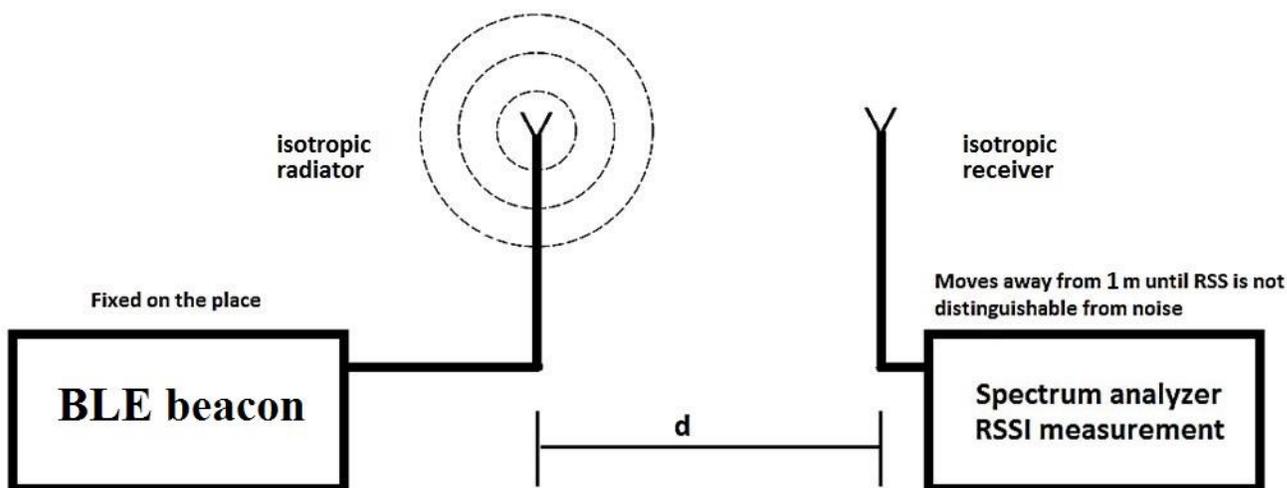


Рисунок 16. Расположение передатчика и приемника для измерения сигнала BLE маяка при прямой видимости – line-of-sight (LOS)

б) Показатель силы принимаемого сигнала (RSSI) BLE маяка при прямой видимости (LOS) в закрытом помещении, полученный программным приложением для смартфона «BLE scanner», схематическое изображение приведено на рисунке 17.

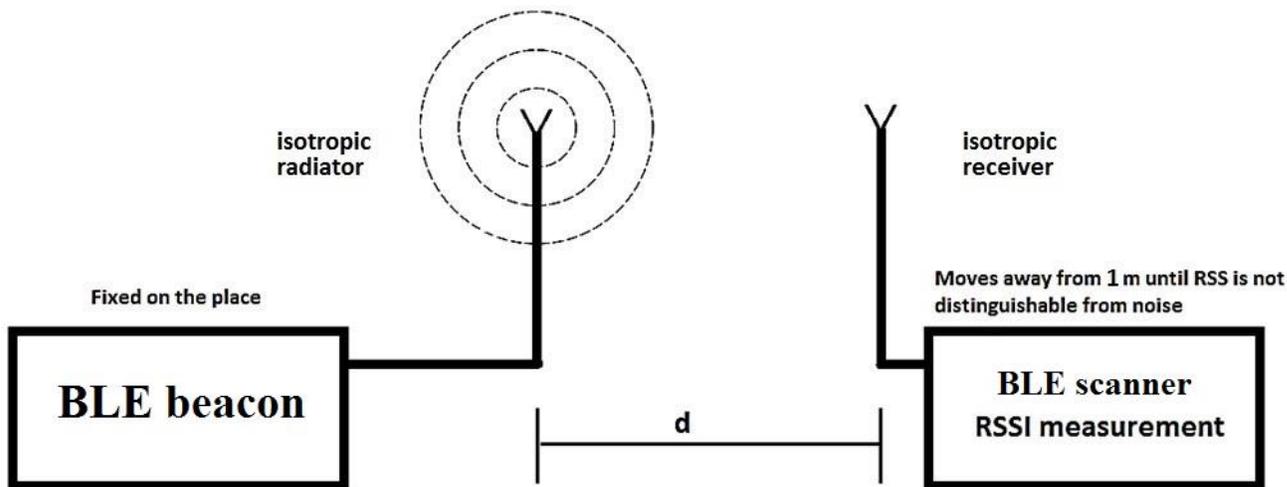


Рисунок 17. Расположение передатчика и приемника для измерения сигнала BLE маяка при прямой видимости – line-of-sight (LOS) программным приложением для смартфона «BLE scanner»

## 3.2 Математическая подготовка к проведению эксперимента

Ошибки измерений можно разделить на три группы: систематические, случайные (статистические) и грубые.

Нас интересуют систематические ошибки, типичными источниками которых могут быть: несовершенство измерительной аппаратуры, несовершенство используемого метода измерений, плохая настройка измерительной аппаратуры, недостаточное постоянство условий опыта, влияние окружающей среды, постоянные ошибки экспериментатора, неучтенные влияния других параметров [24-30].

### 1) Необходимое количество замеров сигнала:

**Шаг 1.** Выбрать уровень доверия:  $\gamma$  (95 %);

**Шаг 2.** Выбрать соответствующий индекс стандартного отклонения:  $c = 1.960$ ;

**Шаг 3.** Выбрать среднеквадратическое отклонение для прибора измерения. Для анализатора спектра USB-SA44B точность измерений составляет 025 дБ.

$$0.25 \text{ дБ} = 10 \times \log_{10} \frac{P_1}{P_2}$$

$$\frac{P_1}{P_2} = 10^{0.025} \approx 1.059$$

$$1.059 - 1 = 0.059 \%$$

Таким образом:  $\sigma = 0.059$ ;

**Шаг 4.** Выбрать предельную ошибку выборки:  $k$

Влияние выбранной предельной ошибки выборки на близкое расположение и дальнейшее расположении радиомаяков и BLE маяков можно определить используя формулу, основанную на потере передачи при прямой видимости и использовании изотропной антенны:

$$L_B [\text{дБ}] = +27.56 - 20 \times \log_{10} f [\text{МГц}] - 20 \times \log_{10} r [\text{м}]$$

где, величину частоты вещания выберем равной  $f = 2400$  [МГц].

Выберем предельную ошибку выборки равной 0.5 дБ. Рассчитывая по формуле, можно определить, что на расстояниях в 3 метра выбранная ошибка выборки дает погрешность в определении расстояния в пределах 18 см, на расстояниях в

15 метров выбранная ошибка выборки дает погрешность в определении расстояния в пределах 90 см.

$$0.5 \text{ дБ} = 10 \times \log_{10} \frac{P_1}{P_2}$$

$$\frac{P_1}{P_2} = 10^{0.05} \approx 1.122$$

$$1.122 - 1 = 0.122 \%$$

Таким образом:  $k = 0.122$ ;

$$n = \left( \frac{c \times \sigma}{k} \right)^2 = \left( \frac{1.960 \times 0.059}{0.122} \right)^2 \approx 0.9 \approx 1$$

**Итог:** необходимо провести **1** замер сигнала для соответствия выбранной длине доверительного интервала.

$$CONF_{95\%} \{ \{ \bar{x} - k \leq \mu \leq \bar{x} + k \} \}$$

## 2) Разновидности измерений:

**Вид 1.** Измерение влияния дальности на уровень сигнала при прямой видимости радиомаяка и анализатора спектра;

**Вид 2.** Измерение влияния дальности и наличия преграды из железа на уровень сигнала при не прямой видимости радиомаяка и анализатора спектра;

**Вид 3.** Измерение влияния дальности и наличия преграды в виде стены на уровень сигнала при не прямой видимости радиомаяка и анализатора спектра;

**Вид 4.** Измерение влияния дальности и наличия преграды в виде межэтажного пространства на уровень сигнала при не прямой видимости радиомаяка и анализатора спектра;

**Вид 5.** Измерение влияния различных частот вещания радиомаяка на уровень сигнала при предыдущих конфигурациях экспериментов (Виды 1, 2, 3, 4);

**Вид 6.** Измерение влияния многочастотного метода передачи на уровень сигнала при тех же конфигурациях экспериментов (Виды 1, 2, 3, 4);

**Вид 7.** Измерение влияния дальности на уровень сигнала при прямой видимости VLE маяка и анализатора спектра;

**Вид 8.** Измерение влияния многочастотного метода передачи VLE маяка на уровень сигнала при предыдущей конфигурации эксперимента (Вид 7);

**Вид 9.** Измерение уровня сигнала BLE маяка программным приложением для смартфона, для дальнейшего сравнения результатов, полученных анализатором спектра.

Предполагаем, что результаты измерений подчиняются нормальному распределению. Необходимо после проведения измерений вычислить параметры:

**Математическое ожидание:**

$$\hat{\mu} = \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_j = \frac{1}{n} (x_1 + x_2 + \dots + x_n)$$

**Дисперсия:**

$$\hat{\sigma}^2 = s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (x_j - \bar{x})^2$$

**Среднеквадратическое отклонение (стандарт):**

$$\hat{\sigma} = \sqrt{\hat{\sigma}^2}$$

### **3) Сглаживание экспериментальных зависимостей**

Для сглаживания используется линейная регрессия и нелинейная регрессия.

## **3.3 Методика проведения экспериментов и результаты**

### **3.3.1 Измерение силы принимаемого сигнала (RSSI) USB-генератора анализатором спектра при прямой видимости (LOS) в закрытом помещении**

Считывание сигнала от генератора на различных частотах: 1800, 2000, 2200, 2400 (МГц).

Для выполнения практических задач генератор устанавливается в зоне прямой видимости и записываются его координаты. Настраивается вещательная частота. Обмеривание начинается с частоты в 1800 МГц. Также, обмеривание повторяем для остальных частот. На расстоянии в 1 метр от него, располагаем анализатор спектра для уверенности чтобы волна сформировалась. Записываем показание анализатора. Отодвигаем анализатор еще на 1 метр, снова записываем показание прибора. Таким образом через каждый 1 метр снимаем показание

анализатора. Когда значение сигнала не будет выделяться от значения окружающего шума мы прекращаем обмеривание. Для практических задач длина антенны передающего устройства была выбрана одинаковой для всех заданных частот. Длина антенны анализатора была выбрана равной его длине и также не менялась за время проведения эксперимента [31-37].

Ниже на всех рисунках результатов экспериментов: Reference path loss – это теоретическая зависимость величины мощности сигнала от расстояния (красная кривая). Промежуточные линии разных цветов – это квадратичное приближение кривыми ко всем измеренным точкам данных. Синие точки данных сделаны усреднением всех обмеренных данных на всех частотах. Синяя кривая – это квадратичная приближенная кривая к этим точкам данных.

Расположение передающего и приемного оборудований для практических задач по обмериванию значения принятого сигнала при прямой видимости приведено на рисунке 18. Результаты по считыванию сигнала приведены на рисунке 19.



Рисунок 18. Экспериментальная установка генератора и приемного анализатора спектра для измерения уровня принятого сигнала при прямой видимости (LOS)

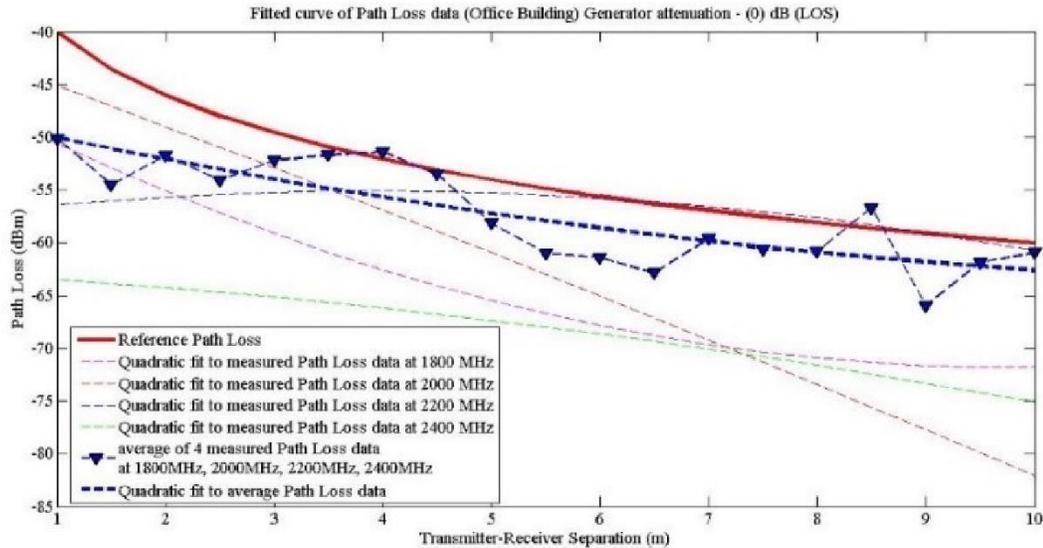


Рисунок 19. Квадратичное приближение кривыми зависимости RSSI от расстояния при LOS на 1800, 2000, 2200, 2400 (МГц); сигнал СВЧ маяка при ослаблении величины мощности генератора до (0) dB – измерен анализатором спектра

### 3.3.2 Измерение величины принимаемого сигнала (RSSI) USB-генератора анализатором спектра при не прямой видимости (NLOS) при наличии преграды из железа в закрытом помещении

Обмеривание уровня сигнала на частотах: 1800, 2000, 2200, 2400 (МГц).

Выполнение практических задач начались с установки передающей частоты генератора и фиксирования его координат на местности. Первый этап обмеривания начался с частоты в 1800 МГц. Затем, повторяем считывание для частот 2000, 2200, 2400 (МГц). На расстоянии в 0.2 м от него мы ставим препятствие из железного материала. Анализатор спектра устанавливается на расстоянии в 1 метр от преграды. С шагом в 1 метр передвигаем анализатор от преграды. Размер препятствия: 1.2 м x 1.8 м. Форма прямоугольная. Она не охватывает приемник, но закрывает часть пространства между вещающим устройством и анализатором. Записываем показание анализатора. Отодвигаем приемник еще на 1 метр, снова записываем показание. Таким образом через каждый 1 метр снимаем показание приемного анализатора. Когда значение сигнала не будет выделяться от величины окружающего шума мы прекращаем обмеривание. Для практических задач длина антенны была выбрана одинаковой для всех заданных частот. Длина антенны анализатора была выбрана равной длине антенны генератора и также не менялась за время проведения этапов

эксперимента. Предварительное расположение передающего и приемного оборудования, а также препятствий между ними для считывания принятого сигнала при не прямой видимости приведено на рисунке 20. Результаты отображены на рисунке 21.



Рисунок 20. Экспериментальная установка генератора и приемного анализатора спектра для измерения значения принятого сигнала при не прямой видимости (NLOS) при наличии преграды из железа

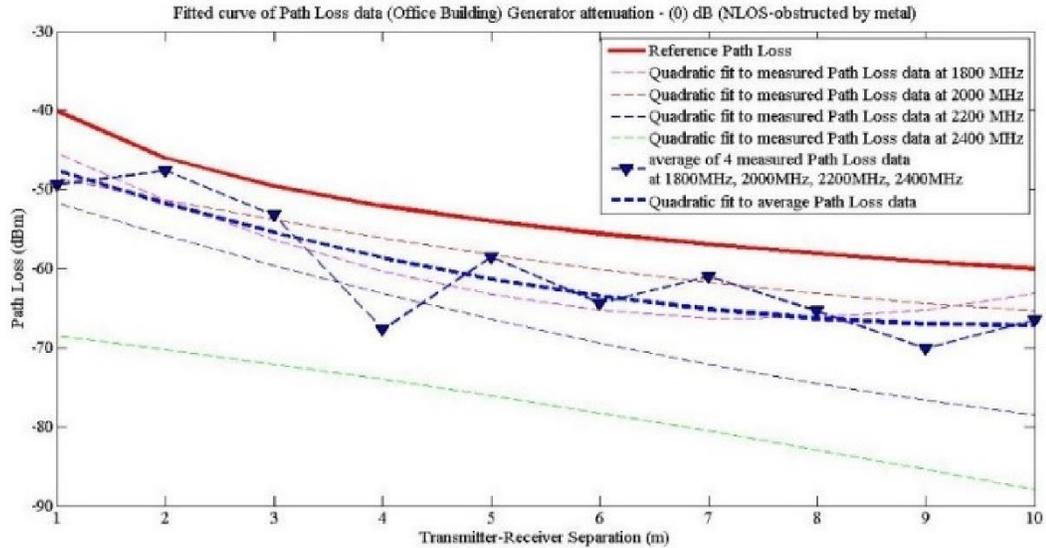


Рисунок 21. Квадратичное приближение кривыми зависимости RSSI от расстояния при NLOS на 1800, 2000, 2200, 2400 (МГц); сигнал СВЧ маяка при ослаблении его мощности до (0) dB – измерен анализатором спектра, материал преграды – железо

### 3.3.3 Измерение уровня принимаемого сигнала (RSSI) USB-генератора анализатором спектра при не прямой видимости (NLOS) при наличии преграды в виде стены в закрытом помещении

Измерение сигнала от передатчика. Сигналы передавались на следующих частотах: 1800, 2000, 2200, 2400 (МГц).

Выполнение эксперимента начинаем с того, что передатчик устанавливаем и записываем его координаты. Настраиваем частоту вещания. Начинаем практические задачи по обмериванию с частоты в 1800 МГц. Затем повторяем для частот 2000, 2200, 2400 (МГц). На расстоянии в 0.2 м от него расположена преграда в виде стены. Анализатор спектра устанавливается на расстоянии в 1 метр от него на другой стороне. Затем с шагом в 1 метр передвигаем анализатор от преграды. Записываем показание приемного анализатора. Отодвигаем приемник еще на 1 метр, снова записываем показание. Таким образом через каждый 1 метр снимаем показание. Когда значение сигнала не будет выделяться от окружающего значения шума мы останавливаем практические задачи по обмериванию. Для эксперимента длина антенны генератора была выбрана одинаковой для всех заданных частот. Длина антенны приемного анализатора была выбрана равной его длине и также не менялась за время проведения

эксперимента. Расположение передающего и приемного устройств, расположение преграды между ними перед началом эксперимента по обмериванию сигнала при не прямой видимости можно увидеть на рисунке 22, а графики зависимости ослабления от расстояния отображены на рисунке 23.



Рисунок 22. Экспериментальная установка генератора и приемного анализатора спектра для измерения принимаемого сигнала при не прямой видимости (NLOS) при наличии преграды в виде стены

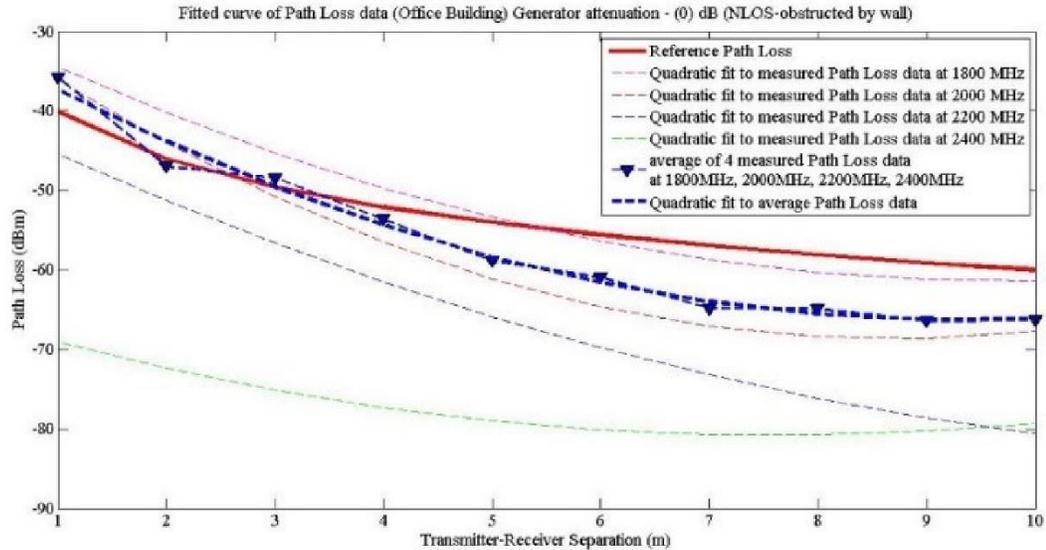


Рисунок 23. Квадратичное приближение кривыми зависимости RSSI от расстояния при NLOS на 1800, 2000, 2200, 2400 (МГц); сигнал СВЧ маяка при ослаблении мощности его до (0) dB – измерен анализатором спектра, материал преграды – стена

### 3.3.4 Измерение силы принимаемого сигнала (RSSI) USB-генератора анализатором спектра при не прямой видимости (NLOS) при наличии преграды в виде межэтажного пространства в закрытом помещении

Измерение сигнала от генератора на различных частотах: 1800, 2000, 2200, 2400 (МГц).

Для проведения эксперимента генератор устанавливаем на 4-ом этаже и записываем его местоположение. Настраиваем частоту вещания. Начинаем процесс обмеривания с частоты в 1800 МГц. Затем повторяем эксперимент для остальных частот. Этажом ниже под ним располагаем приемный анализатор спектра. Измеряем сигнал. Записываем показание приемного анализатора. Отодвигаем его вдоль коридора на 1 метр и записываем показание. Повторяем процесс и снимаем показание. Когда величина принятого сигнала не будет выделяться от уровня окружающего шума мы останавливаем процесс измерения. Далее, по тому же сценарию проводим эксперимент на нижних этажах до 1-го. Для эксперимента длина антенны вещающего генератора была выбрана одинаковой для всех заданных частот. Длина антенны приемного анализатора была выбрана равной длине его антенны и также не менялась за время проведения измерительных работ. Экспериментальная установка генератора и

приемного анализатора для измерения уровня принятого сигнала при прямой видимости приведена на рисунке 24. Результаты эксперимента отображены на рисунках 25, 26, 27.

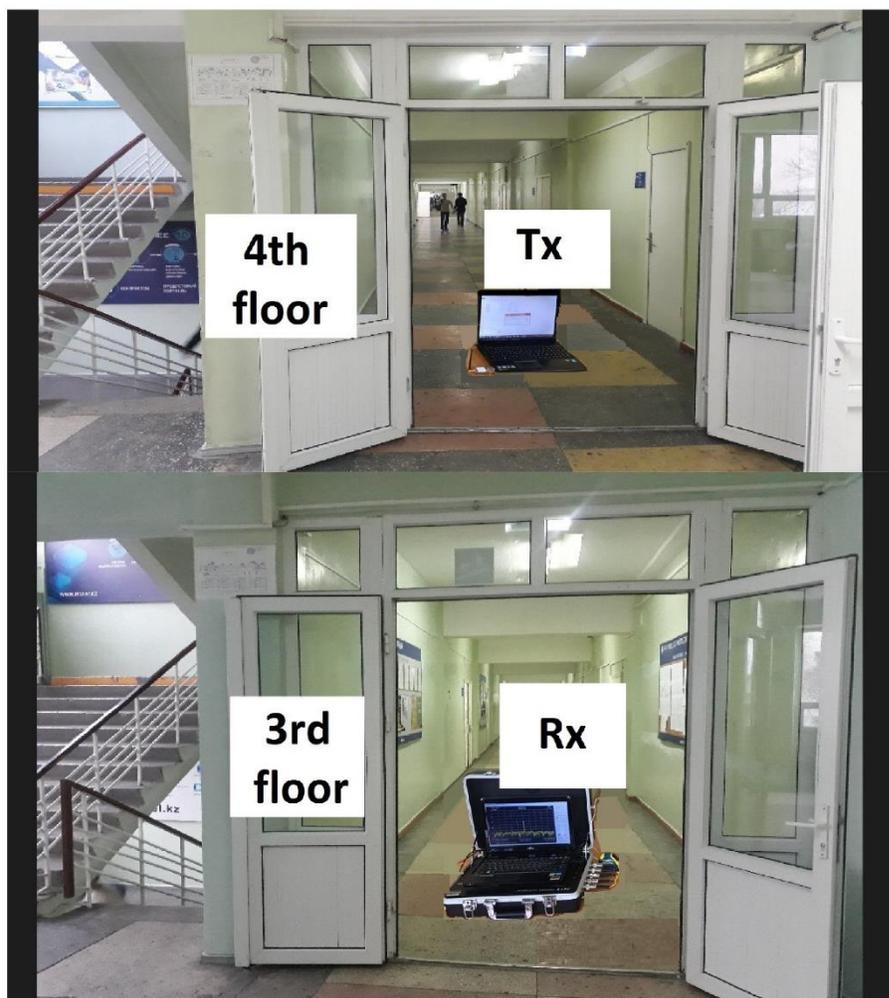


Рисунок 24. Экспериментальная установка генератора и приемного анализатора спектра для измерения уровня принятого сигнала при не прямой видимости (NLOS) при наличии преграды в виде межэтажного пространства (генератор на 4-ом этаже, приемник поочередно располагается на нижних трех этажах)

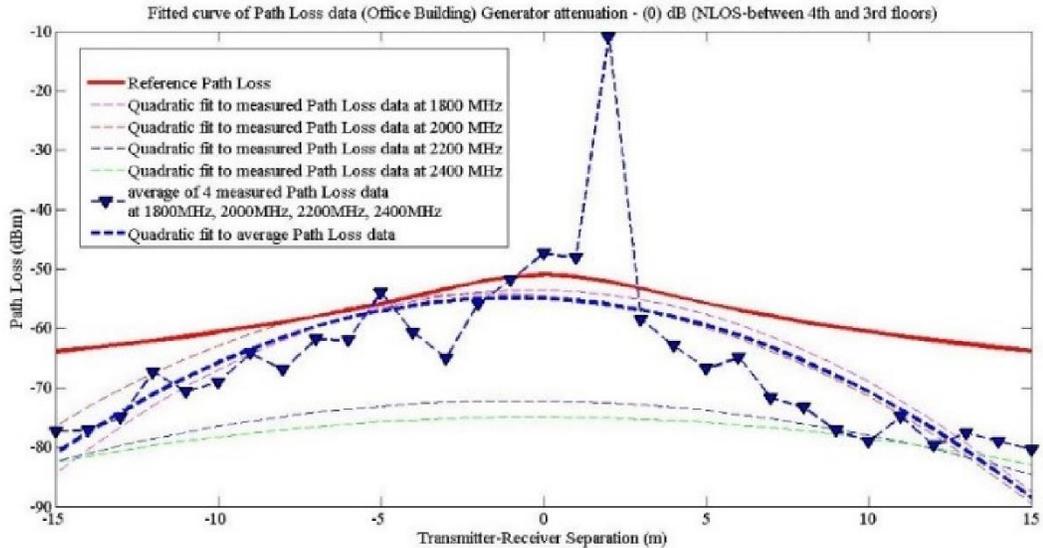


Рисунок 25. Квадратичное приближение кривыми зависимости RSSI от расстояния при NLOS на 1800, 2000, 2200, 2400 (МГц); сигнал СВЧ маяка при ослаблении уровня мощности генератора до (0) dB – измерен анализатором спектра, материал преграды – межэтажное пространство между 4<sup>М</sup> и 3<sup>М</sup> этажами

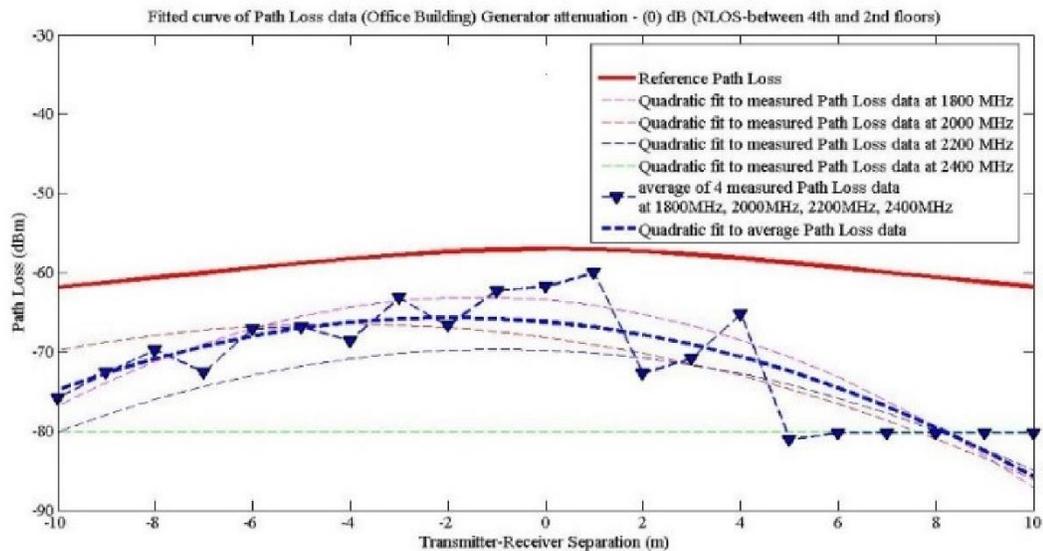


Рисунок 26. Квадратичное приближение кривыми зависимости RSSI от расстояния при NLOS на 1800, 2000, 2200, 2400 (МГц); сигнал СВЧ маяка при ослаблении уровня мощности генератора до (0) dB – измерен анализатором спектра, материал преграды межэтажное пространство между 4<sup>М</sup> и 2<sup>М</sup> этажами

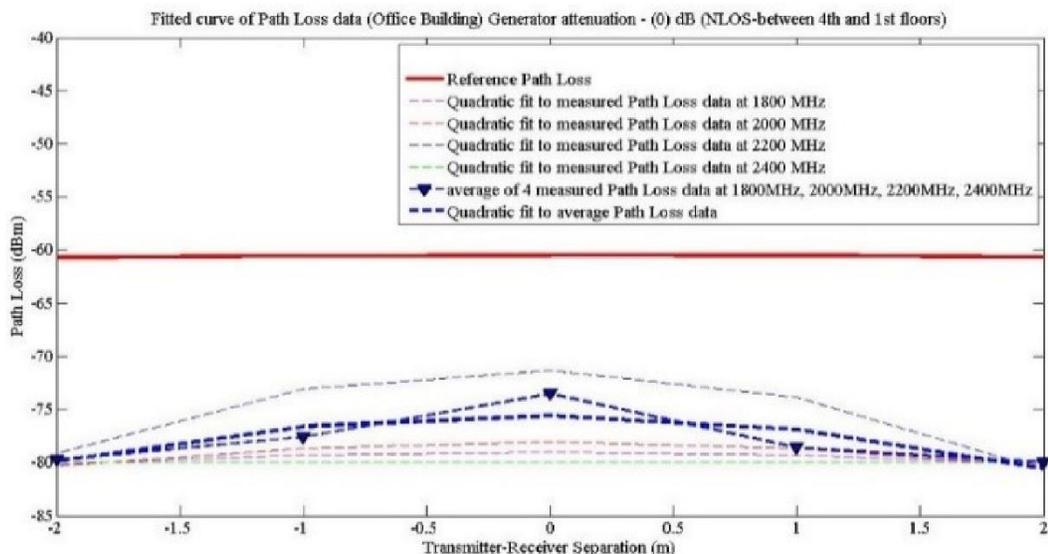


Рисунок 27. Квадратичное приближение кривыми зависимости RSSI от расстояния при NLOS на 1800, 2000, 2200, 2400 (МГц); сигнал СВЧ маяка при ослаблении уровня мощности генератора до (0) dB – измерен анализатором спектра, материал преграды – межэтажное пространство между 4<sup>м</sup> и 1<sup>м</sup> этажами

### 3.3.5 Измерение уровня принимаемого сигнала (RSSI) BLE передатчика анализатором спектра при прямой видимости (LOS) в закрытом помещении

Сигнал вещается спроектированным BLE передатчиком и измеряется анализатором спектра.

Измерение сигнала от генератора на различных частотах: 2405, 2423, 2429, 2477 (МГц).

Координаты передатчика фиксируются. Приемник устанавливается на расстоянии 1-го метра от него. Приемник передвигается с шагом в 1 метр от передатчика. Каждое показание уровня мощности, измеренное анализатором спектра записывается на бумаге. Практические задачи по обмериванию продолжаются до того уровня мощности принятого сигнала, когда он не будет различим от шума. Анализатор спектра не различает уровень мощности относительно мВт ниже -80 дБ. Таким образом, когда уровень мощности принятого сигнала от передатчика достигает -80 дБ относительно мВт он не различим от шума. BLE – маяк вещает сигнал на частотах 2405, 2423, 2429, 2477 (МГц). Результаты эксперимента отображены на рисунке 28.

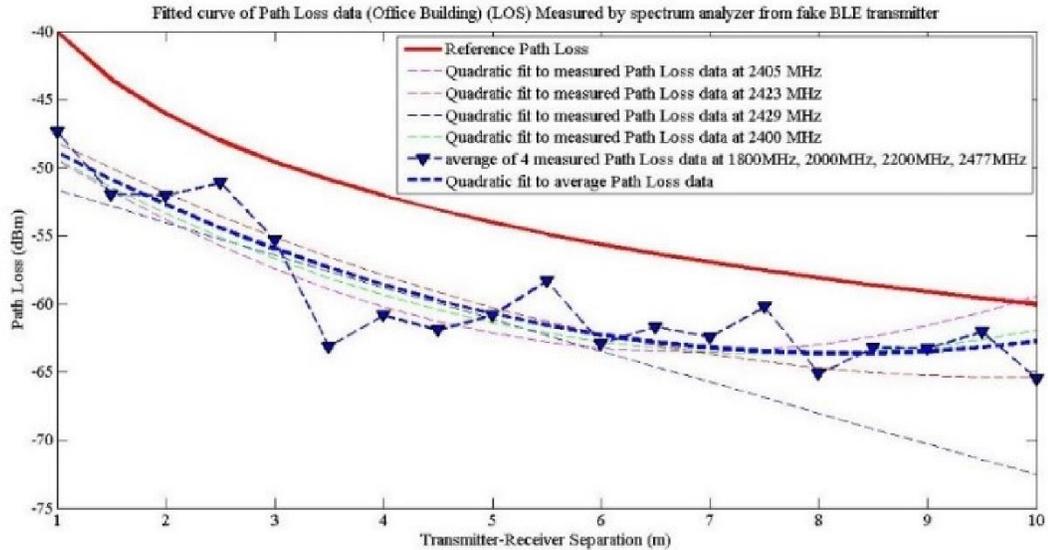


Рисунок 28. Квадратичное приближение кривыми зависимости RSSI от расстояния при LOS на 2405 МГц, 2423 МГц, 2429 МГц и 2477 МГц; сигнал BLE передатчика – измерен анализатором спектра

### 3.3.6 Измерение уровня принимаемого сигнала (RSSI) BLE передатчика смартфоном при прямой видимости (LOS) в закрытом помещении

Сигнал вещается спроектированным BLE передатчиком и обмеривается программным приложением для смартфона – «BLE scanner».

Обмеривание сигнала от генератора на различных частотах: 2405, 2423, 2429, 2477 (МГц).

Программное приложение не указывает к какой частоте соответствует его показание. В качестве уровня мощности принятого сигнала указывается одна цифра в дБ относительно мВт, меняющаяся в зависимости от расстояния.

Координаты передатчика фиксируются. Приемник устанавливается на расстоянии 1-го метра от него. Приемник с шагом в 1 метр передвигается от передатчика. Каждое показание уровня мощности, измеренное программным приложением для смартфона «BLE scanner» записывается на бумаге. Практические задачи по обмериванию продолжаются до того уровня мощности принятого сигнала, когда он не будет различим от шума. BLE – маяк вещает сигнал на частотах: 2405, 2423, 2429, 2477 (МГц). Показания программного приложения «BLE scanner» указывают одну цифру ослабления в дБ относительно

мВт, не указывая к какой частоте она относится. Для повышения точности эксперимент повторялся два раза [31-37]. Результаты эксперимента приведены на рисунке 29.

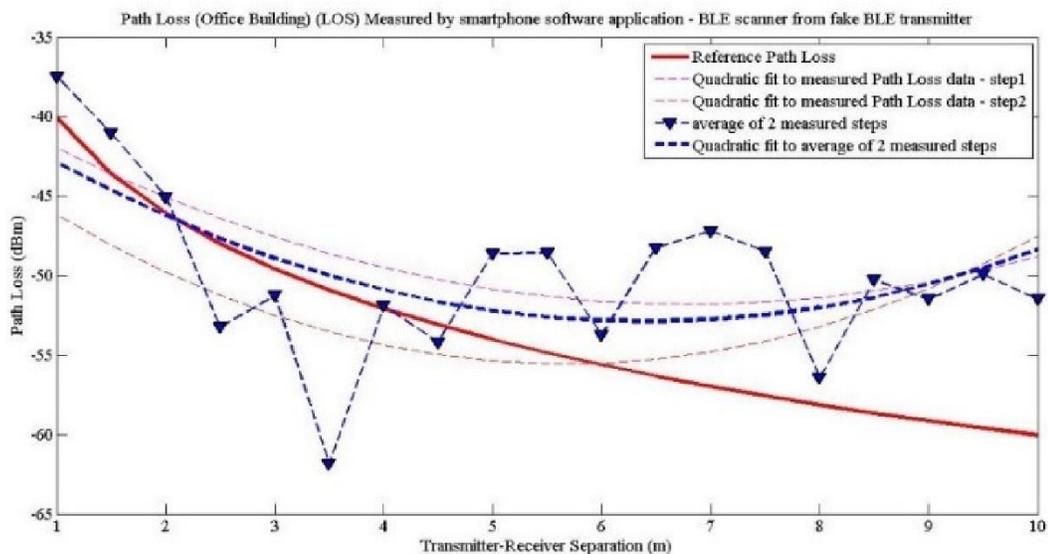


Рисунок 29. Квадратичное приближение кривыми зависимости RSSI от расстояния при LOS; сигнал BLE передатчика – измерен программным приложением для смартфона – «BLE scanner»

#### Выводы на основе экспериментов

Эксперименты показали, что влияние многолучевого распространения радиосигналов от стен сооружений, от препятствий различного происхождения, и, связанную с ними интерференцию, можно ослабить, используя усреднённые значения затуханий на разных частотах. Использование в качестве маяков радиоизлучателей со многими частотами может дать новые возможности в решении вопроса о позиционировании объектов в закрытых помещениях. Для эксперимента были спроектированы в конструкторском бюро BLE – маяки для исследования и измерения сигналов в стандартном диапазоне частот для BLE и генератор сверхвысоких частот. Мощности передатчиков были выбраны такими же, как и у стандартного BLE устройства. Экспериментальные измерения показали, что теоретические и практические данные не одинаковы в каждой

точке. Практические задачи по обмериванию проводились в следующих конфигурациях: прямая видимость – LOS, не прямая видимость – NLOS с наличием таких преград, как метал, стены и межэтажное пространство, а также применением анализатора спектра и программного приложения для смартфонов. Практические задачи по обмериванию проводились много раз для усреднения результатов. Эти результаты могут быть использованы вместо теоретических данных или для корректировки их в определенных зданиях или комнатах. Частоты 1800, 2000, 2200, 2400 (МГц) для экспериментов с сверхвысокочастотным передатчиком и частоты 2405, 2423, 2429, 2477 (МГц) для экспериментов с BLE маяками были выбраны для усреднения. Это позволит устранять интерференционные помехи. Таким образом можно использовать многочастотный передатчик и приемник. На основе результатов, полученных практическими измерениями можно знать на каком расстоянии нужно устанавливать маяки, где именно нужно устанавливать датчики с учетом нерегулярного расположения преград, межэтажного пространства. Экспериментальные результаты помогут при предварительной подготовке по развертыванию систем позиционирования в закрытых помещениях, включая шахтные выработки.

#### **4 Эксперименты по использованию многочастотного метода передачи и приема и применению многоэлементной антенной системы**

В [55, 58] авторы рассмотрели влияние MIMO системы при многолучевом распространении. Антенны имели лишь одну частоту 6 ГГц. В диссертационной работе рассмотрена матрица передающих и матрица приемных антенн, способная передавать сигналы при множестве частот.

##### **4.1 Настройка антенной решетки для многочастотного режима передачи**

На основе выводов экспериментальных исследований предыдущего раздела следующие эксперименты по исследованию возможности позиционирования в закрытых помещениях проводятся на основе многочастотного метода передачи и приема. Также, одиночная антенна заменена на многоэлементную антенную решетку. В качестве системы передатчиков и приемников взято устройство для диагностики заболеваний бронхолегочной системы [38-43]. На рисунке 30 приведена структурная схема разработанного устройства.

Основой устройства являются группы дипольных излучателей. Одна из групп антенн, названная «матрицей», поочерёдно излучает СВЧ сигнал малой мощности, а другая – принимает эти сигналы. Уровень излучаемого сигнала составляет около 10 мВт.

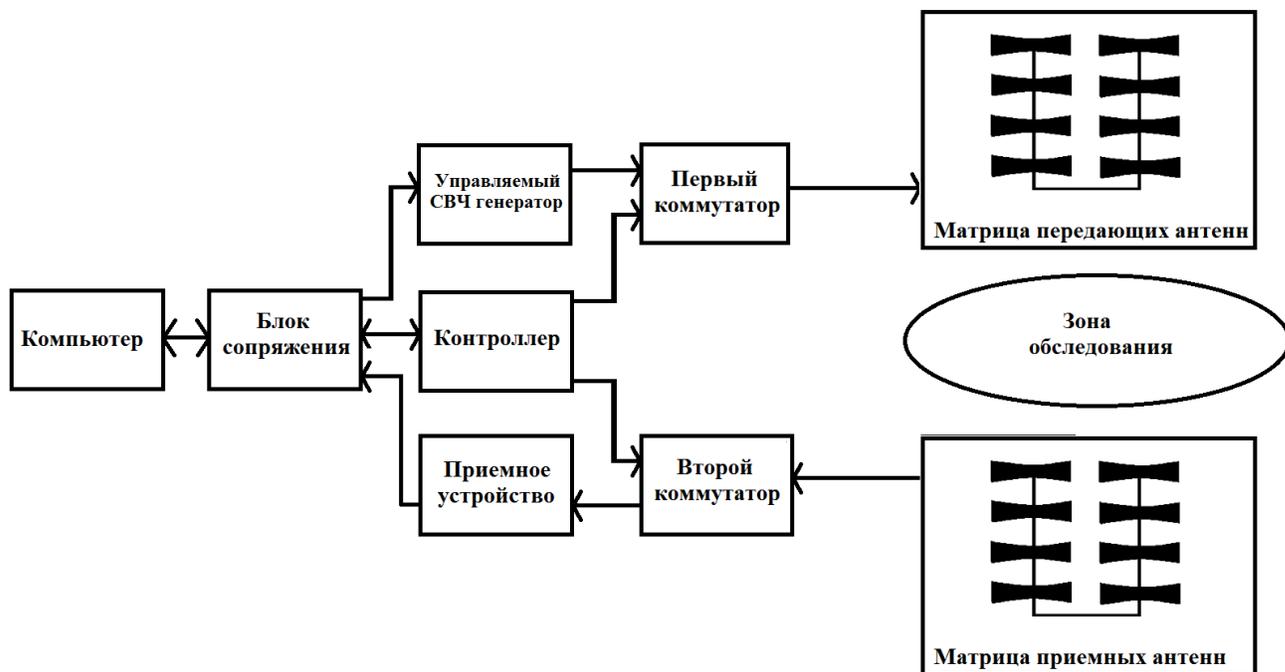


Рисунок 30. Структурная схема радиосистемы для диагностики заболеваний бронхолегочной системы

#### 4.1.1 Моделирование антенной решетки в программной среде MMANA-GAL

На рисунке 31 приведены размеры антенной решётки, используемой при проведении экспериментов, и фотография внешнего вида системы.

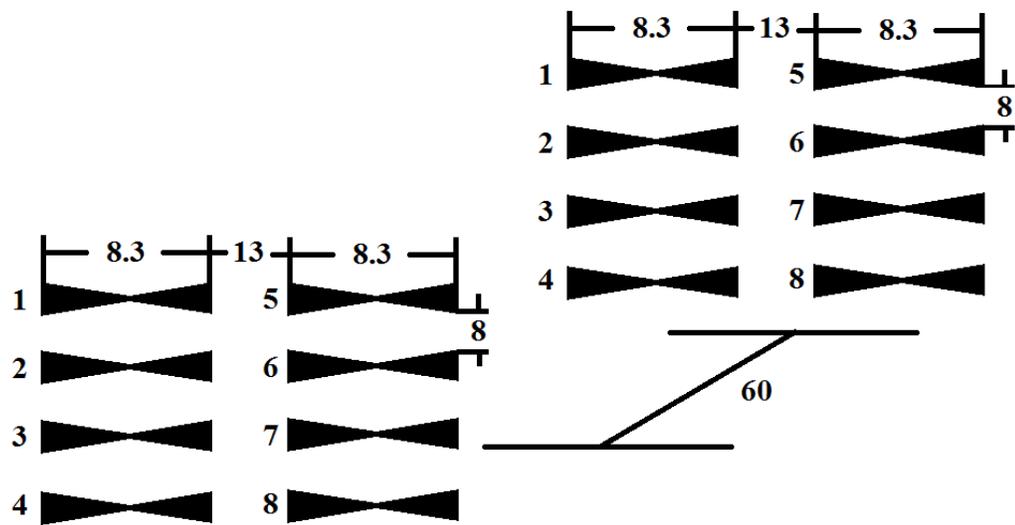


Рисунок 31. Размеры антенных решёток (матриц) в сантиметрах и фотография внешнего вид системы

Поводом к моделированию антенной решетки послужило то, что форма ее диаграммы направленности зависит от влияния дипольных излучателей, из которых она состоит, в отличие от единичной антенны. Проведённые измерения показали, что, несмотря на идентичность конструкций отдельных вибраторов и общих приёмника и генератора, излучаемое поле не является равномерным. В таблице 1 приведены уровни сигнала  $E$  [мкВ], принятые приёмными антеннами от различных излучающих диполей.

Таблица 1. Показание затухания сигнала антенной решетки на расстоянии 60 см

$E$ [мкВ]	Пр. 1	Пр. 2	Пр. 3	Пр. 4	Пр. 5	Пр. 6	Пр. 7	Пр. 8
Пер. 1	<b>5813</b>	4798	3917	3349	3041	3732	3733	2027
Пер. 2	4537	<b>5653</b>	6557	3796	3983	4079	5404	3438
Пер. 3	4292	6393	<b>5689</b>	4670	3276	5617	4523	3479
Пер. 4	2234	3989	4579	<b>5239</b>	1976	4749	4170	5063
Пер. 5	4586	5130	4427	3506	<b>5166</b>	4778	5260	2651
Пер. 6	5185	5759	5731	3839	5199	<b>5205</b>	6487	4171
Пер. 7	3559	6567	5032	5710	4553	7112	<b>6607</b>	4166
Пер. 8	2788	5043	6218	5316	3496	4466	4840	<b>4011</b>

Как видно из таблицы, измеренные значения сигналов противоположно расположенных друг против друга антенн с одинаковыми номерами (выделены полужирным курсивом) не во всех случаях показывают наибольшее значение, что расходится с ожидаемыми значениями. Разброс значений около 3 дБ. Причиной этого является искажение диаграммы направленности дипольных излучателей из-за наличия смежных полуволновых вибраторных антенн. Целью данной работы являлось выявление возможностей снижения этого влияния для обеспечения более равномерного облучаемого поля. Для отыскания решения по уменьшению этого влияния было проведено моделирование антенн в программе MMANA-GAL [43].

При проведении измерений в испытываемой установке генератор и приёмник поочередно подключаются к антеннам, в то время, когда остальные антенны отключаются. Так как расстояния от коммутаторов до различных антенн разные и разные измеряемые частоты, отрезки фидеров, подключённых к антеннам, становятся отрезками линий передачи, разомкнутых на одном конце. В результате трансформации сопротивления, в точке подключения этих фидеров к диполям может быть произвольное как активное, так и реактивное сопротивление.

При моделировании в программе MMANA-GAL проверялась степень влияния неактивных соседних полуволновых вибраторных антенн на диаграмму направленности при подключении к ним нагрузок разной величины. Нагрузки моделировались в виде активного сопротивления, вводимого в фазовый цент

(середину) не активных вибраторных антенн. Моделировались нагрузки величиной 0 Ом, 50 Ом и 1000 Ом. Получаемые диаграммы направленностей сравнивались с эталонной диаграммой направленности полуволновой вибраторной антенны при отсутствии соседних антенн.

На рисунке 32 приведена диаграмма направленности эталонной полуволновой вибраторной антенны при отсутствии соседних антенн.

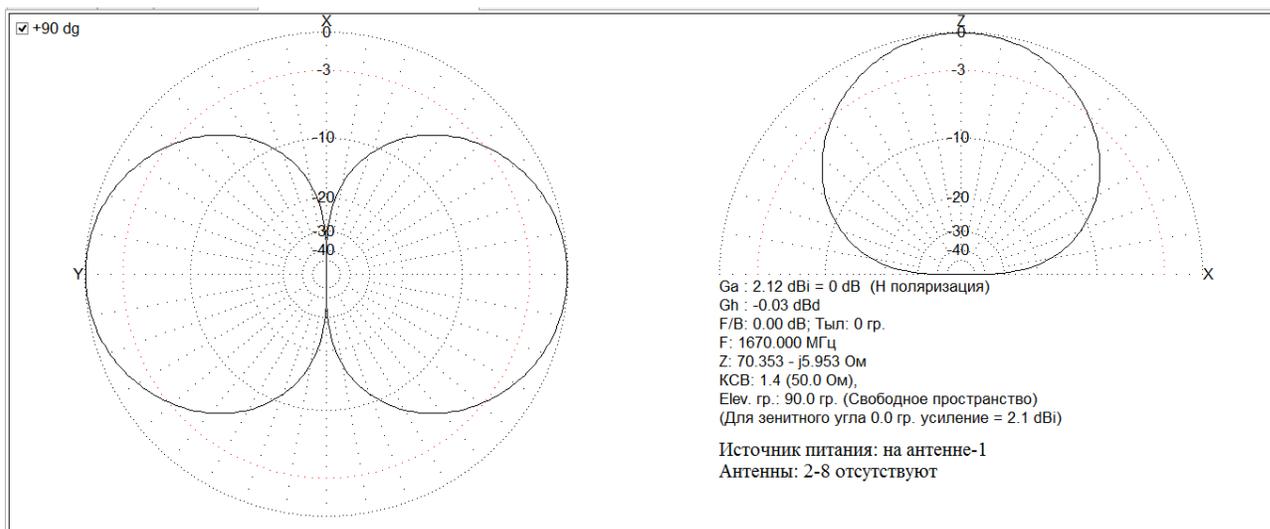


Рисунок 32. Диаграмма направленности полуволновой вибраторной антенны

Из рисунка 32 видно, что в направлении зенитного угла 0 градусов коэффициент усиления антенны составляет 2,1 дБи и форма диаграммы направленности симметричная.

На рисунках 33-36 приведены диаграммы направленностей антенных диполей от номера 1 (верхний диполь в решётке) до номера 4 (нижний диполь в решётке) при разных нагрузках, подключенных к соседним неактивным антеннам.

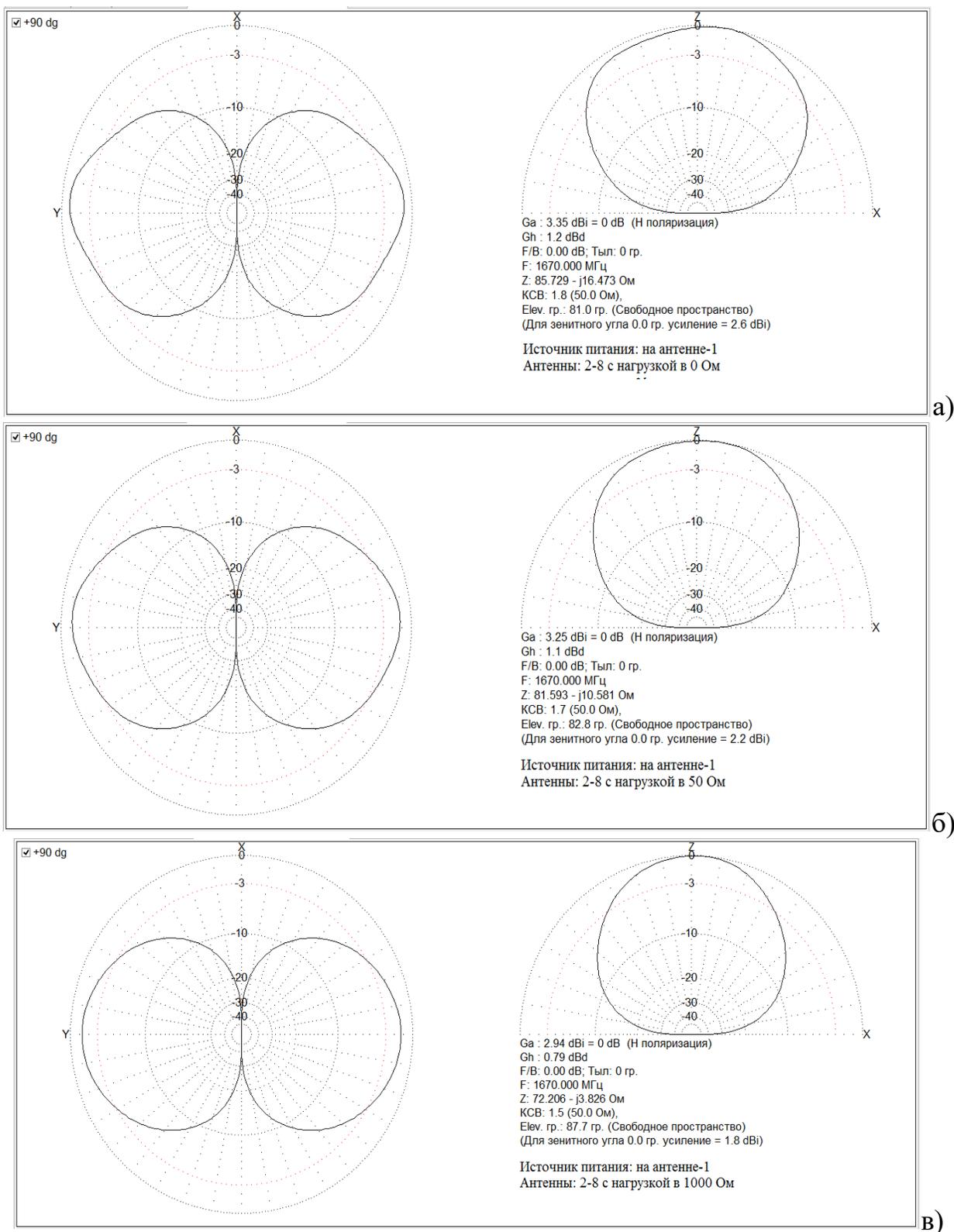


Рисунок 33. Диаграммы направленности антенны №1 при разных нагрузках неактивных антенн: а) 0 Ом, б) 50 Ом, в) 1000 Ом

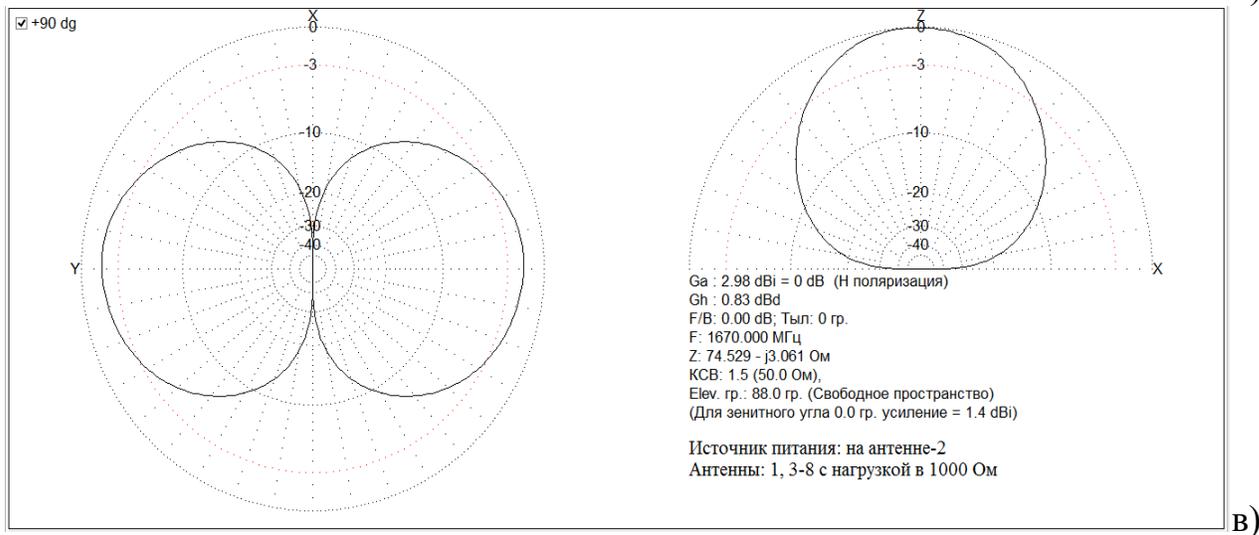
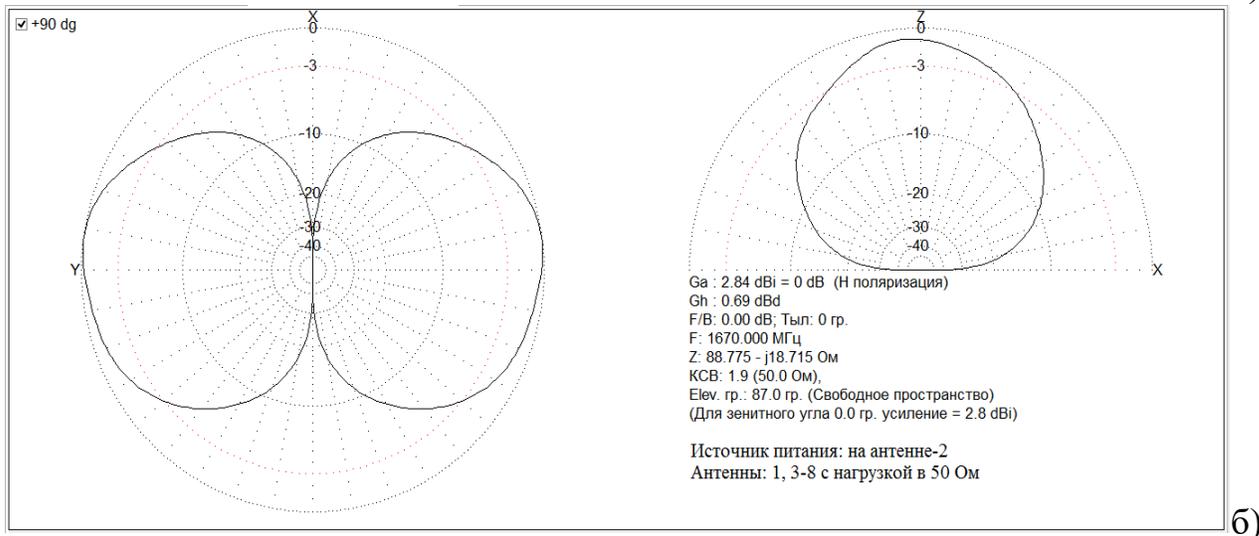
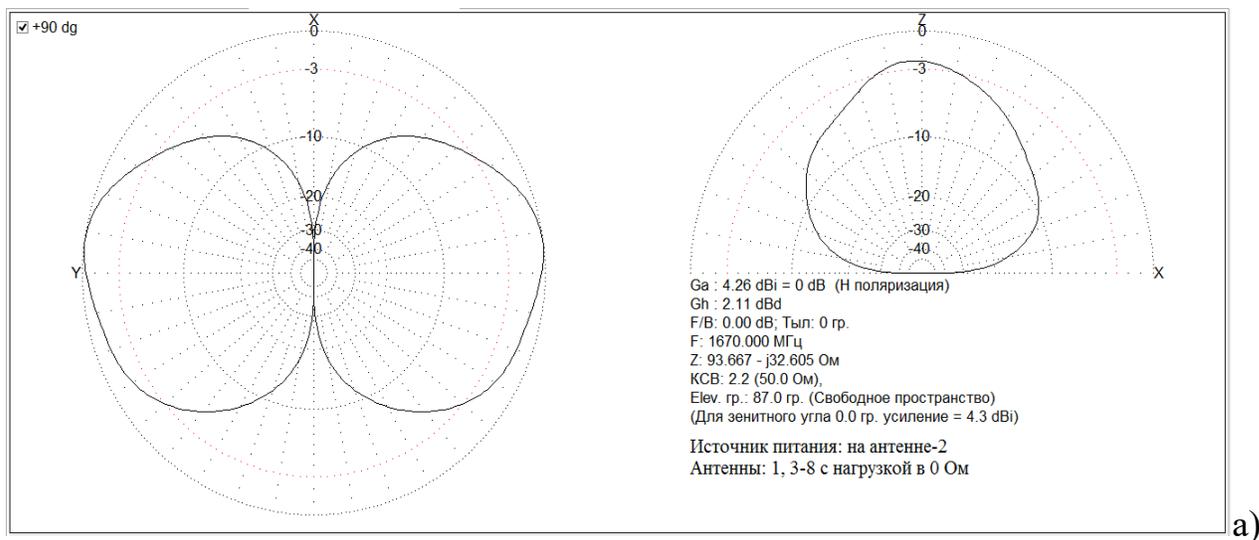
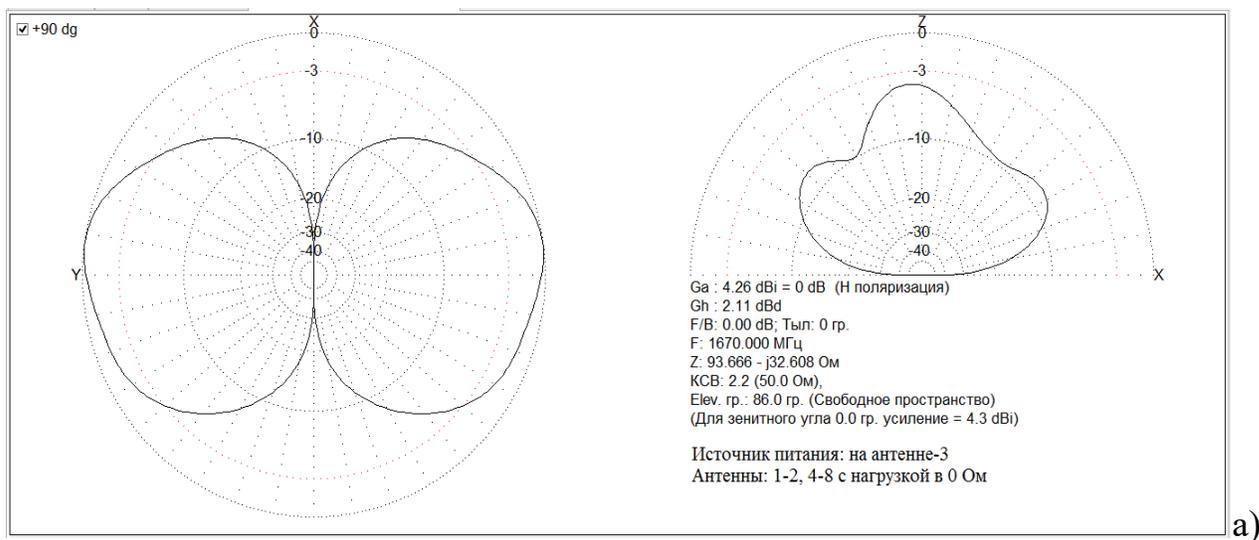
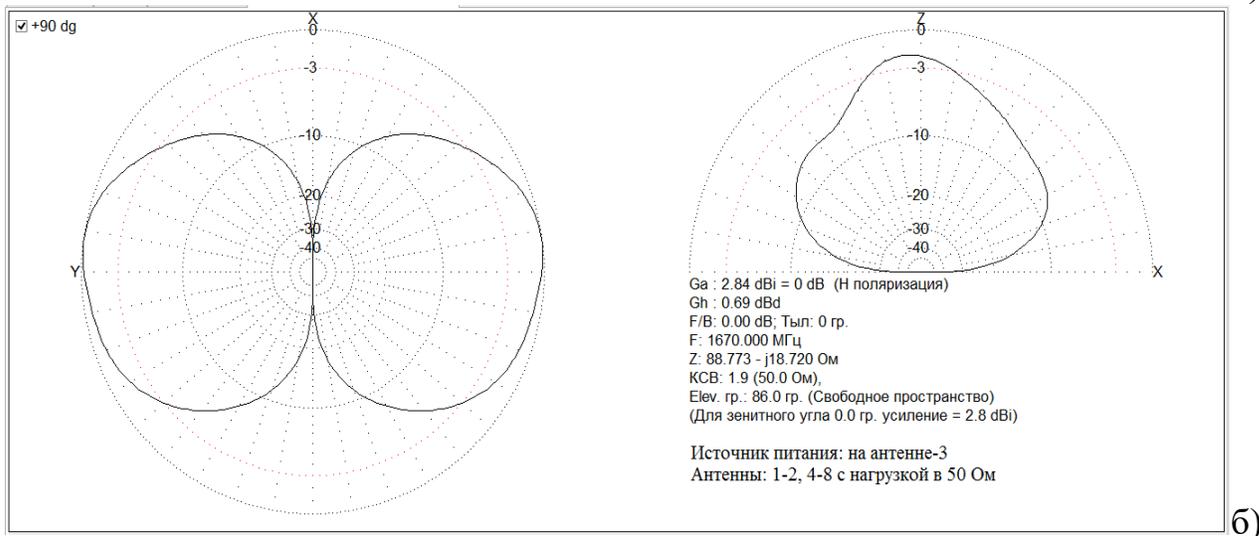


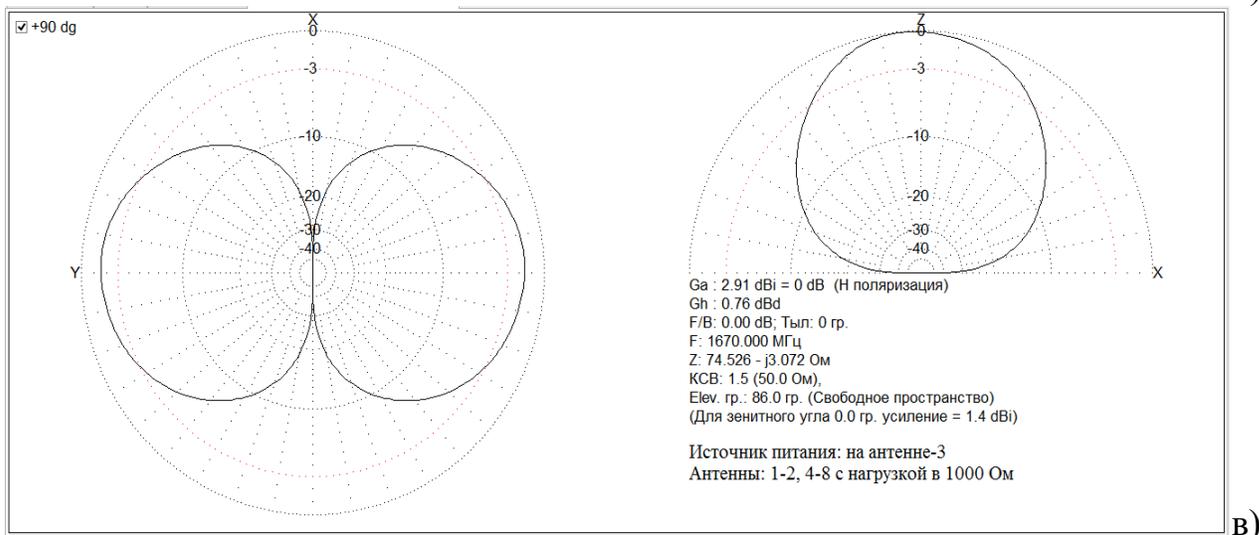
Рисунок 34. Диаграммы направленности антенны №2 при разных нагрузках неактивных антенн: а) 0 Ом, б) 50 Ом, в) 1000 Ом



а)



б)



в)

Рисунок 35. Диаграммы направленности антенны №3 при разных нагрузках неактивных антенн: а) 0 Ом, б) 50 Ом, в) 1000 Ом

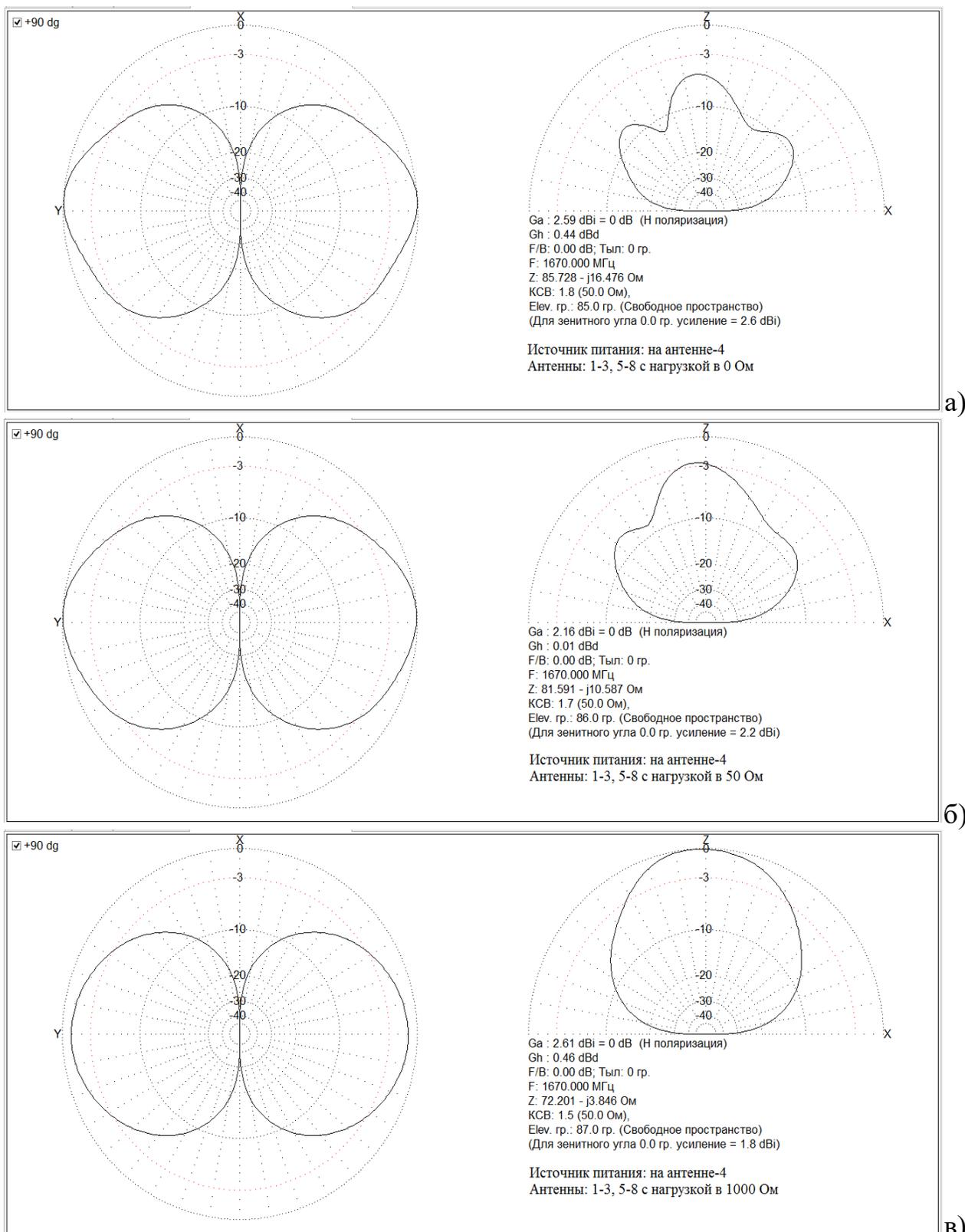


Рисунок 36. Диаграммы направленности антенны №4 при разных нагрузках неактивных антенн: а) 0 Ом, б) 50 Ом, в) 1000 Ом

Результаты моделирования при подключении питания к антеннам 5-8 не приведены, так как они подобны результатам для антенн 1-4, только искажение формы диаграмм направленности зеркально симметрично.

#### Выводы моделирования

Исследование полученных результатов моделирования антенной решетки в программной среде MMANA-GAL показало, что при подключении сопротивления в фазовый центр неактивных полуволновых вибраторных антенн величиной в 1000 Ом уменьшается их влияние на диаграмму направленности активных антенн по сравнению с нагрузками 0 Ом и 50 Ом.

По результатам работы можно рекомендовать усовершенствование схемы коммутации антенн таким образом, чтобы в их неактивном режиме сопротивление в точке подключения к ним фидера было бы максимальным.

При сопротивлении нагрузок 1000 Ом достигается неравномерность коэффициентов усиления антенн под нулевым азимутальным углом в пределах 0,4 дБ.

#### 4.1.2 Эксперименты по настройке антенной решетки

Эксперимент предназначен для выявления влияния времени задержки коммутатора (1 мс, 5 мс, 50 мс) и количества замеров сигнала (1024, 512, 256, 128, 64, 32, 16, 8, 4, 2, 1) на среднеквадратическое отклонение полученных данных.

#### Исходные данные:

- Частота генератора USB-TG44A: 1300 МГц,
- Ослабление аттенюатора: -10 дБм,
- Ослабление аттенюатора предусилителя приемника USB-SA44B: 5 дБм
- Время задержки старта: 3000 мс для расстояния: 150 см (на этом расстоянии отсутствует влияние оператора на стенд, выбрано на основе эксперимента-1),
- Расстояние между соседними стойками: 15 см,
- Размер матриц антенн приведен на рисунке 37:

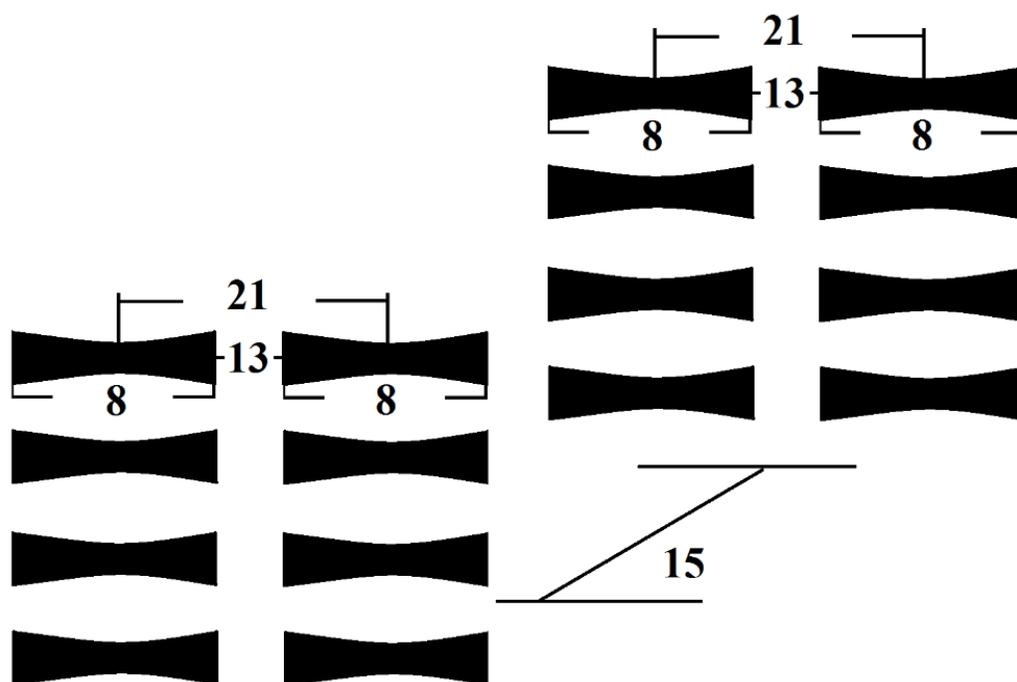


Рисунок 37. Размер матриц антенн в [см] для эксперимента

**Количество замеров: 1024, 512, 256, 128, 64, 32, 16, 8, 4, 2, 1**

**Время задержки коммутатора: 1 мс, 5 мс, 50 мс**

Наибольшие СКО

	<b>1 мс</b>	<b>5 мс</b>	<b>50 мс</b>
<b>1024</b>	1.30	1.46	1.60
<b>512</b>	1.40	1.24	1.47
<b>256</b>	1.33	1.30	1.38
<b>128</b>	1.30	1.52	1.38
<b>64</b>	1.39	1.49	1.40
<b>32</b>	1.50	1.46	1.43
<b>16</b>	1.64	1.34	1.61
<b>8</b>	1.41	1.57	1.85
<b>4</b>	1.72	1.60	1.78
<b>2</b>	1.35	1.93	1.36
<b>1</b>	0	0	0

Выводы на основе эксперимента

На основе эксперимента выявлено, что время задержки коммутатора (1 мс, 5 мс, 50 мс) и количество замеров сигнала (1024, 512, 256, 128, 64, 32, 16, 8, 4, 2, 1) не влияют на среднеквадратическое отклонение полученных данных. СКО

находится ниже 2 %. Это позволяет сделать вывод, что достаточно провести 2 измерения с временем задержки 1 мс.

Следующий эксперимент предназначен для выявления влияния оператора, сидящего за компьютером на стенд при проведении экспериментов. Измерения проводятся изменяя расстояние между оператором и стендом от 50 см до 150 см, с шагом в 50 см.

### Исходные данные:

- Частота генератора USB-TG44A: 1300 МГц,
- Ослабление аттенюатора: -10 дБм,
- Ослабление аттенюатора предусилителя приемника USB-SA44B: 5 дБм
- Время задержки старта: 30 мс (для расстояния: 50 см), 3000 мс (для расстояния: 100 см и 150 см),
- Время задержки коммутатора: 5 мс,
- Количество замеров: 1024,
- Расстояние между соседними стойками: 15 см,
- Размер матриц антенн приведен на рисунке 38:

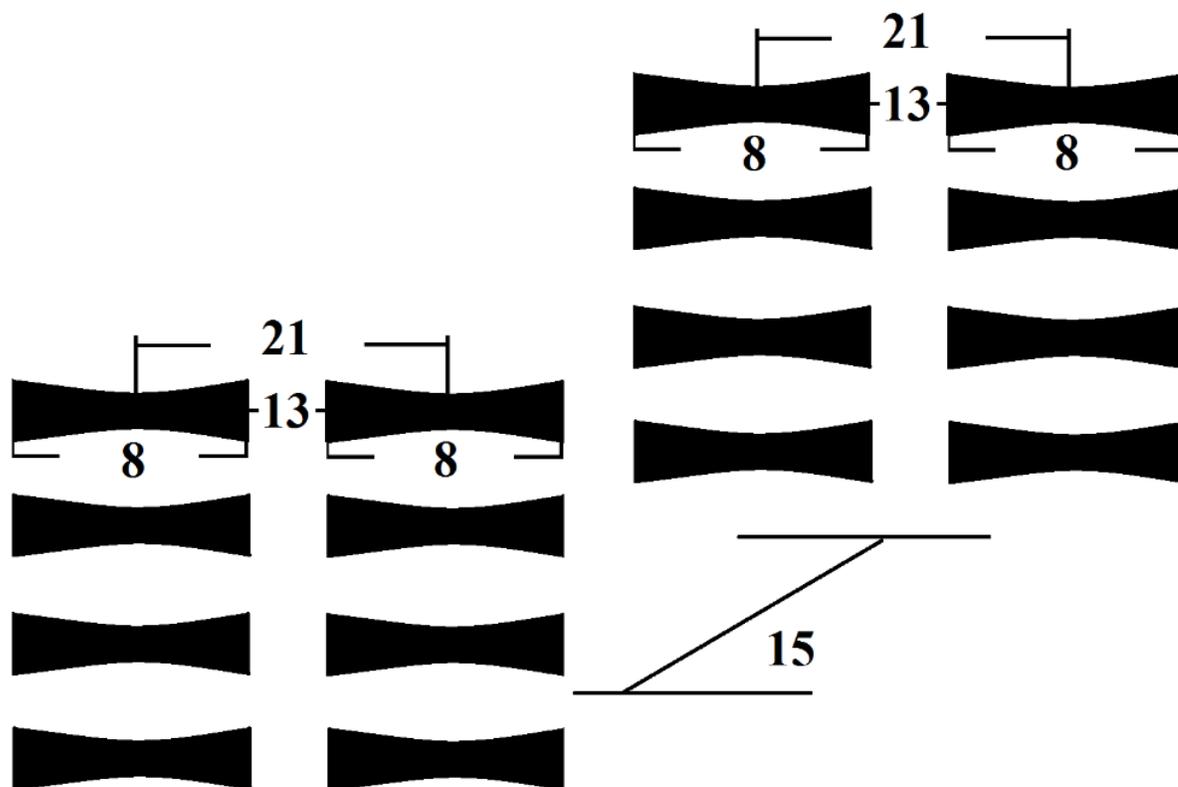


Рисунок 38. Размер матриц антенн в [см] для эксперимента

**1) Расстояние сидящего за компьютером оператора от стенда: 50 см**

**Первое измерение**

<b>Е [В]</b>	<b>Пр. 1</b>	<b>Пр. 2</b>	<b>Пр. 3</b>	<b>Пр. 4</b>	<b>Пр. 5</b>	<b>Пр. 6</b>	<b>Пр. 7</b>	<b>Пр. 8</b>
<b>Пер. 1</b>	17771	12612	4837	1614	4716	3060	4465	1531
<b>Пер. 2</b>	14329	20916	12830	3792	3493	6485	6598	3699
<b>Пер. 3</b>	6281	15608	25463	11276	4051	6715	5313	5590
<b>Пер. 4</b>	3345	4483	12150	14594	3543	4432	3826	10649
<b>Пер. 5</b>	3599	3119	4128	2208	19088	14548	5983	2106
<b>Пер. 6</b>	3617	6086	5390	2357	14028	20279	13584	4624
<b>Пер. 7</b>	3015	4734	3202	5114	5192	14033	27617	11080
<b>Пер. 8</b>	2683	4109	5069	9237	1497	5613	12178	12885

**Второе измерение**

<b>Е [В]</b>	<b>Пр. 1</b>	<b>Пр. 2</b>	<b>Пр. 3</b>	<b>Пр. 4</b>	<b>Пр. 5</b>	<b>Пр. 6</b>	<b>Пр. 7</b>	<b>Пр. 8</b>
<b>Пер. 1</b>	17751	12547	4775	1622	4769	3091	4427	1520
<b>Пер. 2</b>	14251	20836	12782	3804	3435	6428	6585	3680
<b>Пер. 3</b>	6197	15562	25318	11262	4050	6699	5335	5565
<b>Пер. 4</b>	3345	4458	12109	14539	3506	4413	3807	10623
<b>Пер. 5</b>	3643	3106	4076	2214	18932	14454	5972	2101
<b>Пер. 6</b>	3640	6044	5314	2369	13950	20229	13574	4595
<b>Пер. 7</b>	2954	4697	3222	5064	5195	14050	27449	11038
<b>Пер. 8</b>	2683	4119	5036	9206	1473	5557	12133	12827

**Третье измерение**

<b>Е [В]</b>	<b>Пр. 1</b>	<b>Пр. 2</b>	<b>Пр. 3</b>	<b>Пр. 4</b>	<b>Пр. 5</b>	<b>Пр. 6</b>	<b>Пр. 7</b>	<b>Пр. 8</b>
<b>Пер. 1</b>	17850	12605	4708	1622	4640	3077	4501	1531
<b>Пер. 2</b>	14331	20711	12782	3762	3374	6466	6569	3709
<b>Пер. 3</b>	6173	15562	25296	11209	4176	6746	5416	5587
<b>Пер. 4</b>	3289	4414	12040	14555	3470	4414	3740	10635
<b>Пер. 5</b>	3562	3071	4176	2246	18894	14519	6022	2098
<b>Пер. 6</b>	3553	6061	5371	2365	13987	20273	13505	4682
<b>Пер. 7</b>	3074	4689	3257	5108	5196	13883	27535	11030
<b>Пер. 8</b>	2668	4139	5008	9223	1469	5650	12127	12774

## 2) Расстояние сидящего за компьютером оператора от стенда: 100 см

### Первое измерение

Е [В]	Пр. 1	Пр. 2	Пр. 3	Пр. 4	Пр. 5	Пр. 6	Пр. 7	Пр. 8
Пер. 1	17833	12689	4944	1674	4828	3180	4640	1723
Пер. 2	14846	21567	13339	3874	3503	6721	6909	3819
Пер. 3	6509	16300	26229	11669	4395	6972	5700	5859
Пер. 4	3479	4690	12515	15035	3591	4417	3812	11096
Пер. 5	3757	3125	4245	2222	19635	15159	6167	2180
Пер. 6	3762	6190	5419	2394	14620	21097	14118	4833
Пер. 7	3037	4880	3205	5136	5339	14552	28219	11417
Пер. 8	2794	4050	5199	9349	1686	5739	12557	13290

### Второе измерение

Е [В]	Пр. 1	Пр. 2	Пр. 3	Пр. 4	Пр. 5	Пр. 6	Пр. 7	Пр. 8
Пер. 1	17822	12698	4864	1685	4738	3075	4689	1581
Пер. 2	14906	21486	13261	3824	3389	6644	6932	3722
Пер. 3	6457	16243	26162	11588	4402	7002	5650	5766
Пер. 4	3452	4614	12388	14911	3577	4450	3853	10993
Пер. 5	3667	3045	4338	2309	19586	15129	6131	2213
Пер. 6	3679	6115	5599	2413	14654	20923	13977	4926
Пер. 7	3172	4905	3355	5153	5319	14457	28111	11442
Пер. 8	2766	4071	5186	9315	1608	5800	12494	13296

### Третье измерение

Е [В]	Пр. 1	Пр. 2	Пр. 3	Пр. 4	Пр. 5	Пр. 6	Пр. 7	Пр. 8
Пер. 1	17960	12767	4827	1550	4923	3182	4676	1448
Пер. 2	14882	21480	13249	3838	3406	6570	6890	3693
Пер. 3	6259	16185	26081	11522	4306	6962	5675	5797
Пер. 4	3491	4575	12280	14874	3546	4471	3903	10998
Пер. 5	3772	3079	4282	2275	19556	15127	6167	2162
Пер. 6	3707	6100	5560	2365	14567	20972	14008	4843
Пер. 7	3098	4967	3409	5178	5233	14444	28073	11415
Пер. 8	2836	4068	5258	9352	1625	5714	12480	13233

### 3) Расстояние сидящего за компьютером оператора от стенда: 150 см

#### Первое измерение

Е [В]	Пр. 1	Пр. 2	Пр. 3	Пр. 4	Пр. 5	Пр. 6	Пр. 7	Пр. 8
Пер. 1	17482	12515	4850	1727	4743	3084	4678	1606
Пер. 2	14666	21210	13158	3836	3327	6540	6877	3775
Пер. 3	6455	16122	25879	11496	4382	7019	5671	5861
Пер. 4	3549	4645	12387	14913	3349	4246	3741	10951
Пер. 5	3699	3000	4261	2284	19351	14937	6111	2151
Пер. 6	3723	6072	5532	2286	14562	20918	13803	4914
Пер. 7	3144	4904	3172	5159	5309	14341	27763	11469
Пер. 8	2547	3977	5190	9378	1489	5649	12494	13350

#### Второе измерение

Е [В]	Пр. 1	Пр. 2	Пр. 3	Пр. 4	Пр. 5	Пр. 6	Пр. 7	Пр. 8
Пер. 1	17495	12573	4854	1730	4705	3084	4656	1609
Пер. 2	14724	21212	13155	3848	3341	6574	6867	3799
Пер. 3	6483	16094	25870	11517	4416	7007	5663	5860
Пер. 4	3554	4663	12404	14919	3390	4248	3736	10958
Пер. 5	3661	3005	4253	2301	19386	14953	6129	2127
Пер. 6	3694	6073	5532	2294	14575	20917	13818	4900
Пер. 7	3179	4853	3148	5163	5346	14324	27773	11479
Пер. 8	2576	3943	5174	9363	1501	5677	12514	13353

#### Третье измерение

Е [В]	Пр. 1	Пр. 2	Пр. 3	Пр. 4	Пр. 5	Пр. 6	Пр. 7	Пр. 8
Пер. 1	17540	12514	4833	1751	4761	3173	4692	1560
Пер. 2	14703	21212	13179	3841	3374	6626	6908	3768
Пер. 3	6464	16102	25857	11468	4394	6967	5624	5885
Пер. 4	3556	4620	12352	14900	3356	4232	3754	10969
Пер. 5	3699	3024	4276	2287	19378	14962	6144	2149
Пер. 6	3735	6080	5562	2294	14524	20872	13835	4918
Пер. 7	3195	4924	3182	5144	5321	14316	27776	11476
Пер. 8	2556	3958	5211	9373	1480	5658	12479	13344

Учитывая данные трех измерений, используя формулу, приведенную ниже находим наибольшую разницу между ними в процентах:

$$Diff(\%) = 100 - \frac{\min_{\text{ИЗМ}}}{\max_{\text{ИЗМ}}} \times 100$$

**1) Разница между тремя измеренными данными в процентах: 50 см**

%	Пр. 1	Пр. 2	Пр. 3	Пр. 4	Пр. 5	Пр. 6	Пр. 7	Пр. 8
Пер. 1	0.55	0.52	2.67	0.49	2.70	1	1.64	0.72
Пер. 2	0.56	0.98	0.37	1.10	3.41	0.88	0.44	0.78
Пер. 3	1.72	0.29	0.66	0.59	3.02	0.70	1.90	0.45
Пер. 4	1.67	1.54	0.91	0.38	2.06	0.43	2.25	0.24
Пер. 5	2.22	1.54	2.39	1.69	1.02	0.65	0.83	0.38
Пер. 6	2.39	0.69	1.41	0.51	0.56	0.25	0.58	1.86
Пер. 7	3.90	0.95	1.69	0.98	0.08	1.19	0.61	0.45
Пер. 8	0.56	0.72	1.20	0.34	1.87	1.65	0.42	0.86

**2) Разница между тремя измеренными данными в процентах: 100 см**

%	Пр. 1	Пр. 2	Пр. 3	Пр. 4	Пр. 5	Пр. 6	Пр. 7	Пр. 8
Пер. 1	0.77	0.61	2.37	8.01	3.76	3.36	1.04	15.96
Пер. 2	0.40	0.40	0.67	1.29	3.25	2.25	0.61	3.30
Пер. 3	3.84	0.71	0.56	1.26	2.18	0.57	0.88	1.59
Пер. 4	1.12	2.45	1.88	1.07	1.25	1.21	2.33	0.93
Пер. 5	2.78	2.56	2.14	3.77	0.40	0.21	0.58	2.30
Пер. 6	2.21	1.45	3.21	1.99	0.59	0.82	1	1.89
Пер. 7	4.26	1.75	5.98	0.81	1.99	0.74	0.52	0.24
Пер. 8	2.47	0.52	1.37	0.40	4.63	1.48	0.61	0.47

**3) Разница между тремя измеренными данными в процентах: 150 см**

%	Пр. 1	Пр. 2	Пр. 3	Пр. 4	Пр. 5	Пр. 6	Пр. 7	Пр. 8
Пер. 1	0.33	0.47	0.43	1.37	1.18	2.80	0.77	3.05
Пер. 2	0.39	0.01	0.18	0.31	1.39	1.30	0.59	0.82
Пер. 3	0.43	0.17	0.09	0.43	0.77	0.74	0.83	0.42
Пер. 4	0.20	0.92	0.42	0.13	1.21	0.38	0.48	0.16
Пер. 5	1.03	0.79	0.54	0.74	0.18	0.17	0.54	1.12
Пер. 6	1.10	0.13	0.54	0.35	0.35	0.22	0.23	0.37
Пер. 7	1.60	1.44	1.07	0.37	0.69	0.17	0.05	0.09
Пер. 8	1.13	0.85	0.71	0.16	1.40	0.49	0.28	0.07

**Выводы на основе экспериментов**

На основе экспериментальных данных и вычисления разности в процентах можно сделать вывод, что влияние оператора, сидящего за компьютером на стенд, уменьшается до удовлетворительного предела на расстоянии 150 см.

## 4.2 Выявление дальней зоны разработанной антенной решеткой

Эксперимент предназначен:

- для выявления дальней зоны между генератором и анализатором спектра и соответственно расстояния когда сигнал спадает обратно пропорционально расстоянию

**Исходные данные:**

- Частота генератора USB-TG44A: 1300 МГц,
- Ослабление аттенюатора: -10 дБм,
- Ослабление аттенюатора предусилителя приемника USB-SA44B: 5 дБм
- Время задержки старта: 3000 мс для расстояния: 150 см (на этом расстоянии отсутствует влияние человека на матрицу передающих и матрицу приемных антенн, выбрано на основе эксперимента),
- Время задержки коммутатора: 1 мс (выбрано на основе эксперимента),
- Количество замеров: 1024 (выбрано по умолчанию, не имеет значения, выявлено на основе эксперимента),
- Размер матриц антенн приведен на рисунке 39:

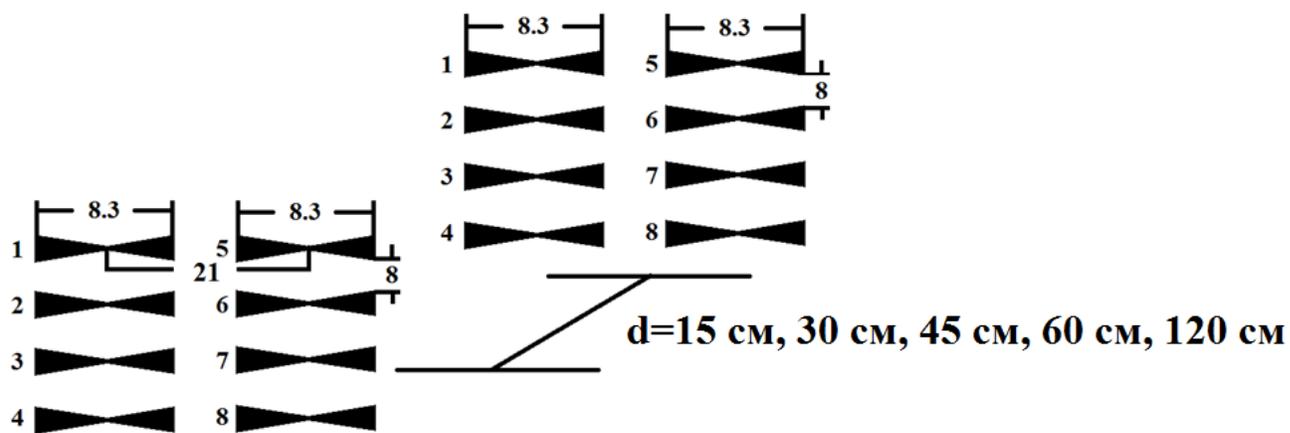


Рисунок 39. Размер матриц антенн в [см] для эксперимента

**Первая версия (стойки находились перпендикулярно к окну)**

**1) Расстояние между генератором и анализатором спектра: 15 см**

Е [В]	Пр. 1	Пр. 2	Пр. 3	Пр. 4	Пр. 5	Пр. 6	Пр. 7	Пр. 8
Пер. 1	18524	13374	6864	1993	5665	3854	5611	1962
Пер. 2	15520	22578	14244	3741	3372	9007	8440	4134
Пер. 3	8819	17325	30832	12643	4378	8431	7341	5938
Пер. 4	4367	4997	13153	16977	3422	3520	3421	11391
Пер. 5	3939	3531	6209	2487	19609	16601	7856	3503
Пер. 6	3009	8422	6178	2768	15161	22233	13610	5474
Пер. 7	4785	5816	3481	5111	5994	14564	31271	12372
Пер. 8	2492	4345	6483	9961	2337	5123	13923	14003

**2) Расстояние между генератором и анализатором спектра: 30 см**

Е [В]	Пр. 1	Пр. 2	Пр. 3	Пр. 4	Пр. 5	Пр. 6	Пр. 7	Пр. 8
Пер. 1	10638	7664	6565	1970	4567	6451	6304	3384
Пер. 2	8639	9518	10666	4989	6731	6761	6807	4960
Пер. 3	8594	12847	13776	6792	5201	7051	4403	5457
Пер. 4	2852	4142	7011	8308	3399	5569	4999	8644
Пер. 5	4264	7044	6192	2208	11701	8184	7648	2734
Пер. 6	6508	6750	6264	4614	8677	7607	10760	5495
Пер. 7	5611	6756	4601	6633	6416	11157	13849	6700
Пер. 8	3352	6197	7551	8316	2164	5701	8042	6960

**3) Расстояние между генератором и анализатором спектра: 45 см**

Е [В]	Пр. 1	Пр. 2	Пр. 3	Пр. 4	Пр. 5	Пр. 6	Пр. 7	Пр. 8
Пер. 1	5691	5945	5959	4956	5872	4073	4303	3394
Пер. 2	6204	8531	7074	4758	3756	6361	5649	3467
Пер. 3	6813	7361	8067	5450	3178	5639	4490	4132
Пер. 4	4294	3800	4849	6051	3280	4353	4759	7304
Пер. 5	5162	4288	4780	4673	5944	5286	7027	4791
Пер. 6	4085	6820	5080	3777	5512	7124	7729	4301
Пер. 7	4050	5441	5040	4196	6575	6720	9090	3720
Пер. 8	4285	4523	4490	6618	4710	5197	5723	4776

#### 4) Расстояние между генератором и анализатором спектра: 60 см

Е [В]	Пр. 1	Пр. 2	Пр. 3	Пр. 4	Пр. 5	Пр. 6	Пр. 7	Пр. 8
Пер. 1	5813	4798	3917	3349	3041	3732	3733	2027
Пер. 2	4537	5653	6557	3796	3983	4079	5404	3438
Пер. 3	4292	6393	5689	4670	3276	5617	4523	3479
Пер. 4	2234	3989	4579	5239	1976	4749	4170	5063
Пер. 5	4586	5130	4427	3506	5166	4778	5260	2651
Пер. 6	5185	5759	5731	3839	5199	5205	6487	4171
Пер. 7	3559	6567	5032	5710	4553	7112	6607	4166
Пер. 8	2788	5043	6218	5316	3496	4466	4840	4011

#### 5) Расстояние между генератором и анализатором спектра: 120 см

Е [В]	Пр. 1	Пр. 2	Пр. 3	Пр. 4	Пр. 5	Пр. 6	Пр. 7	Пр. 8
Пер. 1	3686	745	2952	2720	4544	1132	2398	1885
Пер. 2	1565	3501	3411	1410	1550	2474	3524	1533
Пер. 3	3446	3283	2479	2421	2779	3679	2456	1838
Пер. 4	2666	1826	2995	3008	2196	2086	2787	2853
Пер. 5	3662	1209	2720	2134	4045	1070	3521	2086
Пер. 6	1602	2872	3178	930	1662	3122	3687	1738
Пер. 7	2511	2826	2068	1953	3455	3389	1944	2094
Пер. 8	2434	1827	2589	3215	2725	1278	2575	2562

Расстояние в см	Max	Min	СКО
15	31271	1962	6670.04
30	13849	1970	2633.30
45	9090	3178	1330.92
60	7112	1976	1144.50
120	4544	745	828.44

**Вторая версия (стойки находились горизонтально к окну)**

**1) Расстояние между генератором и анализатором спектра: 15 см**

Е [В]	Пр. 1	Пр. 2	Пр. 3	Пр. 4	Пр. 5	Пр. 6	Пр. 7	Пр. 8
Пер. 1	18066	13926	5910	1373	5259	3293	5477	2740
Пер. 2	15763	21876	13022	3482	3418	6622	7022	3882
Пер. 3	8306	17093	29405	10582	4257	7158	6868	6184
Пер. 4	3867	5632	13365	14995	3940	3829	4330	12170
Пер. 5	3910	3473	5258	2045	19384	16143	6279	3051
Пер. 6	3422	6591	4818	2555	15778	21464	13111	5879
Пер. 7	3377	4105	3054	5711	5196	14213	30739	12307
Пер. 8	2552	3598	6540	10058	2270	5764	13466	14307

**2) Расстояние между генератором и анализатором спектра: 30 см**

Е [В]	Пр. 1	Пр. 2	Пр. 3	Пр. 4	Пр. 5	Пр. 6	Пр. 7	Пр. 8
Пер. 1	11281	7326	5633	2766	5118	4694	5972	3631
Пер. 2	7680	10369	10050	5226	5035	6479	7006	4690
Пер. 3	6690	11861	13031	8206	4430	6417	5093	5448
Пер. 4	3618	4686	8263	8039	3988	5917	5742	9205
Пер. 5	3949	4967	4604	3267	10535	7367	7056	3693
Пер. 6	4594	6163	5155	4180	7965	9326	10167	5840
Пер. 7	3116	5062	4328	5874	6366	10448	13446	8868
Пер. 8	4554	5524	7448	5812	3100	6444	10460	5476

**3) Расстояние между генератором и анализатором спектра: 45 см**

Е [В]	Пр. 1	Пр. 2	Пр. 3	Пр. 4	Пр. 5	Пр. 6	Пр. 7	Пр. 8
Пер. 1	4614	6619	5584	4227	4395	4170	3799	3696
Пер. 2	6601	7804	6781	4473	4460	5405	5046	3143
Пер. 3	6720	7352	9443	5751	3056	4452	5097	3976
Пер. 4	3776	3592	4852	7450	2853	4504	4441	7539
Пер. 5	4048	4641	3161	3510	6185	6278	6609	3774
Пер. 6	3720	5363	4049	3551	6628	6760	7318	4424
Пер. 7	2975	4409	5116	4503	5784	6688	9561	5245
Пер. 8	4399	4706	5354	6129	4023	5400	5847	3626

#### 4) Расстояние между генератором и анализатором спектра: 60 см

Е [В]	Пр. 1	Пр. 2	Пр. 3	Пр. 4	Пр. 5	Пр. 6	Пр. 7	Пр. 8
Пер. 1	4776	4546	3648	3021	4519	3696	3482	1976
Пер. 2	4687	5572	6330	4206	4043	4287	6508	4263
Пер. 3	4136	7103	5716	4385	2115	5651	4934	3898
Пер. 4	2237	3844	4487	4492	2167	5081	4868	5114
Пер. 5	4124	3548	2990	2257	5421	4055	4837	2552
Пер. 6	3928	4478	5454	3818	4637	4448	7281	4214
Пер. 7	2641	6099	4284	4962	4157	6688	6231	3750
Пер. 8	1384	4487	5384	5483	3157	4844	4491	2980

#### 5) Расстояние между генератором и анализатором спектра: 120 см

Е [В]	Пр. 1	Пр. 2	Пр. 3	Пр. 4	Пр. 5	Пр. 6	Пр. 7	Пр. 8
Пер. 1	2222	2086	3517	2387	3402	1779	2877	1740
Пер. 2	2001	3056	3071	2471	2197	2860	3514	1695
Пер. 3	2858	3336	2899	2783	2526	4126	2972	2719
Пер. 4	2452	2211	3284	3937	2737	3190	3575	2858
Пер. 5	2231	2291	3266	2270	3297	2279	3101	1310
Пер. 6	1402	3091	3559	2663	2001	2734	3607	1221
Пер. 7	2706	3847	2235	3407	3036	2816	2993	2643
Пер. 8	2654	2087	3020	3838	2081	1990	2876	3484

Расстояние в см	Мах	Min	СКО
15	30739	1373	6546.34
30	13446	2766	2521.69
45	9561	2853	1499.69
60	7281	1384	1248.67
120	4126	1221	652.96

**Использованные формулы:**

**Формула для определения дальней зоны:**

$$R = 5 \times D = 5 \times 0.08 = 0.4 \text{ м} = 40 \text{ см}$$

при выполнении условия:

$$0.32 < \frac{D}{\lambda} < 2.5$$

**Математическое ожидание:**

$$\hat{\mu} = \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_j = \frac{1}{n} (x_1 + x_2 + \dots + x_n)$$

**Дисперсия:**

$$\hat{\sigma}^2 = s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (x_j - \bar{x})^2$$

**Среднеквадратическое отклонение (стандарт):**

$$\hat{\sigma} = \sqrt{\hat{\sigma}^2}$$

**Проверка результатов эксперимента теорией**

Проведем сравнение полученных данных экспериментальным путем с теоретическими данными:

**Направленность антенны:**

$$D(\theta) = 1.642 \times \frac{\cos^2\left(\frac{\pi}{2} \times \cos \theta\right)}{\sin^2 \theta}$$

**Первая версия (стойки находились перпендикулярно к окну)**

*Для расстояния 60 см*

$$\theta = 50.53^\circ, D(\theta) = 1.67$$

**Эксперимент**

Е [В]	Пр. 1	Пр. 2	Пр. 3	Пр. 4	Пр. 5	Пр. 6	Пр. 7	Пр. 8
Пер. 1	5813				3041			
Пер. 2		5653				4079		
Пер. 3			5689				4523	
Пер. 4				5239				5063
Пер. 5	4586				5166			
Пер. 6		5759				5205		
Пер. 7			5032				6607	
Пер. 8				5316				4011

**Теория**

Е [В]	Пр. 1	Пр. 2	Пр. 3	Пр. 4	Пр. 5	Пр. 6	Пр. 7	Пр. 8
Пер. 1	5813				3480.84			
Пер. 2		5653				3385.03		
Пер. 3			5689				3406.59	
Пер. 4				5239				3137.13
Пер. 5	3093.41				5166			
Пер. 6		3116.77				5205		
Пер. 7			3956.29				6607	
Пер. 8				2401.8				4011

Для расстояния 120 см  
 $\theta = 80.07^\circ$ ,  $D(\theta) = 1.03$

### Эксперимент

Е [В]	Пр. 1	Пр. 2	Пр. 3	Пр. 4	Пр. 5	Пр. 6	Пр. 7	Пр. 8
Пер. 1	3686				4544			
Пер. 2		3501				2474		
Пер. 3			2479				2456	
Пер. 4				3008				2853
Пер. 5	3662				4045			
Пер. 6		2872				3122		
Пер. 7			2068				1944	
Пер. 8				3215				2562

### Теория

Е [В]	Пр. 1	Пр. 2	Пр. 3	Пр. 4	Пр. 5	Пр. 6	Пр. 7	Пр. 8
Пер. 1	3686				3578.64			
Пер. 2		3501				3399.03		
Пер. 3			2479				2406.8	
Пер. 4				3008				2920.39
Пер. 5	3927.18				4045			
Пер. 6		3031.07				3122		
Пер. 7			1887.38				1944	
Пер. 8				2487.38				2562

**Вторая версия (стойки находились горизонтально к окну)**

*Для расстояния 60 см*

$$\theta = 50.53^\circ, D(\theta) = 1.67$$

**Эксперимент**

Е [В]	Пр. 1	Пр. 2	Пр. 3	Пр. 4	Пр. 5	Пр. 6	Пр. 7	Пр. 8
Пер. 1	4776				4519			
Пер. 2		5572				4287		
Пер. 3			5716				4934	
Пер. 4				4492				5114
Пер. 5	4124				5421			
Пер. 6		4478				4448		
Пер. 7			4284				6231	
Пер. 8				5483				2980

**Теория**

Е [В]	Пр. 1	Пр. 2	Пр. 3	Пр. 4	Пр. 5	Пр. 6	Пр. 7	Пр. 8
Пер. 1	4776				2859.88			
Пер. 2		5572				3336.53		
Пер. 3			5716				3422.75	
Пер. 4				4492				2689.82
Пер. 5	3246.11				5421			
Пер. 6		2663.47				4448		
Пер. 7			3731.14				6231	
Пер. 8				1784.43				2980

Для расстояния 120 см  
 $\theta = 80.07^\circ$ ,  $D(\theta) = 1.03$

### Эксперимент

Е [В]	Пр. 1	Пр. 2	Пр. 3	Пр. 4	Пр. 5	Пр. 6	Пр. 7	Пр. 8
Пер. 1	2222				3402			
Пер. 2		3056				2860		
Пер. 3			2899				2972	
Пер. 4				3937				2858
Пер. 5	2231				3297			
Пер. 6		3091				2734		
Пер. 7			2235				2993	
Пер. 8				3838				3484

### Теория

Е [В]	Пр. 1	Пр. 2	Пр. 3	Пр. 4	Пр. 5	Пр. 6	Пр. 7	Пр. 8
Пер. 1	2222				2157.28			
Пер. 2		3056				2966.99		
Пер. 3			2899				2814.56	
Пер. 4				3937				3822.33
Пер. 5	3200.97				3297			
Пер. 6		2654.37				2734		
Пер. 7			2905.83				2993	
Пер. 8				3382.52				3484

Вывод: на расстоянии 60 см от матрицы передающих антенн уровень сигнала падает обратно пропорционально расстоянию и с этого расстояния можно считать, что волна вышла из ближней зоны.

### 4.3 Влияние расстояния между передающей антенной решеткой и приемной антенной решеткой

Эксперимент предназначен:

- для выявления влияния расстояния между генератором и анализатором спектра.

### Исходные данные:

- Частота генератора USB-TG44A:  
1210, 1212, 1214, 1216, 1218, 1220, 1222, 1224, 1226, 1228, 1230 (МГц),
- Ослабление аттенюатора генератора: -10 дБм,
- Ослабление аттенюатора предусилителя приемника USB-SA44B: 5 дБм,
- Время задержки старта: 10000 мс для расстояния: 150 см (на этом расстоянии отсутствует влияние человека, выбрано на основе эксперимента),
- Время задержки коммутатора: 1 мс (выбрано на основе эксперимента),
- Количество замеров: 1024 (выбрано по умолчанию, не имеет значения на основе эксперимента),
- Размер матриц антенн приведен на рисунке 40:

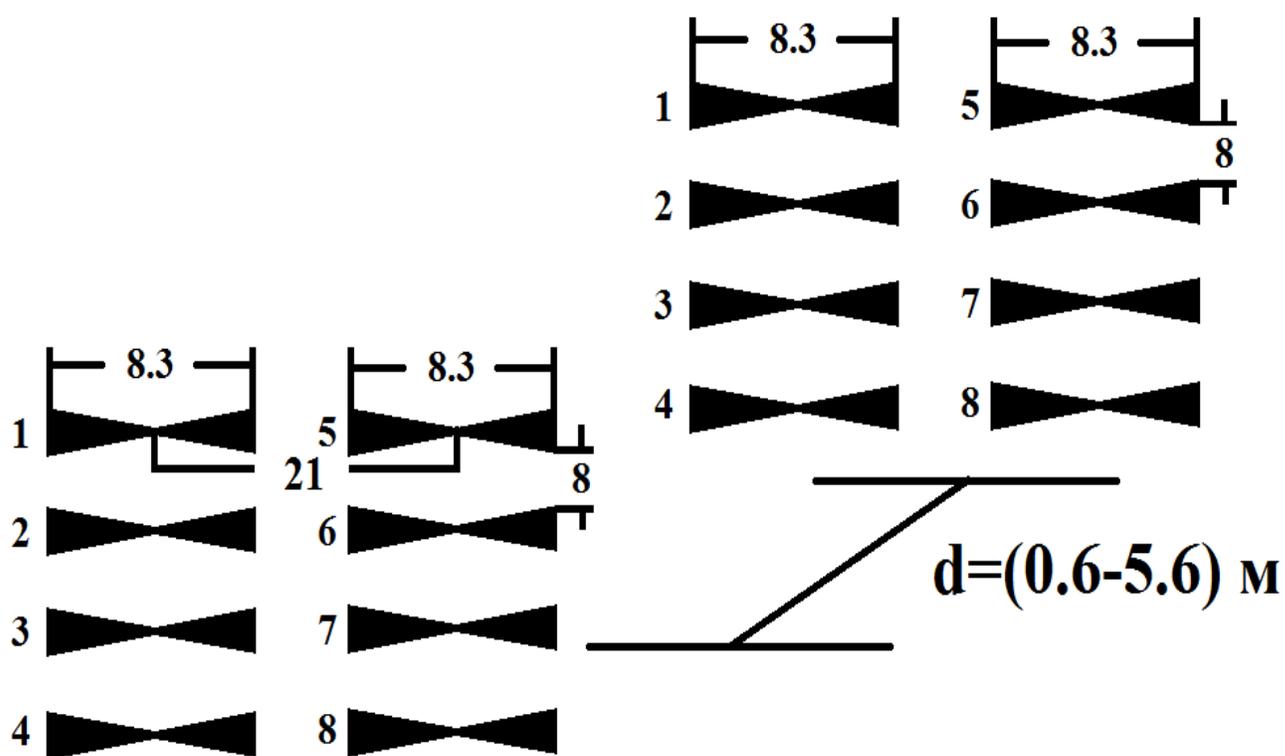


Рисунок 40. Размер матриц антенн в [см] для эксперимента

**1) Расстояние между генератором и анализатором спектра: 60 см**

Е [В]	Пр. 1	Пр. 2	Пр. 3	Пр. 4	Пр. 5	Пр. 6	Пр. 7	Пр. 8
Пер. 1	4131	4926	6498	4644	3275	3959	5603	4463
Пер. 2	5290	5857	5290	4964	3764	4808	3827	3803
Пер. 3	5260	3968	5498	5086	3597	3709	4728	5222
Пер. 4	6212	5525	5160	7697	5173	4515	4029	7210
Пер. 5	2956	2888	3628	4287	3535	4038	5399	5211
Пер. 6	3005	3685	2903	2805	4335	4579	3779	3700
Пер. 7	2837	2118	3299	2142	3825	3075	4854	3687
Пер. 8	5215	3937	3423	5238	5246	4577	4092	6225

**2) Расстояние между генератором и анализатором спектра: 110 см**

Е [В]	Пр. 1	Пр. 2	Пр. 3	Пр. 4	Пр. 5	Пр. 6	Пр. 7	Пр. 8
Пер. 1	2346	3329	4008	3299	2220	2579	3446	2800
Пер. 2	3583	3749	2573	3308	2618	3680	2229	2985
Пер. 3	3094	1944	2124	3371	2240	2391	2037	3997
Пер. 4	3379	3621	3604	4220	2451	2968	3610	3429
Пер. 5	1285	1948	3311	2259	1150	2818	3961	3649
Пер. 6	2564	3493	1848	2379	3325	2904	985	3597
Пер. 7	1877	1668	1437	1893	2503	1430	1081	3521
Пер. 8	2134	2700	3418	2511	1800	2995	3576	2361

**3) Расстояние между генератором и анализатором спектра: 160 см**

Е [В]	Пр. 1	Пр. 2	Пр. 3	Пр. 4	Пр. 5	Пр. 6	Пр. 7	Пр. 8
Пер. 1	2699	1877	1910	1742	2464	1928	1898	2387
Пер. 2	1551	2038	3146	2323	1697	1801	2859	2678
Пер. 3	1948	2890	1149	2305	2192	2564	1131	2236
Пер. 4	2576	2720	1993	3433	2031	3008	1649	3114
Пер. 5	1956	1410	1247	1541	1901	1184	1137	2408
Пер. 6	1612	1283	2833	1584	1240	1427	2573	2393
Пер. 7	1285	1696	1008	853	1413	1634	1113	1485
Пер. 8	2127	2382	769	2975	2248	2413	1320	3198

**4) Расстояние между генератором и анализатором спектра: 210 см**

Е [В]	Пр. 1	Пр. 2	Пр. 3	Пр. 4	Пр. 5	Пр. 6	Пр. 7	Пр. 8
Пер. 1	2167	1747	2028	1975	1848	2198	2565	2068
Пер. 2	1716	2597	2075	1661	1334	2730	2212	2206
Пер. 3	1794	2136	422	2759	1514	1701	353	3852
Пер. 4	1960	1740	2044	2487	2318	2210	2156	3351
Пер. 5	1704	1510	2036	1077	1075	1621	2454	1043
Пер. 6	1383	1863	1449	2073	910	2279	1203	2431
Пер. 7	1329	870	510	2224	1472	1127	1011	2468
Пер. 8	2016	2076	2153	1845	2146	1678	1706	1720

**5) Расстояние между генератором и анализатором спектра: 260 см**

Е [В]	Пр. 1	Пр. 2	Пр. 3	Пр. 4	Пр. 5	Пр. 6	Пр. 7	Пр. 8
Пер. 1	1344	2146	1451	1883	1508	1713	1301	2646
Пер. 2	1895	1285	824	1431	1653	1272	846	1450
Пер. 3	2123	1276	1354	1670	1699	1374	1213	1290
Пер. 4	1844	1206	1381	1839	1452	831	1154	2078
Пер. 5	834	1059	1324	1676	1503	1291	976	2312
Пер. 6	823	1447	1298	835	1346	1128	893	1341
Пер. 7	1207	789	1115	730	1180	672	1039	943
Пер. 8	1577	421	756	1711	1111	360	1006	2382

**6) Расстояние между генератором и анализатором спектра: 310 см**

Е [В]	Пр. 1	Пр. 2	Пр. 3	Пр. 4	Пр. 5	Пр. 6	Пр. 7	Пр. 8
Пер. 1	1628	1279	694	1102	1392	1147	837	1176
Пер. 2	747	1036	787	1863	693	1024	689	1736
Пер. 3	628	1016	942	1623	728	739	803	1953
Пер. 4	472	2289	2033	815	1066	2081	1478	825
Пер. 5	1002	836	697	676	1278	594	691	1034
Пер. 6	658	762	1068	1197	368	908	783	1471
Пер. 7	778	533	857	823	810	395	799	1169
Пер. 8	860	2124	1445	642	667	2233	1495	528

**7) Расстояние между генератором и анализатором спектра: 360 см**

Е [В]	Пр. 1	Пр. 2	Пр. 3	Пр. 4	Пр. 5	Пр. 6	Пр. 7	Пр. 8
Пер. 1	1044	1159	1298	1411	1264	845	981	1475
Пер. 2	1189	1637	1210	1414	1149	1195	1116	1354
Пер. 3	1526	632	1421	1068	1241	817	1470	989
Пер. 4	1143	814	1067	1142	625	763	835	1898
Пер. 5	890	815	1056	915	1166	1068	1058	1129
Пер. 6	970	1324	990	810	1243	1150	849	1078
Пер. 7	988	644	1477	584	818	465	1147	734
Пер. 8	1248	701	1335	1691	1116	293	1538	1924

**8) Расстояние между генератором и анализатором спектра: 410 см**

Е [В]	Пр. 1	Пр. 2	Пр. 3	Пр. 4	Пр. 5	Пр. 6	Пр. 7	Пр. 8
Пер. 1	132	755	1033	1114	535	675	1129	1003
Пер. 2	1182	1712	957	528	753	1368	984	1095
Пер. 3	850	1101	396	482	620	797	203	1053
Пер. 4	237	1204	599	1817	699	1512	496	2413
Пер. 5	274	509	1017	1106	1323	501	1547	1183
Пер. 6	661	1217	1008	1235	742	1370	1315	796
Пер. 7	576	450	180	777	630	522	421	679
Пер. 8	390	1184	1021	2062	335	1456	759	2007

**9) Расстояние между генератором и анализатором спектра: 460 см**

Е [В]	Пр. 1	Пр. 2	Пр. 3	Пр. 4	Пр. 5	Пр. 6	Пр. 7	Пр. 8
Пер. 1	1163	752	818	592	1122	404	813	954
Пер. 2	929	758	336	1042	601	867	600	1277
Пер. 3	341	392	491	838	502	698	526	1103
Пер. 4	1588	1100	1571	1741	1231	1230	1824	1714
Пер. 5	875	653	596	402	1087	473	594	694
Пер. 6	509	709	609	904	463	654	478	1081
Пер. 7	365	478	462	537	288	560	660	766
Пер. 8	1459	941	1396	1490	1294	1017	1482	1328

### 10) Расстояние между генератором и анализатором спектра: 510 см

Е [В]	Пр. 1	Пр. 2	Пр. 3	Пр. 4	Пр. 5	Пр. 6	Пр. 7	Пр. 8
Пер. 1	504	878	762	877	422	848	981	1044
Пер. 2	567	724	629	1292	839	760	888	1422
Пер. 3	835	410	380	969	1036	495	457	1289
Пер. 4	1589	1298	720	550	1470	1728	1218	928
Пер. 5	313	685	792	586	427	751	822	648
Пер. 6	903	544	635	733	517	518	676	655
Пер. 7	872	381	327	565	499	322	318	505
Пер. 8	1225	1439	650	503	955	1050	693	459

### 11) Расстояние между генератором и анализатором спектра: 560 см

Е [В]	Пр. 1	Пр. 2	Пр. 3	Пр. 4	Пр. 5	Пр. 6	Пр. 7	Пр. 8
Пер. 1	774	622	251	1237	1103	771	921	1516
Пер. 2	1059	723	643	734	765	936	565	1067
Пер. 3	1233	491	507	169	392	1229	818	678
Пер. 4	1029	658	467	803	1230	890	1031	1119
Пер. 5	765	603	507	710	195	642	306	730
Пер. 6	642	446	479	485	820	803	1160	408
Пер. 7	315	516	721	482	1165	624	1053	501
Пер. 8	618	705	760	308	367	910	502	329

#### Обработка полученных результатов

Преимущество применения матрицы передающих антенн и матрицы приемных антенн перед применением одной передающей антенны и одной приемной антенны

На рисунке 41 приведены графики ослабления сигнала от расстояния при прямой видимости без преград при двух случаях: при применении восьми передающих и восьми приемных антенн и при применении одной передающей и одной приемной антенн.

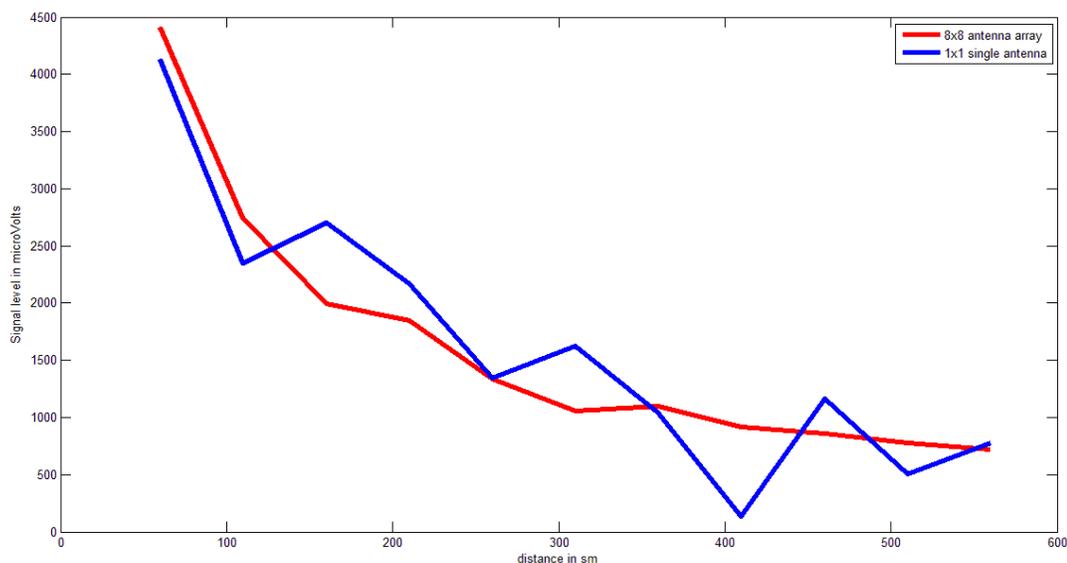


Рисунок 41. Применение восьми передающих и восьми приемных антенн позволяет стабилизировать сигнал по сравнению с одной передающей и одной приемной антеннами

#### 4.4 Влияние человека на прохождение сигнала между передающей антенной решеткой и приемной антенной решеткой

Эксперимент предназначен:

- для выявления влияния человека, неподвижно стоящего в центре на пути сигналов от передающей антенной решетки и приемной антенной решетки.

**Исходные данные:**

- Частота генератора USB-TG44A: 1210, 1212, 1214, 1216, 1218, 1220, 1222, 1224, 1226, 1228, 1230 (МГц),
- Ослабление аттенюатора генератора: -10 дБм,
- Ослабление аттенюатора предусилителя приемника USB-SA44B: 5 дБм,
- Время задержки старта: 10000 мс для расстояния: 150 см (на этом расстоянии отсутствует влияние человека, выбрано на основе эксперимента),
- Время задержки коммутатора: 1 мс (выбрано на основе эксперимента),
- Количество замеров: 1024 (выбрано по умолчанию, не имеет значения на основе эксперимента),
- Размер матриц антенн приведен на рисунке 42.

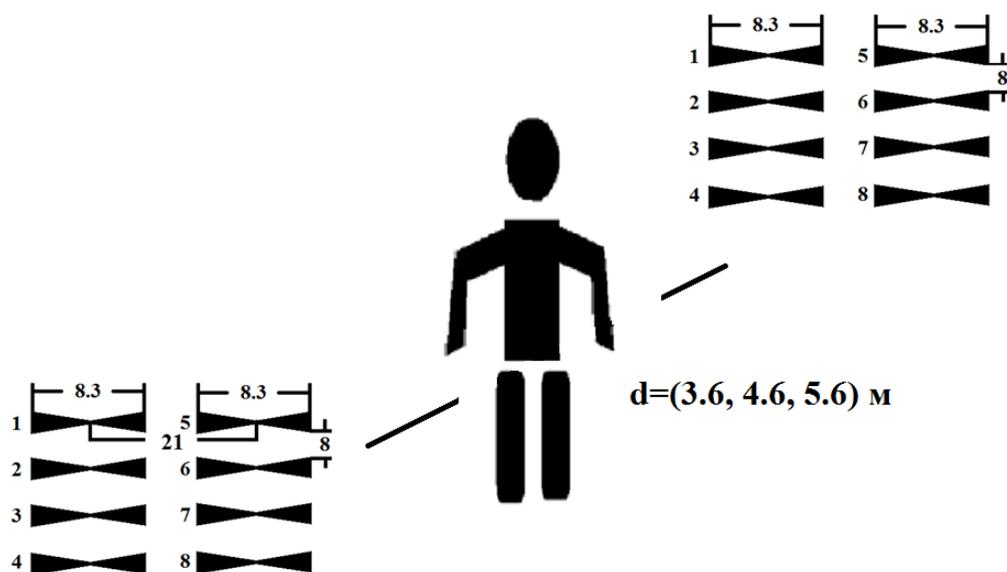


Рисунок 42. Схематическое расположение объектов исследования для эксперимента

**Человек неподвижно стоял** Расстояние между генератором и анализатором спектра: 360 см

Е [В]	Пр. 1	Пр. 2	Пр. 3	Пр. 4	Пр. 5	Пр. 6	Пр. 7	Пр. 8
Пер. 1	869	771	985	822	921	627	796	759
Пер. 2	796	1576	981	539	725	1286	904	449
Пер. 3	1125	801	583	804	1089	811	622	405
Пер. 4	693	444	496	1265	863	493	306	1973
Пер. 5	1022	619	919	613	992	1075	885	427
Пер. 6	679	1362	930	324	1092	1204	682	625
Пер. 7	950	658	896	714	881	331	864	710
Пер. 8	740	594	697	1621	1000	394	1128	1137

Без человека

Е [В]	Пр. 1	Пр. 2	Пр. 3	Пр. 4	Пр. 5	Пр. 6	Пр. 7	Пр. 8
Пер. 1	1044	1159	1298	1411	1264	845	981	1475
Пер. 2	1189	1637	1210	1414	1149	1195	1116	1354
Пер. 3	1526	632	1421	1068	1241	817	1470	989
Пер. 4	1143	814	1067	1142	625	763	835	1898
Пер. 5	890	815	1056	915	1166	1068	1058	1129
Пер. 6	970	1324	990	810	1243	1150	849	1078
Пер. 7	988	644	1477	584	818	465	1147	734
Пер. 8	1248	701	1335	1691	1116	293	1538	1924

Коэффициент корреляции  $r=0.60$

**Расстояние между генератором и анализатором спектра: 460 см**

Е [В]	Пр. 1	Пр. 2	Пр. 3	Пр. 4	Пр. 5	Пр. 6	Пр. 7	Пр. 8
Пер. 1	787	804	959	536	979	650	838	510
Пер. 2	526	797	157	730	397	748	296	986
Пер. 3	171	736	590	707	346	780	596	953
Пер. 4	1322	754	1060	968	1038	812	1331	759
Пер. 5	781	717	516	252	817	526	742	542
Пер. 6	429	650	348	485	365	553	183	628
Пер. 7	279	561	415	346	168	703	544	598
Пер. 8	1074	532	904	535	1095	704	1106	236

Без человека

Е [В]	Пр. 1	Пр. 2	Пр. 3	Пр. 4	Пр. 5	Пр. 6	Пр. 7	Пр. 8
Пер. 1	1163	752	818	592	1122	404	813	954
Пер. 2	929	758	336	1042	601	867	600	1277
Пер. 3	341	392	491	838	502	698	526	1103
Пер. 4	1588	1100	1571	1741	1231	1230	1824	1714
Пер. 5	875	653	596	402	1087	473	594	694
Пер. 6	509	709	609	904	463	654	478	1081
Пер. 7	365	478	462	537	288	560	660	766
Пер. 8	1459	941	1396	1490	1294	1017	1482	1328

Коэффициент корреляции**0.73****Расстояние между генератором и анализатором спектра: 560 см**

Е [В]	Пр. 1	Пр. 2	Пр. 3	Пр. 4	Пр. 5	Пр. 6	Пр. 7	Пр. 8
Пер. 1	689	621	183	660	1041	526	514	1262
Пер. 2	993	508	595	222	605	932	478	687
Пер. 3	1070	275	412	384	450	1241	1015	477
Пер. 4	620	312	254	382	802	322	544	858
Пер. 5	618	427	409	356	272	636	316	302
Пер. 6	517	323	324	462	886	501	908	635
Пер. 7	254	471	662	553	1131	514	972	441
Пер. 8	270	198	437	965	115	664	498	612

Без человека

Е [В]	Пр. 1	Пр. 2	Пр. 3	Пр. 4	Пр. 5	Пр. 6	Пр. 7	Пр. 8
Пер. 1	774	622	251	1237	1103	771	921	1516
Пер. 2	1059	723	643	734	765	936	565	1067
Пер. 3	1233	491	507	169	392	1229	818	678
Пер. 4	1029	658	467	803	1230	890	1031	1119
Пер. 5	765	603	507	710	195	642	306	730
Пер. 6	642	446	479	485	820	803	1160	408
Пер. 7	315	516	721	482	1165	624	1053	501
Пер. 8	618	705	760	308	367	910	502	329

Коэффициент корреляции:  $r=0.70$

#### **4.5 Влияние движения человека на прохождение сигнала между передающей антенной решеткой и приемной антенной решеткой**

Эксперимент предназначен:

- для исследования влияния случайного прохождения человека между передающей антенной решеткой и приемной антенной решеткой

##### **Исходные данные:**

- Частота генератора USB-TG44A:  
1210, 1212, 1214, 1216, 1218, 1220, 1222, 1224, 1226, 1228, 1230 (МГц),
- Ослабление аттенюатора генератора: -10 дБм,
- Ослабление аттенюатора предусилителя приемника USB-SA44B: 5 дБм,
- Время задержки старта: 10000 мс для расстояния: 150 см (на этом расстоянии отсутствует влияние человека, выбрано на основе эксперимента),
- Время задержки коммутатора: 1 мс (выбрано на основе эксперимента),
- Количество замеров: 1024 (выбрано по умолчанию, не имеет значения на основе эксперимента),
- Размер матриц антенн приведен на рисунке 43.

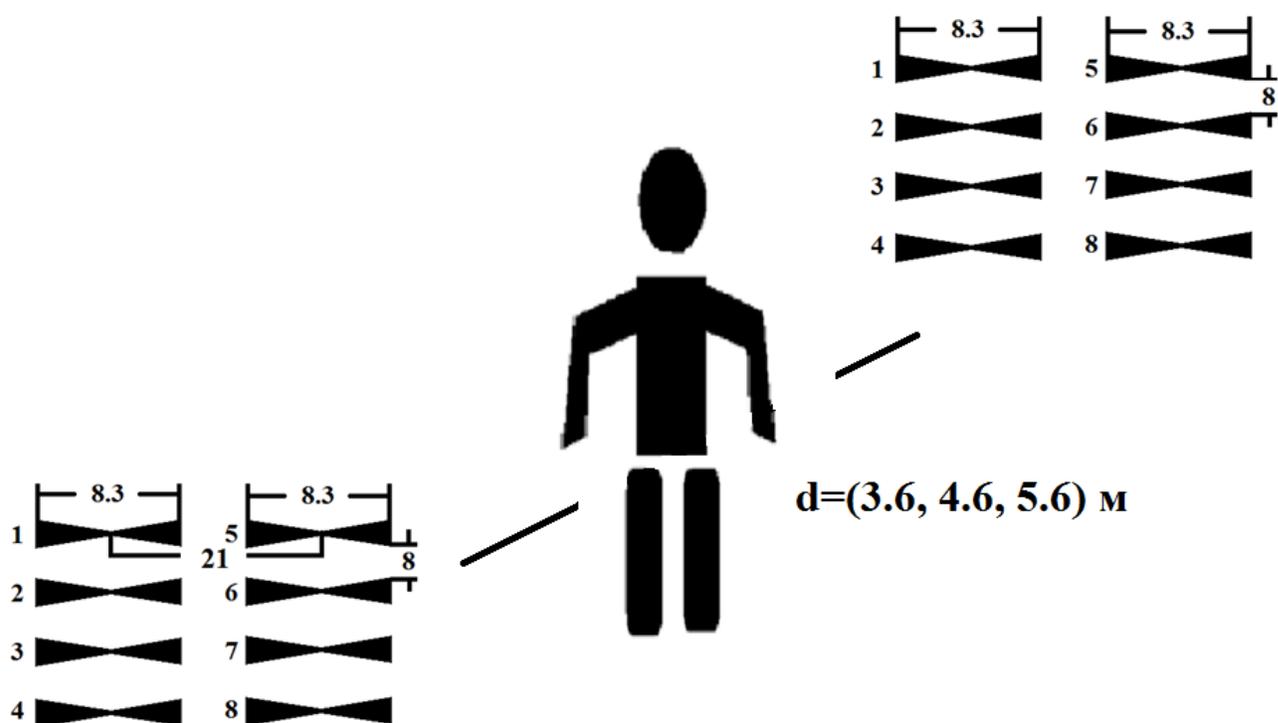


Рисунок 43. Схематическое расположение объектов исследования для эксперимента

**Расстояние между генератором и анализатором спектра: 360 см**

Е [В]	Пр. 1	Пр. 2	Пр. 3	Пр. 4	Пр. 5	Пр. 6	Пр. 7	Пр. 8
<b>Пер. 1</b>	1129	992	1206	1266	1233	839	861	1234
<b>Пер. 2</b>	1097	1520	1106	1260	1030	977	861	1211
<b>Пер. 3</b>	1555	724	1420	1179	1189	678	1395	829
<b>Пер. 4</b>	1064	1034	1301	978	610	649	761	1680
<b>Пер. 5</b>	1122	586	880	866	1155	1243	948	992
<b>Пер. 6</b>	780	1129	951	679	1282	1153	793	1174
<b>Пер. 7</b>	776	476	1219	739	688	511	1161	827
<b>Пер. 8</b>	910	532	959	1742	1050	418	1411	1585

**Без человека**

Е [В]	Пр. 1	Пр. 2	Пр. 3	Пр. 4	Пр. 5	Пр. 6	Пр. 7	Пр. 8
Пер. 1	1044	1159	1298	1411	1264	845	981	1475
Пер. 2	1189	1637	1210	1414	1149	1195	1116	1354
Пер. 3	1526	632	1421	1068	1241	817	1470	989
Пер. 4	1143	814	1067	1142	625	763	835	1898
Пер. 5	890	815	1056	915	1166	1068	1058	1129
Пер. 6	970	1324	990	810	1243	1150	849	1078
Пер. 7	988	644	1477	584	818	465	1147	734
Пер. 8	1248	701	1335	1691	1116	293	1538	1924

Коэффициент корреляции:  $r=0.90$

**Расстояние между генератором и анализатором спектра: 460 см**

Е [В]	Пр. 1	Пр. 2	Пр. 3	Пр. 4	Пр. 5	Пр. 6	Пр. 7	Пр. 8
Пер. 1	960	625	911	480	984	383	786	693
Пер. 2	746	652	406	935	496	672	535	1005
Пер. 3	287	383	428	761	482	643	520	1025
Пер. 4	1359	819	1362	1381	1123	1089	1693	1566
Пер. 5	913	489	575	347	944	411	656	564
Пер. 6	433	539	588	880	402	452	472	912
Пер. 7	440	478	353	538	395	575	562	710
Пер. 8	1364	954	1394	1478	1203	951	1462	988

**Без человека**

Е [В]	Пр. 1	Пр. 2	Пр. 3	Пр. 4	Пр. 5	Пр. 6	Пр. 7	Пр. 8
Пер. 1	1163	752	818	592	1122	404	813	954
Пер. 2	929	758	336	1042	601	867	600	1277
Пер. 3	341	392	491	838	502	698	526	1103
Пер. 4	1588	1100	1571	1741	1231	1230	1824	1714
Пер. 5	875	653	596	402	1087	473	594	694
Пер. 6	509	709	609	904	463	654	478	1081
Пер. 7	365	478	462	537	288	560	660	766
Пер. 8	1459	941	1396	1490	1294	1017	1482	1328

Коэффициент корреляции:  $r=0.97$

## Расстояние между генератором и анализатором спектра: 560 см

Е [В]	Пр. 1	Пр. 2	Пр. 3	Пр. 4	Пр. 5	Пр. 6	Пр. 7	Пр. 8
Пер. 1	764	620	298	1174	1073	816	898	1400
Пер. 2	920	677	568	607	758	900	520	995
Пер. 3	1128	458	506	190	406	1204	792	656
Пер. 4	1085	639	386	799	1113	841	937	1128
Пер. 5	754	601	466	666	213	578	318	639
Пер. 6	469	365	454	393	797	667	973	464
Пер. 7	300	461	698	557	1142	580	992	434
Пер. 8	579	673	706	326	478	867	544	277

Без человека

Е [В]	Пр. 1	Пр. 2	Пр. 3	Пр. 4	Пр. 5	Пр. 6	Пр. 7	Пр. 8
Пер. 1	774	622	251	1237	1103	771	921	1516
Пер. 2	1059	723	643	734	765	936	565	1067
Пер. 3	1233	491	507	169	392	1229	818	678
Пер. 4	1029	658	467	803	1230	890	1031	1119
Пер. 5	765	603	507	710	195	642	306	730
Пер. 6	642	446	479	485	820	803	1160	408
Пер. 7	315	516	721	482	1165	624	1053	501
Пер. 8	618	705	760	308	367	910	502	329

Коэффициент корреляции:  $r=0.98$

### 4.6 Влияние углового смещения от прямой видимости между передающей антенной решеткой и приемной антенной решеткой

Эксперимент предназначен:

- для выявления влияния смещения от прямой видимости взаимного расположения передатчиков и приемников.

#### Исходные данные:

- Частота генератора USB-TG44A:  
1210, 1212, 1214, 1216, 1218, 1220, 1222, 1224, 1226, 1228, 1230 (МГц),
- Ослабление аттенюатора генератора: -10 дБм,
- Ослабление аттенюатора предусилителя приемника USB-SA44B: 5 дБм,
- Время задержки старта: 10000 мс для расстояния: 150 см (на этом расстоянии отсутствует влияние человека, выбрано на основе эксперимента),
- Время задержки коммутатора: 1 мс (выбрано на основе эксперимента),

- Количество замеров: 1024 (выбрано по умолчанию, не имеет значения на основе эксперимента),
- Размер матриц антенн приведен на рисунке 44.

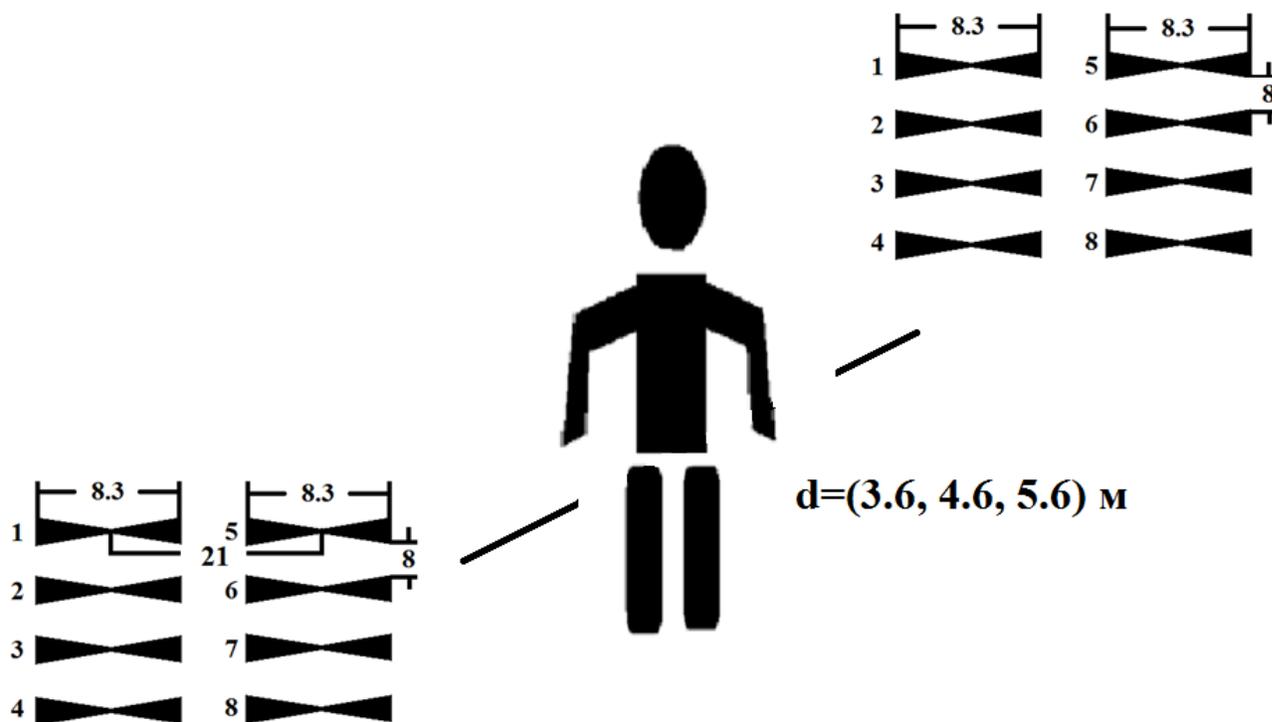


Рисунок 44. Схематическое расположение объектов исследования для эксперимента

Угол:  $0^\circ$

Е [В]	Пр. 1	Пр. 2	Пр. 3	Пр. 4	Пр. 5	Пр. 6	Пр. 7	Пр. 8
<b>Пер. 1</b>	1679	1302	2498	1375	1481	1792	3324	2155
<b>Пер. 2</b>	1545	2888	1641	1239	1698	3367	2102	1493
<b>Пер. 3</b>	2652	2303	706	2062	3358	3150	892	2928
<b>Пер. 4</b>	2504	1533	2008	2241	2447	921	1954	3452
<b>Пер. 5</b>	1644	1223	3209	1296	1904	1243	2619	1511
<b>Пер. 6</b>	1881	3053	2041	454	1410	2617	2102	751
<b>Пер. 7</b>	2949	2001	650	1637	2477	2224	848	2026
<b>Пер. 8</b>	2199	877	2073	2807	2226	938	1716	3085

Угол: 15 °

Е [В]	Пр. 1	Пр. 2	Пр. 3	Пр. 4	Пр. 5	Пр. 6	Пр. 7	Пр. 8
Пер. 1	1296	1745	2504	2345	1439	1406	2810	2245
Пер. 2	1916	2735	1625	1877	1275	2404	1817	1442
Пер. 3	2594	2060	530	1769	1751	2088	1259	2101
Пер. 4	2065	1183	2291	2037	2125	856	1469	3082
Пер. 5	1296	1297	2082	1810	1420	1017	2314	1776
Пер. 6	1144	1867	888	1143	1053	2357	1860	1167
Пер. 7	1728	780	286	793	2085	1666	882	1491
Пер. 8	1822	878	2032	976	2241	818	950	2378

r= 0.72

Угол: 30 °

Е [В]	Пр. 1	Пр. 2	Пр. 3	Пр. 4	Пр. 5	Пр. 6	Пр. 7	Пр. 8
Пер. 1	1412	1181	801	1504	1225	654	1330	1598
Пер. 2	1252	598	1036	1858	1721	1664	1021	1020
Пер. 3	275	315	992	862	1873	948	271	903
Пер. 4	1603	2029	1044	1611	516	1837	1617	579
Пер. 5	1207	1165	200	514	1585	803	864	484
Пер. 6	756	466	670	1007	445	374	340	1569
Пер. 7	1161	704	785	834	818	781	464	872
Пер. 8	1600	1986	613	993	562	2381	980	499

r= -0.21

Угол: 45 °

Е [В]	Пр. 1	Пр. 2	Пр. 3	Пр. 4	Пр. 5	Пр. 6	Пр. 7	Пр. 8
Пер. 1	985	994	1208	1510	772	399	960	430
Пер. 2	1019	1370	1350	468	663	966	833	771
Пер. 3	1629	910	516	540	1017	494	1271	342
Пер. 4	519	718	1243	1429	650	454	242	1124
Пер. 5	1167	512	590	991	1016	255	959	383
Пер. 6	536	770	521	757	405	743	506	445
Пер. 7	863	390	810	713	937	844	464	959
Пер. 8	807	964	824	1014	759	248	355	551

r=0.21

Угол: 60 °

Е [В]	Пр. 1	Пр. 2	Пр. 3	Пр. 4	Пр. 5	Пр. 6	Пр. 7	Пр. 8
Пер. 1	193	153	371	255	395	325	441	256
Пер. 2	224	298	391	620	633	155	161	342
Пер. 3	348	289	190	461	292	355	573	321
Пер. 4	263	505	442	892	330	272	389	211
Пер. 5	440	175	408	314	518	452	371	628
Пер. 6	202	341	372	367	207	769	378	228
Пер. 7	312	348	308	228	446	679	519	377
Пер. 8	278	420	208	475	431	227	353	200

$r = -0.00$

#### **4.7 Влияние смещения по высоте от прямой видимости между передающей антенной решеткой и приемной антенной решеткой**

Эксперимент предназначен:

- для выявления влияния высоты взаимного расположения передатчиков и приемников по высоте.

#### **Исходные данные:**

- Частота генератора USB-TG44A:  
1210, 1212, 1214, 1216, 1218, 1220, 1222, 1224, 1226, 1228, 1230 (МГц),
- Ослабление аттенюатора генератора: -10 дБм,
- Ослабление аттенюатора предусилителя приемника USB-SA44B: 5 дБм,
- Время задержки старта: 10000 мс для расстояния: 150 см (на этом расстоянии отсутствует влияние человека, выбрано на основе эксперимента),
- Время задержки коммутатора: 1 мс (выбрано на основе эксперимента),
- Количество замеров: 1024 (выбрано по умолчанию, не имеет значения на основе эксперимента),
- Размер матриц антенн приведен на рисунке 45.

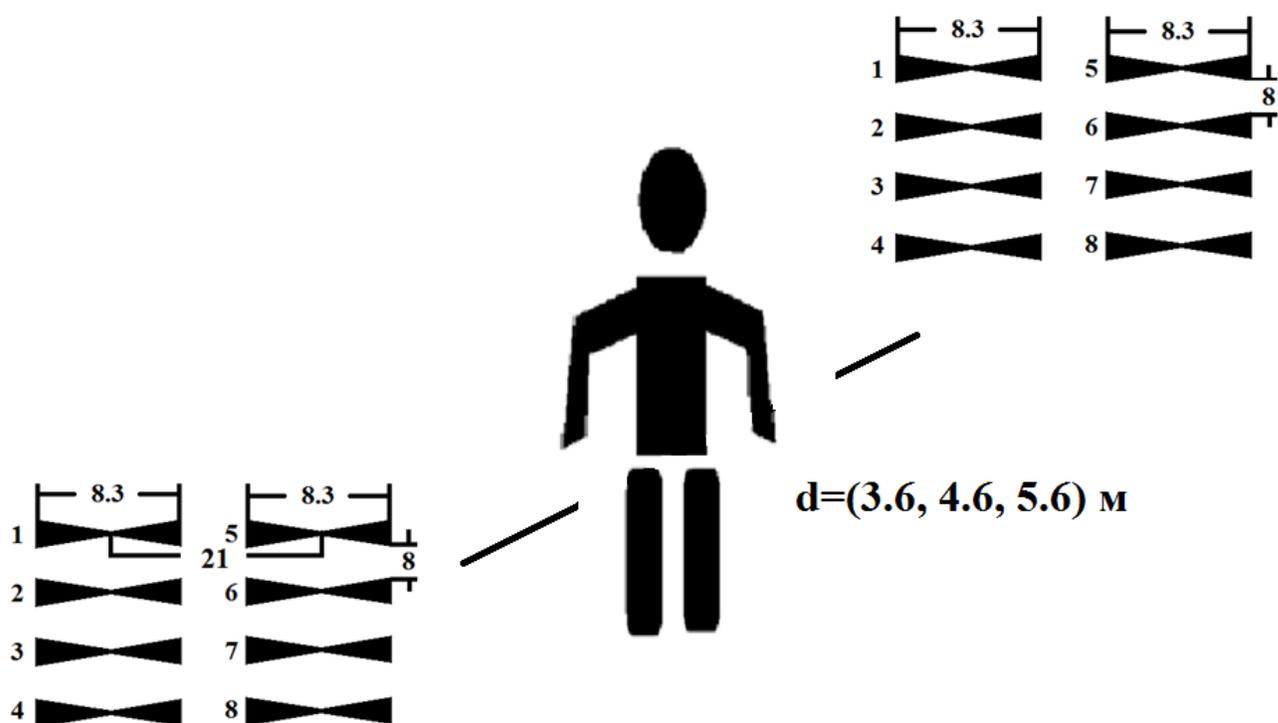


Рисунок 45. Схематическое расположение объектов исследования для эксперимента

**Высота: 0 м**

Е [В]	Пр. 1	Пр. 2	Пр. 3	Пр. 4	Пр. 5	Пр. 6	Пр. 7	Пр. 8
<b>Пер. 1</b>	1679	1302	2498	1375	1481	1792	3324	2155
<b>Пер. 2</b>	1545	2888	1641	1239	1698	3367	2102	1493
<b>Пер. 3</b>	2652	2303	706	2062	3358	3150	892	2928
<b>Пер. 4</b>	2504	1533	2008	2241	2447	921	1954	3452
<b>Пер. 5</b>	1644	1223	3209	1296	1904	1243	2619	1511
<b>Пер. 6</b>	1881	3053	2041	454	1410	2617	2102	751
<b>Пер. 7</b>	2949	2001	650	1637	2477	2224	848	2026
<b>Пер. 8</b>	2199	877	2073	2807	2226	938	1716	3085

**Высота: 67 см**

Е [В]	Пр. 1	Пр. 2	Пр. 3	Пр. 4	Пр. 5	Пр. 6	Пр. 7	Пр. 8
Пер. 1	1811	586	937	2433	1266	684	466	2739
Пер. 2	1441	1114	1401	1759	1218	922	1080	2241
Пер. 3	1072	1497	693	1350	821	1190	692	1785
Пер. 4	1670	1433	1716	1751	1388	1415	1481	1881
Пер. 5	1806	1035	1068	1738	1521	846	512	2785
Пер. 6	1463	982	1452	1460	1417	1171	1157	1607
Пер. 7	978	890	581	817	724	1029	685	920
Пер. 8	1382	1433	1522	1801	870	881	1291	2144

$r=-0.03$

На основе проведенных измерений можно составить рекомендации по расположению маяков при развертывании систем позиционирования.

## **5 Компьютерное моделирование многолучевого распространения радиоволн**

### **5.1 Моделирование влияния отраженного сигнала на уровень принимаемого сигнала**

Результаты экспериментального измерения влияния многолучевого распространения на уровень принимаемого сигнала для задач определения координат объектов в закрытых помещениях и исследование возможности снижения ошибок применением многочастотного метода были опубликованы в [146, 147, 150]. В этой главе исследования проводятся на основе компьютерного моделирования.

#### **Исходные данные для моделирования:**

1)  $E_0 d_0$  – напряженность поля  $\left[\frac{\text{В}}{\text{м}}\right]$  в свободном пространстве на расстоянии  $d_0$  [м]. На расстоянии в 1 метр измеренная напряженность поля  $2500 \frac{\text{В}}{\text{м}}$ . Если волна имеет горизонтальную поляризацию и угол отражения маленький [44], то, отраженная волна равна по величине и смещена по фазе с прямой волной на  $180^\circ$  и коэффициент отражения равен  $\Gamma_{\perp} = -1$ .

- 2) Пренебрегаем ослаблением волны из-за поверхности [45, 54]. Это можно допустить, если антенны расположены на высоте более чем несколько длин волн от поверхности  $h_{t \text{ or } r} \gg \lambda_c$ .
- 3) Высота передающей и приемной антенн  $h_t$  и  $h_r$ : [1.5 м].
- 4) Расстояние между антеннами для моделирования  $d$ : [1 – 50] м.
- 5) Если распространяемый сигнал узкополосный (2 MHz для BLE канала) относительно ширины времени задержки (наибольшее при ближайшем расстоянии – 10 м):

$$\tau_{ref} - \tau_{LOS} \ll B_u^{-1}$$

то, можно принять, что комплексная огибающая прямого и отраженного сигналов одинаковая [45]:

$$u(t - \tau_1) \approx u(t - \tau_0)$$

Схематическое расположение антенн приведено на рисунке 46.

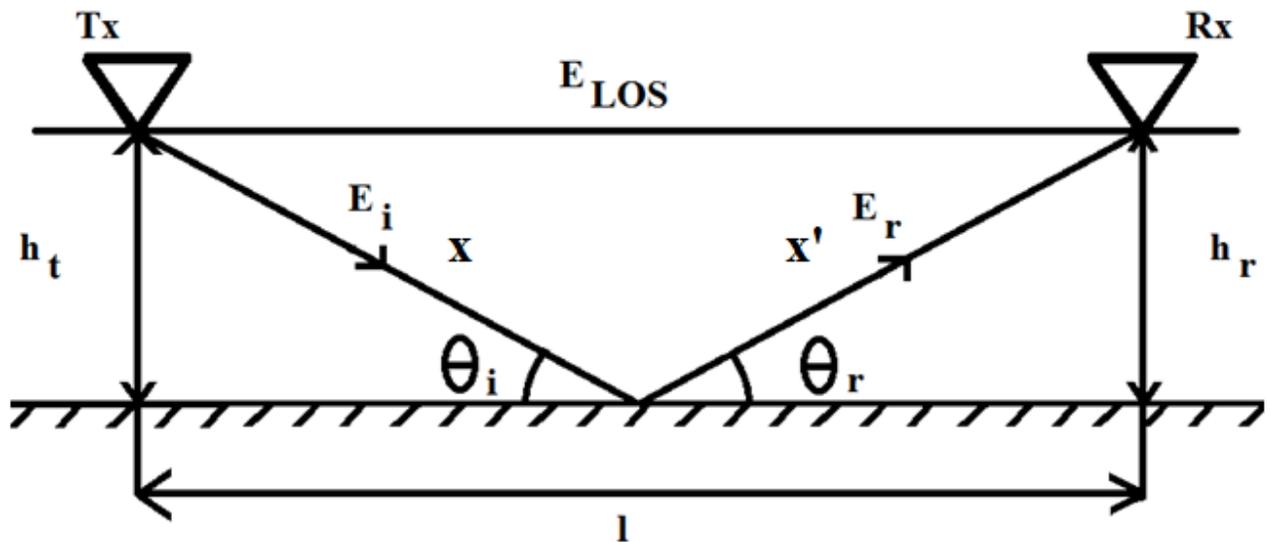


Рисунок 46. – Исходные данные для моделирования влияния отраженной волны на полный принятый сигнал

В работе [50] указывается, что точность в системах позиционирования внутри помещений до сих пор является актуальной задачей и требует новых

подходов к решению. Одной из главных задач является решение проблем, возникающих из-за затухания, дифракции, отражения и рассеяния. Эти эффекты ведут к проблеме многолучевого распространения. Авторы [50] представили инновационную математическую модель для улучшения точности, направленную на уменьшения влияния отражения от земли, используя многослойный перцептрон.

## 5.2 Моделирование многочастотного способа усреднения уровня сигнала

1) Сравнение принятого сигнала при прямой видимости с сигналом прошедшего без отражения сложением с отраженным сигналом

Зависимость электрического поля в зависимости от расстояния с учетом исходных данных можно записать следующим образом:

$$|E_{TOT}(l)| = \sqrt{\left(\frac{2500}{l}\right)^2 (\cos(\Delta \varphi) - 1)^2 + \left(\frac{2500}{l}\right)^2 \sin^2(\Delta \varphi)}$$

$$\Delta \varphi = \frac{2\pi\Delta}{\lambda}$$

$$\Delta = (x + x') - l = \sqrt{(h_t + h_r)^2 + l^2} - \sqrt{(h_t - h_r)^2 + l^2}$$

где,  $\Delta$ , – разность расстояний, прошедших отраженной и прямой волнами;  $\Delta \varphi$  – разность фаз. На рисунке 47 приведены графики ослабления сигнала при прямой видимости без влияния отраженного сигнала и прошедшего при прямой видимости, сложеного с отраженным сигналом. Для моделирования приведен код на Matlab:

```
%1-program LOS+Reflected ray
```

```
clear
```

```
clc
```

```
lambda=0.125;
```

```
StDev=0; %standard deviation
```

```
dBmin=0;
```

```
dBmax=0;
```

```

for l=1:0.1:50
    stem(l, (2500/(l)), 'MarkerFaceColor','red', 'Color', [1,1,1])
    hold on
    stem(l, ((2500/(l))*((cos(2*pi*((9+l^2)^0.5-l)/lambda)-
1)^2+(sin(2*pi*((9+l^2)^0.5-l)/lambda))^2)^0.5), 'MarkerFaceColor','blue',
'Color', [1,1,1])
    hold on
    now=((2500/(l))*((cos(2*pi*((9+l^2)^0.5-l)/lambda)-
1)^2+(sin(2*pi*((9+l^2)^0.5-l)/lambda))^2)^0.5);
    mean=(2500/(l));
    if StDev<((now-mean)/mean)*100
        StDev=((now-mean)/mean)*100;
        dBmin=mean;
        dBmax=now;
    end
end
StDev %standard deviation in procent
decibel=20*log10(dBmax/dBmin) %standard deviatio in decibels
title('Path loss over distance at 2400 MHz', 'fontsize', 24)
xlabel('Distance in meters', 'fontsize', 24)
ylabel('Signal strength', 'fontsize', 24)
a=legend('LOS', 'LOS+Reflected ray');
set(a, 'fontsize', 24)

```

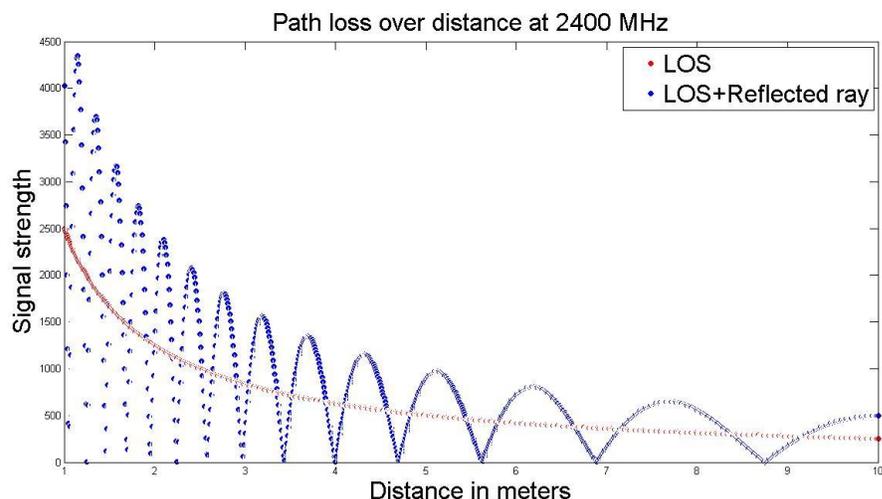


Рисунок 47. Графики ослабления сигнала от расстояния при прямой видимости без влияния отраженного сигнала и сложеного с отраженным сигналом

Результаты показали, что наибольшее среднеквадратическое отклонение (СКО) сигнала, которое может испытать сигнал из-за влияния отраженного сигнала в диапазоне расстояний от 1 метра до 50 метров равно 100 % от теоретической величины или 6.02 дБ. Для уменьшения СКО предлагается метод, основанный на применении многочастотных сигналов. Усреднение сигналов, принятых на различных частотах, позволит уменьшить влияние отражения.

2) Сравнение принятого сигнала при прямой видимости с сигналом прошедшего без отражения сложеном с отраженным сигналом используя усреднение многочастотных сигналов

На рисунке 48 приведены графики ослабления сигнала при прямой видимости без влияния отраженного сигнала и усредненного на многих частотах.

Код для реализации алгоритма на языке MatLab:

**%2-program LOS+Reflected ray (with correction by averaging at multifrequency)**

**clear**

**clc**

**StDev=0; %standard deviation**

```

dBmin=0;
dBmax=0;
for l=1:0.1:50
    stem(l, (2500/(l)), 'MarkerFaceColor','red', 'Color', [1,1,1])
    hold on
    b=0;
for lambda=0.052:0.001:0.125
    a=((2500/l)*((cos(2*pi*((9+l^2)^0.5-l)/lambda)-
1)^2+(sin(2*pi*((9+l^2)^0.5-l)/lambda))^2)^0.5);
    b=b+a;
end
hold on
stem(l, (0.79*b)/(74), 'MarkerFaceColor', 'blue', 'Color', [1,1,1]) % 0.79 -
correcting coefficient
    now=((0.79*b)/(74));
    mean=(2500/(l));
    if StDev<((((now-mean)^2)^(0.5))/mean)*100
        StDev=((((now-mean)^2)^(0.5))/mean)*100;
        dBmin=mean;
        dBmax=now;
    end
end
StDev %standard deviation in procent
decibel=20*log10(dBmax/dBmin) %standard deviation in decibels
title('Path loss over distance corrected by multifrequency method',
'fontsize', 24)
xlabel('Distance in meters', 'fontsize', 24)

```

```

ylabel('Signal strength', 'fontsize', 24)
a=legend('LOS', 'LOS+Reflected ray');
set(a, 'fontsize', 24)

```

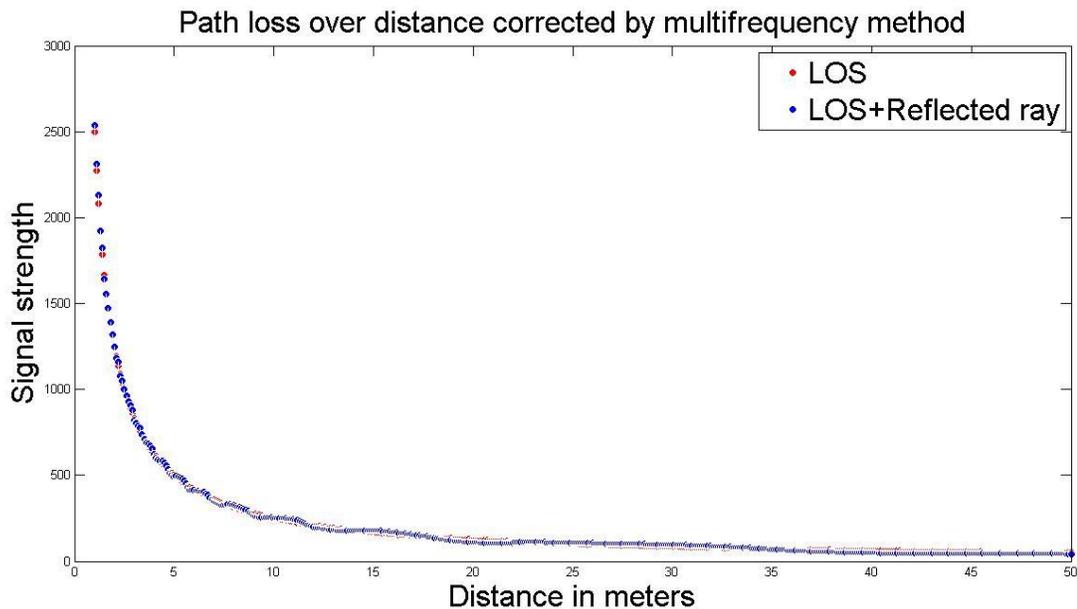


Рисунок 48. Графики ослабления сигнала от расстояния при прямой видимости без влияния отраженного сигнала и сложеного с отраженным сигналом на многих частотах

Результаты показали, что наибольшее среднеквадратическое отклонение (СКО) сигнала, которое может испытать сигнал из-за влияния отраженного сигнала в диапазоне расстояний от 1 метра до 50 метров после многочастотной коррекции равно 21.1 % от теоретической величины или 2.06 дБ. Для улучшения результата, полученного многочастотным методом, предлагается метод «минимакс».

### 5.3 Моделирование способа «минимакса» при многочастотном усреднении уровня сигнала

Результаты показали, что наибольшее среднеквадратическое отклонение (СКО) сигнала, которое может испытать сигнал из-за влияния отраженного сигнала в диапазоне расстояний от 1 метра до 50 метров после многочастотной коррекции равно 7.9 % от теоретической величины или 0.66 дБ. Для улучшения результата, полученного многочастотным методом, предлагается метод «минимакс».

### Описание метода «минимакса»

Формула для расчета ослабления напряженности поля от расстояния с учетом прямой волны и отраженной волны:

$$|E_{TOT}(l)| = \frac{E_0 l_0}{l} \sqrt{2 - 2\cos(\Delta\varphi)}$$

где

$E_0$  – напряжённость поля в свободном пространстве на эталонном расстоянии  $l_0$ . Для моделирования эталонное расстояние взято равным 1 метру, где волна перешла в дальнюю зону и равна 2500 В.

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi\Delta_{\text{разность}}}{\lambda}$$

$\lambda$  – длина волны.

Метод «минимакса» основывается на многочастотном методе. Из набора полученных значений уровней сигнала выбираются наибольший и наименьший сигналы. Затем высчитывается их арифметическое среднее. Для реализации алгоритма необходимо взять наименьшее количество частот. Выбор частот необходимо выбрать таким образом, чтобы они были близки к эталонной частоте. Для моделирования эталонная частота выбрана равной 2400 МГц, с длиной волны  $\lambda = 0.125$  м. Также, количество частот должно быть минимальным, чтобы не снизить скорость обработки алгоритма по сравнению с работой с одной частотой. Среднее наибольшего и наименьшего сигналов должно быть равно 1. Это стабилизирует сигнал на уровне теоретического значения.

Для моделирования взято расстояние от 10 метров до 50 метров. Необходимо рассчитать необходимые частоты для этого диапазона и исходных данных для моделирования.

Необходимо чтобы выполнялось следующее условие:

$$\frac{\sqrt{2 - 2\cos(\Delta\varphi_1)} + \sqrt{2 - 2\cos(\Delta\varphi_2)}}{2} = 1$$

Для диапазона 10 м – 50 м с шагом в 10 м рассчитываем  $\Delta\varphi_1$  и соответствующее ему значение  $\Delta\varphi_2$ .

Множитель  $\Delta_{\text{разность}}$  - это разность путей при прямом прохождении и при отраженном прохождении сигнала.

Решая уравнение находим пары длин волн для выполнения условия

10 м	$\lambda_1 = 0.125$	$\lambda_2 = 0.1467$
20 м	$\lambda_1 = 0.120$	$\lambda_2 = 0.1222$
30 м	$\lambda_1 = 0.115$	$\lambda_2 = 0.1410$
40 м	$\lambda_1 = 0.110$	$\lambda_2 = 0.2924$
50 м	$\lambda_1 = 0.105$	$\lambda_2 = 0.0755$

Из этого набора выбираем наименьшее и наибольшее значения:

$$\lambda = 0.0755 \text{ и } \lambda = 0.2924$$

Тем самым выбираем набор частот от  $\lambda = \{0.07 - 0.30\}$

Далее приведен алгоритм реализации на языке MatLab:

### %3-program LOS+Reflected ray (with correction by minmax method)

```
clear
```

```
clc
```

```
StDev=0; %standard deviation
```

```
dBmin=0;
```

```
dBmax=0;
```

```
for l=10:0.1:50
```

```
    stem(l, (2500/(l)), 'MarkerFaceColor','red', 'Color', [1,1,1])
```

```
    hold on
```

```
    b=0;
```

```
    d(231)=0;
```

```
    p=1;
```

```
for lambda=0.07:0.001:0.30
```

```
    a=((2500/l)*((cos(2*pi*((9+l^2)^0.5-l)/lambda)-
1)^2+(sin(2*pi*((9+l^2)^0.5-l)/lambda))^2)^0.5);
```

```
    b=b+a;
```

```
    d(p)=a;
```

```
    p=p+1;
```

```
end
```

```
sred=(max(d)+min(d))/2;
```

```
hold on
```

```

stem(l, sred, 'MarkerFaceColor', 'blue', 'Color', [1,1,1])
    now=sred;
    mean=(2500/(l));
    if StDev<((((now-mean)^2)^(0.5))/mean)*100
        StDev=((((now-mean)^2)^(0.5))/mean)*100;
        dBmin=mean;
        dBmax=now;
    end
end
StDev
decibel=20*log10(dBmax/dBmin) %standard deviation in decibels
title('Path loss over distance corrected by minmax method', 'fontsize', 24)
xlabel('Distance in meters', 'fontsize', 24)
ylabel('Signal strength', 'fontsize', 24)
a=legend('LOS', 'LOS+Reflected ray-minmax');
set(a, 'fontsize', 24)

```

Результат моделирования для сравнения принятого сигнала при прямой видимости с сигналом прошедшего без отражения сложным с отраженным сигналом используя усреднение многочастотных сигналов «минимакс» приведен на рисунке 49.

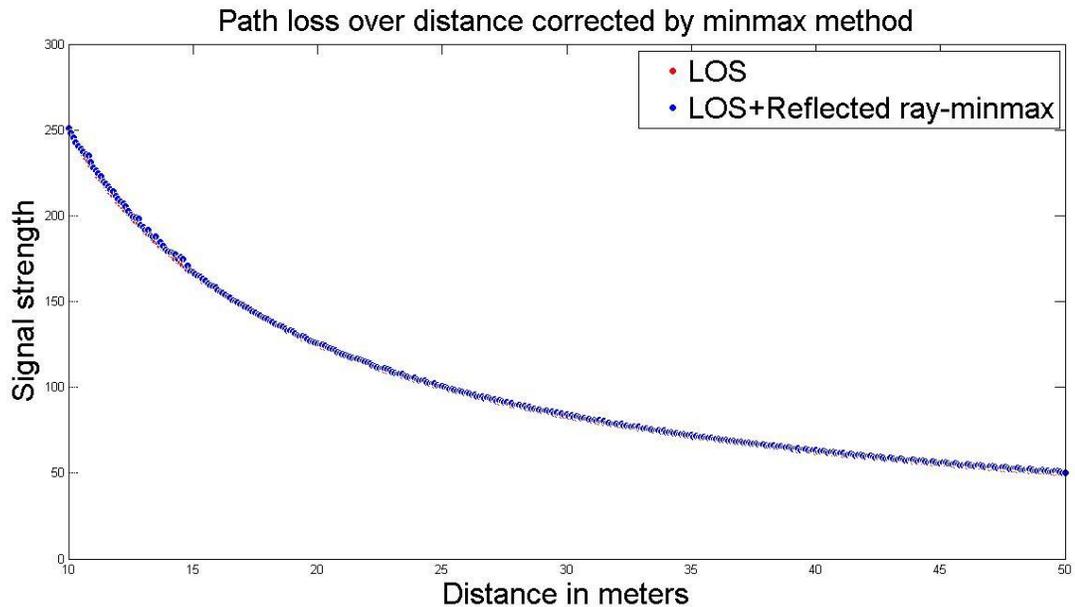


Рисунок 49. Графики усреднения многочастотных сигналов «минимакс» и теоретической кривой, результат моделирования: СКО=1.99 % или 0.17 дБ

#### 5.4 Моделирование влияния дальности на ослабление уровня сигнала

Результаты моделирования при дальних расстояниях показали, что уровень сигнала меняется слабо. В литературе [44] на основе упрощающих выражений выводится формула, согласно которой напряженность поля сигнала на дальних расстояниях при соответствующих конфигурациях расположения передатчиков и приемников при условиях многолучевого распространения ослабляется обратно пропорционально квадрату расстояния.

Формула для расчета ослабления напряженности поля от расстояния с учетом прямой волны и отраженной волны:

$$|E_{TOT}(l)| = \frac{E_0 l_0}{l} \sqrt{2 - 2 \cos(\Delta\varphi)}$$

$$|E_{TOT}(l)| = 2 \frac{E_0 l_0}{l} \sin\left(\frac{\Delta\varphi}{2}\right)$$

$$\sin\left(\frac{\Delta\varphi}{2}\right) \approx \frac{\Delta\varphi}{2}$$

когда расстояние между передатчиком и приемником становится большой по сравнению с  $h_t + h_r$  используя упрощение методом ряда Тейлора, следующая формула может быть упрощена

$$\Delta = (x + x') - l = \sqrt{(h_t + h_r)^2 + l^2} - \sqrt{(h_t - h_r)^2 + l^2}$$

как

$$\Delta = \frac{2h_t h_r}{l}$$

при условии

$$\frac{\Delta\varphi}{2} < 0.3 \text{ radians}$$

то напряженность поля может быть выражена

$$E_{TOT}(l) \approx \frac{2E_0 l_0}{l} \frac{2\pi h_t h_r}{\lambda l} \approx \frac{k}{l^2} \text{ В/м}$$

где  $k$  постоянная, относящаяся к  $E_0$ , высоте антенн и длине волны.

В диссертационной работе предлагается некогерентное накопление импульсов. Это позволит улучшить отношение сигнал/шум. При суммировании квадратов импульсов сигнал будет выделяться на фоне шума и его детектирование упростится.

## **5.5 Моделирование некогерентного метода накопления уровней сигнала для улучшения отношения сигнал/шум**

Аналого-цифровые преобразователи, расположенные в приемниках, округляют значения. Если АЦП имеет малую разрядность [49], то при дальних расстояниях уровень сигнала может приниматься с большими ошибками.

Предлагаемый метод некогерентного накопления позволяет решить эту проблему. На основе моделирования и экспериментальных измерений, на рисунке 50 приведен график выделения импульса сигнала на фоне помех после 30 накоплений.

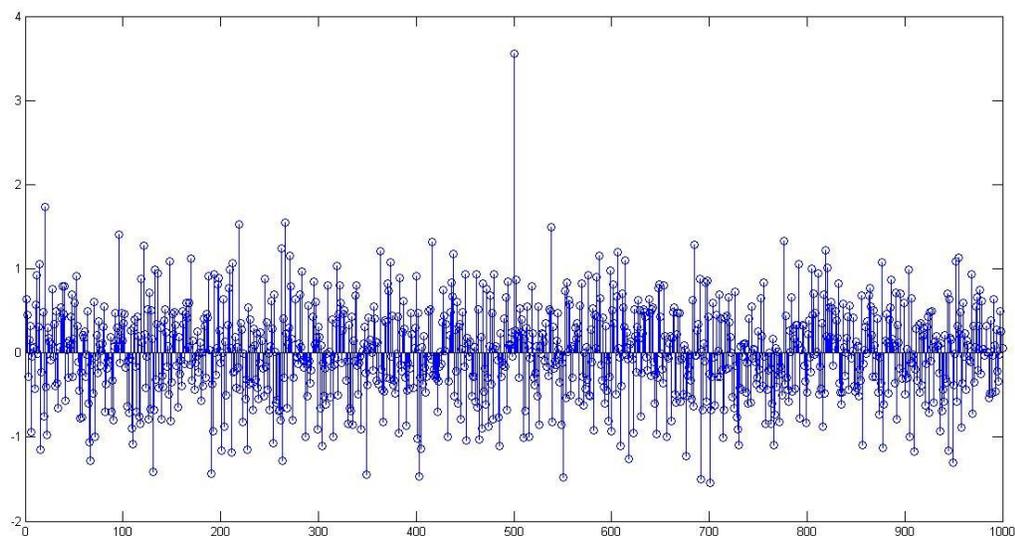


Рисунок 50. Выделение импульса сигнала на фоне помех после 30 накоплений

## 5.6 Моделирование влияния высоты передатчика и приемника на уровень принимаемого сигнала в условиях интерференции

Моделирование влияния высоты расположения передатчиков и приемников были рассмотрены в работе [51]. В работе [52] при проведении экспериментов установлено, что принимаемая мощность имеет максимумы и минимумы, меняющиеся от расстояния. В [53] авторы указывают, что учитываемая двулучевая модель не только улучшает точность, но и позволяет справляться с сильным затуханием сигналов на ближних и средних расстояниях. В [56] авторы на основе эксперимента указывают, что высота антенн имеет сильное влияние на принимаемый уровень сигнала. В [57] авторы рассмотрели влияние расположения высоты антенн при коротком и среднем расстояниях для связи над спокойной водной поверхностью. Авторы указывают, что аналитические результаты показали, что предложенный ими метод превосходит классический подход. Эти работы и [46, 59, 60] послужили поводом к рассмотрению влияния высоты расположения антенн.

Было разработано роботизированное транспортное средство [47, 48]. Робот имеет автономный режим передвижения. Для точного определения координат

робота требовалось определить влияние расположения антенны на нем, чтобы сигнал не ослаблялся из-за интерференции. На рисунке 51 представлено роботизированное транспортное средство.



Рисунок 51. Роботизированное транспортное средство с возможностью передвигаться автономно

### **Описание преимущества метода снижения высоты передатчиков и приёмников на уровень сигнала в условиях интерференции**

По графику ослабления прямого со сложением отраженным сигналом можно видеть, что на дальних расстояниях максимумы и минимумы складываемых сигналов имеют большие интервалы. Это связано с тем, что на дальних расстояниях разность путей уменьшается. Это можно реализовать уменьшив высоту антенн. В таком случае сложные прямой и отраженный волны не имеют максимумов и минимумов.

$$|E_{TOT}(l)| = \frac{E_0 l_0}{l} \sqrt{2 - 2\cos(\Delta\varphi)}$$

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi\Delta_{\text{разность}}}{\lambda}$$

$$\Delta_{\text{разность}} = \sqrt{(h_t + t_r)^2 + l^2} - \sqrt{(h_t - t_r)^2 + l^2}$$

Результаты моделирования, показали, что снижение высоты расположения передатчиков и приемников приводит к снижению величины ошибки при измерении уровня сигнала в условиях интерференции. На рисунке 52 приведены графики теоретического ослабления уровня сигнала и при снижении высоты расположения передатчиков и приемников.

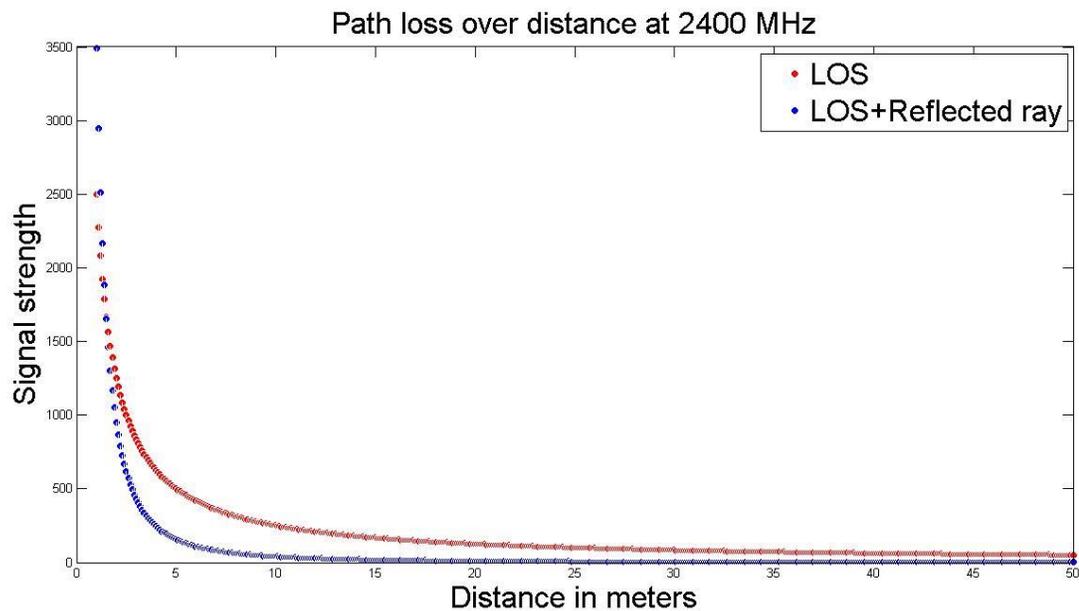


Рисунок 52. Ослабление уровня сигнала от расстояния при снижении высоты расположения высоты передатчиков и приемников в сравнении с теоретическим ослаблением

Результаты были получены экспериментальным путем и компьютерным моделированием в MatLab.

## Заключение

В диссертационной работе исследована возможность повышения точности позиционирования объектов в закрытых помещениях, включая шахтные выработки. Показано, что влияние многолучевого распространения радиосигналов от стен сооружений, от препятствий различного происхождения, и, связанную с ними интерференцию, можно ослабить, используя усреднённые значения затуханий на разных частотах. Использование в качестве маяков радиоизлучателей со многими частотами может дать новые возможности в решении вопроса о позиционировании объектов в закрытых помещениях. Для эксперимента были спроектированы в конструкторском бюро BLE – маяки для исследования и измерения сигналов в стандартном диапазоне частот и генератор сверхвысоких частот. Мощности передатчиков были выбраны такими же, как и у стандартного BLE устройства. Экспериментальные измерения показали, что теоретические и практические данные не одинаковы в каждой точке. Практические задачи по обмериванию проводились в следующих конфигурациях: прямая видимость – LOS, не прямая видимость – NLOS с наличием таких преград, как метал, стены и межэтажное пространство, а также применением анализатора спектра и программного приложения для смартфонов. Практические задачи по обмериванию проводились много раз для усреднения результатов. Эти результаты могут быть использованы вместо теоретических данных или для корректировки их в определенных зданиях или комнатах. Частоты 1800, 2000, 2200, 2400 (МГц) для экспериментов с сверхвысокочастотным передатчиком и частоты 2405, 2423, 2429, 2477 (МГц) для экспериментов с BLE маяками были выбраны для усреднения. Это позволит устранять интерференционные помехи. Таким образом можно использовать многочастотный передатчик и приемник. На основе результатов, полученных практическими измерениями можно знать на каком расстоянии нужно устанавливать маяки, где именно нужно устанавливать датчики с учетом нерегулярного расположения преград, межэтажного пространства. Экспериментальные результаты помогут при предварительной подготовке по развертыванию систем позиционирования в закрытых помещениях, включая шахтные выработки.

На основе работы были сформулированы основные положения, выносимые на защиту:

Многочастотный способ измерения уровня сигнала при определении координат позволяет снизить ошибки в определении координат, возникающие из-за интерференции;

Разработанный метод «минимакса» для определения уровня сигнала, позволяет в десятки раз снизить среднеквадратичные ошибки при измерении уровней сигнала в условиях интерференции;

Снижение высоты расположения передатчиков и приемников относительно пола помещения приводит к снижению величины ошибки при измерении уровня сигнала в условиях интерференции;

Некогерентное накопление результатов измерений на парциальных частотах позволяет повысить точность измерения уровней сигнала даже при малой разрядности аналого-цифровых преобразователей приемных устройств.

## Список использованных источников

1. Minghao Si, Yunjia Wang, Shenglei Xu, Meng Sun, Hongji Cao, “A Wi – Fi FTM – based indoor positioning method with LOS/NLOS identification”, Appl. Sci. 2020, 10, 956; doi:10.3390/app10030956
2. ГОСТ Р 55154-2012 «Оборудование горно-шахтное. Системы безопасности угольных шахт многофункциональные. Общие технические требования»// Введ. 22.11.2012. – М.: Стандартинформ, 2014, п. 6.3 Требования к техническим средствам подсистем многофункциональных систем безопасности угольных шахт, п. п. 6.3.9.2. <http://docs.cntd.ru/document/1200103247>
3. Комплекс позиционирования персонала и транспорта с функцией оповещения персонала «Аргус-контроль», <http://shaht.com.ua/argus.html>
4. Грачев А.Ю., Новиков А.В., Гоффарт Т.В., Урусов Л.В., “Многофункциональные системы безопасности и позиционирование персонала в шахтах”, Горная промышленность, №2 (126), 2016, 95-101 стр. <http://cyberleninka.ru/article/n/mnogofunktsionalnye-sistemy-bezopasnosti-i-pozitsionirovanie-personala-v-shahtah/viewer>
5. X. Zhao, Z. Xiao, A. Markham, N. Trigoni and Y. Ren, “Does BTLE measure up against WiFi? A comparison of indoor location performance”, in Proc. Eur. Wireless 20<sup>th</sup> Eur. Wireless Conf., Barcelona, Spain, 2014, pp. 263-268, [www.cs.ox.ac.uk/files/6679/06843088.pdf](http://www.cs.ox.ac.uk/files/6679/06843088.pdf)
6. Linus Thrybom, Jonas Neander, Ewa Hansen, Krister Landernäs, “Future challenges of positioning in underground mines”, IFAC (International Federation of Automatic Control)-PapersOnLine 48-10 (2015) 222-226. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896315010022/pdf?md5=b90abb86c59827ac6c3a3a8cf4426c6d&pid=1-s2.0-S2405896315010022-main.pdf>
7. Jieun Baek, Yosoon Choi, Chaeyoung Lee, Jangwon Suh and Sangho Lee, “BBUNS: Bluetooth beacon-based underground navigation system to support mine haulage operations”, Minerals 2017, 7, 228; doi:10.3390/min7110228, <https://www.mdpi.com/2075-163X/7/11/228/pdf>
8. Jieun Baek, Yosoon Choi, “Smart glasses-based personnel proximity warning system for improving pedestrian safety in construction and mining sites”, Int. J. Environ. Res. Public Health 2020, 17, 1422; doi:10.3390/ijerph17041422

9. Jihoo Jung, Yosoon Choi, “Measuring transport time of mine equipment in an underground mine using a Bluetooth Beacon system”, *Minerals* 2017, 7, 1; doi:10.3390/min7010001
10. Sung-Min Kim, Yosoon Choi, Jangwon Suh, “Applications of the open-source hardware Arduino platform in the mining industry: a review”, *Appl. Sci.* 2020, 10, 5018; doi:10.3390/app10145018
11. Mingzhi Song, Jiansheng Qian, “Underground coal mine fingerprint positioning based on the MA-VAP method”, *Sensors* 2020, 20, 5401; doi:10.3390/s20185401
12. Jieun Baek, Yosoon Choi, “Bluetooth-Beacon-based underground proximity warning system for preventing collisions inside tunnels”, *Appl. Sci.* 2018, 8, 2271; doi:10.3390/app8112271
13. Воронов Р.В., Галов А.С., Мощевикин А.П., Воронова А.М., Стёпкина Т.В., “Метод определения местоположения мобильных объектов в шахте”, *Современные проблемы науки и образования*, 2014, №4, 155, <http://www.science-education.ru/pdf/2014/4/13876.pdf>
14. Guoquan Li, Enxu Geng, Zhouyang Ye, Yongjun Xu, Jinzhao Lin and Yu Pang, “Indoor positioning algorithm based on the improved RSSI distance model”, *Sensors* 2018, 18, 2820; doi:10.3390/s18092820
15. Baichuan Huang, Jingbin Liu, Wei Sun and Fan Yang, “A robust indoor positioning method based on Bluetooth Low Energy with separate channel information”, *Sensors* 2019, 19, 3487; doi:10.3390/s19163487
16. Slavisa Tomic, Marko Beko, Rui Dinis and Luis Bernardo, “On target localization using combined RSS and AoA measurements”, *Sensors* 2018, 18, 1266; doi:10.3390/s18041266
17. Romeo Giuliano, Gian Carlo Cardarilli, Carlo Cesarini, Luca Di Nunzio, Francesca Fallucchi, Rocco Fazzolari, Franco Mazzenga, Marco Re and Alessandro Vizzarri, “Indoor localization system based on Bluetooth Low Energy for museum applications”, *Electronics* 2020, 9, 1055; doi:10.3390/electronics9061055
18. Maja Pušnik, Mitja Galun and Boštjan Šumak, “Improved Bluetooth Low Energy sensor detection for indoor localization services”, *Sensors* 2020, 20, 2336; doi:10.3390/s20082336
19. Yuan Zhuang, Jun Yang, You Li, Longning Qi and Naser El-Sheimy ‘Smartphone based Indoor Localization with Bluetooth Low Energy Beacons’, *Sensors* 2016, 16, 596; doi:10.3390/s16050596
20. V. Pierlot. M.Van Droogenbroeck «A New Three Object Triangulation Algorithm for Mobile Robot Positioning» In *IEEE Transactions on Robotics*, 2014 <http://dx.doi.org/10.1109/TRO.2013.2294061>
21. Айвор Хортон *Visual C++ 2010. Полный курс*. Вильямс, 2011, 1216 стр.
22. Jesus A. De Loera, Jörg Rambau, Francisco Santos, “Triangulations: Structures for Algorithms and Applications”, 2010.

23. Alonzo Kelly, “Precision Dilution in Triangulation Based Mobile Robot Position Estimation”, 2003.
24. Christof Röhrig and Frank Künemund, “Estimation of Position and Orientation of Mobile Systems in a Wireless LAN”, New Orleans, LA, USA, Dec. 12-14, 2007.
25. Leonimer Flávio de Melo, João Mauricio Rosário, Almiro Franco da Silveira Junior, “Mobile Robot Indoor Autonomous Navigation with Position Estimation Using RF Signal Triangulation”, Department of Electrical Engineering, State University of Londrina (UEL), accepted December 15th, 2012.
26. J. Borenstein , H. R. Everett , and L. Feng, “Sensors and Methods for Mobile Robot Positioning”, The University of Michigan, april 1996.
27. Статистическая физика. Ф. Рейф. Издание 2-е, стереотипное. Перевод с англ. Главная редакция физико-математической литературы изд-ва «Наука», 1977.
25. Томаси У. Электронные системы связи, Москва: Техносфера, 2007. – 1360 с.
26. Кунце Х.-И. Методы физических измерений: Пер. с нем. – М.: Мир, 1989. – 216 с.
27. Феллер В. Введение в теорию вероятностей и ее приложения. В 2-х томах. Т. 1: Пер. с англ. – М.: Мир, 1984. – 528 с.
28. Лабораторный практикум по физике: Учеб. пособие для студентов втузов/ Ахматов А.С., Андреевский В.М., Кулаков А.И. и др.; Под ред. А.С. Ахматова. – М.: Высш. Школа, 1980. – 360 с.
29. Обработка результатов наблюдений, Кассандрова О.Н., Лебедев В.В., М.: «Наука», Главная редакция физ.-мат. литературы, 1970 г., 104 с.
30. Руководство к лабораторным занятиям по физике. Под ред. Л.Л. Гольдина, изд. 2-е, переработанное. М.: Главная редакция физико-математической литературы изд-ва «Наука», 1973, 688 с.
31. João Sena Esteves, Adriano Carvahlo, “Generalized Geometric Triangulation Algorithm for Mobile Robot Absolute Self-Localization”, DEI, University of Minho, Portugal, 2003 IEEE.
32. Chuan-Chin Pu, Chuan-Hsian Pu, and Hoon-Jae Lee, “Indoor Location Tracking using Received Signal Strength Indicator”, Malaysia, South Korea, 2009.
33. Allen Ka Lun Miu, “Design and Implementation of an Indoor Mobile Navigation System”, Submitted to the Department of EECS on January 18, 2002.

34. Christof Röhrig and Frank Kühnemund, "Estimation of Position and Orientation of Mobile Systems in a Wireless LAN", New Orleans, LA, USA, Dec. 12-14, 2007.
35. Xiongwen Zhao, Suiyan Geng, Balla Moussa Coulibaly, 'Path-loss model including LOS-NLOS transition regions for indoor corridors at 5 GHz', IEEE Antennas and Propagation Magazine, Vol. 55, No.3, June 2013, [https://www.researchgate.net/profile/Xiongwen\\_Zhao/publication/260583109\\_Path-loss\\_model\\_including\\_LOS-NLOS\\_transition\\_regions\\_for\\_indoor\\_corridors\\_at\\_5\\_GHz\\_Wireless\\_Corner/links/54ed85760cf27bfd772540b/Path-loss-model-including-LOS-NLOS-transition-regions-for-indoor-corridors-at-5-GHz-Wireless-Corner.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Xiongwen_Zhao/publication/260583109_Path-loss_model_including_LOS-NLOS_transition_regions_for_indoor_corridors_at_5_GHz_Wireless_Corner/links/54ed85760cf27bfd772540b/Path-loss-model-including-LOS-NLOS-transition-regions-for-indoor-corridors-at-5-GHz-Wireless-Corner.pdf)
36. Zampella, F.; Ruiz, A.R.J.; Granja, F.S., 'Indoor positioning using efficient map matching, RSS measurements, and an improved motion model', IEEE Trans. Veh. Technol. 2015, 64, 1304-1317, [http://scholar.google.es/scholar\\_url?url=https%3A%2F%2Fwww.researchgate.net%2Fprofile%2FAntonio\\_Jimenez4%2Fpublication%2F273348430\\_Indoor\\_Positioning\\_Using\\_Efficient\\_Map\\_Matching\\_RSS\\_Measurements\\_and\\_an\\_Improved\\_Motion\\_Model%2Flinks%2F57060dca08aef745f717753a%2FIndoor-Positioning-Using-Efficient-Map-Matching-RSS-Measurements-and-an-Improved-Motion-Model.pdf&hl=en&sa=T&ei=Fgj8X-LTAeAKy9YPmKGxsAM&scisig=AAGBfm3KjbKQBDkSHk80XZDWwISBs4dXA&nossl=1&ws=1366x653&at=](http://scholar.google.es/scholar_url?url=https%3A%2F%2Fwww.researchgate.net%2Fprofile%2FAntonio_Jimenez4%2Fpublication%2F273348430_Indoor_Positioning_Using_Efficient_Map_Matching_RSS_Measurements_and_an_Improved_Motion_Model%2Flinks%2F57060dca08aef745f717753a%2FIndoor-Positioning-Using-Efficient-Map-Matching-RSS-Measurements-and-an-Improved-Motion-Model.pdf&hl=en&sa=T&ei=Fgj8X-LTAeAKy9YPmKGxsAM&scisig=AAGBfm3KjbKQBDkSHk80XZDWwISBs4dXA&nossl=1&ws=1366x653&at=)
37. Hyeon Jeong Jo, Seungku Kim, 'Indoor smartphone localization based on LOS and NLOS identification', Sensors 2018, 18, 3987; doi:10.3390/s18113987
38. Патент RU № 2631629, кл. А61В 5/08, G01N 22/00, 2017 «Устройство для диагностики заболеваний бронхолегочной системы»
39. Семерник И.В., А. В. Демьяненко, Ф. С., О. Е. Семерник, А. А. Лебеденко. Методика неинвазивной диагностики бронхиальной астмы на основе микроволновых технологий. Медицинская техника. 2017. №2 (302), с.35-38
40. Семерник И.В., А. В. Демьяненко, Ф. С. Топалов, Я. В. Невструев, О. Е. Семерник, А. А. Лебеденко. Автоматизированная система ранней диагностики патологических изменений в бронхолегочной системе на основе радиочастотного сканирования. Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2019. № 3. Режим доступа: <http://jre.cplire.ru/jre/mar19/6/text.pdf>
41. Мендакулов Ж.К., Васильев И.В., Никитин В.В., Троицкая Н.И. «СВЧ-система для диагностики заболеваний бронхолегочной системы», **Заявление** о выдаче патента Республики Казахстан на изобретение, регистрационный №2021/0348.1, дата подачи 02.06.2021
42. Мендакулов Ж.К., Васильев И.В., Троицкая Н.И., Цаплин В.М. «СВЧ-способ диагностики заболеваний бронхолегочной системы», **Заявление** о выдаче патента Республики Казахстан на изобретение, регистрационный №2021/0350.1, дата подачи 02.06.2021

43. <http://gal-ana.de/basicmm/ru>
44. Rappaport, T. “Wireless Communications: Principles and Practice”, Prentice Hall communications engineering and emerging technologies series, Prentice Hall, 2<sup>nd</sup> edition (2002);
45. A. Goldsmith Wireless Communications. Cambridge University Press, New York, NY, 2005;
46. Меттус Л.С., Михайлов В.Н., Хачатурян А.Б. “Интерференционный множитель”, Известия вузов России, Радиоэлектроника, Радиолокация и радионавигация, №1/2018
47. Мендакулов Ж.К., Хачикян В.С., Крымусь Е.Г., Байжанов Б.С., Кальменов Т.Ш. «Универсальное роботизированное транспортное средство» (полезная модель) №87960, 15.06.2015, бюл. №6
48. Мендакулов Ж.К., Хачикян В.С., Антонцев А.В., Ахметова Г.Ж., Байжанов Б.С., Кальменов Т.Ш. «Дистанционно управляемый мобильный многофункциональный манипулятор» (полезная модель) № 91945, 15.03.2016, бюл. №3
49. Под. ред. Уолта Кестера, Аналого-цифровое преобразование, Москва: Техносфера, 2007. – 1016 с.
50. Juan F. De Paz, Dante I. Tapia, Ricardo S. Alonso, Cristian I. Pinzon, Javier Bajo, Juan M. Corchado, “Mitigation of the ground reflection effect in real-time locating systems based on wireless sensor networks by using artificial neural networks”, Knowledge and Information Systems, 34(1) Nov. 2012, <https://doi.org/10.1007/s10115-012-0479-8>
51. Nattakarn Shutimarrungson, Pongpisit Wittidittachotti, “Realistic propagation effects on wireless sensor networks for landslide management”, EURASIP Journal on Wireless communications and Networking, 2019, <https://doi.org/10.1186/s13638-019-1412-6>
52. Ariel Etinger, Boris Litvak, Yosef Pinhasi, “Multi Ray Model for Near-Ground Millimeter Wave Radar”, Sensors 2017, 17, 1983; <https://doi.org/10.3390/s17091983>
53. Sommer, C.; Joerer, S.; Dressler, F. On the Applicability of Two-Ray Path Loss Models for Vehicular Networks Simulation. In Proceedings of the 2012 IEEE Vehicular Networking Conference (VNC), Seoul, Korea, 14-16 November 2012; pp. 64-69. <https://doi.org/10.1109/VNC.2012.6407446>
54. W.C. Jakes (1974). Microwave Mobile Communications. New York: IEEE Press.

55. Miguel Gaitan, Ramiro Samano Robles, “In-Tunnel Multi-Ray Analysis for LOS V2V Links with Multiple Antennas”, 7<sup>th</sup> IEEE World Forum on Internet of Things (WF-IoT 2021) at New Orleans, Louisiana, USA, June 2021
56. Miguel Gaitan, Luis Ramos Pinto, Pedro Miguel Santos, Luis Almeida, “On the Two-Ray Model Analysis for Overwater Links with Tidal Variations”, 11<sup>th</sup> Simposio de Informatica (INForum 2019) at Guimaraes, Portugal, September 2019
57. Miguel Gaitan, Pedro Miguel Santos, Luis Ramos Pinto, Luis Almeida, “Optimal antenna-height design for improved capacity on overwater radio links affected by tides”, IEEE/MTS Global OCEANS 2020: Singapore – U.S. Gulf Coast, <https://doi.org/10.1109/IEEECONF38699.2020.9389132>
58. Amir Hossein Farzamiyan, Miguel Gaitan, Ramiro Samano Robles, ”A Multi-Ray Analysis Of LOS V2V Links for Multiple Antennas with Ground Reflection”, 112<sup>th</sup> AEIT International Annual Conference (AEIT 2020) at Italy, <https://doi.org/10.23919/AEIT50178.2020.9241147>
59. Ertugrul Basar, Marco Di Renzo, Julien De Rosny, Merouane Debbah, Mohamed-Slim Alouini, Rui Zhang, “Wireless Communications Through Reconfigurable Intelligent Surfaces”, IEEE Access 7(99) <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2935192>
60. Z. Yun, M. Iskander, “Ray Tracing for Radio Propagation Modeling: Principles and Applications”, IEEE Access Volume 3, 2015 <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2015.2453991>
61. João Sena Esteves, Adriano Carvahlo, “Generalized Geometric Triangulation Algorithm for Mobile Robot Absolute Self-Localization”, DEI, University of Minho, Portugal, © 2003 IEEE.
62. Chuan-Chin Pu, Chuan-Hsian Pu, and Hoon-Jae Lee, “Indoor Location Tracking using Received Signal Strength Indicator”, Malaysia, South Korea, 2009.
63. Allen Ka Lun Miu, “Design and Implementation of an Indoor Mobile Navigation System”, Submitted to the Department of Electrical Engineering and Computer Science on January 18, 2002.
64. Christof Röhrig and Frank Künemund, “Estimation of Position and Orientation of Mobile Systems in a Wireless LAN”, New Orleans, LA, USA, Dec. 12-14, 2007.

65. Leonimer Flávio de Melo, João Mauricio Rosário, Almiro Franco da Silveira Junior, “Mobile Robot Indoor Autonomous Navigation with Position Estimation Using RF Signal Triangulation”, Department of Electrical Engineering, State University of Londrina (UEL), accepted December 15th, 2012.
66. J. Borenstein , H. R. Everett , and L. Feng, “Sensors and Methods for Mobile Robot Positioning”, The University of Michigan, april 1996.
67. Alonzo Kelly, “Precision Dilution in Triangulation Based Mobile Robot Position Estimation”, 2003.
68. Károly Farkas, Árpád Huszák and Győző Gódor, “Optimization of Wi-Fi Access Point Placement for Indoor Localization”, July 2013.
69. Siamak Sorooshyari, “Introduction to Mobile Radio Propagation and Characterization of Frequency Bands”, Jan 9 2003.
70. Hui Li, Lingying Zhao, Matthew J. Darr, Peter Ling, “Modeling Wireless Signal Transmission Performance Path Loss for ZigBee Communication Protocol in Residential Houses”, 2009.
71. Luca De Nardis and Giuseppe Caso, “Overview on RSSI-based Positioning Algorithms for WPSs”, Rome, Italy, 2004.
72. Homayoun Hashemi, “The Indoor Radio Propagation Channel”, Jule1993.
73. J.D.Parsons, “The Mobile Radio Propagation ”, Copyright 2000.
74. Magdy F. Iskander, Fellow, IEEE, and Zhengqing Yun, “Propagation Prediction Models for Wireless Communication Systems”, March 2002.
75. Pavel Pechac, Martin Klepal, “Empirical Models for Indoor Propagation in CTU Prague Buildings”, Czech Republic, April 2000.
76. Bianca Bobescu, Marian Alexandru, “Mobile Indoor Positioning Using Wi-Fi Localization”, Transilvania University, Brasov, Romania 2015.
77. Sijia Deng, Mathew K. Samimi, Theodore S. Rappaport, “28 GHz and 73 GHz Millimeter-Wave Indoor Propagation Measurements and Path Loss Models”, NYU Polytechnic School of Engineering, Brooklyn, 8-12 June, 2015.

78. Atreyi Bose and Chuan Heng Foh, “A Practical Path Loss Model For Indoor WiFi Positioning Enhancement”, Nanyang Technological University Singapore, ©2007 IEEE.
79. Anthea Wain Sy Au, “RSS-based WLAN Indoor Positioning and Tracking System Using Compressive Sensing and Its Implementation on Mobile Devices”, Copyright 2010.
80. И.В. Кокоев, “Построение Системы Определения Местоположения Внутри Помещения на базе Bluetooth - маяков”
81. Patrick L. Ryan, B.S.I.E., “Radio Frequency Propagation Differences Through Various Transmissive Materials”, University of North Texas, December 2002.
82. А.М.Абдрахманова, Д.Е.Намиот, “Использование двумерных штрих-кодов для создания системы позиционирования и навигации в помещении”
83. Hui Liu, Houshang Darabi, Pat Banerjee, and Jing Liu, “Survey of Wireless Indoor Positioning Techniques and Systems”, 2007.
84. М.С. ЩЕКОТОВ, “Анализ подходов к позиционированию внутри помещений с использованием трилатерации сигналов Wi – Fi ”, Spiiras Proceedings, 2014.
85. Alan Bensky, “Wireless Positioning Technologies and Applications”, the U.S. Library of Congress, 2008.
86. Anja Bekkelien, “Bluetooth Indoor Positioning”, University of Geneva, March 2012.
87. P. Stephan, P. Kraus, “Evaluation of Indoor Positioning Technologies under industrial application conditions in the SmartFactory”, Germany, 2008.
88. Kevin Townsend, Carles Cufi, Akiba & Robert Davidson, “Getting Started with Bluetooth Low Energy”, Gravenstein Highway North, Sebastopol, Copyright © 2014.
89. Jesus A. De Loera, Jörg Rambau, Francisco Santos, “Triangulations: Structures for Algorithms and Applications”, 2010.
90. Heinz Mathis, Daniel Megnet, Thomas Kneubühler, Andreas Thiel, Etienne Favey, “Indoor Positioning Using Frequency Translators”, International Technical Meeting of the Satellite Division, September 2005.

91. Dan Simon, “Kalman Filtering”, June 2001.
92. Surveying Engineering Department Ferris State University, “Three Point Resection Problem”
93. Abdulrahman Alarifi, AbdulMalik Al-Salman , Mansour Alsaleh , Ahmad Alnafessah , Suheer Al-Hadhrami , Mai A. Al-Ammar and Hend S. Al-Khalifa, “Ultra Wideband Indoor Positioning Technologies: Analysis and Recent Advances”, 16 May 2016.
94. Christopher R. Anderson, Theodore S. Rappaport, Kyung Bae<sup>1</sup>, Alex Verstak, Naren Ramakrishnan, William H. Tranter, Clifford A. Shaffer, and Layne T. Watson, “In-Building Wideband Multipath Characteristics at 2.5 & 60 GHz”, ©2002.
95. Xiuyan Zhu, Yuan Feng, “RSSI-based Algorithm for Indoor Localization”, China 2013.
96. Фальков Е.В., Романов А.Ю., “Применение маячков Beacon и технологии Bluetooth Low Energy для построения систем навигации в зданиях”, 2015.
97. Scott Y. Seyled and Theodore S. Rappaport, “914 MHz Path Loss Prediction Models for Indoor Wireless Communication in Multifloored Buildings”, February 1992.
98. М.С. Щекотов, А.М. Кашевник, “Сравнительный анализ систем позиционирования смартфонов в помещениях”, Труды Спиран 2012.
99. M.G. Petovello and J.T. Curran, “Investigation of Doppler Measurements for Static Indoor Positioning”, ION Pacific PNT 2013 Conference, April 22-25.
100. Dr. Rainer Mautz, “Application for Venia Legendi in Positioning and Engineering Geodesy”, Institute of Geodesy and Photogrammetry, Department of Civil, February 2012.
101. ЛИ Менг-Шу, ЛЮ Йинг-Чуан, ХО Чиев Вэй, “ навигационное устройство и способ его позиционирования”, 23.06.2009.
102. ЭДЖ Стефен В., ТЕННИ Натан Е., ФИШЕР Свен, “Способ и устройство для поддержания позиционирования для терминалов в беспроводной сети”, 21.04.2010.

103. Белов С.В. (RU), Брайловский В.В. (RU), Брюккель Д.Е. (RU), Гордеев Д.М. (RU), Лозовский Д.В. (RU), Смирнов М.Е. (RU), Черниговский А.В. (RU), Ван Оостерум Джозеф (be), “ универсальное автомобильное телекоммуникационное устройство ”, 27.11.2015.
104. “Способ определения местоположения мобильного абонента внутри помещений”, 10.12.2007.
105. “Способ определения местоположения vsat-станции в спутниковой сети”, 10.05.2012.
106. “Система дистанционного контроля местоположения и перемещения объекта на основе инфокоммуникационных и навигационных технологий”, 20.06.2011.
107. “Способ триангуляции целей, G01S5/00”, 10.07.2011.
108. “Способ и устройство для трилатерации с использованием прогнозирования линий связи в пределах прямой видимости и фильтрации трасс в пределах прямой видимости до проведения измерений”, 27.10.2012.
109. “Устройство автономной коррекции. Фильтр Кальмана”, 10.12.2013.
110. “Apple запатентовала технологию определения местоположения без использования GPS”, 2013.
111. “Трилатерация на базе Wi-Fi/Bluetooth передатчиков”, Компания Navigine.
112. Евгений Золотов, “Коммуникации низких энергий: для чего Apple купила Passif”, 08 августа 2013.
113. Олег Дубинин, “МАЯКИ – Локальная система позиционирования”, 24 февраля 2009.
114. Alfredo C. Issa, Kandekar, Curtis, J.Walsh, “System and Method for Automated Location – Based ”, 10.05.20016.
115. Danshi Sun; Erhu Wei; Zhuoxi Ma; Chenxi Wu; Shiyi Xu. Optimized CNNs to Indoor Localization through BLE Sensors Using Improved PSO. Sensors 2021, 21, 1995. <https://doi.org/10.3390/s21061995>

116. Bozheng Pang; Kristof T'Jonck; Tim Claeys; Davy Pissoort; Hans Hallex; Jemen Boydens. Bluetooth Low Energy Interference Awareness Scheme and Improved Channel Selection Algorithm for Connection Robustness. *Sensors* 2021, 21, 2257. <https://doi.org/10.3390/s21072257>
117. Kristof T'Jonck; Bozheng Pang; Hans Hallez; Jeroen Boydens. Optimizing the Bluetooth Low Energy Service Discovery Process. *Sensors* 2021, 21, 3812. <https://doi.org/10.3390/s21113812>
118. Pedro J. Garcia-Paterna; Alejandro S. Martinez-Sala; Juan Carlos Sanchez-Aarnoutse. Empirical Study of a Room-Level Localization System Based on Bluetooth Low Energy Beacons. *Sensors* 2021, 21, 3665. <https://doi.org/10.3390/s21113665>
119. Aybars Kerem Taskan; Hande Alemdar. Obstruction-Aware Signal-Loss-Tolerant Indoor Positioning Using Bluetooth Low Energy. *Sensors* 2021, 21, 971. <https://doi.org/10.3390/s21030971>
120. Maciej Nikodem; Mariusz Slabicki; Marek Bawiec. Efficient Communication Scheme for Bluetooth LOW Energy in Large Scale Applications. *Sensors* 2020, 20, 6371. <https://doi.org/10.3390/s20216371>
121. Seyed Mahdi Darroudi; Carles Gomez. Experimental Evaluation of 6BLEMesh: IPv6-Based BLE Mesh Networks. *Sensors* 2020, 20, 4623. <https://doi.org/10.3390/s20164623>
122. Bingqing Luo; Jincheng Gao; Zhixin Sun. Energy Modeling of Neighbor Discovery in Bluetooth Low Energy Networks. *Sensors* 2019, 19, 4997. <https://doi.org/10.3390/s19224997>
123. Giovanni Pau; Fabio Arena; Yonas Engida Gebremariam; Ilsun You. Bluetooth 5.1: An Analysis of Direction Finding Capability for High-Precision Location Services. *Sensors* 2021, 21, 3589. <https://doi.org/10.3390/s21113589>
124. Jure Tuta; Matjaz B. Juric. MFAM: Multiple Frequency Adaptive Model-Based Indoor Localization Method. *Sensors* 2018, 18, 963. <https://doi.org/10.3390/s18040963>
125. Jure Tuta; Matjaz B. Juric. A Self-Adaptive Model-Based Wi-Fi Indoor Localization Method. *Sensors* 2016, 16, 2074. <https://doi.org/10.3390/s16122074>
126. Alassane Sidibe; Alexandru Takacs; Gael Loubet; Daniela Dragomirescu. Compact Antenna in 3D Configuration for Rectenna Wireless Power Transmission Applications. *Sensors* 2021, 21, 3193. <https://doi.org/10.3390/s21093193>

127. Gael Loubet; Alexandru Takacs; Ethan Gardner; Andrea De Luca; Florin Udrea; Daniela Dragomirescu. LoRaWAN Battery-Free Wireless Sensors Network Designed for Structural Health Monitoring in the Construction Domain. *Sensors* 2019, 19, 1510. <https://doi.org/10.3390/s19071510>
128. Simon ToFaisal Jamil; Naeem Iqbal; Shabir Ahmad; Do-Hyeun Kim. Toward Accurate Position Estimation Using Learning to Prediction Algorithm in Indoor Navigation. *Sensors* 2020, 20, 4410. <https://doi.org/10.3390/s20164410>
129. Arno Thielens; Robin Beanrrouch; Stijn Wielandt; Matthew G. Anderson; Ali Moin; Andreia Cathelin; Jan M. Rabaey. A Comparative Study of On-Body Radio-Frequency Links in the 420 MHz-2.4 GHz Range. *Sensors* 2018, 18, 4165. <https://doi.org/10.3390/s18124165>
130. Adolfo Di Serio; John Buckley; John Barton; Robert Newberry; Matthew Rodencal; Gary Dunlop; Brendan O’Flynn. Potential of Sub-GHz Wireless for Future IoT Wearables and Design of Compact 915 MHz Antenna. *Sensors* 2018, 18, 22. <https://doi.org/10.3390/s18010022>
131. Buckley, J.L.; McCarthy, K.G.; Gaetano, D.; Loizou, L.; O’Flynn, B.; O’Mathuna, C. Design of a compact, fully-autonomous 433 MHz tunable antenna for wearable wireless sensor applications. *IET Microw. Antennas Propag.* 2016, 11, 548-556. <https://doi.org/10.1049/iet-map.2015.0712>
132. F. Serzhan Danis; Ali Taylan Cemgil. Model-based Localization and Tracking Using Bluetooth Low Energy Beacons. *Sensors* 2017, 17, 2484. <https://doi.org/10.3390/s17112484>
133. Cinefra, N. An Adaptive Indoor Positioning System Based on Bluetooth Low Energy RSSI. Master’s Thesis, Politecnico di Milano, Milano, Italy, 24 April 2013
134. Nam Tuan Le; Yeong Min Jang. Photography Trilateration Indoor Localization with Image Sensor Communication. *Sensors* 2019, 19, 3290. <https://doi.org/10.3390/s19153290>
135. Ke Huang; Ke He; Xuecheng Du. A Hybrid Method to Improve the BLE-Based Indoor Positioning in a Dense Bluetooth Environment. *Sensors* 2019, 19, 424. <https://doi.org/10.3390/s19020424>
136. Gabriel de Blasio; Alexis Quesada-Arencibia; Carmelo R. Garcia; Jezabel Miriam Molina-Gil; Candido Caballero-Gil. Study on an Indoor Positioning System for Harsh Environments Based on Wi-Fi and Bluetooth Low Energy. *Sensors* 2017, 17, 1299. <https://doi.org/10.3390/s17061299>

137. Gabriele Salvatore de Blasio; Jose Carlos Rodriguez-Rodriguez; Carmelo R. Garcia; Alexis Quesada-Arencibia. Beacon-Related Parameters of Bluetooth Low Energy: Development of a Semi-Automatic System to Study Their Impact on Indoor Positioning Systems. *Sensors* 2019, 19, 3087. <https://doi.org/10.3390/s19143087>
138. Zhen Liang; Bin Li; Mo Huang; Yanqi Zheng; Hui Ye; Ken Xu; Fangming Deng. A Low Cost BLE Transceiver with RX Matching Network Reusing PA Load Inductor for WSNs Applications. *Sensors* 2017, 17, 895. <https://doi.org/10.3390/s17040895>
139. Gonzalo Cerruela Garcia; Irene Luque Ruiz; Miguel Angel Gomez-Nieto. State of the Art, Trends and Future of Bluetooth Low Energy, Near Field Communication and Visible Light Communication in the Development of Smart Cities. *Sensors* 2016, 16, 1968. <https://doi.org/10.3390/s16111968>
140. Ming-Jian Zhao, Bin Li; Zhao-Hui Wu; Kun Wang. A 3-5 GHz low power high speed radiated power tuning UWB transmitter. *Microelectronics Journal* 44 (2013) 1358-1363. <https://dx.doi.org/10.1016/j.mejo.2013.09.006>
141. Lei Zhang; Danjie Huang; Xinheng Wang; Christian Schindelbauer; Zhi Wang. Acoustic NLOS Identification Using Acoustic Channel Characteristics for Smartphone Indoor Localization. *Sensors* 2017, 17, 727. <https://doi.org/10.3390/s17040727>
142. Jiahong Li; Xianghu Yue; Jie Chen; Fang Deng. A Novel Robust Trilateration Method Applied to Ultra-Wide Bandwidth Location Systems. *Sensors* 2017, 17, 795. <https://doi.org/10.3390/s17040795>
143. Luis Peneda, Abilio Azenha; Adriano Carvalho. Indoors Localization Using Mobile Communications Radio Signal Strength. In book: *Advanced Trends in Wireless Communications* (pp. 265-280), Chapter: Indoors Localization Using Mobile Communications Radio Signal Strength, Publisher: INTECH, Editors: Dr. Mutamed Khatib, February 2011. <https://doi.org/10.5772/16117>
144. Marco Passafiume; Stefano Maddio; Alessandro Cidronali. An Improved Approach for RSSI-Based only Calibration-Free Real-Time Indoor Localization on IEEE 802.11 and 802.15.4 Wireless Networks. *Sensors* 2017, 17, 717. <https://doi.org/10.3390/s17040717>
145. Paul Nicolae Borza; Mihai Machedon-Pisu; Felix Hamza-Lup. Design of Wireless Sensors for IoT with Energy Storage and Communication Channel Heterogeneity. *Sensors* 2019, 19, 3364. <https://doi.org/10.3390/s19153364>
146. Mendakulov Zh.K., Morosi S., Martinelli A., Isabaev K.Zh. «Investigation of the possibility of reducing errors in determining the coordinates of objects indoors by

multi-frequency method», Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu, №1, 2021, 137-144 pages <https://doi.org/10.33271/nvngu/2021-1/137>

147. Мендакулов Ж.К. «Экспериментальное измерение уровня мощности сигнала в зависимости от расстояния внутри помещения при прямой видимости и при наличии преграды для улучшения точности позиционирования в закрытых помещениях», Вестник Алматинского университета энергетики и связи. №3 (46) 2019, 17-25 стр.

148. Мендакулов Ж.К. «Анализ чувствительности алгоритма триангуляции к ошибкам в измерении углов для задач определения местоположения внутри помещений», Вестник Алматинского университета энергетики и связи. №3 (46) 2019, 26-34 стр.

149. Мендакулов Ж.К. «Создание возможности позиционирования внутри помещений с использованием низкоэнергетических сигналов Bluetooth», Материалы IV Международной научно-практической конференции «Информатика и прикладная математика» посвященной 70-летию юбилею профессоров Биярова Т.Н., Вальдемара Вуйцика и 60-летию профессора Амиргалиева Е.Н. 25-29 сентября 2019 года, часть 1. Алматы, Казахстан, 515-520 стр.

150. Мендакулов Ж.К. «Улучшение точности позиционирования в закрытых помещениях используя данные экспериментальных измерений и корректировки многочастотным методом», Материалы Международной практической интернет-конференции «Актуальные проблемы науки», Выпуск II, ноябрь 2019

## Справка о патентном поиске

Задание на проведение патентных исследований от 02.09.2021

Название темы: **Позиционирование внутри помещений**

Начало поиска 02.09.2021 Окончание поиска 20.09.2021

1. Поиск проведен по следующим материалам

Таблица А1

Тема	Страна поиска	Классификационные индексы МПК, НПК	По фонду какой организации проведен поиск	Патентная документация, наименование патентного бюллетеня, журналов, охранных документов, номера и дата их публикации
1	2	3	4	5
1. Измерение расстояний, навигация	Казахстан Россия США	G01C	РПФ РНТБ Казахстана, патентные базы ФИПС, НИИС	Описания к авторским свидетельствам и патентам. Изобретения и полезные модели, официальный бюллетень ФИПС, 2000-2020 Промышленная собственность официальный бюллетень НИИС, 2000-2020
2. Определение местоположения или обнаружение объектов с использованием отражения или переизлучения радиоволн	Казахстан Россия США	G01S	РПФ РНТБ Казахстана, патентные базы ФИПС, НИИС	Описания к авторским свидетельствам и патентам. Изобретения и полезные модели, официальный бюллетень ФИПС, 2000-2020 Промышленная собственность официальный бюллетень НИИС, 2000-2020
3. Сигнализация	Казахстан Россия США	G08B	РПФ РНТБ Казахстана, патентные базы ФИПС, НИИС	Описания к авторским свидетельствам и патентам. Изобретения и полезные модели, официальный бюллетень ФИПС, 2000-2020 Промышленная собственность официальный бюллетень НИИС, 2000-2020

Продолжение таблицы А1

Тема	Страна поиска	Классификационные индексы МПК, НПК	По фонду какой организации проведен поиск	Патентная документация, наименование патентного бюллетеня, журналов, охранных документов, номера и дата их публикации
1	2	3	4	5
4. Передача сигналов	Казахстан Россия США	H04B	РПФ РНТБ Казахстана, патентные базы ФИПС, НИИС	Описания к авторским свидетельствам и патентам. Изобретения и полезные модели, официальный бюллетень ФИПС, 2000-2020 Промышленная собственность официальный бюллетень НИИС, 2000-2020
5. Телефонная связь	Казахстан Россия США	H04M		Описания к авторским свидетельствам и патентам. Изобретения и полезные модели, официальный бюллетень ФИПС, 2000-2020 Промышленная собственность официальный бюллетень НИИС, 2000-2020
6. Услуги или возможности, специально предназначенные для беспроводных сетей связи	Казахстан Россия США	H04W	РПФ РНТБ Казахстана, патентные базы ФИПС, НИИС	Описания к авторским свидетельствам и патентам. Изобретения и полезные модели, официальный бюллетень ФИПС, 2000-2020 Промышленная собственность официальный бюллетень НИИС, 2000-2020

2. Патентная документация, отобранная для последующего анализа

Таблица 2А

Предмет поиска (объект, его составные части).	Страна выдачи, вид и номер охранного документа, классификационный индекс	Заявитель с указанием страны, номер заявки, дата приоритета, конвенционный приоритет, дата публикации	Сущность заявленного технического решения и цели его создания (по описанию изобретения или опубликованной заявке)
1	2	3	4
1. Навигация; навигационные приборы	1. Патент РФ на изобретение № 2219496  G01C 21/00	Открытое акционерное общество "Московский институт электромеханики и автоматики" (RU); RU № 2001109422/28 от 06.04.2001; Публ. 20.12.2003.	<b>УСТРОЙСТВО АВТОНОМНОЙ КОРРЕКЦИИ.</b> Содержит блок карты рельефа местности, первый, второй и третий блоки сравнения, блок карты приращений ускорения силы тяжести, блок прогноза, блок дифференцирования, гравиметр, первый и второй блоки мультимодального сравнения, блок вектора измерений, блок оптимального фильтра Кальмана, астровизир, блок вычисления прогнозируемых значений горизонтальных координат звезд, блок времени. Используется для повышения точности решения задач навигации. Цель: увеличение точности коррекции инерциальной навигационной системы (ИНС).

Продолжение таблицы 2А

1	2	3	4
<p>2. Навигационные приборы, выполняемые на объекте, для которого производятся навигационные измерения</p>	<p>1. Патент СССР на изобретение № 2487318  G01C 21/12</p>	<p>Салычев О.С. (RU), Григорьев В.Е. (RU), Макаров Н.Н. (RU), Писарев В.М. (RU); RU № 2012104963/28 от 14.02.2012; Публ. : 10.07.2013.</p>	<p><b>БЕСПЛАТФОРМЕННАЯ ИНЕРЦИАЛЬНАЯ КУРСОВЕРТИКАЛЬ НА ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ СРЕДНЕЙ ТОЧНОСТИ.</b> БСО содержит две вычислительные платформы, каждая из которых реализует свой закон управления. Одна из них осуществляет демпфирование по собственным ускорениям, ограниченным линейной функцией. Вторая использует оценки адаптивного фильтра Кальмана для осуществления демпфирования ошибок. При этом если в первой платформе коэффициенты демпфирования выбираются большими, то во второй демпфирование осуществляется с малыми по величине коэффициентами. При этом под чувствительными элементами средней точности понимаются гироскопические датчики угловой скорости с нестабильностью дрейфа 0,5-10 град/ч и акселерометры с нестабильностью нуля <math>1 \cdot 10^{-3} \text{ g}</math>-<math>4 \cdot 10^{-4} \text{ g}</math>. Используется в бесплатформенных инерциальных системах навигации (БИНС) для различных классов носителей от наземных до авиационных, в частности в бесплатформенных системах ориентации (БСО). Цель: снизить материальные затраты при строительстве и эксплуатации трубопровода.</p>
<p>3. Навигационные приборы, с корреляцией данных от нескольких навигационных приборов, структурирование или форматирование данных с карты.</p>	<p>1. Патент РФ на изобретение № 2515959  G01C21/32</p>	<p>МСТАР СЕМИКОНДАКТОР, ИНК. (CN); TW № 097123459 от 24.06.2008 RU № 20.05.2014 от 23.06.2009; Публ.: 20.05.2014.</p>	<p><b>НАВИГАЦИОННОЕ УСТРОЙСТВО И СПОСОБ ЕГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ.</b> Способ включает в себя этапы приема сигнала глобальной системы позиционирования; считывания предшествующих данных о местоположении, скорости и времени; считывания предшествующего результата сопоставления с картой; и вычисления текущих данных о местоположении скорости и времени в соответствии с по меньшей мере одним из предшествующих данных о местоположении, скорости и времени и предшествующего результата сопоставления с картой. Используется для позиционирования, в котором импортируется предшествующий параметр сопоставления с картой для вычисления текущего параметра позиционирования. Цель: получение более точной оценки местоположения.</p>

Продолжение таблицы 2А

1	2	3	4
4. Радиопеленгаторы.	<p>1. Патент РФ на изобретение №2107925</p> <p>G01S 3/02</p>	<p>Ассошиэйтед Эр-Ти, Инк. (US); US 08/059,248 от 07.05.1993 RU № 95122626/09 от 19.01.1994; Публ. 27.03.1998.</p>	<p><b>СИСТЕМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ СОТОВОГО ТЕЛЕФОНА.</b> Содержит три или более систем сотовых станций. Каждая система сотовой станции расположена на сотовой станции системы сотовой телефонной связи. Каждая система сотовой станции включает в себя антенну, которая может быть установлена на той же вышке или здании, на которых установлена антенна, используемая системой сотовой телефонной связи, и оборудование, которое может быть размещено в помещении для оборудования соответствующей сотовой станции. Система сотовой станции связана линиями связи T1 с центральной станцией. Центральная станция может размещаться совместно с коммутатором мобильных телефонов системы сотовой телефонной связи. Центральная станция, кроме того, связана с базой данных, которая может находиться на удаленном от центральной станции месте и к которой может быть обеспечен доступ для абонентов.</p> <p>Используется для автоматической регистрации местоположения одного или нескольких мобильных сотовых телефонов.</p> <p>Цель: определение местоположения мобильных сотовых телефонов, действующих в пределах заданного географического района.</p>

Продолжение таблицы 2А

1	2	3	4
<p>5. Определение местоположения путем сопоставления в одной системе координат двух и более найденных направлений.</p>	<p>1. Патент РФ на изобретение №2423720  G01S 5/00</p>	<p>Открытое акционерное общество "Научно-производственное предприятие "Рубин" (ОАО "НПП "Рубин") (RU); RU № 2010107511/09 от 01.03.2010; Публ. 10.07.2011.</p>	<p><b>СПОСОБ ТРИАНГУЛЯЦИИ ЦЕЛЕЙ.</b> В способе используется метод определения трех пространственных координат объекта разведки по информации двухкоординатных пеленгаторов, независимо измеряющих азимут и угол места объекта. В рассматриваемом методе определяется точка сближения пеленгов в пространстве. Определяемая точка находится на минимальном расстоянии от двух пеленгов. Пеленг цели задается точкой стояния источника пеленга и направлением на цель из точки стояния. Точка стояния определяется координатами (x, y, h), направление на цель задается азимутом и углом места. Параметры задаются в левой прямоугольной системе координат. Способ позволяет определить дополнительные данные пространственного расположения пеленгов в окрестности точки сближения.</p> <p>Используется для определения местоположения объекта путем сопоставления в одной системе координат двух и более найденных направлений на объект.</p> <p>Цель: определению местоположения объекта путем сопоставления в одной системе координат двух и более найденных направлений на объект.</p>

Продолжение таблицы 2А

1	2	3	4
<p>6. Определение местоположения путем сопоставления в одной системе координат двух и более найденных направлений с использованием радиоволн.</p>	<p>1. Патент РФ на изобретение №2450284  G01S 5/02</p>	<p>Государственное казенное образовательное учреждение высшего профессионального образования Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации (Академия ФСО России)" (RU); 2010121505/07 от 26.05.2010; Публ. 10.05.2012.</p>	<p><b>СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ VSAT-СТАНЦИИ В СПУТНИКОВОЙ СЕТИ.</b> В способе измеряют множество значений дифференциальных наклонных дальностей до нескольких эфемерид одного или нескольких спутников с известными координатами одноканальным дальномерным и многоканальным дальномерно-разностным модемами и определяют общую искомую точку пересечения гиперболических поверхностей в пространстве, дополнительно контролируют служебную и техническую информацию, циркулирующую в спутниковой сети, определяют временные задержки, используемые с целью обеспечения работоспособности сети в условиях территориального разнесения телекоммуникационных устройств и учета нестабильности местоположения спутника на георбите, рассчитывают дальности до нескольких эфемерид одного спутника и определяют координаты перемещенной «пиратской» VSAT-станции как точку пересечения сферических поверхностей в пространстве, решая систему нелинейных уравнений методом поэтапного снижения разрядности систем уравнений и уменьшения числа переменных в уравнениях, приводя к виду решения с использованием метода простой итерации.</p> <p>Используется для определения местоположения VSAT-станции в спутниковой сети.</p> <p>Цель: создание способа определения местоположения перемещенной «пиратской» VSAT-станции в спутниковой сети одним пунктом контроля, обеспечивающего простоту реализации определения местоположения станции за счет комплексного анализа служебной, технической информации, циркулирующей в спутниковой сети, реализующей режим TDMA (MF-TDMA), а также учитывающего изменения значений временных задержек в сети в связи с нестабильностью местоположения геостационарного ИСЗ на орбите.</p>

Продолжение таблицы 2А

1	2	3	4
<p>6. Определение местоположения путем сопоставления в одной системе координат двух и более найденных направлений с использованием радиоволн.</p>	<p>2. Патент РФ на изобретение №2533202  G01S 5/02</p>	<p>Общество с ограниченной ответственностью "Спирит Корп" (RU); RU № 2012157632/07 от 27.12.2012; Публ. 20.11.2014.</p>	<p><b>СПОСОБ И СИСТЕМА ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ МОБИЛЬНОГО ТЕРМИНАЛА ВНУТРИ ЗДАНИЙ НА ОСНОВЕ ГЛОНАСС-ПОДОБНОГО СИГНАЛА.</b> В способе используют стационарные маяки, состоящие из нескольких передатчиков и одного приемника, служащего для синхронизации передатчиков. Содержащиеся в маяке передатчики и приемник синхронизируются единым тактовым генератором, а их положение фиксируется при помощи радиопрозрачного корпуса маяка. В качестве навигационных шумоподобных сигналов используют ГЛОНАСС-подобный сигнал, начало М-последовательности которого для разных сигналов, передаваемых на одной и той же несущей частоте, сдвигают по задержке на разную величину. Перед расчетом позиции в память мобильного терминала загружают информацию об ожидаемом сдвиге М-последовательности и другую информацию. В мобильном терминале сопровождают сигналы передатчиков, определяют углы излучения сигналов, передаваемых передатчиками, настроенными на одну и ту же несущую частоту, а также псевдодальности до всех передатчиков, и рассчитывают позицию. Используется в системах мобильной связи. Цель: повышение точности и надежности позиционирования внутри зданий, допускающего размещение внутри помещений большого количества позиционирующих передающих устройств, не требующего серьезных изменений спутниковых навигационных приемников или иных компонентов, содержащихся в мобильных устройствах, таких как, например, смартфон, а также в недопущении помех существующим навигационным приемникам.</p>

Продолжение таблицы 2А

1	2	3	4
<p>7. Определение местоположения источника излучения с помощью нескольких разнесенных пеленгаторов.</p>	<p>1. Патент РФ на изобретение № 2597867  G01S 5/04</p>	<p>ИНТЕЛ КОРПОРЕЙШН (US); US 61/810,325 от 10.04.2013; RU №2014138926/07 18.09.2013; Публ. 20.09.2016.</p>	<p><b>СИСТЕМА И СПОСОБ КАНАЛА ОБРАТНОЙ СВЯЗИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ, ИСПОЛЬЗУЯ ВРЕМЯ ПРОХОЖДЕНИЯ СИГНАЛА.</b> Содержит отвечающую станцию, которая передает образцы преамбулы как принятые преамбулы. Образцы представляют канальную информацию. Преамбулы содержат расширенные подготовительные удлиненные поля (НТ-LTFs) повышенной производительности. Иницирующая станция выполнена с возможностью выполнять вычисление времени прихода сигнала на основании, по меньшей мере, частичного анализа канальной информации Используется в системах навигации в закрытых помещениях. Цель: усовершенствование способа определения местоположения в закрытых помещениях.</p>
<p>8. Определение абсолютных расстояний до нескольких разнесенных точек с известным местоположением</p>	<p>1. Патент РФ на изобретение № 2465616  G01S 5/14</p>	<p>ДЗЕ БОИНГ КОМПАНИ (US); US 11/610,570 14.12.2006 RU 2009126754/07 12.12.2007; Публ. 27.10.2012.</p>	<p><b>СПОСОБ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ТРИЛАТЕРАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЛИНИЙ СВЯЗИ В ПРЕДЕЛАХ ПРЯМОЙ ВИДИМОСТИ И ФИЛЬТРАЦИИ ТРАСС В ПРЕДЕЛАХ ПРЯМОЙ ВИДИМОСТИ ДО ПРОВЕДЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ.</b> Способ трилатерации включает в себя прием сигнала по каждой из множества трасс LOS и прогнозирование эффективности каждой из трасс LOS, фильтрацию сигналов, принятых по трассам LOS, с эффективностью ниже заданного порогового значения. Заявленный способ может дополнительно включать в себя выполнение трилатерации с использованием неотфильтрованных сигналов для определения по существу местоположения устройства связи. Используется в области навигации и определения местоположения устройства, в частности, методом трилатерации с использованием прогнозирования линий связи в пределах прямой видимости (LOS) и фильтрации трасс в пределах прямой видимости. Цель: повышение точности определения местоположения устройства связи.</p>

Продолжение таблицы 2А

1	2	3	4
<p>9. Определение абсолютных расстояний с использованием ультразвуковых, звуковых или инфразвуковых волн.</p>	<p>1. Патент РФ на изобретение № 2609582  G01S 5/18</p>	<p>Открытое акционерное общество "ОКБ-Планета" ОАО "ОКБ-Планета" (RU); RU №2016104188 от 09.02.2016; Публ. 02.02.2017.</p>	<p><b>СИСТЕМА ЛОКАЛЬНОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ.</b> Содержит идентификаторы и устройство контроля, при этом в устройство контроля входит блок контроля, приемо-передающие устройства, расположенные на известном расстоянии друг от друга, вычислительное устройство. Идентификаторы установлены на объектах и соединены по радиоканалу приема и ультразвуковому каналу передачи с приемо-передающими устройствами, которые по шине управления и шине данных соединены с вычислительным устройством. Местоположение объектов определяется по времени задержки распространения ультразвукового сигнала относительно радиосигнала.  Используется для создания систем локального позиционирования объектов, в частности для определения местонахождения оборудования и людей в помещениях и на прилегающих площадках.  Цель: повышение точности позиционирования системы.</p>

Продолжение таблицы 2А

1	2	3	4
<p>10. Спутниковые радионавигационные системы позиционирования, в которых взаимодействующие элементы представляют собой псевдолиты (псевдоспутники) или повторители сигналов радиомаяков спутниковой радионавигационной системы позиционирования</p>	<p>1. Патент РФ на изобретение № 2536512  G01S 19/11</p>	<p>САБАНДЖИ УНИВЕРСИТЕСИ (TR); IB 2009/056002 от 31.12.2009 RU №2012132635/07 от 09.02.2016; Публ. 31.12.2009.</p>	<p><b>СИСТЕМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ В ПОМЕЩЕНИИ, ОСНОВАННАЯ НА СИГНАЛАХ ГЛОБАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ И ПСЕВДОЛИТАХ С НАРУЖНЫМИ НАПРАВЛЕННЫМИ АНТЕННАМИ.</b> Содержит по меньшей мере, три направленные антенны GPS для приема специфических сигналов GPS, проходящих с по меньшей мере трех спутников GPS, по меньшей мере три радиочастотных ретранслятора GPS для усиления сигналов GPS, проходящих от направленных антенн GPS, по меньшей мере три антенны GPS для передачи сигналов GPS, проходящих от радиочастотных ретрансляторов GPS в помещение, по меньшей мере один приемник GPS для приема сигналов GPS, проходящих от антенн GPS, своей антенной. Используется для определения местоположения в помещении. Цель: повышение покрытия помещения сигналами GPS, принимаемыми вне помещения системы.</p>

Продолжение таблицы 2А

1	2	3	4
<p>11. Обнаружение или отслеживание сигналов, передаваемых системой.</p>	<p>1. Патент РФ на изобретение № 2594019  G01S 19/24</p>	<p>ДЖУНГ КАН МУК (KR), ЛИ ВУ САП (KR), ШИН ХИ ТАЙ (KR); KR 2010/007988 от 12.11.2010 RU №2013122188/078 от 12.11.2010; Публ. 10.08.2016.</p>	<p><b>СИСТЕМА И МЕТОД ОЦЕНКИ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ВНУТРИ ПОМЕЩЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УСТРОЙСТВА ГЕНЕРИРОВАНИЯ СПУТНИКОВОГО СИГНАЛА.</b> Содержит приемную антенну для приема спутниковых сигналов; центральный контроллер для вычисления и обновления спутниковой информации в режиме реального времени для всех существующих спутников, получения времени спутника из спутниковых сигналов, принимаемых приемной антенной, и синхронизации, а также выбора для оценки местоположения, по крайней мере, 4 спутников из всех существующих спутников на основе информации о времени спутника; по крайней мере, одно устройство генерирования спутникового сигнала, принимающее номера спутников, назначенные центральным контроллером, и генерирующее спутниковые сигналы, соответствующие назначенным номерам спутников. Используется в системах для оценки местоположения объектов. Цель: предоставление пользователю приемного терминала спутникового сигнала, например, сотового телефона или навигатора, услуги по определению местоположения без изменения аппаратного или программного обеспечения даже в зонах, недоступных для спутниковых сигналов, например, внутри здания, в подземном торговом центре, в туннеле или метро.</p>

Продолжение таблицы 2А

1	2	3	4
<p>12. Сигнализация, реагирующая на присутствие или отсутствие людей</p>	<p>1. Патент РФ на изобретение № 2472226</p> <p>G08B 21/22, G08B 21/22</p>	<p>РИТГАЛЬ ГМБХ УНД КО. КГ (DE); EP 2009/002780 от 16.04.2009 RU №2016104188 от 09.02.2016; Публ. 02.02.2017.</p>	<p><b>УСТРОЙСТВО КОНТРОЛЯ ЗА МЕСТОНАХОЖДЕНИЕМ ЛИЦ.</b> В постоянных опорных точках, известных устройству обработки, установлена локально распределенная конфигурация из беспроводных приемопередающих блоков, каждый из которых снабжен беспроводным устройством передачи данных, причем лица снабжены мобильными датчиками, приемопередающие блоки снабжены интерфейсами передачи данных, посредством которых они, с одной стороны, приводятся в состояние беспроводного соединения передачи данных с мобильными датчиками и, с другой стороны, приводятся в состояние проводного или беспроводного соединения передачи данных с устройством обработки, и при этом в устройстве обработки хранятся программы, которые могут быть использованы для определения местонахождения лиц на основе данных обнаружения от приемопередающих блоков, причем система туннелей разделена на участки, классифицированные с разной степенью угрозы, а соответствующие классификационные данные сохранены в устройстве обработки и связаны или могут быть связаны с определенными данными о местонахождении.</p> <p>Используется для контроля за местонахождением лиц в системах туннелей.</p> <p>Цель: повышение точности и надежности определения местоположения лиц в системах туннелей.</p>

Продолжение таблицы 2А

1	2	3	4
<p>13. Системы подачи сигналов тревоги с передачей на центральную станцию сигналов, определяющих местоположение пункта, в котором возникли условия, вызвавшие появление сигнала тревоги</p>	<p>1. Патент РФ на полезную модель № 102131  G08B 25/00</p>	<p>Закрытое акционерное общество "ДеТеВе-Сервис" (RU) RU №2010141427/088 от 11.10.2010; Публ. 10.02.2011.</p>	<p><b>СИСТЕМА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ ОБЪЕКТА В ПОМЕЩЕНИЯХ И НА ЗАКРЫТЫХ ПЛОЩАДКАХ В ЗОНЕ ДЕЙСТВИЯ МИКРОСОВОЙ СЕТИ DECT, А ТАКЖЕ ОПЕРАТИВНОЙ ДОСТАВКИ ДО УКАЗАННЫХ ОБЪЕКТОВ ОПЕРАТИВНОЙ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ.</b> Содержит, по меньшей мере, одно персональное сигнально-поисковое устройство, работающее в стандарте DECT и RFID, выполненное в виде пластмассового корпуса, в котором установлена единая печатная плата, на которой смонтированы сигнальный процессор DECT, соединенный с вибрационным сигнализатором, световым сигнализатором, радиомодулем DECT, датчиком движения-падения, схемой электропитания, которые в свою очередь имеют общую схему заряда, элемент питания, информационный дисплей, а также, по меньшей мере, один промышленный компьютер, программное обеспечение которого выполнено с возможностью обработки поступающих от сигнально-поисковых устройств, соединенный по протоколу OAP с сервером сообщений сети DECT IMS2, UPAC или UCM, групповое устройство зарядки и хранения персональных сигнально-поисковых устройств DECT, представляющее собой пластмассовый корпус, содержащий единую печатную плату, с размещенными на ней элементами питания, соединенными со схемами защиты от переплюсовки и со схемой индуктивного заряда.  Используется для контроля за местонахождением лиц в системах туннелей.  Цель: повышение точности и надежности определения местоположения лиц в системах туннелей.</p>

Продолжение таблицы 2А

1	2	3	4
<p>14. Системы радиосвязи, т.е. системы с использованием излучения из которых, по меньшей мере, одна передвижная</p>	<p>1. Патент РФ на изобретение № 2195781  Н04В 7/26</p>	<p>Ипатьев В.М. (RU), Купершмидт П.В. (RU), Урецкий Я.С. (RU); RU №2001107803/09 от 09.02.2016; Публ. 23.03.2001.</p>	<p><b>СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ПОДВИЖНОГО ОБЪЕКТА.</b> В условных ячейках, представляющих собой равные правильные шестиугольники, плотно покрывающие обслуживаемую территорию, размещают базовые станции (БС) с заданным на каждой из БС уникальным идентификационным номером, радиусы зон действия БС задают равными длине стороны каждого правильного шестиугольника, с позиционируемого подвижного объекта (ППО), осуществляют излучение позывных радиосигналов на заданной рабочей частоте, эти позывные радиосигналы принимают на БС, с БС передают информационные сигналы, содержащие идентификационные номера указанных БС, по этим информационным сигналам определяют местоположение ППО, причем размещение БС осуществляют в вершинах указанных правильных шестиугольников, передаваемыми информационными сигналами, содержащими идентификационные номера БС, в зонах действия которых находится ППО, являются соответствующие информационные радиосигналы, передачу информационных радиосигналов с указанных БС осуществляют на ППО, находящиеся в пределах обслуживаемой территории. Используется для определения местоположения подвижных объектов. Цель: повышение точности определения местоположения подвижных объектов и расширение возможностей способа на основе рационального размещения базовых станций на обслуживаемой территории.</p>

Продолжение таблицы 2А

1	2	3	4
14. Системы радиосвязи, т.е. системы с использованием излучения из которых, по меньшей мере, одна передвижная	2. Патент РФ на изобретение № 2216102  Н04В 7/26	ТЕЛЕФОНАКТИЕБОЛАГЕТ ЛМ ЭРИКССОН (SE); SE 98/01621 от 11.09.1998; RU №2000110118/09 от 11.09.1998; Публ. 10.11.2003.	<p><b>СПОСОБ И СИСТЕМА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ СОТОВОГО ПОДВИЖНОГО ТЕРМИНАЛА.</b> Способ и система, с помощью которых вычисление продолжительности прохождения сигнала в прямом и обратном направлениях используется для определения расстояния между подвижной радиостанцией (ПС) и базовой радиостанцией (БС) (БСО, БС1, БС2) с использованием истинных значений продолжительности прохождения сигнала по восходящей и нисходящей линиям связи (например, Т-вверх и Т-вниз). При этом не требуется абсолютной опорной синхронизации. ПС и БС передают сообщения в служебный узел (203), расположенный в подвижной сети о значениях местного времени отправления и поступления с помощью сигналов, передаваемых по восходящей и нисходящей линиям связи, и вычисляют истинные продолжительности прохождения сигнала, Т-восходящую и Т-нисходящую. Расстояние D между ПС и БС можно вычислить по формуле <math>D=c(T\text{-вверх}+T\text{-вниз})/2</math>, где c - скорость света. В алгоритме триангуляции для определения местоположения ПС можно использовать расстояния D1, D2 и D3 по меньшей мере для трех базовых станций, чье расположение известно. Технический результат заключается в обеспечении способа и системы определения местоположения подвижного терминала, работающего в диалоговом режиме на цифровом или аналоговом канале информационного обмена системы подвижной радиосвязи.</p> <p>Используется для определения местоположения подвижного радиотерминала.</p> <p>Цель: обеспечение способа и системы определения местоположения подвижного терминала, работающего в диалоговом режиме на цифровом или аналоговом канале информационного обмена системы подвижной радиосвязи.</p>

Продолжение таблицы 2А

1	2	3	4
<p>14. Системы радиосвязи, т.е. системы с использованием излучения из которых, по меньшей мере, одна передвижная</p>	<p>3. Патент РФ на изобретение № 2312461  H04B 7/26, H04Q 7/20</p>	<p>Корпорация "Самсунг Электроникс Ко., Лтд." (KR); RU №2003132103/09 от 03.11.2003; Публ. 10.12.2007.</p>	<p><b>СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ МОБИЛЬНОГО АБОНЕНТА ВНУТРИ ПОМЕЩЕНИЙ.</b> Предлагается формирование на основе априорной информации такого алгоритма оценки, который обеспечивал бы оптимальное решение в среднем для всей области обслуживания навигационной системы, при этом источником навигационного сигнала является оборудование абонента. Местоположение абонента осуществляется на основе измерений задержек и уровней сигнала пользователя несколькими базовыми станциями. Используется для определения местоположения пользователя устройства мобильной связи (абонента). Цель: повышение точности определения местоположения абонентов внутри помещений за счет дополнительного использования априорной информации о возможном расположении абонента и вероятности его нахождения в различных областях в пределах области обслуживания навигационной системы.</p>

Продолжение таблицы 2А

1	2	3	4
<p>14. Системы радиосвязи, т.е. системы с использованием излучения из которых, по меньшей мере, одна передвижная</p>	<p>4. Патент РФ на изобретение № 2335849  Н04В 7/26</p>	<p>КВЭЛКОММ ИНКОРПОРЕЙТЕД (US); US 2004/005557 от 24.02.2004; RU №2005129722/09 от 24.02.2004; Публ. 10.10/2008.</p>	<p><b>СИСТЕМА СКРЫТОЙ ЧАСТОТНОЙ МАРКИРОВКИ РЕТРАНСЛЯТОРА ПРЯМОЙ ЛИНИИ СВЯЗИ.</b> Содержит высокоскоростной частотный модулятор, который модулирует частоту сигнала прямой линии связи идентифицирующей быстрой частотной скрытой маркировкой в то время, как он проходит через ретранслятор. Мобильная станция для приема большого количества пилот-сигналов прямой линии связи и идентификации присутствия колебательного сигнала быстрой частотной скрытой маркировки содержит приемник для приема сигналов прямой линии связи, частотный следящий контур для обеспечения точной демодуляции сигналов прямой линии связи, AFLT-искатель (AFLT - усовершенствованная трилатерация прямой линии связи) для обнаружения пилот-сигналов и выполнения фазовых измерений пилот-сигнала, измерения времени прибытия большого количества пилот-сигналов прямой линии связи, систему идентификации ретранслятора, сконфигурированную с возможностью обнаружения и идентификации скрытой маркировки и тем самым идентификация ретранслированного сигнала прямой линии связи. В способе определения информации для определения местоположения мобильной станции из прямой линии связи большого количества пилот-сигналов выполняют AFLT-поиск в мобильной станции, чтобы обнаружить пилот-сигналы и измерить самое раннее время прибытия пилот-сигнала из большого количества пилот-сигналов, выбирают первый пилот-сигнал, выполняют AFLT-поиск ретранслятора в упомянутом первом пилот-сигнале, отыскивают колебательный сигнал быстрой частотной скрытой маркировки, который идентифицирует ретранслированный сигнал, повторяют этапы выполнения сортировки по ретрансляторам для большого количества других выбранных пилот-сигналов, предоставляют фазовые измерения пилот-сигнала и информацию о ретрансляторе для пилот-сигналов, полученных при AFLT-поиске, системе определения положения мобильной станции или сетевому объекту определения положения. Используется для определения местоположения электронного мобильного устройства. Цель: уменьшение времени обнаружения/идентификации мобильной станции.</p>

Продолжение таблицы 2А

1	2	3	4
<p>15. Системы, обеспечивающие абонентам особые услуги или удобства</p>	<p>1. Патент США на изобретение № 9338601  H04M 3/42, H04W 4/02, H04H 20/57</p>	<p>Waldeck Technology, LLC (US); US №14/077,591 от 12.11.2013; Публ. 10.05.2016.</p>	<p><b>SYSTEM AND METHOD FOR AUTOMATED LOCATION-BASED WIDGETS.</b> Systems and methods relating to location-based applications, such as widgets, are disclosed. In general, in one embodiment, location-based application service obtains a current location of a mobile device and determines whether the current location of the mobile device is associated with one of a plurality of non-adjacent geographic locations associated with an establishment. An application identifier associated with the plurality of non-adjacent geographic locations associated with the establishment is provided based on the determination, where the application identifier at least one of identifies an application for the mobile device to activate and references a remote source for the mobile device to obtain the application.</p>
<p>16. Услуги или возможности, предоставляемые в месте нахождения пользователей или терминалов</p>	<p>1. Патент США на изобретение № 9338594  H04W 4/02, H04W 64/00</p>	<p>Urban Airship, Inc. (US); US № Urban Airship, Inc. от 12.11.2013; Публ. 05.02.2015.</p>	<p><b>PROCESSING LOCATION INFORMATION.</b> A system for processing location information is disclosed. The location information is received from a mobile device. One or more polygons associated with the received location information are determined. A representation of the mobile device is stored based at least in part on the determined one or more polygons associated with the received location information</p>

Продолжение таблицы 2А

1	2	3	4
<p>17. Определение местоположения пользователей или терминалов для управления сетью, например, мобильное управление</p>	<p>1. Патент РФ на изобретение № 2360378  H04W 64/00</p>	<p>Сиверс М.А. (RU), Кустов О.В. (RU), Волков Ал.Н. (RU), Ночевнов Д.В.(RU); RU №2007146475/09 от 18.12.2007; Публ. 27.06.2009.</p>	<p><b>СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОНАХОЖДЕНИЯ МОБИЛЬНОГО ТЕРМИНАЛА В БЕСПРОВОДНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СЕТИ.</b> Содержит, по меньшей мере, четыре базовых станции (БС) и мобильные терминалы, выполненные с возможностью измерения уровней входящих сигналов и передачи их на базовую станцию, а также контроллер, связанный через центр коммутации с сервером определения местоположения мобильного терминала, имеющего устройство отображения местонахождения, заключающемся в том, что мобильный терминал (МТ) осуществляет измерение уровней мощности принимаемых сигналов от базовых станций (БС) и передает сигналы измеренных уровней мощности в обслуживающую БС, где посредством коммутации измеренные сигналы передаются в сервер определения местонахождения МТ, в котором, используя имеющуюся информацию о мощностях, излучаемых базовыми станциями (БС), и параметры антенн БС, определяют местоположение МТ с привязкой координат МТ на плоскости расположения информационной сети, причем координаты МТ определяют по координатам точки пересечения трех окружностей, радиусы и центры которых вычисляют с использованием информации о координатах базовых станций, в сервере определения местонахождения МТ, для определения координат МТ используют параметры направленных антенн БС, такие как высоты антенн, коэффициенты усиления антенн, определяют отношения расстояний от МТ до БС, далее методом триангуляции определяют координаты точки пересечения трех упомянутых окружностей, после чего цифровой сигнал, соответствующий координатам точки пересечения этих трех окружностей, поступает на устройство отображения местоположения, на экране которого сформирована электронная карта заданной местности с расположением беспроводной информационной сети, на которой преобразованный цифровой сигнал, соответствующий координатам точки пересечения трех упомянутых окружностей, отображают в виде символа, например, телефонной трубки, который соответствует координатам МТ на плоскости электронной карты заданной местности.  Используется для определения местонахождения (локализации) мобильного терминала (МТ), в частности, в сотовых сетях подвижной связи.  Цель: повышение точности определения местонахождения мобильного терминала, а также обеспечение оперативности, наглядности и удобства наблюдения за местонахождением МТ.</p>

Продолжение таблицы 2А

1	2	3	4
17. Определение местоположения пользователей или терминалов для управления сетью, например, мобильное управление	2. Патент РФ на изобретение № 2312461  H04W 64/00	Корпорация "Самсунг Электроникс Ко., Лтд." (KR); EP 2008/061444 от 29.08.2008; RU №2011111736/07 от 29.08.2008; Публ. 10.07.2013.	<p><b>УСОВЕРШЕНСТВОВАННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТОНАХОЖДЕНИЯ В ПОМЕЩЕНИИ.</b> Содержит множество передающих узлов (12), размещенных в разных положениях в окружающей среде в помещении и сконфигурированных с возможностью передавать РЧ сигналы. Электронное мобильное устройство (13) сконфигурировано с возможностью принимать РЧ сигналы от передающих узлов (12). Система (10; 10') определения местонахождения в помещении сконфигурирована с возможностью работать в режиме обучения, в котором опорные величины вычисляются на основе мощностей РЧ сигналов, принятых от передающих узлов (12) в разных опорных положениях в окружающей среде в помещении. Система (10; 10') определения местонахождения в помещении дополнительно сконфигурирована с возможностью работать в режиме определения местоположения, в котором текущие величины вычисляются на основе мощностей РЧ сигналов, принятых электронным мобильным устройством (13) в его текущем местоположении в окружающей среде в помещении от передающих узлов (12), и в котором текущее местоположение электронного мобильного устройства (13) определяется на основе текущих и опорных величин. Система (10; 10') определения местонахождения в помещении отличается тем, что она сконфигурирована с возможностью работать на основе РЧ сигналов, по меньшей мере, по двум разным радиоканалам.</p> <p>Используется для определения местоположения в средах в помещении и, в частности, в системе определения местоположения на основе радиочастот для отслеживания положения пользователя.</p> <p>Цель: повышение точности оценки местоположения электронного мобильного устройства в окружающей среде в помещении.</p>

Продолжение таблицы 2А

1	2	3	4
<p>17. Определение местоположения пользователей или терминалов для управления сетью, например, мобильное управление</p>	<p>3. Патент РФ на изобретение № 2495544  H04W 64/00</p>	<p>КВЭЛКОММ ИНКОРПОРЕЙТЕД (US); US 2010/031923 от 2010.04.21 RU №2003132103/09 от 03.11.2003; Публ. 10.10.2013.</p>	<p><b>СПОСОБ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПОДДЕРЖАНИЯ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ДЛЯ ТЕРМИНАЛОВ В БЕСПРОВОДНОЙ СЕТИ.</b> Позиционирование может поддерживаться посредством сервера определения местоположения, который постоянно находится в различных объектах. В одном исполнении сервер может получать информацию позиционирования (например, измерения) для целевого устройства с помощью общего протокола позиционирования, при этом сервер может использовать общий протокол независимо от того, где он постоянно находится, и может связываться с другими объектами с помощью этого протокола. Сервер определения местоположения может определять информацию местоположения для целевого устройства на основании информации позиционирования. В других вариантах позиционирование может поддерживаться посредством транспортировки множественных сообщений позиционирования вместе, либо посредством транспортировки сообщения позиционирования, содержащего множественные части, определенные различными организациями, либо посредством совместно используемых блоков данных измерения и/или совместно используемых блоков данных помощи, которые могут применяться к различным способам позиционирования.  Используется для позиционирования терминалов беспроводной сети связи. Цель: обеспечение гибкой поддержки позиционирования для терминалов с различными возможностями позиционирования.</p>

Продолжение таблицы 2А

1	2	3	4
<p>17. Определение местоположения пользователей или терминалов для управления сетью, например, мобильное управление</p>	<p>4. Патент РФ на изобретение № 2512126  H04W 64/00</p>	<p>КВЭЛКОММ ИНКОРПОРЕЙТЕД (US); US 2010/052384 от 12.10.2010 RU №2012119471/07 от 12.10.2010; Публ. 10.04.2014.</p>	<p><b>СПОСОБ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ КОНТЕКСТНОЙ ИНФОРМАЦИИ ВНУТРИ ПОМЕЩЕНИЯ.</b> Определяют информацию о местоположении мобильного устройства, на основании сигналов, принятых мобильным устройством, передают ее на один или более первых сетевых элементов и на ее основании принимают от вторых сетевых элементов информацию, относящуюся к контекстной информации о внутренности помещения, для среды внутри помещения, которая включает в себя информацию, идентифицирующую позицию одной или более первых беспроводных точек доступа в среде внутри помещения. Кроме того, определяют позиции вторых беспроводных точек доступа, не включенных в контекстную информацию о внутренности помещения, обновляют контекстную информации о внутренности помещения, для включения позиций вторых беспроводных точек доступа, и посылают ее вторым сетевым элементам. Затем получают оценку местоположения мобильного устройства на основании информации, относящейся к его местоположению, и обновленной контекстной информации о внутренности помещения.  Используется для определения контекстной информации о внутренности помещения, относящейся к местоположению мобильного устройства.  Цель: получение оценки местоположения мобильного устройства в среде внутри помещения.</p>

Продолжение таблицы 2А

1	2	3	4
<p>17. Определение местоположения пользователей или терминалов для управления сетью, например, мобильное управление</p>	<p>5. Патент РФ на изобретение № 2571825  H04W 64/00</p>	<p>РИВАДА РЕСЕРЧ, ЛЛК (US); US 2012/050981 от 15.08.2012 RU №2014109421/ от 2014109421/; Публ. 20.12.2015.</p>	<p><b>СПОСОБ И СИСТЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ УТОЧНЕННОЙ ИНФОРМАЦИИ О МЕСТОПОЛОЖЕНИИ ДЛЯ БЕСПРОВОДНЫХ МОБИЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ.</b> Способ, устройство и система для создания уточненной информации о местоположении на мобильном устройстве или о мобильном устройстве, которые могут включать в себя решения, основанные на гибридной латерации и/или трилатерации, в которых мобильное устройство выполняет определяющие местоположение вычисления самостоятельно или с помощью или поддержкой сетевых компонентов или глобальной системы позиционирования (GPS). Мобильные устройства могут автоматически образовывать группы, основанные на близости и/или могут быть сгруппированы вместе через сетевой сервер. Мобильные устройства в группе могут разделять вычисленную информацию местоположения и/или информацию, полученную от внутренних датчиков с другими сгруппированными мобильными устройствами. Информация, разделенная между сгруппированными мобильными устройствами, может быть использована для уточнения информации о местоположении, вычисленной на каждом мобильном устройстве. Например, каждое мобильное устройство может пополнять и/или подкреплять ранее вычисленную информацию о местоположении на основе полученной информации о местоположении и/или относительных позиций других мобильных устройств в той же группе. Каждое мобильное устройство может также использовать датчики локальной информации для дополнительного уточнения своей информации о местоположении.  Используется в беспроводной связи. Цель: повышение точности определения местоположения мобильных устройств.</p>

Выводы о выполнении регламента поиска.

Регламент поиска по теме: «**Позиционирование внутри помещений**» выполнен.

Всего из патентной документации отобрано – 24 охранных документа, из них

России 22

США 2

Из них:

Изобретений 23

Полезных моделей 1