Некоммерческое акционерное общество
«АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ»

Кафедра «Радиотехники»
Специальность 6М071900 «Радиотехника, электроника и телекоммуникации»

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
Зав. кафедрой
к.т.н. доцент Артюхин В.В.
(ученая степень, звание, ФИО) (подпись)
«23» июня 2014 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ
пояснительная записка

на тему: Исследование влияния перемещения подвижных объектов на распространение радиосигнала

Магистрант Аршидинова Н.Т. (Ф.И.О.) (подпись) группа НПм-12-1

Руководитель д.т.н. профессор (ученая степень, звание) (подпись) Рутгайзер О.З. (Ф.И.О.)

Рецензент к.т.н. доцент (ученая степень, звание) (подпись) Литвинов Ф.А. (Ф.И.О.)

Консультант по ВТ доцент (ученая степень, звание) (подпись) Куликов А.А. (Ф.И.О.)

Нормоконтроль ст.преподаватель (ученая степень, звание) (подпись) Лановенко М.В. (Ф.И.О.)

Алматы 2014

Аннотация

В работе представлено математическое моделирование распространения сигнала, проведены экспериментальные исследования влияния перемещения людей в свободном пространстве и в помещении на распространение радиосигнала. Выбрано измерительное оборудование, предложена программа проведения экспериментов. Рассмотрено влияние объектов на распространение радиосигнала в зависимости от их размеров и количества. Полученные результаты могут быть использованы при разработке методик расчета распространения радиосигналов и построении систем радиосвязи, а так же систем охраны. По полученным результатам исследования была подана заявка на изобретение «Способ определения наличия нарушителя».

Annotation

The mathematical modeling of signal propagation is presented in the thesis, as well as the experimental studies of the influence of the people’ movement in free space and indoor on radio signal propagation were performed. Measuring equipment was chosen, and a program for conduction of experiments was proposed. The impact of objects on radio propagation was considered, depending on their size and number. The obtained results can be used to develop calculation methods of radio propagation and development of radio systems and security systems as well. According to the results obtained the application was submitted for the invention "Method of determining the presence of the offender."

Аңдатпа

Бұл жұмыста сигналдардың таралуының математикалық моделі көрсетілген, ғимаратта және еркін кеңістікте радиосигналдардың адамдарға әсерінің эксперименталды зерттеуі жүргізілген. Өлшеуіш жабдық таңдалған, эксперименттің жүргізу бағдарламасы ұсынылған. Олардың саны мен көлеміне байланысты аймаққа радиосигналдарды таратудың әсері қарастырылған. Радиосигналдарды таратудың әдістемелік есептеуін жасауда және радиобайланыс жүйесін, сонымен қатар қорғау жүйесін құруда алынған нәтижелер қолданылуы мүмкін. Алынған нәтижеде «Бұзушыны анықтау тәсілін» зерттеуге өтініш берілген.

Содержание

Введение…… 3
1Состояние проблемы
1.1 Распространение радиоволн и влияние возмущений…….. 4
1.2 Распространение радиосигнала в свободном пространстве…….. 12
1.3 Распространение радиосигнала внутри помещений…… 13
1.4Зависимость средней мощности сигнала от расстояния и частоты…… 14
1.5 Определение положения объектов в системе…… 16
1.6 Цели и задачи работы……. 20
2 Модель зависимости характеристики положения объекта от различных возмущении…… 21
2.1 Двулучевая модель распространения сигнала……. 21
2.1.1 Расчет разности фаз между огибающим объект лучом и прямым лучом……..... 23
2.1.2 Расчет угловой дисперсии и углового расстояния…….. 30
2.2 Многолучевая модель распространения сигнала…… 35
2.3 Выводы…… 42
3 Экспериментальные исследования…….. 43
3.1 Оборудование и описание параметров объекта…….. 43
3.1.1 Экспериментальные исследования в свободном пространстве……. 45
3.1.2 Экспериментальные исследования в помещении……. 47
3.2 Статистическая обработка данных…… 55
3.3 Выводы……. 61
4 Способ контроля периметра территории с использованием радиосигналов (описание предлагаемого изобретения)…….. 62
4.1 Пример работы системы…….. 67
4.2 Формула изобретения……. 69
Заключение…… 70
Список литературы……..... 71
Приложение А. Статистическая обработка данных с помощью программы Excel…… 75
Приложение В. Схема расположения элементов эксперимента……. 77
Приложение С.Экспериментальные результаты оценки математического ожидания Mp1 и дисперсии Dp1 ослабления сигнала мощности на входе приемника для нарушителя…….. 78
Приложение D. Код программы на языке Си-шарп…… 79
Приложение Е. Заявка на выдачу инновационного патента №2013/1978.1 от 27.12.14 на изобретение «Способ определения наличия нарушителя»……..... 90

Введение

Радио сигнал широко используется для решения различных задач, в частности, радиолокации и фиксации объектов в задачах охраны периметров территорий. В настоящее время для многих объектов безопасность является важным параметром в их охране. Были рассмотрены и предложены множество способов обнаружения нарушителя на территории объекта, но следует отметить, что все эти способы нуждаются в доработке.

С появлением беспроводных телекоммуникационных технологий появились системы, которые позволяют получать информацию о местоположении объектов, в том числе и мобильных, на больших территориях. Использование беспроводной системы связи решает ряд технических проблем, связанных с передачей значительного количества информации и большим количеством наблюдаемых объектов.

Для контроля периметра широко используются двухпозиционные радиолучевые системы. Данные системы состоят из передатчика и приемника СВЧ-сигналов, которые размещают в пролете на расстоянии от десятков до нескольких сотен метров друг от друга. Между передатчиком и приемником формируется чувствительная зона с поперечным сечением до нескольких метров. Системы охраны периметра зоны определяют факт пересечение нарушителем чувствительной зоны.

На распространение радиосигнала оказывают влияние различные факторы. При распространений радиосигнала в свободном пространстве наблюдаются такие явления как затухание, отражение при наличии предметов на пути распространения сигнала, многолучевое распространение сигнала, замирания и др. А основными эффектами, наблюдаемыми при распространении радиоволн внутри помещений, являются многолучевое распространение, дифракция на многочисленных острых кромках предметов, расположенных внутри комнаты, и рассеяние радиоволн. Эти эффекты создают сложную интерференционную структуру электромагнитного поля, сильно изменяющуюся при перемещении людей и других объектов. В работе представлены экспериментальные характеристики распространения радиосигнала в зависимости от влияния объектов, результаты моделирования интерференции сигналов, а так же определены статические параметры процесса, опираясь на которые была подана заявка на изобретение.

В главе 4 представлено описание изобретения, которое представляет собой способ определения нарушителя с большей точностью предсказания его появления на территории охраняемой зоны.

Изобретение относится к радиолокации, в частности к системам охранной сигнализации, к способам контроля наличия нарушителя в контролируемой зоне.

Изобретение может быть использовано в системах охранной сигнализации на участках контроля периметра охраняемой зоны.

Состояние проблемы

1.1 Распространение радиоволн и влияние возмущений

В настоящее время радиоволны нашли широкое применение в таких сферах как радиолокация, охрана периметра, автоматизация и управление, радарные системы и др. В данных системах имеет место наличие объекта, при появлении которого меняются характеристики радиосигнала. При распространении радиосигнала наблюдаются изменения его параметров, что приводит к определенным выводам. Существуют различные варианты оценки положения объекта: явление увеличения интенсивности рассеянного излучения, измерение доплеровской частоты, измерение изменения мощности, измерение времени распространения сигнала, измерение фазы.

С помощью радиоволн в радиолокации определяют свойства различных объектов и создаются методы и средства обнаружения и измерения координат объектов. Для организации охраны периметра объектов важную роль играют двухпозиционные радиолокационные системы обнаружения ближнего действия, работающие на основе рассеяния электромагнитного поля [1].

В радиолокационных системах появление человека на трассе распространения сигнала приводит к существенному изменению плотности распределения вероятности амплитуды поля, на входе приемной антенны, следовательно, факт нарушения охраняемой зоны легко обнаружить [2].

Радиосигналы кроме радиолокации нашли применение в автоматизации и управлении объектами. Созданы специальные технологии передачи данных для целей создания систем автоматизации. С помощью радиоволн информация от контролируемого объекта передается в центр управления, который анализирует информацию и решает проблемы, возникшие на контролируемом объекте. При построении такой системы учитывается условие распространения радиосигналов, рассматривается влияние на характеристики сигнала [3].

Существуют системы использующие отражение и вторичное излучение радиоволн, например радарные системы. Созданы образцы радаров, которые способны обнаруживать объекты на дальности от десятков до нескольких сот метров (в зависимости от типа цели). Ограничивающим фактором в плане дальности действия являются пассивные помехи от подстилающей поверхности, листвы и атмосферы [4].

Распространение радиоволн и изменение их характеристик применяются во многих сферах. Для определения наличия объекта сравнивают между собой характеристики радиосигнала, различные параметры, явления.

В просветных радиолокационных системах предлогается использование явлении увеличения интенсивности рассеянного излучения при нахождении цели между передатчиком и приемником. Проанализированы понятия и теоретические положения метода теневого инверсного радиолокационного синтезирования апертуры, с помощью которой возможно восстановление профильной функции теневого силуэта объекта и его теневого спектрального

портрета, рассмотрено распознавания объектов по теневым спектральным портретам. Такие системы способны успешно обнаруживать объекты и малоразмерные низколетящие цели [5].

Помимо интенсивности и теневой функции для обнаружения объектов можно применять доплеровскую частоту. Доплеровская частота является одной из характеристик определения положения объекта. Измерение доплеровских частот в синхронизированных по времени разнесенных приемниках может быть использовано для определения угловых координат цели, при определении местоположения объекта [6,7].

Известен метод обнаружения объекта, который обусловлен квазилинейным изменением доплеровской частоты, в случае равномерного движения цели поперек отрезка, соединяющего передатчик с приемником [8].

Известен способ обнаружения объектов на основе использования прямых и рассеянных объектами радиосигналов, излучаемых множеством неконтролируемых и контролируемых передатчиков радиоэлектронных систем различного назначения. Принятый радиосигнал включает мощные прямые радиосигналы и рассеянные от земной инфраструктуры компоненты сигнала выбранного передатчика радиоподсвета целей. Кроме того, он содержит задержанные по времени и сдвинутые на частоту доплеровского смещения рассеянные объектами сигналы, а также сигналы других неконтролируемых источников, работающих на частоте, совпадающей с частотой приема. Для эффективного обнаружения и точной пространственной локализации широкого класса объектов необходимо качественное выделение слабых рассеянных от объектов радиосигналов на фоне мощного прямого сигнала выбранного передатчика радиоподсвета, а также на фоне сигналов других нежелательных источников. В наиболее типичных ситуациях уровень помех на 40-60 дБ превышает уровень рассеянных сигналов. Сравнивая уровни сигналов, определяется наличие объекта [9].

На распространение радиосигнала оказывают влияние множество различных явлений. Можно выделить следующие основные проблемы, которые возникают при передаче сигналов по радио интерфейсу [10]:

- затухание сигнала,
- теневые зоны,
- многолучевое распространение сигналов,
- замирания сигнала,
- временные задержки,
- дифракция,
- интерференция.

Не зависимо от выбранного способа передачи сигналов первоначальная энергия сигнала, которая была на выходе передатчика, будет уменьшаться. Главным негативным следствием процесса затухания является сложность в приеме сигнала, т.е. если энергия сигнала на выходе канала связи меньше некоего уровня (порога чувствительности приемника), то сигнал может быть принят с ошибкой.

Для радиоканала существует целый ряд причин затухания. Главной из них является рассеивание энергии сигнала на пути его распространения. Однако данный вид потерь вполне предсказуем и обладает свойством линейности. Таким образом, зная затухание сигнала для определенной частоты на единицу длинны, можно рассчитать необходимую мощность излучения передатчика для передачи сигнала на заданное расстояние.

Большую проблему создают искусственные объекты. Например, стена жилого дома вносит очень ощутимое затухание, в результате чего в центре здания связи может не быть вовсе. Решением этой сложности является размещение специальных устройств в нутрии здания, которые специально предназначены для создания устойчивого покрытия внутри подобных объектов.

Так же на затухание радиосигнала оказывает влияние расстояние между передатчиком и приемником. Чем больше расстояние, тем слабее сигнал, но данную проблему можно решить с помощью репитеров, устройств которые усиливают сигнал.

Следующей проблемой распространения радиосигнала является возникновение теневых зон [11]. При распространении сигнала он встречает на своем пути различные препятствия искусственного и естественного происхождения. К преградам искусственного происхождения можно отнести жилые здания, производственные корпуса, широкие мосты, в здании это мебель, стены и т.п. К препятствиям естественного происхождения относятся горы, холмы, обрывы, высокие лесные массивы и т.д. Таким образом, любой более или менее широкий объект может создать препятствие. В зависимости от размеров преграды возможны несколько вариантов: сигнал, возможно, просто будет огибать препятствие, либо за встретившимся объектом образуется так называемая теменная зона с очень низким уровнем сигнала, либо сигнал будет отсутствовать вовсе. Обычно объекты, которые могут стать преградой известны еще до развертывания сети связи и проектирование осуществляется с самого начала с учетом возможных препятствий. Существует достаточно много решений данной проблемы. Одним из решении является установка усилителя сигнала в теневой зоне.

Эффект возникающий, когда между источником и приемником возникают несколько путей доставки сигнала, при этом энергия сигнала будет распределена между копиями сигнала неравномерно, что в итоге может привести к ситуации, когда приемник не сможет получить достаточно энергии хотя бы в одной из копий для однозначного приема сигнала, называется многолучевым распространением радиосигнала [12].

Многолучевое распространение это феномен распространения сигнала, в результате которого появляются два или более путей прибытия сигнала на антенну приемника в одно и то же время или с минимальным отличием по времени (наносекунды разницы). При обычном распространении волн возникают такие эффекты как:

- отражение,
- отражение с разбиением на множество малых волн,

- прохождение волн через препятствия с изменением характеристик,

- огибание волнами препятствий и изменение направления волны при достижении крупного препятствия.

И все это всякий раз проявляется по-разному. Также важно понимать, что в определенных условиях отдельные эффекты проявляются значительно сильнее, например существенное отражение возникнет когда в комнате есть большие металлические шкафы или антенна находится рядом с шахтой и дверьми лифта и, вероятнее всего, в таком случае этот эффект будет преобладать. В любом случае данные эффекты будут создавать условия возникновения множественных копий и множественных путей одного исходного сигнала.

Внутри помещений отраженные сигналы и их эхо-сигналы могут вызываться такими условиями как длинные коридоры, стены, столы, пол, шкафы, а также большим количеством других препятствий. Такие внутренние зоны с большим количеством металла, как ангары аэропортов, складские ангары, цеха заводов и фабрик изначально являются объектами с высоким уровнем многолучевого распространения из-за большого количества отражающих поверхностей. Обычно именно отражение является основной причиной многолучевого распространения сигнала.

Вне помещений многолучевое распространение может вызываться отражением от дороги, от большого зеркала воды (озеро, река и т.п.), от зданий или от атмосферы при возникновении специфических условий.

Таким образом, появляются сигналы, которые изменяют направление (изгибаются с приближением или удалением) во многих различных направлениях. Исходный сигнал будет доходить до приемной антенны, но множественные копии сигналов с измененными направлениями и после многих переотражений могут добраться до приемной антенны, имея совершенно непредсказуемые характеристики (фазу, амплитуду и т.п.). Обычно для отраженных сигналов требуется несколько больше времени, чтобы добраться до приемной антенны из-за необходимости пройти больший путь, чем базовый сигнал. Разница во времени может измеряться в наносекундах. Эта временная разница называется задержкой распространения сигнала. При этом одни технологии более подвержены такого рода задержке, другие менее.

Для радиосигналов эффект многолучевого распространения может становиться положительным или отрицательным (конструктивным или деструктивным). Значительно чаще результат является отрицательным. Из-за разницы в фазах множества путей копий сигналов комбинированный сигнал на приемнике чаще будет затухать или будет повреждаться. Могут быть четыре результата возникновения многолучевого распространения сигнала [13]:

1) Прирост - это увеличение силы сигнала (увеличение амплитуды). Когда множественные радиосигналы прибывают на приемник в одно и то же время и находятся в фазе или с небольшим расфазированием по отношению к базовому сигналу, то результатом будет увеличение силы сигнала (увеличение амплитуды). Небольшая разница в фазах в пределах от 0 градусов до 120

градусов будет вызывать прирост уровня сигнала. Это положительное или конструктивное многолучевое распространение сигнала.

2) Снижение - это снижение силы сигнала (уменьшение амплитуды). Когда множественные радиосигналы прибывают на приемник в одно и то же время и находятся не в фазе с базовым сигналом, результатом будет снижение уровня сигнала. В результате имеем негативное или деструктивное многолучевое распространение.

3) Обнуление - это полное затухание сигнала. Когда множественные радиосигналы прибывают на приемник в одно и то же время и имеют разницу фаз в 180 градусов с базовым сигналом, результатом будет обнуление. Это полное затухание сигнала. В результате имеем негативное или деструктивное многолучевое распространение.

4) Повреждение данных - из-за разницы во времени между базовым сигналом и множественными отраженными копиями (эта разница – задержка распространения) приемник может иметь проблемы с демодуляцией принимаемого сигнала. Фактически одной из больших проблем задержки распространения является наложение битов информации друг на друга в результате чего данные повреждаются. Такой тип интерференции при многолучевом распространении называется межсимвольной интерференцией. Повреждение данных это одна из наиболее частых проблем деструктивного многолучевого распространения. При этом принимающая сторона (точка доступа) будет определять возникновение повреждения (ошибок) путем проверки параметра контрольной суммы.

Можно прийти к следующему выводу, что многолучевое распространение радиосигнала имеет как положительные стороны, так и отрицательные. При многолучевом распространении сигнала приемник получает сразу несколько копий сигнала. Сравнив эти копии между собой можно выявить и даже исправить ошибки, возникшие при распространении сигнала. В то же время многолучевое распространение может вызвать появление этих ошибок.

Из-за многолучевого распространения сигнала может сложиться ситуация когда две копии сигнала придут в противофазе. Это означает, что копия сигнала может задержаться на промежуток времени кратный периоду сигнала. В таком случае два луча сигнала могут сложиться в приемнике и нейтрализовать друг друга. Если окажется, что эти два луча в сумме несли весомую энергию сигнала, то это может привести к увеличению числа ошибок и снижению качества канала связи. Это явление получило название "замирания" сигнала, т.е. сигнал вроде как перестает на время поступать между источником и приемником [14]. Выделяют две основные разновидности замираний в зависимости от эффекта оказываемого ими и их причины: быстрые и медленные замирания. Медленные замирания сигналов обусловлены изменением условий рефракции радиоволн (атмосферные осадки, смена дня и ночи, времен года и т.п.), а также перемещением устройства (приемник или передатчик) на расстояния, превышающие длину волны на несколько порядков

и более (или перемещением больших по сравнению с длиной волны объектов, находящихся на пути распространения сигнала). Медленные замирания вызваны плохими метеоусловиями и существуют достаточно эффективные методы борьбы с ними.

Быстрые замирания сигнала – временные изменения уровня принимаемого сигнала, связанные с интерференцией прямой и отраженной волны от поверхности Земли, неоднородностей атмосферы или других предметов. Причиной быстрых замираний является многолучевость распространения радиоволн и передвижение устройства (приемник или передатчик) на короткие расстояния, сравнимые с длиной волны.

При распространении радиосигнала появляются временные задержки. В зависимости от среды распространения и используемой частоты сигнал будет приходить к получателю с той или иной задержкой. Если задержка для всех посылок сигнала будет постоянна и не превышать определенного максимального порога, то она не влечет за собой каких-либо существенных последствий. Обычно борьбу с небольшими задержками (порядка нескольких сотен микросекунд или миллисекунд) ведут, вводя в структуру сигнала небольшие защитные интервалы. Однако если задержка вызвана переотражением или неоднородностью среды распространения, то задержка может начать изменяться и даже выходить за пределы защитного интервала. Это в свою очередь может привести к наложению двух соседних по времени посылок и потери части информационного потока.

Временные задержки могут оказывать не только вред, но и приносить пользу. Например, длительность задержки сигнала в радио интерфейсе может говорить о расстоянии находящемся до объекта. Эта информация используется для подстройки мощности излучения передатчика.

При распространении радиоволн не редко наблюдается явление дифракции. Дифракция радиоволн — явление, состоящее в том, что радиоволны способны огибать препятствия. Дифракция проявляется тем сильнее, чем больше длина волны по сравнению с размерами препятствий. Например, километровые и гектометровые волны огибают горы, холмы, большие городские здания и т. д. В то же время волны микроволновых диапазонов не огибают эти препятствия, образуя непосредственно за ними зоны радиотени. Благодаря явлению дифракции волны огибают неровности земной поверхности, распространяясь в виде поверхностной (земной) волны на расстояния, превышающие дальность прямой видимости.

При распространении радиоволн не редко наблюдается явление дифракции. Дифракция радиоволн - явление, состоящее в том, что радиоволны способны огибать препятствия. Дифракция проявляется тем сильнее, чем больше длина волны по сравнению с размерами препятствий. Благодаря явлению дифракции волны огибают неровности земной поверхности, распространяясь в виде поверхностной (земной) волны на расстояния, превышающие дальность прямой видимости [15].

К частным случаям дифракции относятся: дифракция от круглого отверстия в плоском экране, дифракция от диска, дифракция на полуплоскости.

При дифракции на круглом отверстии появляются открытые и закрытые зоны Френеля [16]. Амплитуды волн зон Френеля при их небольшом числе можно считать примерно одинаковыми. По этой причине в точке наблюдения будет возникать либо максимум, либо минимум интенсивности дифрагированной волны от отверстия в зависимости соответственно от нечётности или чётности числа открытых зон Френеля.

Таким образом, благодаря явлению дифракции волн на экране с отверстием, открывающем небольшое нечётное число зон Френеля, наблюдается увеличение интенсивности падающей на него волны почти в два раза.

При возникновении дифракции от диска в центре дифракционной картины, создаваемой диском, наблюдается светлое пятно, независимо от размеров диска. Таким образом, амплитуда волны в центре дифракционной картины от диска любого размера равна половине амплитуды волны от первой зоны Френеля [17]. На периферии дифракционной картины от диска распределение интенсивности в основном определяется амплитудой волны источника, на которую накладываются затухающие по мере удаления от центра картины колебания волн от частично открытых зон Френеля отверстием в непрозрачном экране того же диаметра, что и рассматриваемый диск.

При распространении волны перпендикулярно непрозрачной полуплоскости в результате дифракции наблюдаются зоны Френеля в виде полос, которые получили название зон Шустера. Для расчёта дифракции волн на полуплоскости используется спираль Корню, с помощью которой можно найти амплитуду волны и фазу волны для произвольного числа открытых или закрытых полуплоскостью зон Шустера. Характерной особенностью этой кривой является наличие двух фокусов, на которые наматываются витки спирали, рисунок 1.1 [18].

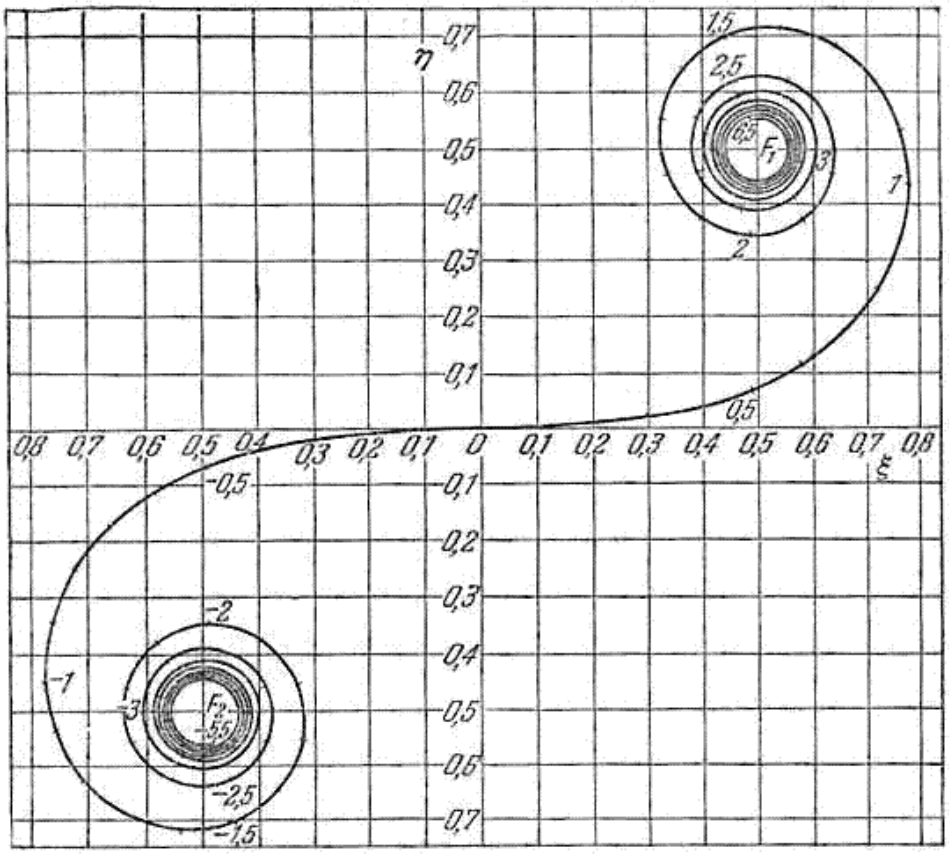


Рисунок 1.1- Спираль Корню

Из рисунка 1.1 видно как меняются зоны Френеля при смещении по кривой. В точке наблюдения будут иметь место максимумы и минимумы значений интенсивности волны. Если рассматривать экран, то на нем появятся светлые и темные полосы.

Появление максимумов и минимумов интенсивности показывает связь между явлением дифракции и интерференции. Интерференция сопровождается чередованием максимумов и минимумов интенсивности в пространстве. Результат интерференции (интерференционная картина) зависит от разности фаз накладывающихся волн. Интерферировать могут все волны, однако устойчивая интерференционная картина будет наблюдаться только в том случае, если волны имеют одинаковую частоту и колебания в них не ортогональны.

Большинство проблем распространения радиосигнала широко рассмотрены в литературе [19,20,21]. Влияние стен, перегородок, мебели, аппаратуры и других предметов на распространение сигнала исследовано в работах [22,23]. Однако проблема влияния подвижных объектов на распространение радиосигнала представлена не достаточно и требует дополнительных исследований.

1.2 Распространение радиосигнала в свободном пространстве

При распространении радиосигнала, необходимо учитывать в какой среде он распространяется. Распространение радиосигнала в свободном пространстве и в помещении отличаются друг от друга. От среды распространения зависят характеристики сигнала. Где-то радиосигнал распространяется хорошо, где-то уровень сигнала становиться слабым. Поэтому необходимо рассмотреть, как себя ведет сигнал в свободном пространстве и в помещении, так же как меняется уровень сигнала в зависимости от частоты канала и расстояния между передатчиком и приемником.

При распространении радиосигнала в свободном пространстве существуют проблемы, связанные с влиянием на сигнал различных параметров, таких как расстояние, многолучевое распространение, отражение и другие. В свободном пространстве, при прямой видимости, явлений влияющих на сигнал гораздо меньше, чем при распространении сигнала в помещении. Уровень сигнала на приёме определятся не только несущей частотой сигнала, но и расстоянием. Помимо очевидной тенденции затухания сигнала, наблюдаются быстрые колебания уровня мощности, которые зависят от расстояния. Важным параметром для сигнала является мощность. Мощность, принимаемую на определённом расстоянии от передающей антенны, можно выразить через мощность, измеренную на каком-либо стандартном расстоянии, т.е. через опорную мощность. При распространении сигнала в свободном пространстве, принимаемая мощность обратно пропорциональна квадрату расстояния до передающей антенны [24].

Наблюдаются явления замирания сигнала. При некоторых значениях расстояния сигнала от антенн, они проходят разные пути, приходят в противофазе на приёмную антенну, что может уменьшить мощность. При некоторых других значениях расстояния входящие сигналы складываются, что увеличивает уровень сигнала.

Радиолокационные системы представляют собой особый случай, поскольку сигнал испытывает потери при распространении как от передатчика до цели, так и от цели до приемника. В случае радиолокаторов, использующих общую антенну и для передатчика, и для приемника, основные потери передачи в свободном пространстве, L_{br}, можно записать следующим образом [25]:

$$L_{br} = 103{,}4 + 20\log f + 40\log d - 10\log\sigma \text{ дБ}, \qquad (1.1)$$

где σ -поперечное сечение радиолокационной цели (м^2);
d - расстояние от радиолокатора до цели (км);
f - частота системы (МГц).

Поперечное сечение объекта, являющегося радиолокационной целью, представляет собой отношение общей изотропной эквивалентной рассеиваемой мощности к плотности потока падающей мощности.

Таким образом, при распространении радиосигнала в свободном пространстве дальность передачи сигнала больше чем при распространении в помещении. Уровень сигнала при распространении в прямой видимости выше, чем при распространении в помещении. Сигнал подвергается меньшему влиянию в свободном пространстве, так как отсутствуют стены, мебель и другие объекты.

1.3 Распространение радиосигнала внутри помещений

Определение характеристик распространения сигнала внутри зданий не менее важно. В случае каналов связи внутри помещений, расстояние между передатчиком и приемником намного меньше. Это обусловлено не только геометрическими параметрами здания, но также низкой мощностью передатчика и сильным ослаблением сигнала внутренними стенами и мебелью. Именно эти явления оказывают влияние на длительность импульсного отклика канала, поэтому каналы внутри помещений характеризуются намного меньшим временным разбросом задержки, каналы связи снаружи зданий [26].

Проблеме распространения радиоволн внутри зданий и помещений последнее время уделяется большое внимание. Это связано, прежде всего, с созданием локальных информационных сетей, а также с необходимостью обеспечения надежной радиосвязью сотрудников предприятий, учреждений с целью оперативного управления и обеспечения безопасности. Наличие внутри здания стен, перегородок, мебели, радиоэлектронной аппаратуры, людей и других объектов создает сложную среду распространения радиоволн. Условия распространения радиоволн внутри помещений существенно отличаются от условий распространения радиоволн в свободном пространстве [27]. Основными эффектами, наблюдаемыми при распространении радиоволн внутри помещений, являются многолучевость, обусловленная многократными отражениями радиоволн от стен и других объектов, дифракция на многочисленных острых кромках предметов, расположенных внутри комнаты, и рассеяние радиоволн. Эти эффекты создают сложную интерференционную структуру электромагнитного поля, сильно изменяющуюся при перемещении людей и других объектов.

Большинство моделей, используемых для расчетов радиотрасс, расположенных внутри зданий, основано на формуле 1.2 [28].

$$P_R = G_P G_R \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 P_T \quad , \tag{1.2}$$

где P_T мощность передатчика (дБм);

G_T и G_R – коэффициенты усиления передающей и приемной антенн;

d – расстояние между приемником и передатчиком (м);

λ – длина волны (м).

Однако наличие стен, пола, мебели, людей и других объектов оказывает существенное влияние на характер распространения радиоволн. Многообразие условий приводит к необходимости использовать некоторые эмпирические модели, основанные на многочисленных экспериментах по исследованию условий распространения радиоволн внутри помещений. В работе [29] предложено несколько моделей, в которых потери на трассе определяются соотношением:

$$L(d) \approx L_P (d/d_0)^n, \qquad (1.3)$$

где L_P - потери при распространении на трассе прямой видимости длиной d_0 (дБм);

d - расстояние между передатчиком и приемником (м).

Причем, в некоторых моделях значение n является постоянной величиной, в других – зависит от расстояния. Увеличение значения n с ростом расстояния, связано с увеличением числа стен, отделяющих приемную антенну от передающей антенны.

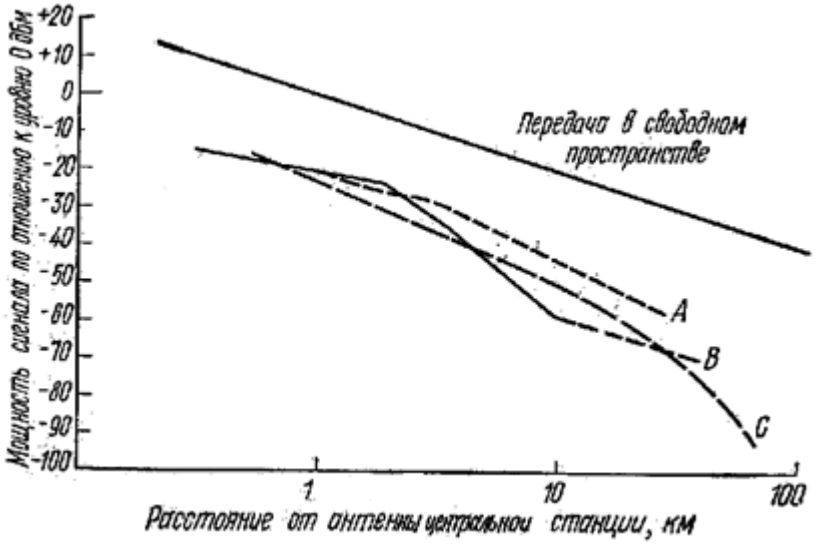
При расчетах характеристик сигналов внутри зданий и помещений используются различные модификации лучевых методов [30], позволяющие учитывать отражение радиоволн от стен, пола и потолка, местных предметов, дифракцию волн на дверях и окнах и другие явления, сопутствующие распространению радиоволн.

Таким образом, при распространении радиосигнала в помещении на него оказывает влияние множество дополнительных явлений, которые образуются из-за наличия объектов на пути распространения. Поэтому сигнал в помещении имеет большее ослабление, чем в свободном пространстве.

1.4 Зависимость средней мощности сигнала от расстояния и частоты

Одна из фундаментальных проблем в изучении распространения радиоволн состоит в описании процесса ослабления мощности сигнала при удалении приемной станции от передатчика, так же на мощность сигнала влияет высота расположения антенн. Сигналы, передаваемые между передатчиком и приемником, как было сказано выше, подвержены глубоким замираниям, причем соседние максимумы расположены на расстояниях порядка длины несущей волны.

Были проведены исследования зависимости средней мощности сигнала от расстояния [31]. На рисунке 1.2 приведены примеры зависимости средней мощности сигнала от расстояния для частот близких к одному значению, измеренных в разных городах с наличием объектов, для сравнения там же приведена зависимость мощности при распространении в свободном пространстве.



А-город 1;
В-город 2;
С-город 3.

Рисунок 1.2 – Зависимость мощности от расстояния

Измерения показали следующие особенности: резкое падение значения мощности сигнала с увеличением расстояния и большое затухание сигнала по сравнению с соответствующим затуханием в свободном пространстве. Измерения позволяют считать, что мощность сигнала при наличии объектов на пути распространения сигнала существенно отличается от мощности сигнала в свободном пространстве.

Скорость уменьшения уровня сигнала с расстоянием не изменяется существенно с увеличением высоты антенны. Однако подъем антенны приводит к заметному уменьшению затухания на всех расстояниях. Наиболее полные и систематизированные экспериментальные данные были получены Окамурой в Токио [32].

Зависимость затухания значения мощности относительно свободного пространства от расстояния и частоты, измеренная Окамурой, приведена на рисунке 1.3.

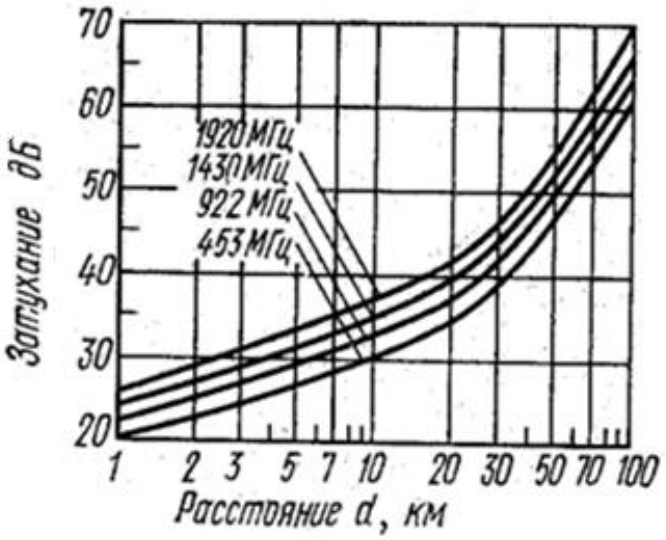


Рисунок 1.3- Зависимость мощности от расстояния и частоты в свободном пространстве

Измерения проводились на частотах 452, 922, 1430, и 1920 МГц при высоте антенны 140 м. При увеличении расстояния до 15 км мощность сигнала относительно ее значения в свободном пространстве падает со скоростью, примерно пропорциональной расстоянию до антенны передающей станции. Последующее увеличение этого расстояния приводит к более быстрому уменьшению уровня сигнала.

Средняя мощность сигнала так же зависит от частоты. Как видно из рисунка 1.3, затухание сигнала в городских районах возрастает с увеличением его частоты.

Выше рассмотренные исследования подтверждают зависимость затухания от расстояния между передатчиком и приемником, и от частоты передачи данных, что визуально можно наблюдать на графиках.

1.5 Определение положения объектов в системе

Для создания полной картины о состоянии проблемы на сегодняшний день, необходимо рассмотреть имеющиеся исследования влияния объектов на распространение радиосигнала и предложенные изобретения (способы).

Известно исследование влияния мебели как объектов на распространение радиосигнала [33]. В доме мебель и другие объекты по своим размерам могут быть равны или превосходить длину волны, что оказывает влияние на распространение радиосигнала. В данной работе рассматривают два положения. Первое, когда дом пуст, второе, когда в доме есть мебель. При сравнении измерений сделанных по ходу эксперимента было сделано заключение, что в действительности мебель влияет на распространение радиосигнала.

Известны исследования, которые дают представление о влиянии на радиосигнал таких объектов как микроволновая печь, сети Wifi, Bluetooth . Для

исследования воздействия технологий работающих в одном диапазоне частот, были выполнены несколько экспериментов с коммерчески доступным оборудованием. Результаты дают примерное представление о взаимных помехах различных систем [34,35]. Результаты данного исследования можно применять при проектировании систем радиосвязи.

Исследования влияний объектов на радиосигнал показали изменения различных характеристик сигнала, что дало возможность применять радиосистемы, для обнаружения объектов, основываясь на изменении параметров. На основе различных исследований влияния объектов на распространение радиосигнала были предложены следующие способы и устройства обнаружения объектов.

Известен способ обнаружения объекта [36], включающий излучение в зону наблюдения электромагнитного сигнала, отражающегося от объекта и от рассеивателя, расположенного за местом нахождения объекта, и принятие решения об обнаружении объекта, осуществляют прием сигнала, формируемого в месте приема, в виде интерференционной картины, как результат сложения сигнала, отраженного от объекта, и сигнала, отраженного от рассеивателя, при этом длительность излучаемого сигнала выбирают исходя из требования об одновременном присутствии упомянутых отраженных сигналов в месте приема, которое может быть как разнесено, так и совмещено с местом излучения, а решение об обнаружении объекта принимают по факту наличия упомянутой интерференционной картины.

Недостатком данного способа является низкая достоверность обнаружения объекта, так как решение о присутствии объекта принимают только по факту наличия интерференционной картины.

Известно устройство обработки радиолокационных сигналов [37]. В нем с помощью анализа максимума огибающей осуществляется определение направления на объект при использовании одноканального приемника с вращающейся диаграммой направленности. Однако при увеличении скорости обзора может быть принято два или один сигнал, который может быть и удлиненный. При этом точность определения направления уменьшается.

Известно устройство обработки радиолокационных сигналов [38]. В нем может осуществляться обработка информации при вращении совмещенных передающей и приемной диаграмм направленности. При этом с выхода приемника выделенные сигналы поступают в блок преобразования амплитуды в код, откуда код поступает на вторую группу входов вычитателя и через блок параллельных линий задержек на первую группу входов этого вычитателя. Величина каждой линии задержки равна, например, максимальному времени запаздывания отраженного сигнала или времени, равному определенной длительности удлиненного сигнала, если он одиночный. Разность от вычитания кодов амплитуд характеризует угловое положение объекта, которое в дальнейшем складывается с текущим значением кода азимута с датчика азимута в сумматоре и истинное значение направления на объект поступает в блок вторичной обработки, осуществляющий построение траектории движения

объектов. Код азимута также поступает на первую группу входов блока вторичной обработки для его использования при наличии других устройств, в частности датчика дальности, код дальности от которого также может поступать в этот блок. Однако точность определения направления зависит от дальности, так как в момент приема сигнала, отраженного от объекта, вращающаяся диаграмма направленности повернется на некоторый угол, что внесет погрешность измерения направления, так как изменится усиление сигнала в связи с нелинейностью диаграммы направленности приемника.

Известен радиоволновой способ обнаружения объекта [39]. Применение данного способа снижает влияние на датчик отражающих свойств поверхностей, прилегающих или находящихся в чувствительной зоне. Направленные навстречу друг другу линейно поляризованные передающие и приемные антенные устройства радиоволнового датчика располагают в пространстве таким образом, что векторы поляризации электромагнитного поля антенных устройств совпадают по направлению и формируются под углами, отличными от 0° и 90° к отражающим поверхностям. В результате в суммарном сигнале на выходе приемной антенны доля отраженной волны снижается и становится минимальной при приближении к 45° угла между вектором поляризации антенн и отражающей поверхностью.

Недостатком данного способа является низкая достоверность обнаружения объекта.

Известен способ обнаружения объектов [40]. В этом способе, включающем облучение зоны наблюдения первым электромагнитным сигналом при достоверном отсутствии объекта в зоне наблюдения. Осуществляют прием и определение характеристик первого электромагнитного сигнала, отраженного от рассеивателя, расположенного за предполагаемым местонахождением объекта в зоне наблюдения. Зону наблюдения облучают вторым электромагнитным сигналом, которым производят текущее зондирование зоны наблюдения при неопределенности факта нахождения в ней объекта. Решение об обнаружении объекта принимают при сравнение характеристик принятого второго электромагнитного сигнала с характеристиками принятого первого электромагнитного сигнала. При этом характеристики первого и второго электромагнитных сигналов совпадают при их излучении. В первом варианте исполнения принимают отраженный от рассеивателя второй электромагнитный сигнал, который, в случае нахождения объекта в зоне наблюдения, дважды проходит через него - на пути распространения от излучателя до рассеивателя и от рассеивателя до приемника, при этом дважды дифрагируя на объекте. После чего, производят сравнение характеристик принятого второго электромагнитного сигнала с характеристиками принятого первого электромагнитного сигнала путем сравнения дифракционно-интерференционной картины. Решение об обнаружении объекта принимают по изменению дифракционно-интерференционной картины, определенной при приеме второго электромагнитного сигнала, сравнительно с дифракционно-

интерференционной картиной, определенной при приеме первого электромагнитного сигнала.

Недостатком данного способа является применение моностатической радиолокации объектов в зоне наблюдения, так как приемник и передатчик ни всегда находятся в одной и той же точке.

Известен способ обнаружения объекта [41]. Способ обнаружения объекта включает излучение радиоимпульсов в зону наблюдения пачек радиоимпульсов с частотой несущего колебания. Данная частота должна быть кратной частоте облучения электронов для предполагаемой реализации запрещенного перехода. Или частоте, соответствующей энергии электрона в невозбужденном состоянии на одном из полностью заполненных энергетических уровней атомов заданного химического элемента, который несет обнаруживаемый объект, прием излученных радиоимпульсов в точках пространства, удаленных от точки излучения и измерение одной из энергетических характеристик принятых радиоимпульсов; решение о наличии объекта в зоне наблюдения принимают по результатам сравнения полученного распределения измеренных в точках приема значений энергетической характеристики радиоимпульсов с ее распределением, соответствующим отсутствию объекта, несущего заданный химический элемент.

Недостатком данного способа является низкая достоверность обнаружения объекта, так как решение о присутствии объекта принимают только по факту наличия определенного химического элемента.

Способ обнаружения объектов, в котором в контролируемой зоне, сформированной вдоль отражающих поверхностей одинаково поляризованными передающим и приемным антенными устройствами, установленными на фиксированном расстоянии от поверхности почвы, включает обработку сигналов, формируемых объектами, перемещающимися в контролируемой зоне, при этом поляризованные передающие и приемные антенные устройства радиоволнового датчика располагаются в пространстве таким образом, что их векторы поляризации совпадают по направлению и формируются под определенным углом к отражающей поверхности [42]. При этом способ позволяет уменьшить влияния прилегающих поверхностей при изменении их отражающих свойств.

Недостатком этого способа, является наличие только одного достоверного выходного сигнала типа «тревога», фиксирующего наличие нарушителя.

Данный материал о состоянии проблемы распространения радиосигнала показывает, что на сигнал влияет множество различных явлений, но влияние подвижных объектов рассмотрено не достаточно, поэтому существует необходимость дополнительного исследования влияния подвижных объектов на распространение радиосигнала.

1.6 Цели и задачи работы

Целью данной работы является исследование влияния подвижных объектов на распространение радиосигнала.

После изучения состояния проблемы можно перейти к следующим задачам:

- составить модель зависимости характеристик объекта от различных возмущений при распространении сигнала;
- привести экспериментальные данные влияния подвижных объектов на радиосигнал;
- определить, как влияет подвижный объект на распространение радиосигнала;
- рассмотреть, как увеличение числа людей на пути распространения сигнала влияет на ослабление радиосигнала;
- рассмотреть, как подвижный объект влияет на распространение сигнала в помещении и в свободном пространстве;
- рассчитать статистические показатели распространения радиосигнала;
- предложить варианты применения полученных результатов;
- сделать выводы о влиянии подвижных объектов на распространение радиосигнала.

2 Модель зависимости характеристики положения объекта от различных возмущении

От положения объекта зависят характеристики радиосигнала, которые имеют свойство изменяться из-за возникающих явлений, таких как интерференция и дифракция. Что бы объяснить изменение характеристик радиосигнала, необходимо рассмотреть как меняется результирующая мощность сигнала при перемещении объекта, рассчитать изменение интенсивности радиосигнала в зависимости от положения объекта, также изменение интенсивности в зависимости от фазы. С помощью полученных результатов видно, как могут меняться показатели мощности, как изменится дисперсия, показаны характеристики зависимости параметров сигнала от положения объекта. Рассмотрены двулучевая модель распространения сигнала и многолучевая модель, а также представлены выводы. Задачей является построение модели зависимости характеристики положения объекта, от различных возмущении.

2.1 Двулучевая модель распространения сигнала

Мощность сигнала при интерференции двух сигналов, при разных путях распространения сигналов будет соответствовать следующей зависимости [43]:

$$I = I_1 + I_2 + I_{инт} = I_1 + I_2 \pm 2\sqrt{I_1 \cdot I_2} \cdot \gamma \cos \Delta\varphi = I_1 + I_2 \pm 2\sqrt{I_1 \cdot I_2} \cdot \gamma \cos \frac{2\pi(S+\Delta S)}{\lambda} \quad (2.1)$$

где I – результирующая мощность радиосигнала,

I_1,I_2 –первая и вторая составляющие мощности интерференции сигналов,

$I_{инт}$ - интерференционная функция,

S-разность хода прохождения сигналов,

ΔS- изменение разности хода сигналов,

λ - длина волны сигнала,

γ- степень когерентности,

$\Delta\varphi$- разность фаз.

В выражении (2.1) составляющая $I_{инт}=2\sqrt{I_1 I_2}\gamma\cos(2\pi(S+\Delta S)/\lambda)$ рассматривается как интерференционная функция, которая характеризует влияние двулучевого распространения сигналов на результирующий сигнал.

Две особенности соответствуют уравнению (2.1) при интерференции двулучевого сигнала и позволяют повысить надежность определения наличия нарушителя. Первая особенность - имеют место ослабляющая или

усиливающая интерференция и, соответственно, минимум и максимум выражения (2.1):

а) если разность хода лучей равна целому числу длин волн или взаимодействующие волны имеют равные фазы φ в рамках одной длины волны, то суммарный сигнал двух лучей максимален, при этом происходит усиление суммарного сигнала (усиливающая интерференция);

б) если разность фаз φ сигналов близка к 180^0, то амплитуда суммарного сигнала может стать минимальной (ослабляющая интерференция). Плавное чередование слабо выраженных максимумов и минимумов мощности сигнала характеризует двулучевое распространение (замирание) сигнала в зависимости от разности хода сигналов.

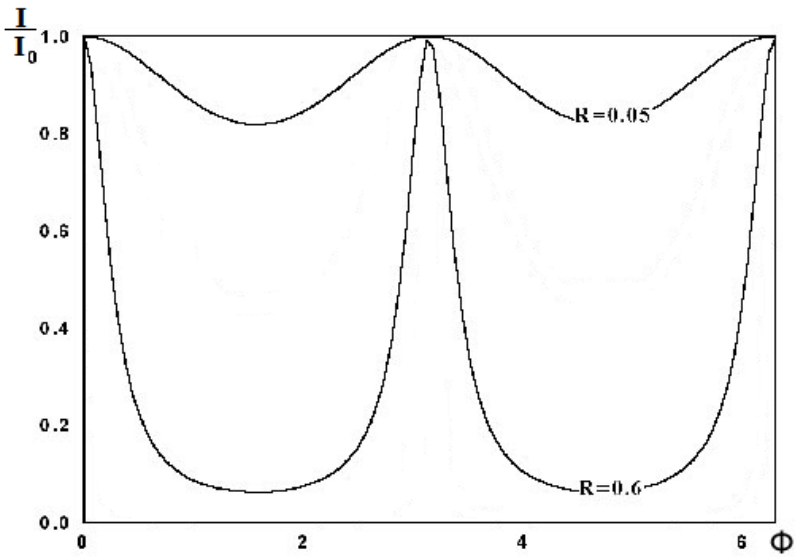
Вторая особенность - существуют области низкой и высокой чувствительности мощности приемника к изменению величин ΔS, определяющих быстрые замирания:

а) область низкой чувствительности, если изменение ΔS соответствует участку максимума или минимума косинусоидальной функции, т. е. (фаза близка к 0^0, крутизна функции минимальна);

б) область высокой чувствительности, если изменение ΔS соответствует участку характеристики косинусоидальной функции с высокой крутизной (фаза близка к 90^0).

Изменения величины колебаний быстрых замираний, можно в этом случае, характеризовать значением дисперсии D_p, которую можно использовать в качестве дополнительного параметрам случайного процесса для фиксации наличия нарушителя.

При наличии нарушителя с размерами контура тела, превышающими длину волны, имеет место дифракция сигнала, которая существенно изменяет результирующий уровень мощности и глубину быстрых замираний сигнала приемника за счет многолучевого распространения. Для многолучевого распространения сигнала интерференционная картина формируется в виде суммы влияния всех составляющих. Напряженность поля включает узкие участки с большой интенсивностью результирующего сигнала, которые разделены широким участком с низкой напряженностью поля, представлены на рисунке 2.1 [44].



R- величина, пропорциональная количеству лучей;

Ф – фазовый сдвиг (радиан);

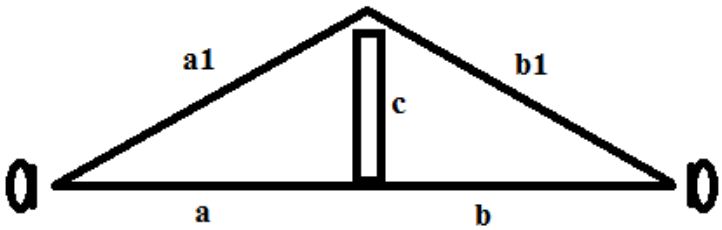
$\frac{I}{I_0}$ - относительная мощность сигнала приемника.

Рисунок 2.1 – Интерференционная картина

При этом также как для случая отсутствия нарушителя эти участки являются областями с большой или малой чувствительностью к изменению характеристик ΔS. Значение дисперсии D_p, которое для процесса с многолучевым распространением значительно увеличивается по сравнению с двулучевым распространением, можно использовать для оценки наличия нарушителя.

2.1.1 Расчет разности фаз между огибающим объект лучом и прямым лучом.

Для построения модели распространения сигнала необходимо вычислить разность фаз между огибающим объект лучом и прямым лучом. Распространение лучей можно увидеть на рисунке 2.2.



a- расстояние от передатчика до объекта, когда луч прямой,

b- расстояние от объекта до приемника, когда луч прямой,

a1- расстояние от передатчика до объекта когда луч огибает объект,

b1- расстояние от объекта до приемника когда луч огибает объект,

c - ширина объекта.

Рисунок 2.2 – Прямой луч и огибающий объект луч

Разность фаз распространения прямого и огибающего лучей находится по формуле:

$$\cos\left(2\pi \cdot \frac{L}{\lambda}\right), \tag{2.2}$$

где λ- длина волны,

L - разница между прямым лучом и огибающим объект, она равна

$$L = (a1 - a) + (b1 - b) \quad (м). \tag{2.3}$$

После того как будет рассчитана разница длин между лучами, можно найти разность фаз. Для построения модели необходимо взять различную ширину объектов, например 0.4 м., 0.6 м ., 0.8 м. Расчет произведен с помощью программы Mathcad 14.

1) Ширина объекта 0.4 м, рассчитаем длину пути, который проходит луч при различном расположении объекта. По формулам:

$$a1 = \sqrt{a^2 + c^2} \text{ (м)}, \tag{2.4}$$

$$b1 = \sqrt{b^2 + c^2} \text{ (м)}. \tag{2.5}$$

Объект от передатчика на расстоянии 2.5 метра, тогда:

$$a1 = \sqrt{2{,}5^2 + 0{,}4^{\,2}} = 2{,}532 \text{ (м)}.$$

Расстояние от объекта до приемника17.5 метров, тогда:

$$b1 = \sqrt{17{,}5^2 + 0{,}4^2} = 17{,}505 \text{ (м)}.$$

Находим разницу между прямым лучом и огибающим объект:

$$L = (2{,}532-2{,}5) + (17{,}505-17{,}5) = 0{,}036 \text{ (м)}.$$

Найдем разность фаз этих лучей по формуле 2.2:

$$\cos\left(2\pi \cdot \frac{0{,}036}{0{,}12}\right) = -0{,}327 \text{ радиан} = -18{,}754 \text{ градус}.$$

Объект от передатчика на расстоянии 5 метров, тогда:

$$a1 = \sqrt{5^2 + 0{,}4^{\,2}} = 5{,}016 \text{ (м)}.$$

Расстояние от объекта до приемника 15 метров, тогда:

$$b1 = \sqrt{15^2 + 0{,}4^2} = 15{,}005 \text{ (м)}.$$

Находим разницу между прямым лучом и огибающим объект:

L = (5,016-5) + (15,005-15) = 0,021 (м).

Найдем разность фаз этих лучей по формуле 2:

$$\cos\left(2\pi \cdot \frac{0{,}021}{0{,}12}\right) = 0{,}44 \text{ радиан} = 25{,}188 \text{ градус}.$$

Объект от передатчика на расстоянии 7.5 метра, тогда:

$$a1 = \sqrt{7{,}5^2 + 0{,}4^{\,2}} = 7{,}511 \text{ (м)}.$$

Расстояние от объекта до приемника 12.5 метров, тогда:

$$b1 = \sqrt{12{,}5^2 + 0{,}4^2} = 12{,}506 \text{ (м)}.$$

Тогда разница между прямым лучом и огибающим объект равна:

L= (7,511-7,5) + (12,506-12,5) = 0,017 (м).

Найдем разность фаз этих лучей по формуле:

$$\cos\left(2\pi \cdot \frac{0{,}017}{0{,}12}\right) = 0{,}627 \text{ радиан} = 35{,}923 \text{ градус}.$$

Объект от передатчика на расстоянии 10 метра, тогда:

$$a1 = \sqrt{10^2 + 0{,}4^{\,2}} = 10{,}008 \text{ (м)}.$$

Если расстояние от объекта до приемника равно тоже 10 метрам, тогда $a_1 = b_1$.

Тогда разница между прямым лучом и огибающим объект равна

L= (10,008-10) + (10,008-10) = 0,016 (м).

Найдем разность фаз этих лучей по формуле:

$$\cos\left(2\pi \cdot \frac{0{,}016}{0{,}12}\right) = 0{,}669 \text{ радиан} = 38{,}353 \text{ градус.}$$

2) Ширина объекта 0.6 м, рассчитаем длину пути, который проходит луч при различном расположении объекта. По формулам 2.4 и 2.5.

Объект от передатчика на расстоянии 2.5 метра, тогда:

$$a1 = \sqrt{2{,}5^2 + 0{,}6^{\,2}} = 2{,}571 \text{ (м).}$$

Расстояние от объекта до приемника 17.5 метров, тогда:

$$b1 = \sqrt{17{,}5^2 + 0{,}6^2} = 17{,}510 \text{ (м).}$$

Тогда разница между прямым лучом и огибающим объект равна:

L= (2,571-2,5)+(17,510-17,5)=0.081 (м).

Найдем разность фаз этих лучей по формуле:

$$\cos\left(2\pi \cdot \frac{0{,}081}{0{,}12}\right) = -0{,}441 \text{ радиан} = -25{,}275 \text{ градус.}$$

Объект от передатчика на расстоянии 5 метров, тогда:

$$a1 = \sqrt{5^2 + 0{,}6^{\,2}} = 5{,}036 \text{ (м).}$$

Расстояние от объекта до приемника 15 метров, тогда:

$$b1 = \sqrt{15^2 + 0{,}6^2} = 15{,}012 \text{ (м).}$$

Тогда разница между прямым лучом и огибающим объект равна:

L= (5,036-5) + (15,012-15)=0,048 (м).

Найдем разность фаз этих лучей по формуле:

$$\cos\left(2\pi \cdot \frac{0{,}048}{0{,}12}\right) = -0{,}805 \text{ радиан} = -46{,}117 \text{ градус.}$$

Объект от передатчика на расстоянии 7.5 метра, тогда:

$$a1 = \sqrt{7{,}5^2 + 0{,}6^{\,2}} = 7{,}524 \text{ (м).}$$

Расстояние от объекта до приемника 12.5 метров, тогда:

$$b1 = \sqrt{12{,}5^2 + 0{,}6^2} = 12{,}514 \text{ (м)}.$$

Тогда разница между прямым лучом и огибающим объект равна:

L= (7,524-7,5) + (12,514-12,5)=0,038 (м).

Найдем разность фаз этих лучей по формуле:

$$\cos\left(2\pi \cdot \frac{0{,}038}{0{,}12}\right) = -0{,}424 \text{ радиан} = -24{,}269 \text{ градус}.$$

Объект от передатчика на расстоянии 10 метров, тогда:

$$a1 = \sqrt{10^2 + 0{,}6^{\,2}} = 10{,}018 \text{ (м)}.$$

Расстояние от объекта до приемника равно тоже 10 метрам, тогда $a_1 = b_1$.
Тогда разница между прямым лучом и огибающим объект равна:

L= (10,018-10) + (10,018-10)=0,036 (м).

Найдем разность фаз этих лучей по формуле:

$$\cos\left(2\pi \cdot \frac{0{,}036}{0{,}12}\right) = -0{,}307 \text{ радиан} = -17{,}613 \text{ градус}.$$

3) Ширина объекта 0.8 м, рассчитаем длину пути, который проходит луч при различном расположении объекта. По формулам 2.4 и 2.5.

Объект от передатчика на расстоянии 2.5 метров, тогда:

$$a1 = \sqrt{2{,}5^2 + 0{,}8^{\,2}} = 2{,}625 \text{ (м)}.$$

Расстояние от объекта до приемника 17.5 метров, тогда:

$$b1 = \sqrt{17{,}5^2 + 0{,}8^2} = 17{,}518 \text{ (м)}.$$

Тогда разница между прямым лучом и огибающим объект равна:

L= (2,625-2,5) + (17,518-17,5)=0,143 (м).

Найдем разность фаз этих лучей по формуле:

$$\cos\left(2\pi \cdot \frac{0{,}143}{0{,}12}\right) = 0{,}351 \text{ радиан} = 20{,}092 \text{ градус.}$$

Объект от передатчика на расстоянии 5 метров, тогда:

$$a1 = \sqrt{5^2 + 0{,}6^{\,2}} = 5{,}064 \text{ (м).}$$

Расстояние от объекта до приемника 15 метров, тогда:

$$b1 = \sqrt{15^2 + 0{,}6^2} = 15{,}021 \text{ (м).}$$

Тогда разница между прямым лучом и огибающим объект равна:

L= (5,064-5) + (15,021-15)=0,085 (м).

Найдем разность фаз этих лучей по формуле:

$$\cos\left(2\pi \cdot \frac{0{,}085}{0{,}12}\right) = -0{,}263 \text{ радиан} = -15{,}079 \text{ градус.}$$

Объект от передатчика на расстоянии 7.5 метра, тогда:

$$a1 = \sqrt{7{,}5^2 + 0{,}8^{\,2}} = 7{,}543 \text{ (м).}$$

Расстояние от объекта до приемника 12.5 метров, тогда:

$$b1 = \sqrt{12{,}5^2 + 0{,}8^2} = 12{,}526 \text{ (м).}$$

Тогда разница между прямым лучом и огибающим объект равна:

L= (7,543 - 7,5) + (12,526 - 12,5)=0,068 (м).

Найдем разность фаз этих лучей по формуле:

$$\cos\left(2\pi \cdot \frac{0{,}069}{0{,}12}\right) = -0{,}911 \text{ радиан} = -52{,}195 \text{ градус.}$$

Объект от передатчика на расстоянии 10 метров, тогда:

$$a1 = \sqrt{10^2 + 0{,}8^{\,2}} = 10{,}032 \text{ (м).}$$

Расстояние от объекта до приемника равно тоже 10 метрам, тогда $a_1 = b_1$.

Тогда разница между прямым лучом и огибающим объект равна

$$L = (10{,}032-10) + (10{,}032-10) = 0{,}064 \text{ (м)}.$$

Найдем разность фаз этих лучей по формуле:

$$\cos\left(2\pi \cdot \frac{0{,}064}{0{,}12}\right) = -0{,}979 \text{ радиан} = -56{,}107 \text{ градус}.$$

Представим результаты в таблице 1.

Т а б л и ц а 1 – Результаты расчетов разности фаз

Ширина объекта	0.4 м		0.6 м		0.8 м	
Расстояние	радианы	градусы	радианы	градусы	радианы	градусы
2.5	-0,327	-18,754	-0,441	-25,275	0,351	20,092
5	0,44	25,188	-0,805	-46,117	-0,263	-15,079
7.5	0,627	35,923	-0,424	-24,269	-0,911	-52,195
10	0,669	38,353	-0,307	-17,613	-0,979	-56,107
12.5	0,627	35,923	-0,424	-24,269	-0,911	-52,195
15	0,44	25,188	-0,805	-46,117	-0,263	-15,079
17.5	-0,327	-18,754	-0,441	-25,275	0,351	20,092

По данным результатам построим зависимости разности фаз от расстояния, рисунок 2.3.

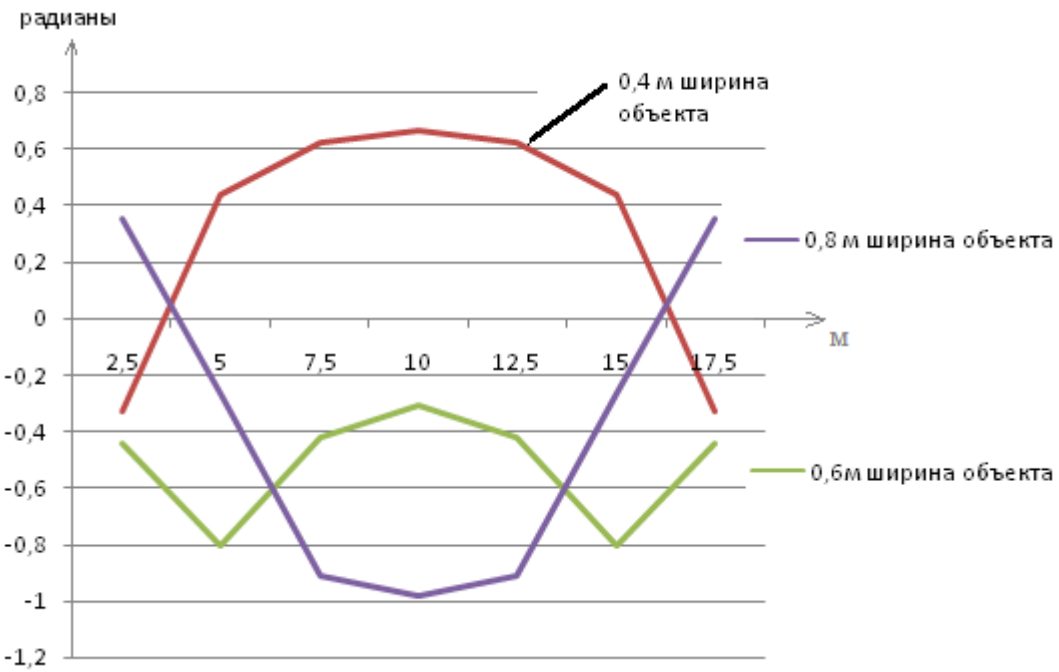


Рисунок 2.3- Зависимость разности фаз от расстояния

Из рисунка видно, что наблюдается изменение напряженности поля. Видны максимумы и минимумы. То есть, если волны приходят на приемник с одинаковыми фазами, то разность фаз равна 0 и наблюдается максимум значения.

2.1.2 Расчет угловой дисперсии и углового расстояния.

По формуле угловой дисперсии получим, зависимости, характеризующие интерференционную картину.

$$\frac{\partial\varphi}{\partial\lambda} = -\frac{1}{\lambda \cdot \tan\varphi} \quad . \qquad (2.6)$$

Тогда

$$\frac{\partial\varphi}{\partial\lambda} = -\frac{1}{\lambda \cdot \tan\left(2\pi \cdot \frac{L}{\lambda}\right)}, \qquad (2.7)$$

где λ- длина волны,

L - разница между прямым лучом и огибающим объект, находится по формуле 2.3.

Для построения модели необходимо взять различную ширину объектов, например 0.4 м, 0.6 м, 0.8м. Расчет произведен с помощью программы Mathcad 14 рисунок 2.4 и рисунок 2.5.

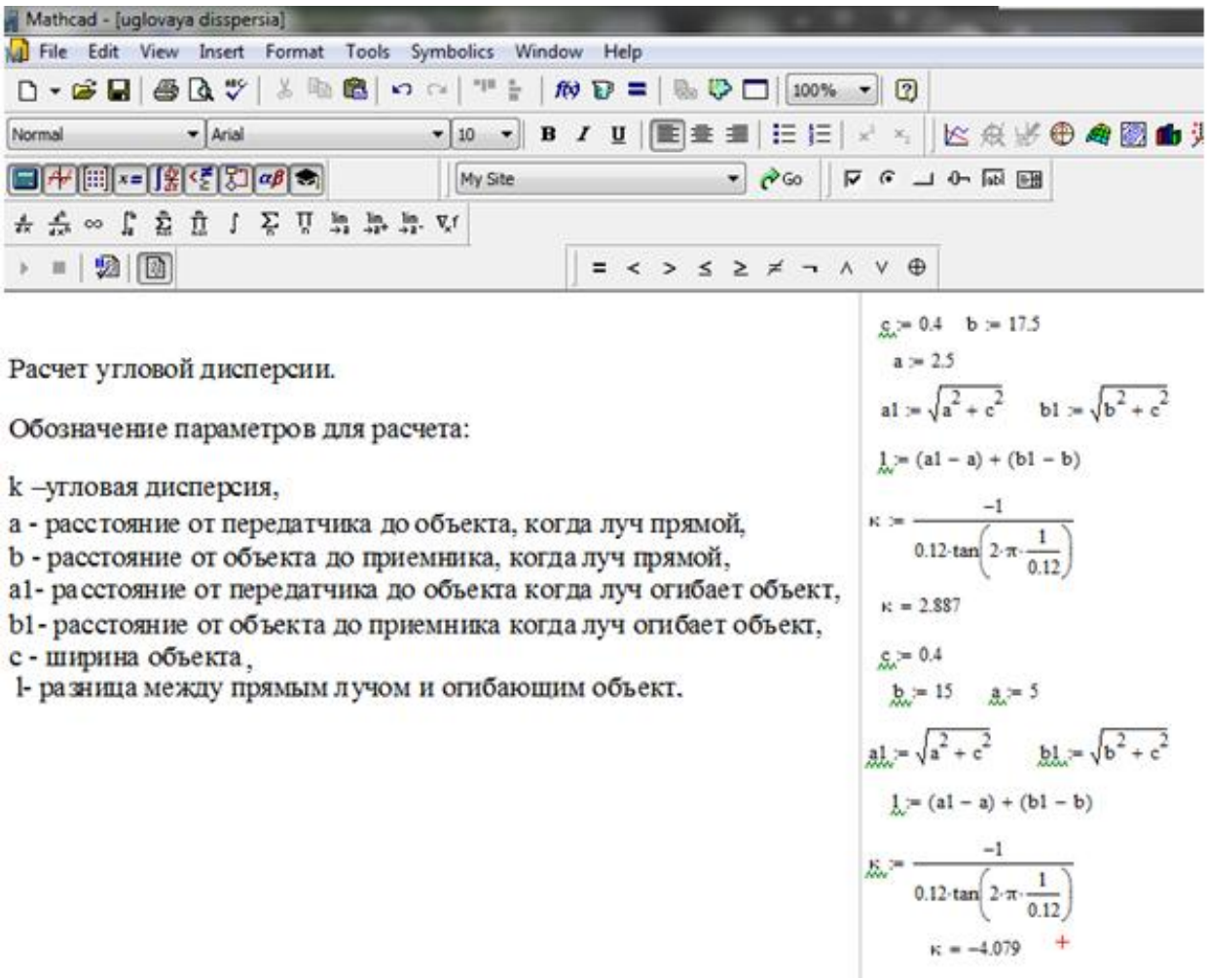


Рисунок 2.4- Расчет угловой дисперсии в программе Mathcad 14 при ширине объекта c = 0.4 м.

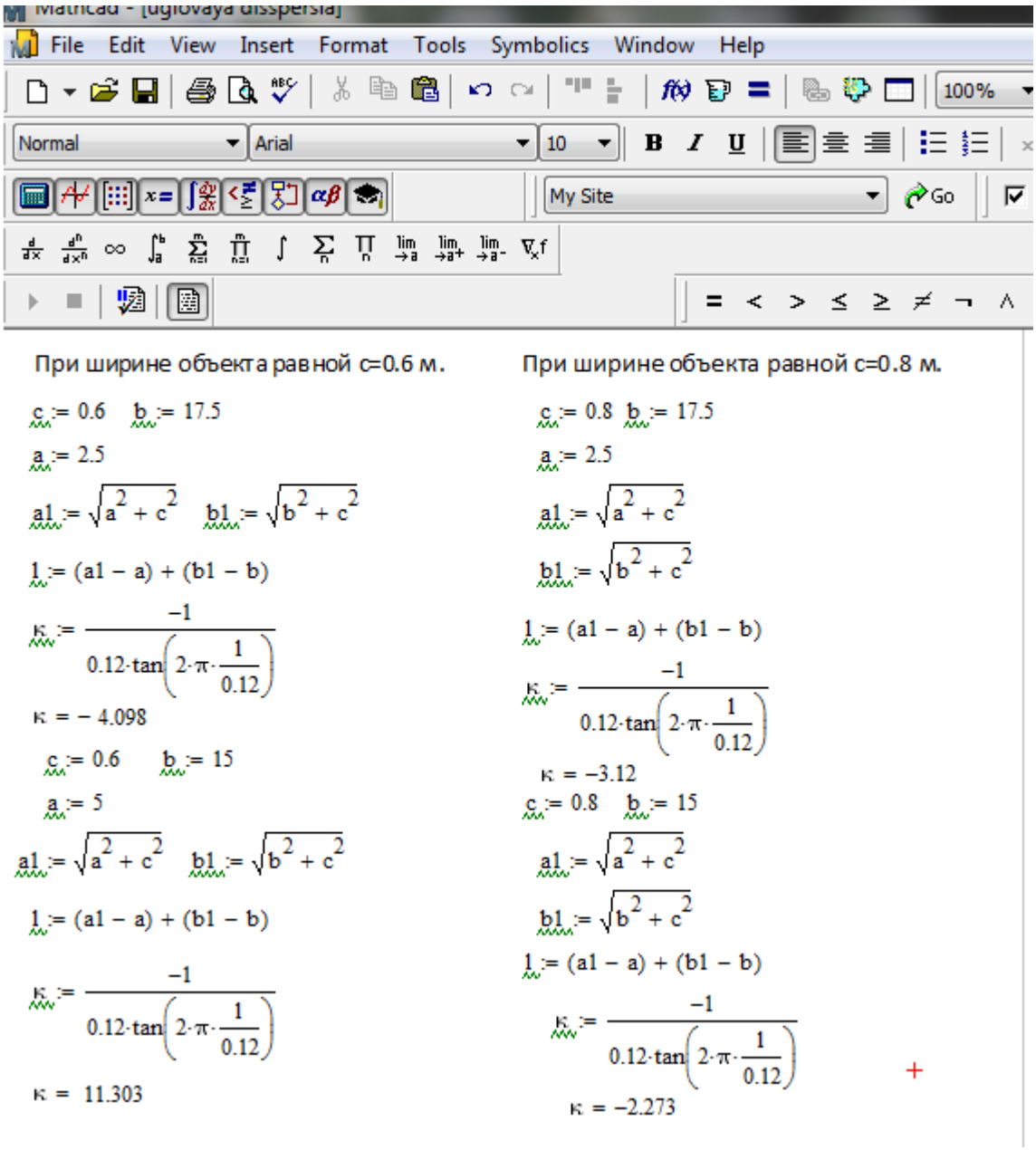


Рисунок 2.5- Расчет угловой дисперсии в программе Mathcad 14 при ширине объекта с = 0.6 м и с = 0.8 м.

Результаты представлены в таблице 2 и на рисунке 2.6.

Таблица 2 – Значения угловой дисперсии в зависимости от расстояния (r) и ширины объекта (c).

c \ r	2,5	5	7,5	10	12,5	15	17,5
0,4	2,887	-4,079	-6,707	-7,508	-6,707	-4,079	2,887
0,6	-4,098	11,303	3,897	2,692	3,897	11,303	-4,098
0,8	-3,12	-2,273	-18,405	-40,267	-18,405	-2,273	-3,12

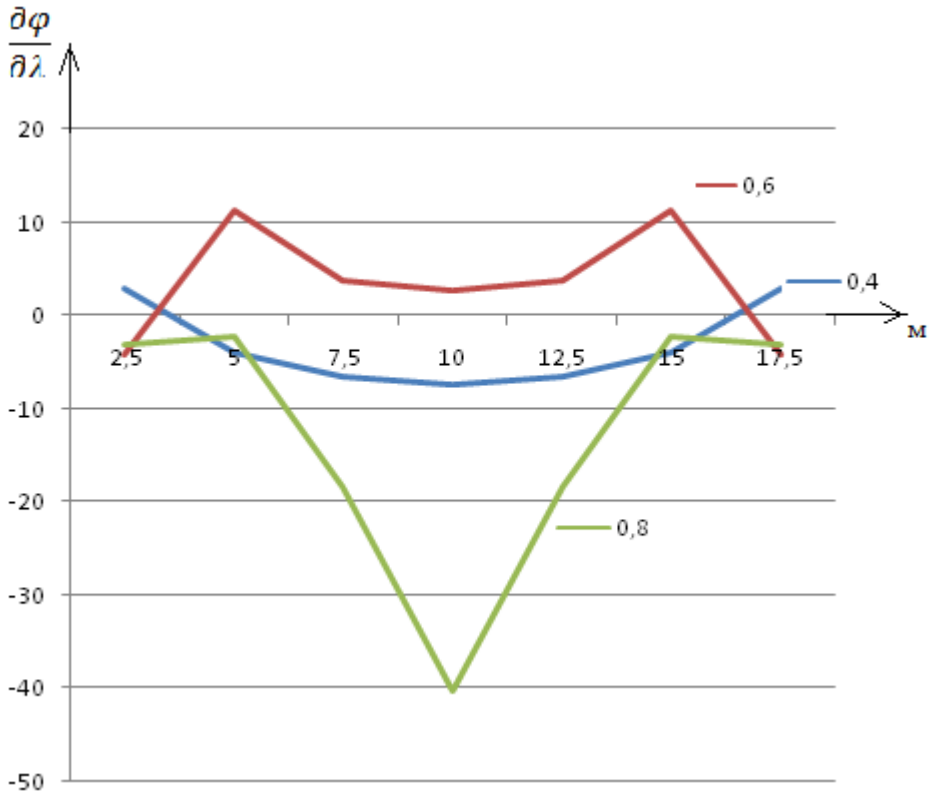


Рисунок 2.6- Изменение угловой дисперсии в зависимости от ширины объекта.

Из рисунка 2.6 следует важный практический вывод: по мере удаления от центра интерференционной картины угловая дисперсия изменяется.

Найдем угловое расстояние между соседними порядками по формуле

$$\Delta\varphi = \frac{\lambda}{2h \cdot \sin\left(2\pi \cdot \frac{L}{\lambda}\right)}, \qquad (2.8)$$

где λ- длина волны,

L - разница между прямым лучом и огибающим объект, формула 2.3,

h - расстояние между приемником и передатчиком (20 м).

Для построения модели необходимо взять различную ширину объектов, например 0.4 м, 0.6 м, 0.8 м.

Расчет произведен с помощью программы Mathcad 14 рисунок 2.7 и рисунок 2.8.

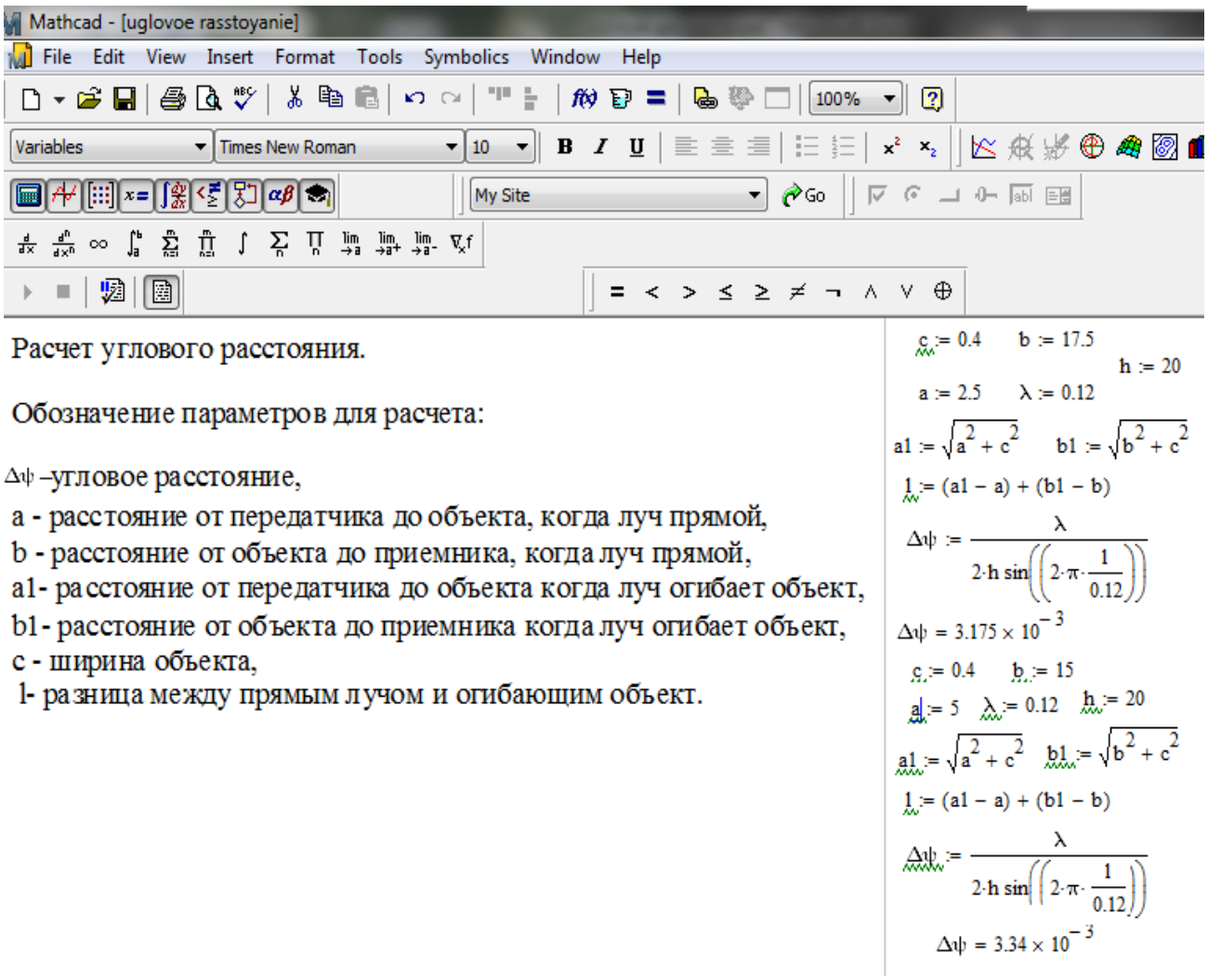


Рисунок 2.7- Расчет углового расстояния в программе Mathcad 14 при ширине объекта с = 0.4 м.

При ширине объекта равной c=0.6 м.

$c := 0.6 \quad b := 12.5$

$a := 7.5 \quad \lambda := 0.12 \quad h := 20$

$a1 := \sqrt{a^2 + c^2} \quad b1 := \sqrt{b^2 + c^2}$

$l := (a1 - a) + (b1 - b)$

$$\Delta\psi := \frac{\lambda}{2 \cdot h \sin\left(\left(2 \cdot \pi \cdot \frac{1}{0.12}\right)\right)}$$

$\Delta\psi = 3.312 \times 10^{-3}$

$c := 0.6 \quad b := 10$

$a := 10 \quad \lambda := 0.12 \quad h := 20$

$a1 := \sqrt{a^2 + c^2} \quad b1 := \sqrt{b^2 + c^2}$

$l := (a1 - a) + (b1 - b)$

$$\Delta\psi := \frac{\lambda}{2 \cdot h \sin\left(\left(2 \cdot \pi \cdot \frac{1}{0.12}\right)\right)}$$

$\Delta\psi = 3.153 \times 10^{-3}$

При ширине объекта равной c=0.8 м.

$c := 0.8 \quad b := 12.5$

$a := 7.5 \quad \lambda := 0.12 \quad h := 20$

$a1 := \sqrt{a^2 + c^2} \quad b1 := \sqrt{b^2 + c^2}$

$l := (a1 - a) + (b1 - b)$

$$\Delta\psi := \frac{\lambda}{2 \cdot h \sin\left(\left(2 \cdot \pi \cdot \frac{1}{0.12}\right)\right)}$$

$\Delta\psi = -7.273 \times 10^{-3}$

$c := 0.8 \quad b := 10$

$a := 10 \quad \lambda := 0.12 \quad h := 20$

$a1 := \sqrt{a^2 + c^2} \quad b1 := \sqrt{b^2 + c^2}$

$l := (a1 - a) + (b1 - b)$

$$\Delta\psi := \frac{\lambda}{2 \cdot h \sin\left(\left(2 \cdot \pi \cdot \frac{1}{0.12}\right)\right)}$$

$\Delta\psi = -0.015$

Рисунок 2.8- Расчет углового расстояния в программе Mathcad 14 при ширине объекта c = 0.6 м и c = 0.8 м .

Результаты представлены в таблице 3 и на рисунке 2.9.

Таблица 3 - Значения углового расстояния между соседними порядками в зависимости от расстояния (r) и ширины объекта (c).

r	2,5	5	7,5	10	12,5	15	17,5
c = 0.4 м	0,003175	0,00334	0,003851	0,004038	0,003851	0,00334	0,003175
c = 0.6 м	-0,00334	0,005055	0,003312	0,003153	0,003312	0,005055	-0,00334
c = 0.8 м	0,003203	-0,00311	-0,00727	-0,015	-0,00727	-0,00311	0,003203

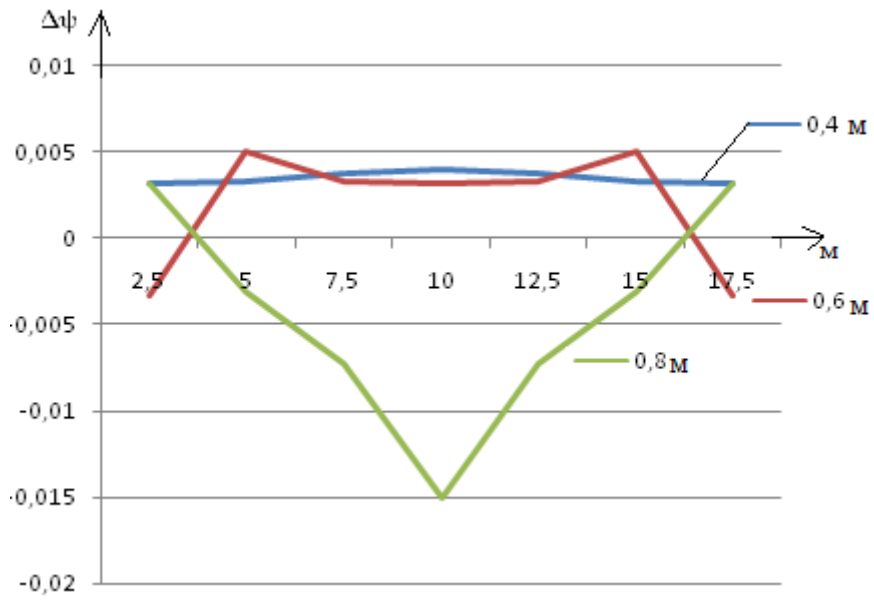


Рисунок 2.9- Угловое расстояние

Из рисунка 2.9 видно, как изменяется угловое расстояние в зависимости от положения объекта.

2.2 Многолучевая модель распространения сигнала

При суперпозиции большого числа волн распределение интенсивности в интерференционной картине существенно меняется: образуются узкие максимумы. Благодаря этому многолучевая интерференция получила важные практические применения. При многолучевом моделировании сигнала необходимо определить отношение интенсивности сигнала к максимальному значению интенсивности в зависимости от разницы хода между прямым лучом и огибающим объект, а также в зависимости от фазы.

Рассмотрим формулу отношения интенсивности сигнала к максимальному значению интенсивности [44]:

$$\frac{I_{\varphi,\lambda}}{I_{max}} = \frac{(1-R)^2}{(1-R)^2 + 4R\sin^2\left(\frac{\varphi}{2}\right)}. \qquad (2.9)$$

Тогда, так как:

$$\varphi = 2\pi \cdot \frac{\mathrm{L}}{\lambda},$$

где λ- длина волны,

L - разница между прямым лучом и огибающим объект (формула 2.3),

R – коэффициент отражения.

Имеем:

$$\frac{I_{\varphi,\lambda}}{I_{max}} = \frac{(1-R)^2}{(1-R)^2 + 4R\sin^2\left(\pi \cdot \frac{L}{\lambda}\right)}. \qquad (2.10)$$

Объект появляется между приемником и передатчиком на различных расстояниях от передатчика. Ширина объекта равна с = 0.4 м.

Результаты для расположения передатчика и приемника на расстоянии 20 метров, представлены в таблице 4 и на рисунке 2.10.

Таблица 4 – Расчет интенсивности радиосигнала на расстоянии между приемником и передатчиком 20 метров.

Расстояние от передатчика до объекта		2.5 м	5 м	7.5 м	10 м	12.5 м	15 м	17.5 м
Коэф. отражения	R=0,05	0,872	0,942	0,96	0,965	0,96	0,942	0,872
	R=0,2	0,547	0,741	0,811	0,829	0,811	0,741	0,547
	R=0,5	0,158	0,308	0,401	0,431	0,401	0,308	0,158
	R=0,8	0,018	0,043	0,063	0,07	0,063	0,043	0,018
	R=0,9	0,00416	0,009817	0,015	0,017	0,015	0,009817	0,004168

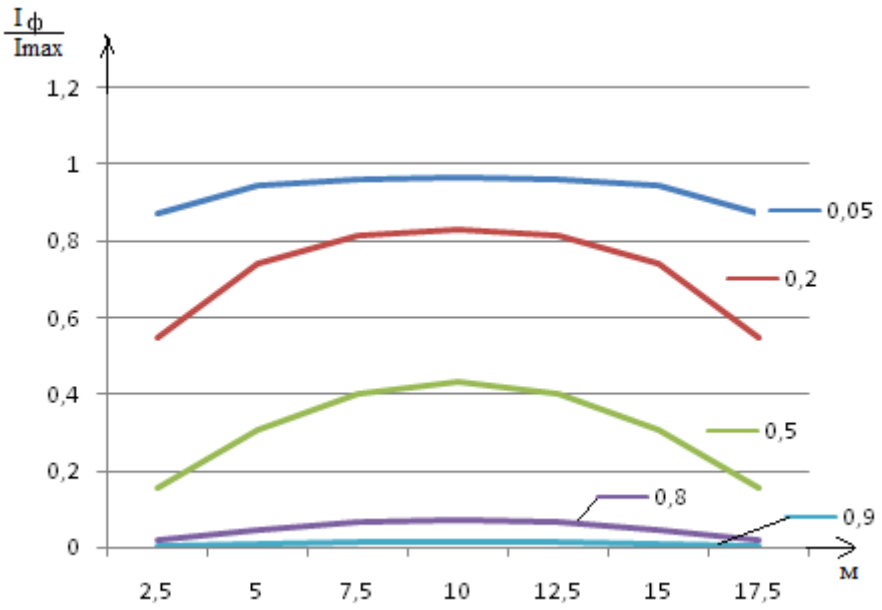


Рисунок 2.10 - Зависимость интенсивности сигнала от положения объекта при расстоянии между приемником и передатчиком 20 метров.

Из рисунка 2.10 видно, что с изменением положения объекта изменяется и интенсивность радиосигнала, также интенсивность радиосигнала изменяется при увеличении коэффициента отражения, по мере увеличения коэффициента отражения интенсивность уменьшается.

При увеличении расстояния между передатчиком и приемником до 60 метров, получены следующие значения. Результаты представлены в таблице 5 и на рисунке 2.11.

Т а б л и ц а 5- Расчет интенсивности радиосигнала на расстоянии между приемником и передатчиком 60 метров.

Расстояние между передатчиком и объектом	Коэффициент отражения						
	R=0.05	R=0.2	R=0.5	R=0.005	R=0.02	R=0.6	R=0.8
5 м	0,959	0,805	0,392	0,996	0,984	0,256	0,06
10 м	0.86	0.928	0.669	0.999	0.995	0.519	0.168
15 м	0.992	0.959	0.785	0.999	0.997	0.661	0.267
20 м	0.995	0.97	0.836	1	0.998	0.732	0.338
25 м	0.995	0.975	0.859	1	0.998	0.765	0.379
30 м	0.996	0.976	0.866	1	0.998	0.775	0.392
35 м	0.995	0.975	0.859	1	0.998	0.765	0.379
40 м	0.995	0.97	0.836	1	0.998	0.732	0.338
45 м	0.992	0.959	0.785	0.999	0.997	0.661	0.267
50 м	0.86	0.928	0.669	0.999	0.995	0.519	0.168
55 м	0.959	0.805	0.392	0.996	0.984	0.256	0.06

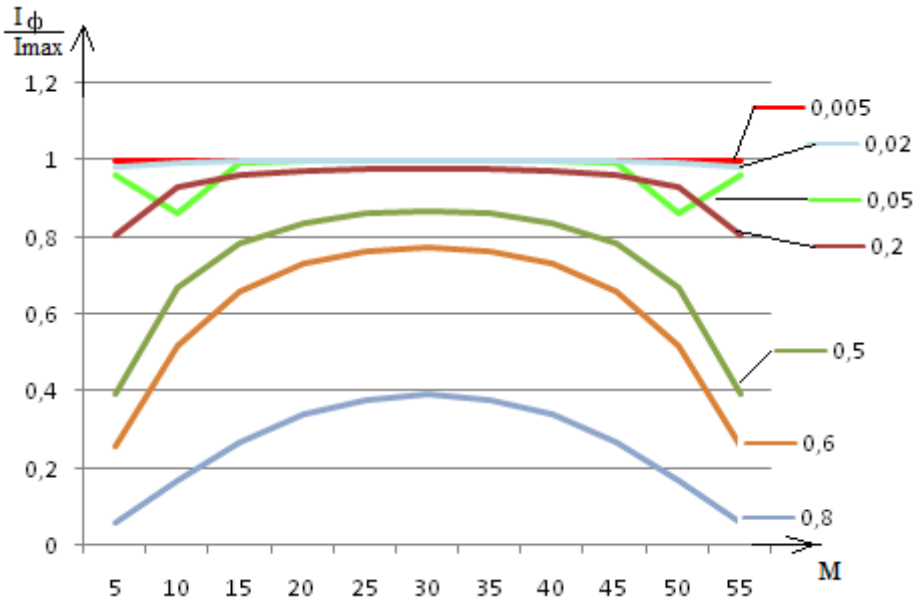


Рисунок 2.11- Зависимость интенсивности сигнала от положения объекта при расстоянии между приемником и передатчиком 60 метров.

Из рисунка 2.11 видно, что при увеличении расстояния между передатчиком и объектом увеличивается значение интенсивности.

Для наглядного изменения интенсивности относительно единицы, найдено отношение интенсивности сигнала к максимальной интенсивности, расчет проведен по данным из таблицы 4 и таблицы 5. Результаты представлены на рисунке 2.12 и рисунке 2.13.

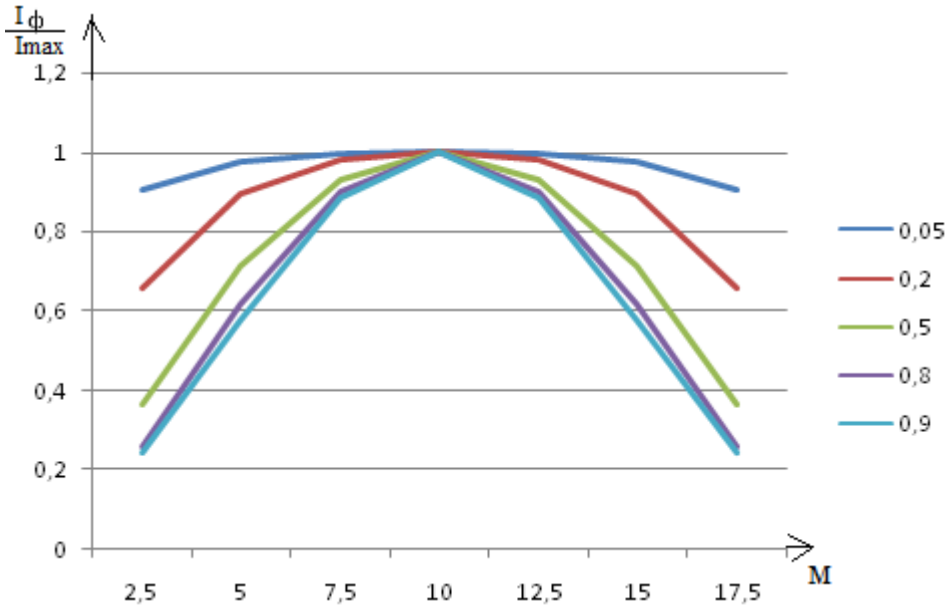


Рисунок 2.12 – Отношение интенсивности сигнала на расстоянии между приемником и передатчиком 20 метров.

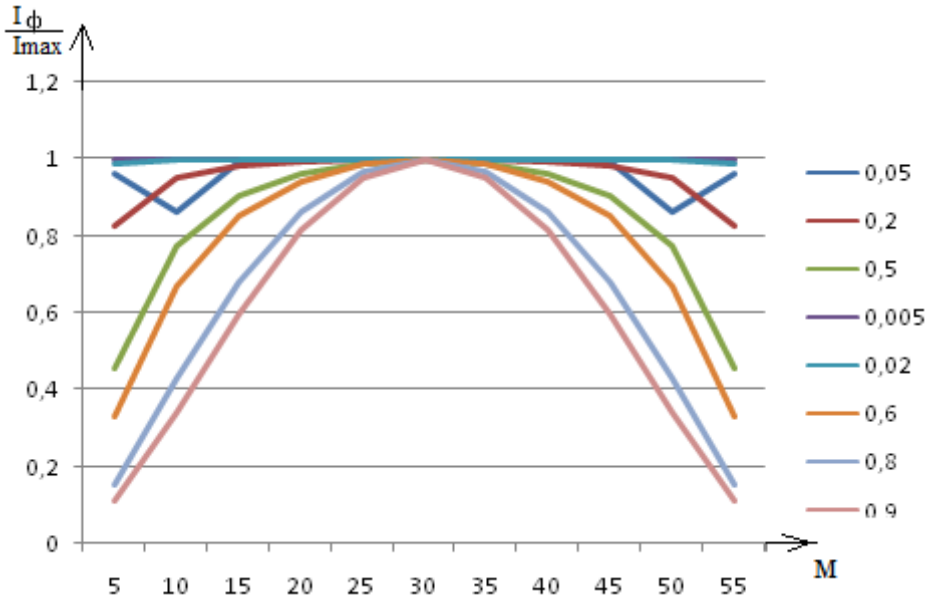


Рисунок 2.13 – Отношение интенсивности сигнала на расстоянии между приемником и передатчиком 60 метров.

Из рисунков 2.12 и 2.13 видно, как меняется интенсивность в зависимости от положения объекта.

Рассмотрим отношения интенсивностей сигналов формула 2.10, в зависимости от фаз. Расчет был проведен с помощью программы Microsoft Visual C# 2010 Express на языке «Си-шарп». Код программы представлен в приложении 5. Расчетная программа представлена на рисунке 2.14.

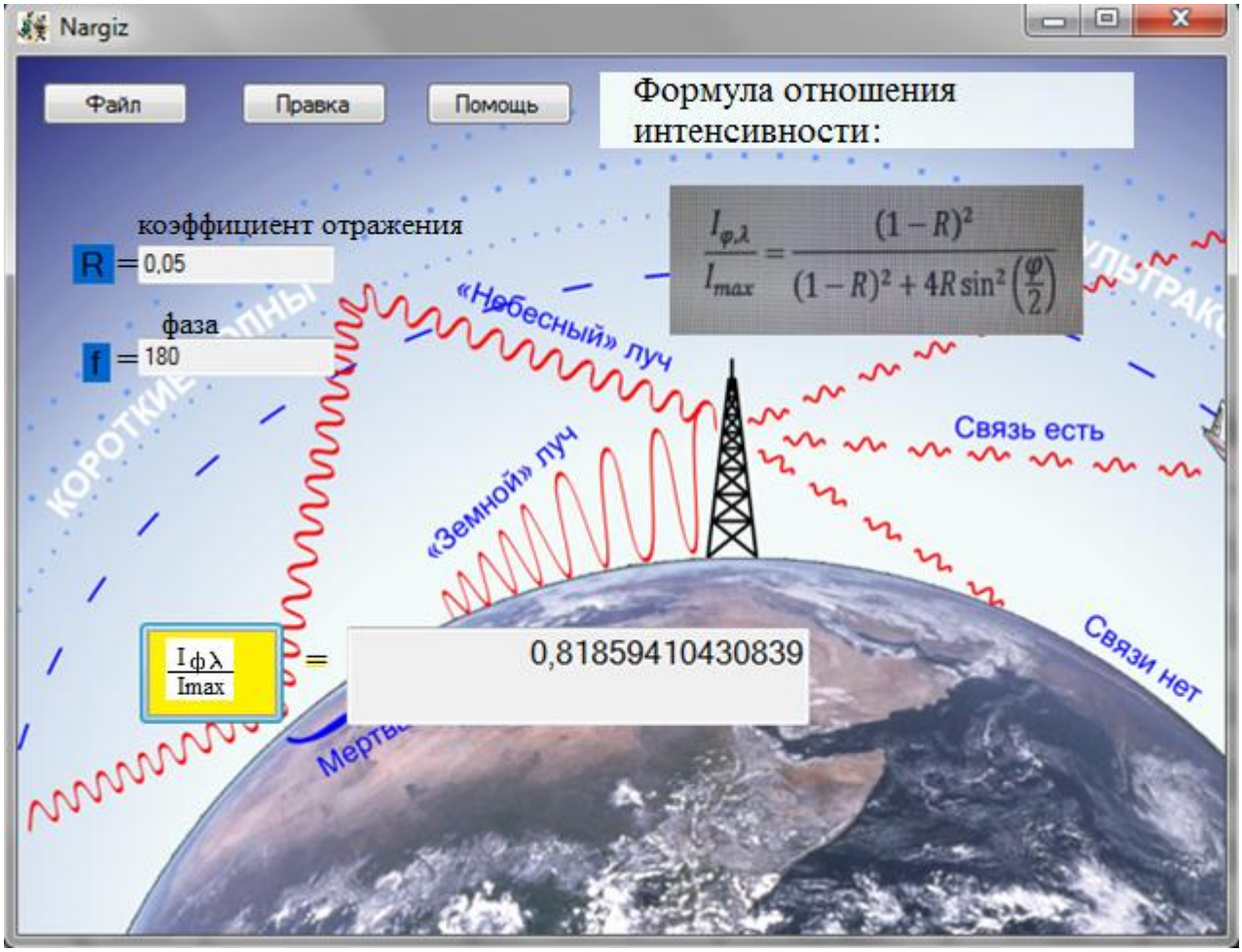


Рисунок 2.14- Программа расчета отношения интенсивности сигналов.

Результаты расчета приведены в таблице 6. Графики функции в зависимости от фазы φ при различных коэффициентах отражения приведены на рисунке 2.15.

Таблица 6 – Значения интерференции в зависимости от фазы

Фаза	Коэф.отр. 0.05	Коэф.отр. 0.5	Коэф.отр. 0.2	Коэф.отр. 0.6	Коэф.отр. 0.8
180	0.819	0.111	0.444	0.063	0.012
210	0.829	0.118	0.462	0.067	0.013
240	0.857	0.143	0.516	0.082	0.016
270	0.9	0.2	0.615	0.118	0.024
300	0.948	0.333	0.762	0.211	0.048
330	0.985	0.651	0.923	0.499	0.157
360	1	1	1	1	1
390	0.985	0.651	0.923	0.499	0.157
420	0.948	0.333	0.762	0.211	0.048
450	0.9	0.2	0.615	0.118	0.024
480	0.857	0.143	0.516	0.082	0.016
510	0.829	0.118	0.462	0.067	0.013
540	0.819	0.111	0.444	0.063	0.012
570	0.829	0.118	0.462	0.067	0.013
600	0.857	0.143	0.516	0.082	0.016
630	0.9	0.2	0.615	0.118	0.024
660	0.948	0.333	0.762	0.211	0.048
690	0.985	0.651	0.923	0.499	0.157
720	1	1	1	1	1
750	0.985	0.651	0.923	0.499	0.157
780	0.948	0.333	0.762	0.211	0.048
810	0.9	0.2	0.615	0.118	0.024
840	0.857	0.143	0.516	0.082	0.016
870	0.829	0.118	0.462	0.067	0.013
900	0.819	0.111	0.444	0.063	0.012
930	0.829	0.118	0.462	0.067	0.013

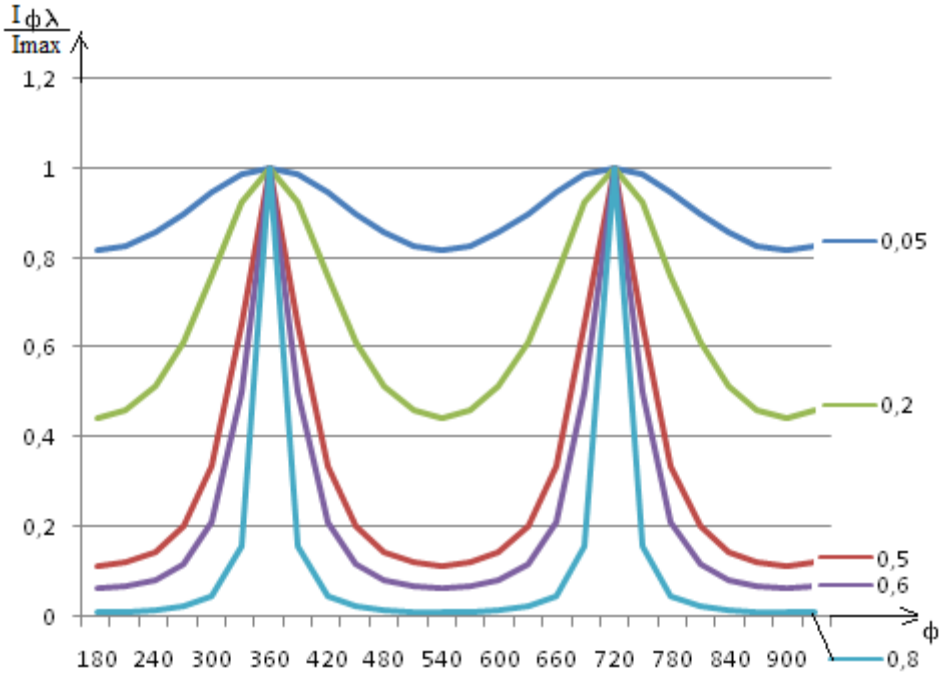


Рисунок 2.15 – График функции $\frac{I_{\varphi,\lambda}}{I_{max}}$ в зависимости от фазы

Из рисунка 2.15 видно, что при увеличении R от 0.005 до 0.8 ширина инструментального контура интерференции уменьшается в 9 раз. Дисперсия сигнала в зависимости от фазы меняется существенно. При 180, 540,900, 360, 720 градусах дисперсия равна малым значениям, при остальных значениях фазы дисперсия резко меняется.

2.3 Выводы

Получены двулучевая и многолучевая модели зависимости характеристики положения объекта, от различных возмущении.

Для двулучевой модели распространения сигнала получены значения разности фаз распространения сигналов, угловой дисперсии, углового расстояния и построены соответствующие зависимости.

Для построения многолучевой модели распространения радиосигнала было рассчитано отношение интенсивности сигнала к максимальному значению интенсивности в зависимости:

- от разницы хода между прямыми и огибающими объект лучами. Расчет интенсивности радиосигнала был произведен с учетом различных коэффициентов, которые характеризуют распространение сигнала (0.05, 0.2, 0.5, 0.8, 0.9).

- в зависимости от фаз распространения сигнала. При увеличении R от 0.05 до 0.8 ширина характеристики интерференции уменьшается в 9 раз.

Двулучевое распространение сигнала характеризует плавное чередование слабо выраженных максимумов и минимумов мощности сигнала в зависимости от разности хода сигналов. Для многолучевого распространения сигнала, напряженность поля включает узкие участки с большой интенсивностью результирующего сигнала, которые разделены широким участком с низкой напряженностью поля.

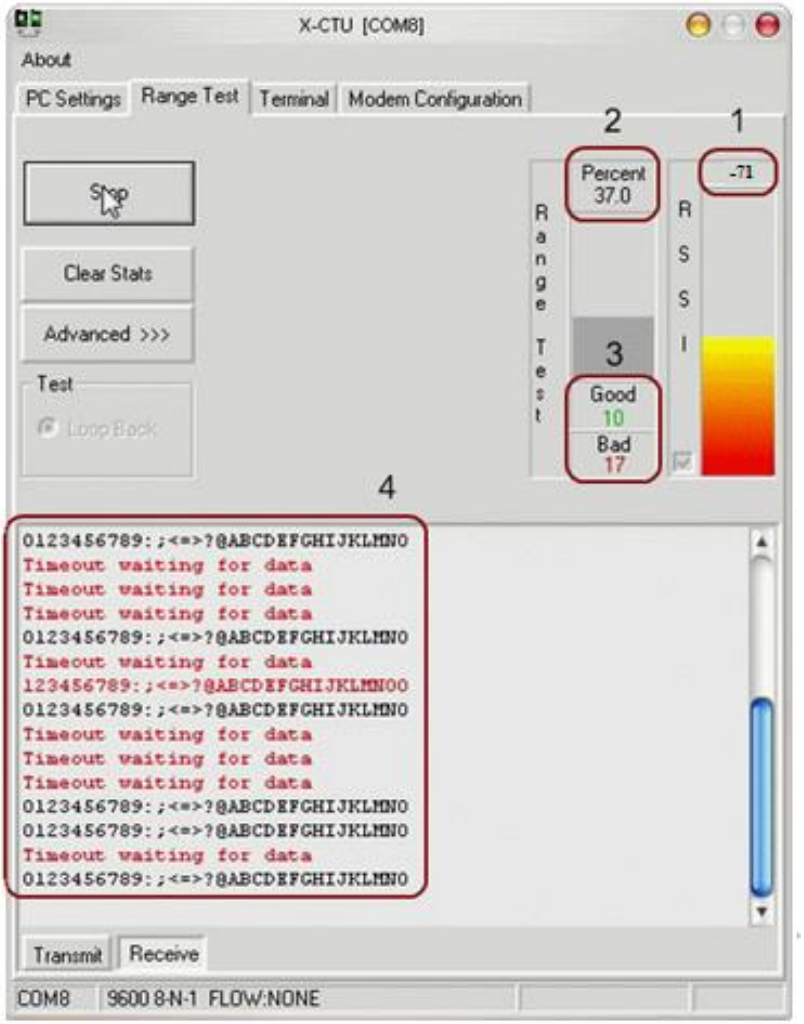
При моделировании распространения радиосигнала рассмотрено изменение интенсивности сигнала в зависимости от разности хода лучей и фаз распространения сигналов. Изменение интенсивности при наличии подвижных объектов в свободном пространстве и помещении целесообразно рассмотреть с помощью экспериментальных исследовании.

3 Экспериментальные исследования

3.1 Оборудование и описание параметров объекта

Для проведения экспериментов использовалось оборудование фирмы Digi – отладочный набор iDigi™ Professional Development Kit ZB, включающий в себя два приемопередающих радиомодуля: XBee S2B и XBee-PRO, две отладочные платы с различными интерфейсами: USB и RS-232, адаптер, X-CTU - программное обеспечение для программирования устройств и настройки сети, техническую документацию на оборудование.

Окно программы представлено на рисунке 3.1.



1 – индикатор уровня принимаемого сигнала;
2 – индикатор коэффициента пакетных ошибок;
3 – индикатор правильно принятых пакетов;
4 – принимаемая тестовая последовательность символов.

Рисунок 3.1 – Программное обеспечение X-CTU (окно «Range test»)

Вид комплекта представлен на рисунке 3.2.

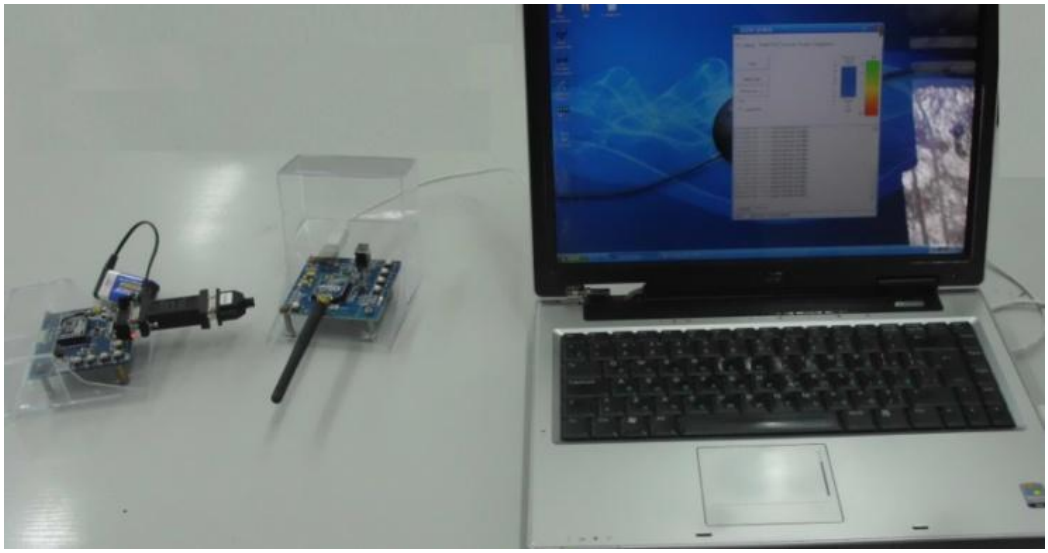


Рисунок 3.2– Измерительный комплект

Один из радиомодулей запрограммирован на выполнение функций по организации сети – координатор, другой – на выполнение функций оконечного устройства. Модули расположены на высоте 1.15 метров.

Испытания проводились в свободном пространстве и в здании. Рассмотрена оценка влияния окружающей среды на распространение радиосигнала в свободном пространстве и в коридоре помещения при отсутствии объектов (людей), а так же оценка влияния на распространение радиосигнала в коридоре помещения при перемещении людей. Выбран участок, где имеется ограждение футбольного поля, расположенное вдали от места измерений на 4 метра. Радиосигнал распространялся вдоль ограждения на расстоянии 3 метра. В здании выбран коридор длиной 100 метров, испытания проводились на отдельном участке длиной 20 метров. Высота коридора 2.9 метра, ширина 2.8 метра, через промежуток 5.5 метров имеются несущие конструкции, количество которых на расстоянии 20 метров 3 штуки, длина несущей 90 сантиметров, на пути распространения сигнала имеется 6 дверей. Эксперименты проводились 3-5 раз с промежутком во времени 1 минута.

Объекты для эксперимента оценки распространения радиосигнала в коридоре помещения имеют параметры:

- объекты № 1 и №2 высота 1.66 метров, ширина 0.4 метра,
- объекты № 3 и № 4 высота 1.74 метра, ширина 0.45 метров.

В процессе экспериментального исследования на распространение радиосигнала, оценивалось влияние: расстояния, размеров помещения, наличие подвижных объектов, наличие лестничных пролетов и «г» образных коридоров на радиосигнал.

3.1.1 Экспериментальные исследования в свободном пространстве.

Эксперимент 1. Распространение радиосигнала в свободном пространстве

Для проведения эксперимента положение модуля-передатчика было жестко зафиксировано, второй модуль передвигался вдоль прямой, удаляясь от первого. Измерения проводились с промежутком через 2.5 метра, эксперимент повторялся 5 раз через 1 минуту. Результаты эксперимента 1 представлены в таблице 3.1 и на рисунке 3.3.

Таблица 3.1 – Распространение радиосигнала в свободном пространстве при отсутствии объектов

Расстояние	Замер1 dbm	Замер2 dbm	Замер3 dbm	Замер4 dbm	Замер5 dbm
2,5м	-40	-42	-45	-42	-45
5м	-40	-45	-49	-42	-47
7,5м	-43	-44	-47	-44	-45
10м	-45	-45	-48	-46	-46
12,5 м	-52	-51	-52	-49	-50
15м	-53	-52	-57	-52	-54
17,5м	-55	-56	-58	-56	-54
20 м	-57	-58	-60	-57	-58

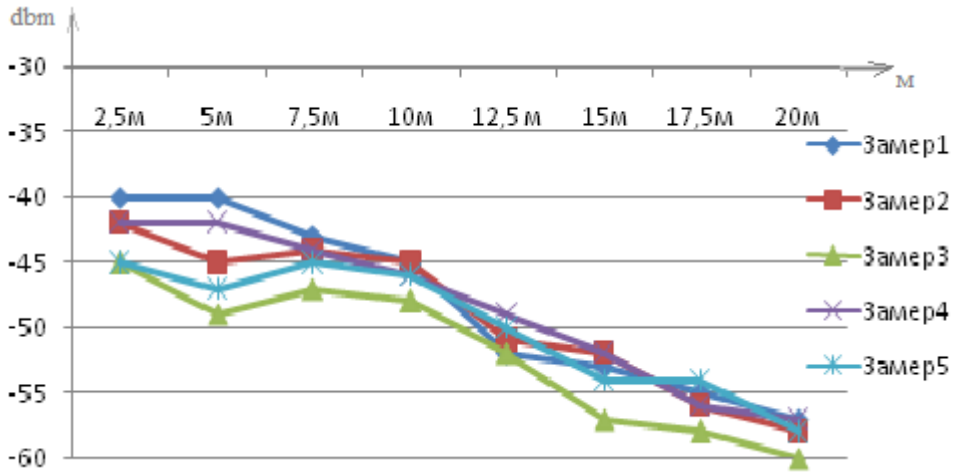


Рисунок 3.3 - Распространение радиосигнала в свободном пространстве

Из рисунка 3.3 видно, что наблюдается затухание радиосигнала в зависимости от расстояния между модулями, например на расстоянии 5-10 метров на 5 dbm, на расстоянии 10-15 метров на 8 dbm, что по значениям, близко к теоретическим данным, соответствующим расчету по формуле [43]:

$$P_{прм} = P_{прд} + G_{прд} + G_{прм} - 20 \cdot log\left(\frac{4 \cdot \pi \cdot d}{\lambda}\right) \quad (дБм), \qquad (3.1)$$

где $P_{прд}$ — выходная мощность передатчика;

$G_{прд}$ и $G_{прм}$—коэффициенты усиления антенн;

d-расстояние между передатчиком и приемником;

λ - длина волны.

Эксперимент подтверждает правильную настройку аппаратуры.

Эксперимент 2. Влияние объекта №1 на распространение сигнала в свободном пространстве, в зависимости от его расстояния до передатчика

Приемник и передатчик были зафиксированы на расстоянии 20 метров друг от друга. Результаты эксперимента представлены в таблице 3.2 и на рисунке 3.4.

Таблица 3.2 - Распространение радиосигнала в свободном пространстве при наличие одного объекта

Расстояние	Замер1 (dbm)	Замер2 (dbm)	Замер3 (dbm)	Замер4 (dbm)	Замер5 (dbm)
2,5 м	-64	-63	-61	-66	-62
5м	-56	-55	-54	-53	-54
7,5 м	-59	-61	-58	-52	-57
10м	-59	-62	-59	-54	-56
12,5м	-59	-64	-63	-62	-62
15м	-64	-58	-54	-59	-56
17,5м	-66	-69	-66	-64	-66

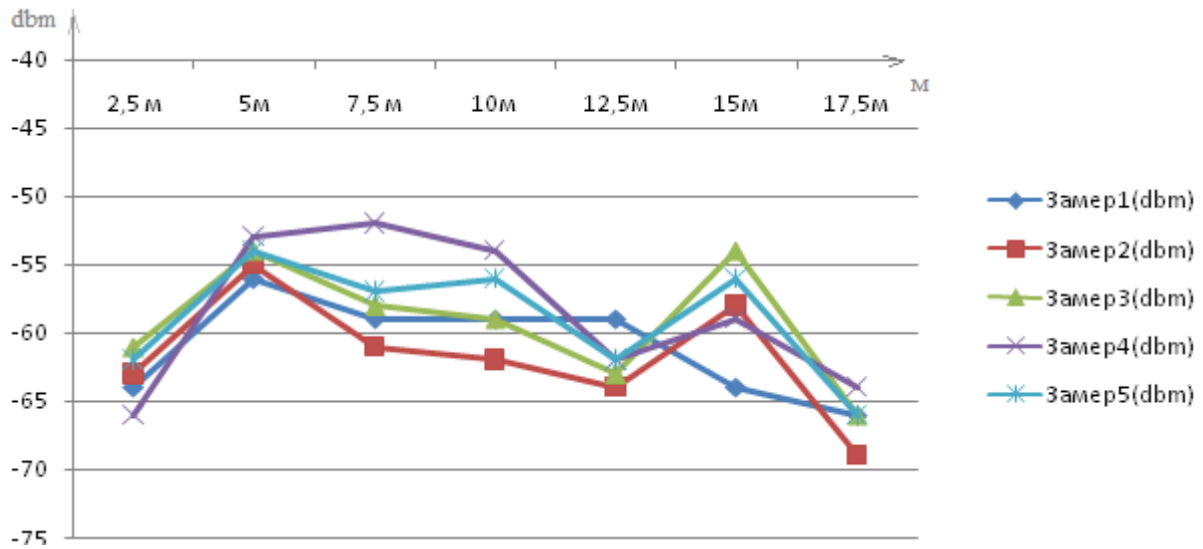


Рисунок 3.4 – Распространение сигнала в свободном пространстве с наличием одного объекта

Из рисунка 3.4 видно, что появление объекта на пути распространения радиосигнала меняет его ослабление в большую сторону. Что можно объяснить явлениями дифракции, отражения и многолучевого распространения. Значительная дисперсия может быть объяснена явлением интерференции.

Эксперимент 3. Влияние двух объектов №1 и №2, расположенных вплотную друг к другу, в зависимости от расстояния до приемника

Объекты вместе имеют параметры: ширина 0.8 м, высота 1.66 м. Так как объекты расположены рядом они образуют один объект с увеличенным размером по ширине. Результаты эксперимента представлены в таблице 3.3 и на рисунке 3.5.

Таблица 3.3 - Влияние двух объектов на распространение радиосигнала в свободном пространстве

Расстояние	Замер1 (dbm)	Замер2 (dbm)	Замер3 (dbm)	Замер4 (dbm)	Замер5 (dbm)
2,5 м	-61	-66	-71	-62	-66
5м	-60	-61	-58	-56	-57
7,5 м	-60	-58	-62	-59	-58
10м	-61	-63	-63	-61	-61
12,5м	-66	-64	-65	-68	-61
15м	-64	-69	-66	-60	-63
17,5м	-65	-69	-61	-60	-67

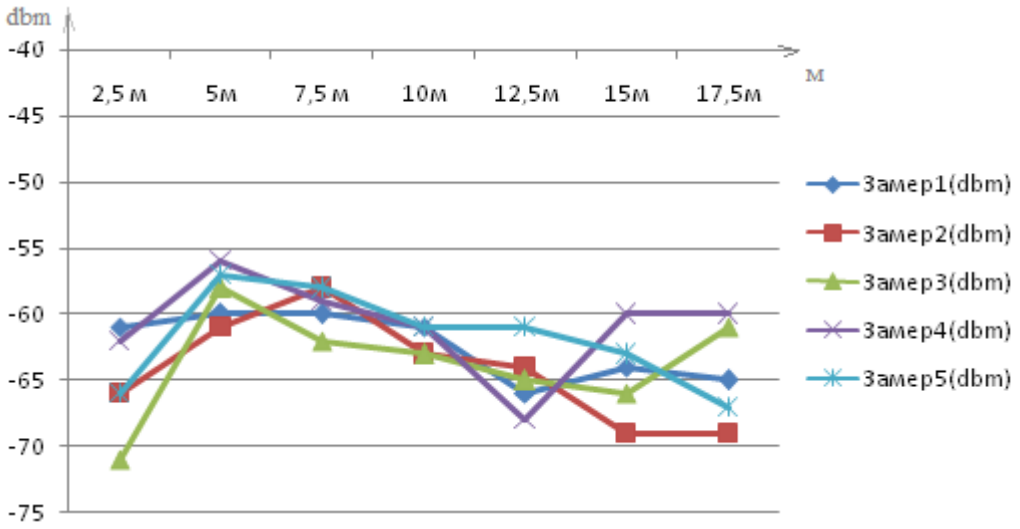


Рисунок 3.5- Влияние двух объектов на радиосигнал в свободном пространстве

Из рисунка 3.5 видно, что при увеличении размеров объекта параметры сигнала тоже изменяются. Чем шире объект, появившийся между приемником и передатчиком, тем больше ослабление радиосигнала на входе приемника.

3.1.2 Экспериментальные исследования в помещении.

Эксперимент 4. Распространение радиосигнала в коридоре помещения при отсутствии объектов (людей).

Приемник удаляется от передатчика с периодом в 2.5 метра. В помещении передаваемый радиосигнал попадает в приемник многими путями,

в каждом из них он подвергается неоднократным отражениям и дифракциям. При каждом отражении часть энергии сигнала поглощается отражающей поверхностью. Уровень сигнала на приеме определяется не только частотой, но и расстоянием. Результаты эксперимента представлены в таблице 3.4.

Т а б л и ц а 3.4 – Распространение радиосигнала в коридоре

Расстояние	Замер1 (dbm)	Замер2 (dbm)	Замер3 (dbm)	Замер4 (dbm)	Замер5 (dbm)
2,5 м	-40	-42	-40	-40	-40
5м	-44	-40	-40	-42	-40
7,5 м	-49	-46	-47	-53	-52
10м	-52	-52	-51	-52	-51
12,5м	-55	-60	-59	-57	-53
15м	-56	-53	-53	-54	-53
17,5м	-60	-55	-56	-59	-57
20м	-62	-61	-56	-61	-58
22,5 м	-64	-63	-57	-53	-55
25м	-60	-64	-59	-62	-61
27,5м	-60	-60	-57	-62	-62
30м	-66	-60	-57	-64	-59

Помимо очевидной тенденции затухания сигнала, можно заметить, что быстрые колебания уровня мощности зависят от расстояния. Заметно явления замирания сигнала. При некоторых значениях расстояния сигнала от антенн, они проходят разные пути, приходят в противофазе на приёмную антенну, что может уменьшить мощность. При некоторых других значениях расстояния входящие сигналы складываются, что увеличивает уровень сигнала. Естественно, существует множество промежуточных случаев. Данные из таблицы представлены на рисунке 3.6.

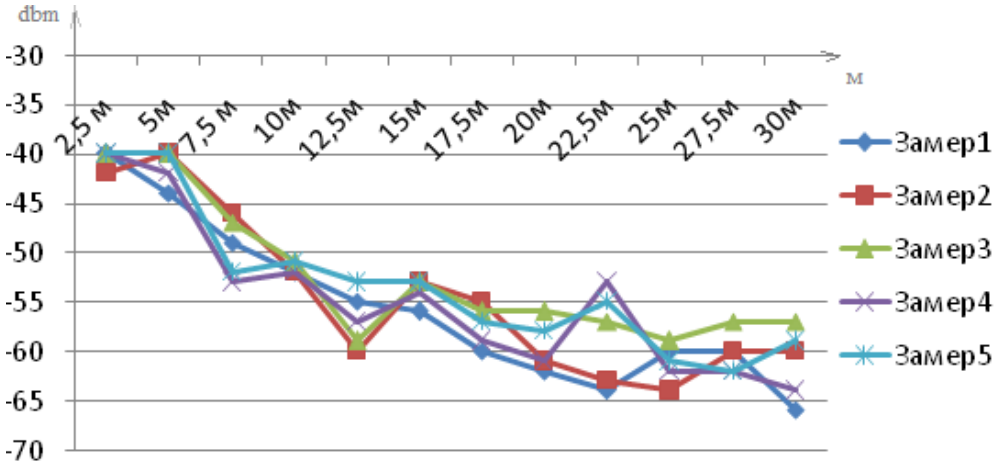


Рисунок 3.6 – Распространение радиосигнала в коридоре при отсутствии объектов (людей)

Из рисунка 3.6 видно, что помимо очевидной тенденции затухания сигнала, заметно явление замирания сигнала. Существенные колебания мощности определяются многолучевым распространением радиосигнала.

Эксперимент 5. Влияние объекта №1 на распространение сигнала в коридоре, в зависимости от его расстояния до передатчика.

Приемник и передатчик зафиксированы на расстоянии 20 метров друг от друга. Результаты эксперимента представлены в таблице 3.5 и на рисунке 3.7. В данном случае на радиосигнал влияние оказывают параметры коридора и объекта. Ослабление радиосигнала увеличивается из-за отражения и дифракции.

Таблица 3.5- Влияние человека №1 на радиосигнал в коридоре помещения

Расстояние	Замер1 (dbm)	Замер2 (dbm)	Замер3 (dbm)	Замер 4 (dbm)	Замер 5 (dbm)
2,5 м	-57	-55	-54	-56	-55
5м	-59	-55	-57	-58	-56
7,5 м	-60	-52	-55	-56	-54
10м	-56	-58	-50	-57	-53
12,5м	-58	-55	-57	-57	-56
15м	-60	-53	-50	-55	-56
17,5м	-57	-59	-56	-58	-57

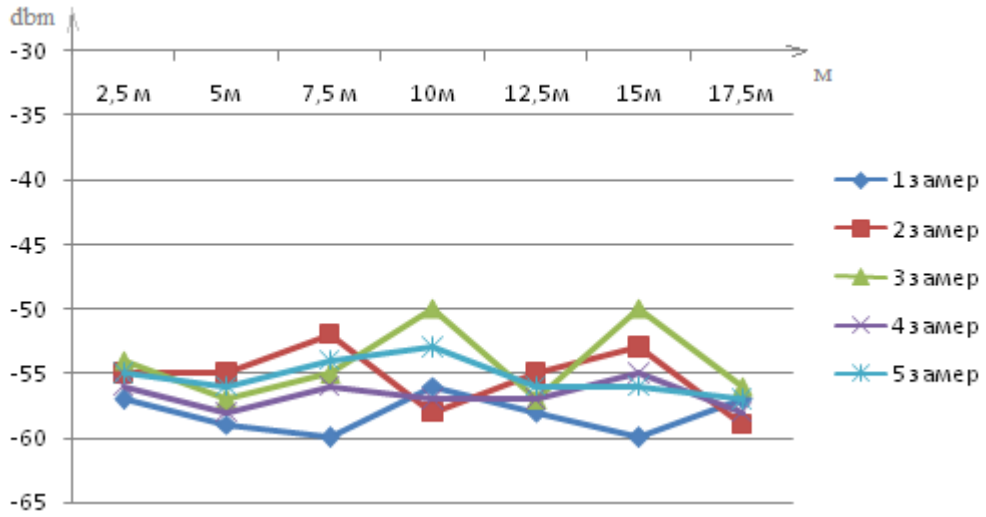


Рисунок 3.7 – Распространение радиосигнала с присутствием объекта №1 в зависимости от его расстояния до передатчика

Из рисунка 3.7 видно, что ослабление радиосигналов не зависит от положения человека №1 по трассе распространения радиосигнала. Значение

интервальной оценки математического ожидания ослабления радиосигнала на расстоянии 12,5м находится в промежутке от -52 dbm, до -57 dbm.

Эксперимент 6. Влияние двух объектов №1 и №2, расположенных вплотную друг к другу, в зависимости от расстояния до приемника

Объекты вместе имеют параметры: ширина 0.8 м, высота 1.66 м. Так как объекты расположены рядом они образуют один объект с увеличенным размером по ширине. Результаты эксперимента представлены в таблице 3.6 и на рисунке 3.8.

Таблица 3.6- Влияние объектов №1 и №2 расположенных рядом друг с другом на распространение сигнала

Расстояние	Замер 1 (dbm)	Замер 2 (dbm)	Замер 3 (dbm)	Замер 4 (dbm)	Замер 5 (dbm)
2,5 м	-58	-60	-61	-61	-57
5м	-60	-60	-62	-59	-58
7,5м	-62	-62	-58	-62	-66
10м	-65	-66	-60	-63	-63
12,5м	-56	-62	-61	-57	-58
15м	-58	-64	-62	-63	-59
17,5м	-69	-68	-63	-61	-60

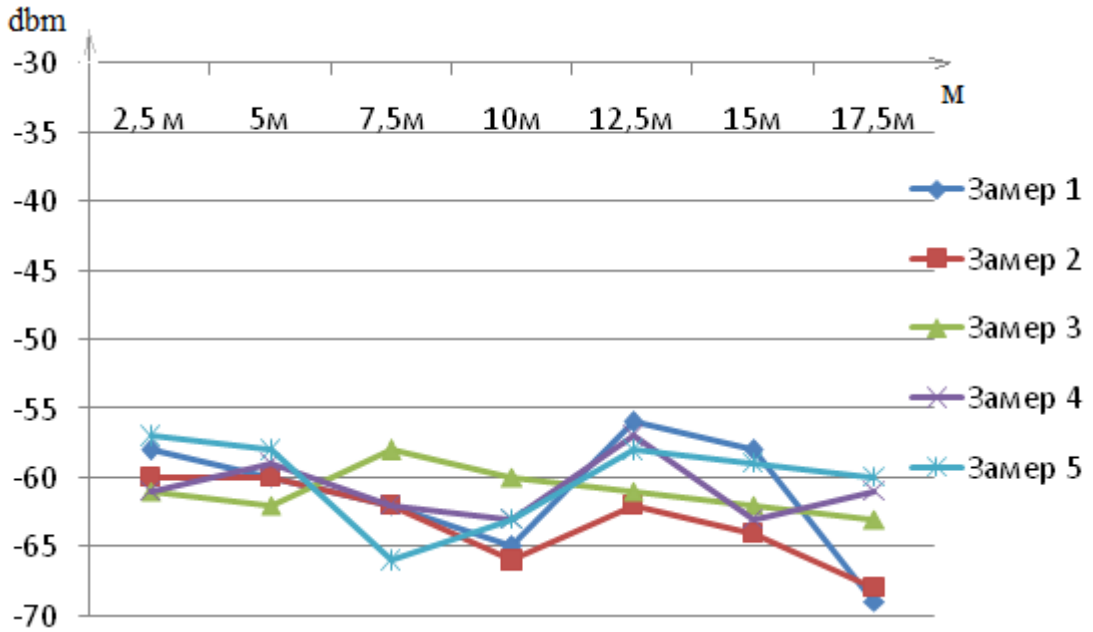


Рисунок 3.8 – Влияние объектов №1 и №2 на распространение радиосигнала в зависимости от их расстояния до передатчика

Из рисунка 3.8 видно, что ослабление радиосигналов практически не зависит от положения объектов №1 и №2 по трассе распространения радиосигнала. Интервальная оценка математического ожидания ослабления сигнала на расстоянии 10м составляет от -61 до -64 dbm при вероятности 90 %.

Эксперимент 7. Распространение радиосигнала в коридоре помещения с присутствием объектов в различных положениях относительно передатчика.

Рассмотрено влияние подвижных объектов на распространение радиосигнала в коридоре помещения. Объекты становятся друг за другом с промежутком 50 см, затем на расстоянии 1 м, после этого становятся друг рядом с другом вплотную и друг за другом вплотную. Тем самым просмотрим влияние количества объектов на радиосигнал. Замеры сняты на расстоянии 5 метров от передатчика. Результаты эксперимента представлены в таблице 3.7.

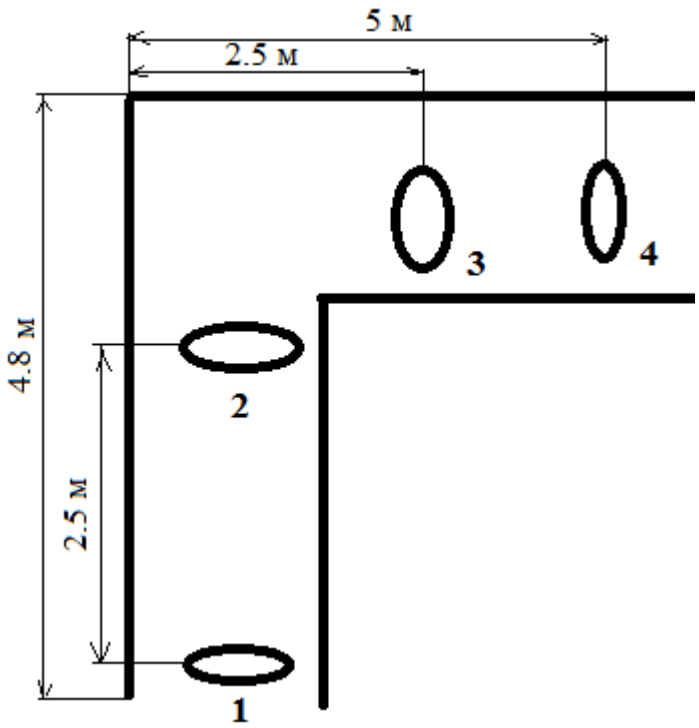
Таблица 3.7- Распространение радиосигнала в зависимости от расположения объектов

Количество объектов	2 объекта	3 объекта	4 объекта
Расстояние между объектами - 50 см	-55 -59 -60	-54 -53 -52	-55 -51 -52
Расстояние между объектами - 100 см	-58 -59 -58	-50 -51 -50	-52 -54 -56
Расположение вплотную друг к другу	-54 -53 -55	-56 -55 -56	-53 -60 -62
Расположение вплотную друг за другом	-60 -61 -63	-54 -53 -52	-60 -65 -64

После проведения данного эксперимента можно сделать вывод, что при увеличении количества объектов на расстоянии 50 см и 100 см ослабление радиосвязи меняется не значительно, при расположении вплотную друг к другу и вплотную друг за другом увеличение количества объектов усиливает ослабление радиосигнала. Из приведенных данных видно, что при расположении объектов друг за другом вплотную происходит наибольшее влияние на радиосигнал.

Эксперимент 8. Распространение радиосигнала в г образном коридоре, между этажами и через стены.

При распространении радиосигнала в помещении характеристики радиосигнала зависят от видов помещения. Если помещение имеет много коридоров, то встречаются различные их формы. Рассмотрим распространение сигнала в «г» образном коридоре. Эксперимент проводился в коридоре «г» образной формы, приемник и передатчик находились на высоте 1.15 м над полом. Приемник удалялся от передатчика на различные расстояния. Схема эксперимента представлена на рисунке 3.9.



1-передатчик,
2,3,4- положения приемника при удалении от передатчика

Рисунок 3.9 – Эксперимент в Г образном коридоре

Результаты эксперимента представлены в таблице 3.8 и на рисунке 3.10.

Т а б л и ц а 3.8 – Распространение радиосигнала в г образном коридоре

Расстояние	Замер 1 (dbm)	Замер 2 (dbm)	Замер 3 (dbm)	Замер 4 (dbm)	Замер 5 (dbm)
5м	-50	-56	-53	-53	-55
10м	-55	-59	-57	-57	-58
15м	-57	-63	-62	-62	-61
20м	-63	-60	-62	-61	-60
25м	-74	-70	-71	-72	-74
30м	-78	-73	-75	-74	-73

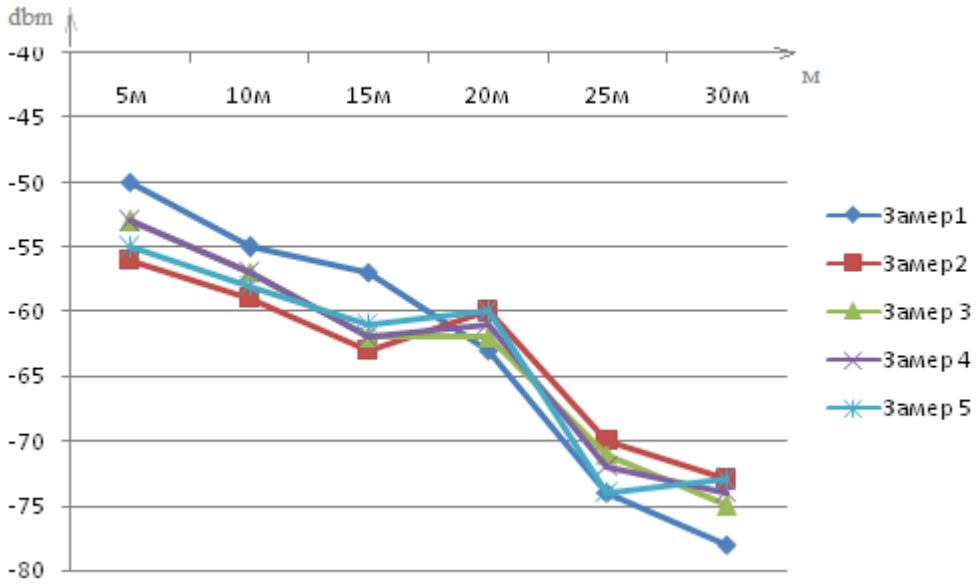


Рисунок 3.10 – Распространение радиосигнала в «г» образном коридоре.

Из рисунка 3.10 видно, что при распространении радиосигнала в «г» образном коридоре ослабление сигнала больше, когда приемник находится во второй части коридора. Для преодоления препятствия в виде поворота сигнал должен подвергнуться отражениям от различных поверхностей, при этом часть сигнала теряется из-за явления преломления. Наблюдается характерное явление для распространения радиосигнала - интерференция.

Если здание многоэтажное, то появляется потребность в передачи сигнала между этажами. Для наблюдения характеристик радиосигнала был проведен эксперимент между этажами. В данном эксперименте передатчик зафиксирован на 5 этаже вдали от лестничной площадки.

Приемник спускался на этаж ниже, при каждом шаге проводились замеры ослабления сигнала. Результаты приведены в таблице 3.9.

Т а б л и ц а 3.9- Распространение радиосигнала между этажами

Пролет	Замер 1 (dbm)	Замер 2 (dbm)	Замер 3 (dbm)	Замер 4 (dbm)	Замер 5 (dbm)
1 пролет	-47	-48	-50	-49	-47
2 пролет	-63	-65	-62	-65	-66
3 пролет	-76	-79	-79	-78	-77
4 пролет	Нет сигнала	-	-	-	-

Из таблицы 3.9 видно что, при распространении радиосигнала между этажами значительно ослабляется сигнал. Что может провести к потери сигнала и возникновению ошибок.

Если установить передатчик непосредственно на лестничной площадке, а приемник будет спускаться вниз по лестнице, то получим следующие

результаты, представленные в таблице 3.10. Результаты ослабления сигнала на приемнике снимались, фиксируя положение под передатчиком.

Таблица 3.10- распространение радиосигнала вблизи лестничной площадки.

Пролет	Замер 1 (dbm)	Замер 2 (dbm)	Замер 3 (dbm)	Замер 4 (dbm)	Замер 5 (dbm)
1 пролет	-46	-45	-47	-46	-48
2 пролета	-56	-57	-55	-58	-58
3 пролета	-68	-66	-68	-67	-65
4 пролета	Нет сигнала	-	-	-	-

При сравнении результатов распространения радиосигнала при расположении приемника и передатчика рядом с лестничной площадкой и вдали от нее заметно усиление сигнала в первом случае. Так как имеется просвет, по которому сигнал может пройти с меньшим ослаблением.

Для нахождения приблизительного значения ослабления сигнала можно провести статистическую обработку данных и найти доверительный интервал с различным процентом точности.

3.2 Статистическая обработка данных

Для количественной оценки и сравнения результатов экспериментов определены доверительные интервалы оценки математического ожидания с надежностью 0,9 (к=1.65).

Зная выборочную среднюю m, объем выборки n и среднее квадратичное отклонение δ, можно определить интервалы, в которые попадает математическое ожидание, по формуле [45,49]:

$$m^* = m \pm \kappa \cdot \frac{\delta}{\sqrt{n}} \cdot \tag{3.2}$$

Для этого рассчитаем оценку математического ожидания для каждой точки замеров по формуле:

$$m = \frac{\sum_1^5 x_i}{n}, \tag{3.3}$$

где x_i - отдельные варианты признака,
m - оценка математического ожидания,
n - количество замеров.

Результаты представлены в таблице 3.11 и таблице 3.12.

Таблица 3.11- Расчет оценки математического ожидания при распространении радиосигнала в свободном пространстве

Расстояние, м	m - при отсутствии объектов	m - при наличии 1 объекта	m - при наличии 2 объектов
2.5	-42,8	-63,2	-65,2
5	-44,6	-54,4	-58,4
7.5	-44,6	-57,4	-59,4
10	-46	-58	-61,8
12.5	-50,8	-62	-64,8
15	-53,6	-58,2	-64,4
17.5	-55,8	-66,2	-64,4
20	-58	-	-

Т а б л и ц а 3.12 - Расчет оценки математического ожидания при распространении радиосигнала в помещении типа коридор

Расстояние, м	m - при отсутствии объектов	m - при наличии 1 объекта	m - при наличии 2 объектов
2.5	-40,4	-55,4	-59,4
5	-41,2	-57	-59,8
7.5	-49,4	-55,4	-62
10	-51,6	-54,8	-63,4
12.5	-56,8	-56,6	-58,8
15	-53,8	-54,8	-61,2
17.5	-57,4	-57,4	-64,2
20	-59,6	-	-

Для нахождения среднеквадратического отклонения необходимо найти дисперсию по формуле:

$$D = \frac{\sum(x_i - m)^2}{n}. \quad (3.4)$$

Результаты расчетов представлены в таблице 3.13 и таблице 3.14.

Т а б л и ц а 3.13 - Расчет дисперсии при распространении радиосигнала в свободном пространстве

Расстояние, м	D - при отсутствии объектов	D - при наличии 1 объекта	D - при наличии 2 объектов
2.5	3,76	2,96	12,56
5	10,64	1,04	3,44
7.5	1,84	9,04	2,24
10	1,2	7,6	0,96
12.5	1,36	2,8	5,36
15	3,44	11,36	9,04
17.5	1,76	2,56	11,84
20	1,2	-	-

Т а б л и ц а 3.14 - Расчет дисперсии при распространении радиосигнала в помещении типа коридор

Расстояние, м	D- при отсутствии объектов	D- при наличии 1 объекта	D- при наличии 2 объектов
2.5	0,64	1,04	2,64
5	2,56	2	1,76
7.5	7,44	7,04	6,4
10	0,24	8,56	4,24
12.5	6,56	1,04	5,36
15	1,36	10,96	5,36

Продолжение таблицы 3.14

17.5	3,44	1,04	13,36
20	5,04	-	-

Среднеквадратическое отклонение определяется как квадратный корень из дисперсии:

$$\sigma = \sqrt{D} \ . \qquad (3.5)$$

Результаты расчета среднеквадратического отклонения представлены в таблице 3.15 и таблице 3.16.

Таблица 3.15 - Расчет среднеквадратического отклонения при распространении радиосигнала в свободном пространстве

Расстояние	δ - при отсутствии объектов	δ - при наличии 1 объекта	δ - при наличии 2 объектов
2.5	1,93	1,72	3,54
5	3,26	1,02	1,85
7.5	1,36	3,01	1,49
10	1,09	2,75	0,97
12.5	1,17	1,67	2,31
15	1,85	3,37	3,01
17.5	1,33	1,6	3,44
20	1,09	-	-

Таблица 3.16- Расчет среднеквадратического отклонения при распространении радиосигнала в помещении типа коридор

Расстояние	δ - при отсутствии объектов	δ - при наличии 1 объекта	δ - при наличии 2 объектов
2.5	0,8	1,02	1,62
5	1,6	1,41	1,32
7.5	2,72	2,65	2,53
10	0,48	2,92	2,06
12.5	2,56	1,02	2,32
15	1,16	3,31	2,31
17.5	1,85	1,02	3,65
20	2,24	-	-

Расчет всех параметров был произведен с помощью программы Microsoft Excel и представлен в приложении А (рисунок А1, рисунок А2).

Найдя данные параметры можно найти доверительные интервалы оценки математического ожидания с надежностью 0.95 (к=2.44) по формуле 3.2.

Результаты расчетов представленны на рисунках 3.11, 3.12, 3.13 при распространении радиосигнала в свободном пространстве,а так же на рисунках 3.14, 3.15, 3.16 при распространении радиосигнала в помещении типа коридор.

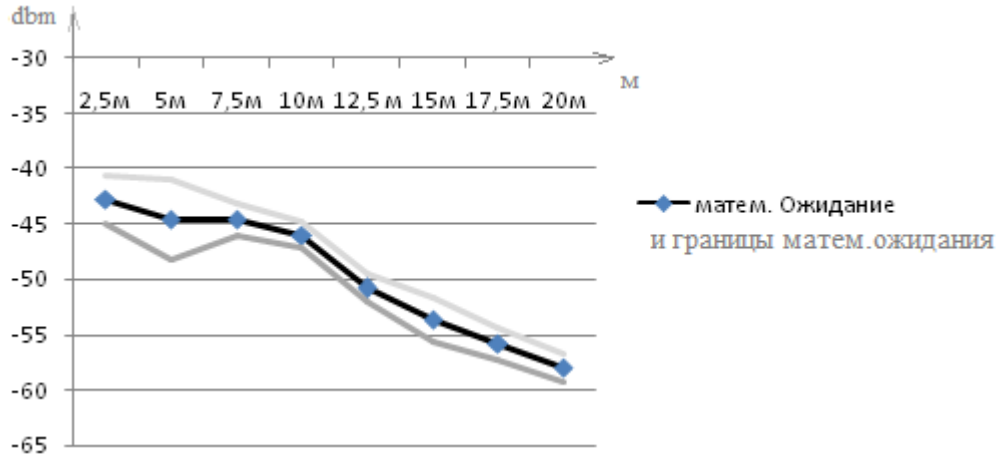


Рисунок 3.11 – Интервальная оценка матем. ожидания изменения мощности радиосигнала в свободном пространстве без влияния объектов (людей) в зависимости от расстояния до передатчика.

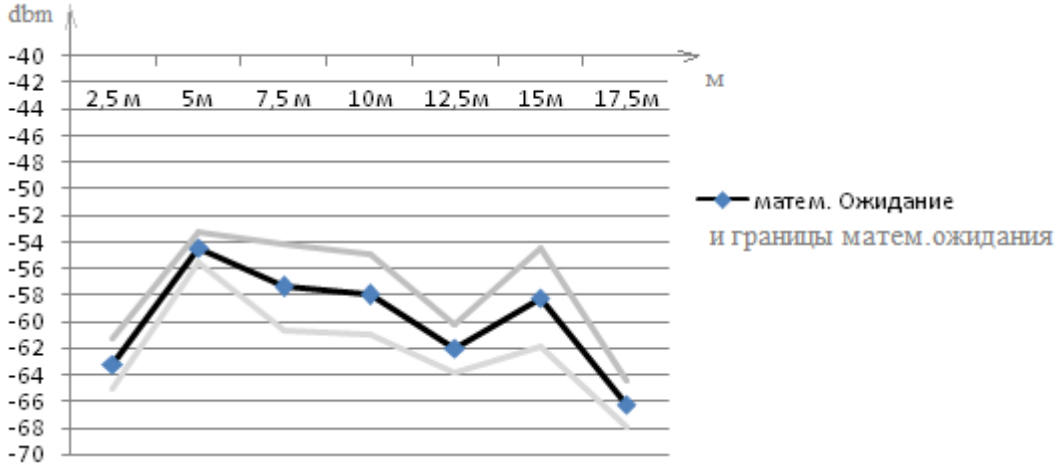


Рисунок 3.12 - Интервальная оценка матем.ожидания изменения мощности радиосигнала в свободном пространстве при влиянии объекта №1 в зависимости от расстояния до передатчика

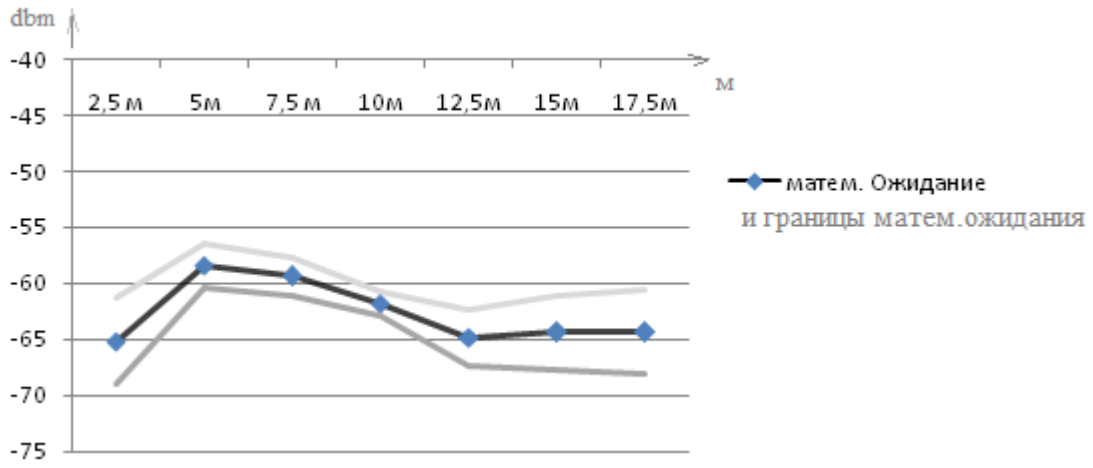


Рисунок 3.13 - Интервальная оценка матем. ожидания изменения мощности радиосигнала в свободном пространстве при влиянии объектов №1 и №2 в зависимости от их расстояния до передатчика.

Результаты расчета для экспериментов в помещении типа коридор приведены на рисунках 3.14; 3.15; 3.16 соответственно.

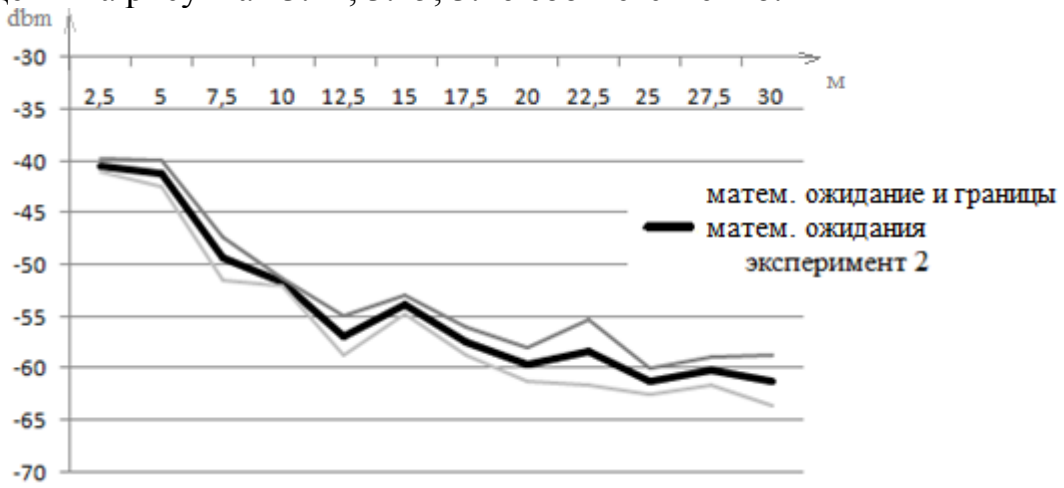


Рисунок 3.14 – Интервальная оценка матем. ожидания изменения мощности радиосигнала в помещении без влияния объектов (людей) в зависимости от расстояния до передатчика.

Из рисунка 3.14 видно, что при установке приемника на расстоянии 20м ослабление сигнала находится в промежутке от -58 до -61 dbm.

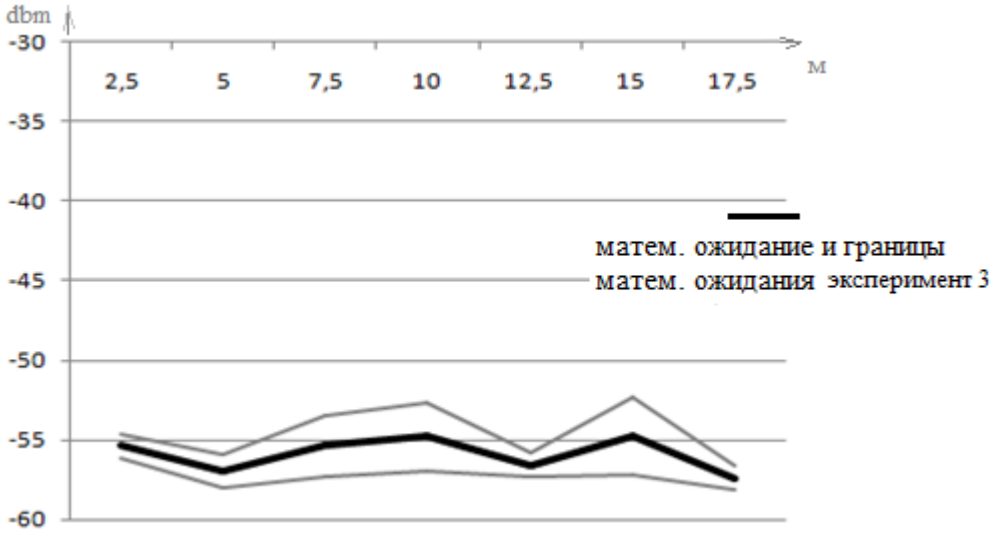


Рисунок 3.15 - Интервальная оценка матем.ожидания изменения мощности радиосигнала при влиянии объекта №1 в зависимости от расстояния до передатчика

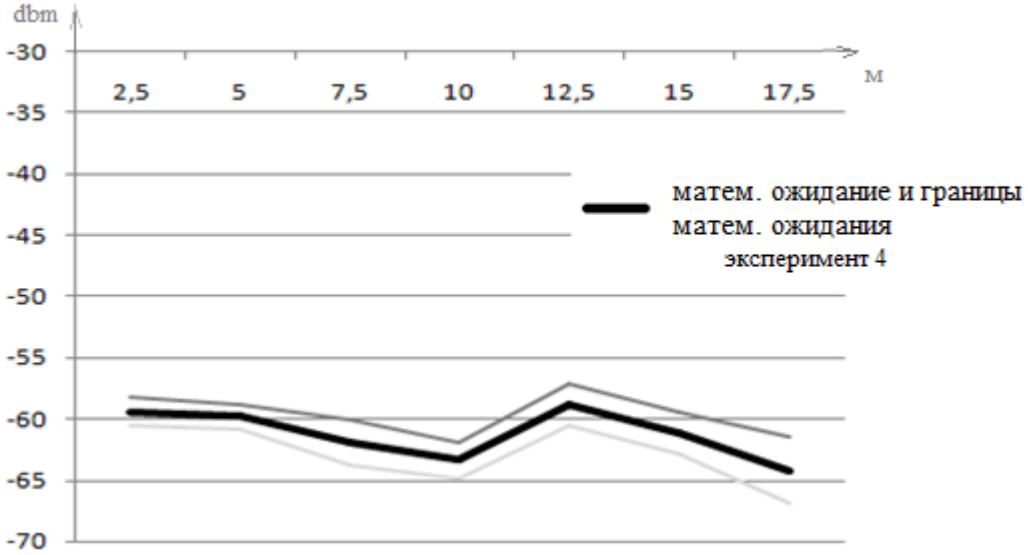


Рисунок 3.16- Оценка матем. ожидания изменения мощности радиосигнала от влияния объектов №1 и №2 в зависимости от их расстояния до передатчика.

Из рисунков 3.15 и 3.16 видно, что величина оценки математического ожидания не зависит от положения объекта между передатчиком и приемником (если не учитывать многолучевое распространение сигналов). Ослабление сигнала более существенно, если сформированы группы людей или имеются объекты с большой площадью.

3.3 Выводы по главе 3

Экспериментально оценено влияние подвижных объектов на распространение радиосигнала. При распространении радиосигнала в свободном пространстве ослабление сигнала, на расстоянии 10 м. от передатчика, составляло -45 дБ, а при появлении 1 человека составило -59 дБ. При увеличении ширины объекта (2 человека) ослабление сигнала на 10 м. составляет -63 дБ. Что отличается от величины ослабления сигнала при влиянии 1 человека на 18 дБ. Следует, чем шире объект, появившийся между приемником и передатчиком, тем больше ослабление радиосигнала на входе приемника.

При распространении радиосигнала в коридоре ослабление, на расстоянии 10 м., без влияния объектов составляет -52 дБ, что объясняется многолучевым распространением. Ослабление радиосигнала при появлении подвижного объекта на 10 м. от передатчика равно -56 дБ, а при появлении 2 объектов ослабление равно -65дБ. А при распространении радиосигнала в Г-образном помещении ослабление радиосигнала на расстоянии 10 м. составило -59 дБ, так как для преодоления препятствия в виде поворота сигнал должен подвергнуться отражениям от различных поверхностей, при этом часть сигнала теряется из-за явления преломления.

С использованием статистической обработки результатов определены доверительные интервалы оценки математического ожидания мощности радиосигнала. При наличии объекта между передатчиком и приемником математическое ожидание ослабления сигнала, как дополнительно ослабляется, так и увеличивается, при этом изменение дисперсии может существенно изменяться.

4 Способ контроля периметра территории с использованием радиосигналов (описание предлагаемого изобретения)

По проведенным исследованиям был предложен способ определения наличия нарушителя. Суть данного способа состоит в том, что изобретение относится к радиолокации, в частности к системам охранной сигнализации, к способам контроля наличия нарушителя в контролируемой зоне. Изобретение может быть использовано в системах охранной сигнализации на участках контроля периметра охраняемой зоны.

Для контроля периметра широко используются двухпозиционные радиолучевые системы. Данные системы состоят из передатчика и приемника СВЧ-сигналов, которые размещают в пролете на расстоянии от десятков до нескольких сотен метров друг от друга. Между передатчиком и приемником формируется чувствительная зона с поперечным сечением до нескольких метров. Системы охраны периметра зоны определяют факт пересечение нарушителем чувствительной зоны.

Известен способ радиотехнического обнаружения нарушителя в контролируемой зоне [46]. Способ заключаются в том, что контролируемую зону облучают импульсным радиосигналом, при приеме импульсного радиосигнала выделяют изменения его амплитуды, и при превышении этими изменениями порогового значения формируют сигнал тревоги.

Недостатком способа является низкая достоверность определения наличия нарушителя при наличии изменения отражающих поверхностей и реальных размерах поверхности нарушителя.

Известно большое число видов систем охранной сигнализации (извещатели РЛД-94, Радий 2, Радон, Призма 1/300Т, Барьер-300 и др.), которые используют принципы способа, представленного выше, но в частотной области. Для охранных систем этого типа используют следующий способ фиксации нарушителя: передатчик генерирует гармонический сигнал СВЧ, в приемнике определяют текущий уровень амплитуды сигнала приемными антенными устройствами с использованием электронного блока и отслеживают изменения этого уровня при появлении нарушителя. Сравнивают уровень сигнала с установленными порогами, при отклонении уровня сигнала от порогового значения датчик фиксирует с определенной степенью вероятности появление нарушителя в охраняемой зоне. Система фиксирует нарушителя с большой степенью вероятности при больших его размерах или при наличии группы нарушителей.

Недостатком способа, при наличии изменения свойств отражающих поверхностей и реальных размерах поверхности нарушителя, также как и для предыдущего способа, является низкая достоверность определения наличия нарушителя, которая связана, с тем, что результирующий сигнал приемника

включает только низкочастотные изменения уровня выходного сигнала (замирания).

Известен способ радиотехнического обнаружения нарушителя [47]. Способ предусматривает оценку двух основных параметров настройки: чувствительности и времени интегрирования. Настройка времени интегрирования позволяет устранить влияния высокочастотных возмущений и помех.

Недостатком способа является необходимость при изменении условий движения нарушителя устанавливать более низкий порог срабатывания или более высокую чувствительность датчика к изменению амплитуды сигнала и увеличивать время интегрирования, т.е. перестраивать пороговые значения, что определяет низкую достоверность определения наличия нарушителя.

Наиболее близким к предлагаемому изобретению является способ обнаружения нарушителей в контролируемой зоне, сформированной вдоль отражающих поверхностей одинаково поляризованными передающим и приемным антенными устройствами, установленными на фиксированном расстоянии от поверхности почвы, включающий обработку сигналов, формируемых объектами, перемещающимися в контролируемой зоне, при этом поляризованные передающие и приемные антенные устройства радиоволнового датчика располагаются в пространстве таким образом, что их векторы поляризации совпадают по направлению и формируются под определенным углом к отражающей поверхности. При этом способ позволяет уменьшить влияния прилегающих поверхностей (почвы, ограды) при изменении их отражающих свойств.

Недостатком прототипа является низкая достоверность определения наличия нарушителя в охраняемой зоне, поскольку способ позволяет уменьшить влияние отражающих поверхностей, например, поверхности почвы, но не учитывает появление дополнительных составляющих многолучевого сигнала: распространение сигнала за счет дифракции при появлении нарушителя и изменении его характеристик.

Задачей изобретения является разработка способа определения наличия нарушителя, позволяющего контролировать факт пересечения контролируемой зоны с высокой достоверностью обнаружения нарушителя.

Техническим результатом изобретения является возможность фиксации нарушителя и увеличение надежности определения наличия нарушителя при его реальных размерах и наличии быстрых замираний сигнала, что повышает достоверность определения наличия нарушителя.

Для достижения технического результата в предлагаемом способе определения наличия нарушителя в контролируемой зоне, сформированной передающим и приемным устройствами, включающим обработку сигналов, устанавливают генерацию частоты F сигнала передатчика и для режима отсутствия нарушителя измеряют мощность сигнала P_0 в приемнике с интервалом времени Δ между измерениями, формируют пакет R_0 для N измерений, запоминают сигналы P_0 (t_1, t_2,.., t_n) этого пакета, определяют

оценки математического ожидания M_{p0} и дисперсии ослабления сигнала в свободном пространстве D_{p0} для пакета R_0, выполняют измерения мощности, принимаемой приемником P_1 в штатном режиме, с интервалом времени Δ между измерениями, запоминают сигналы $P_1(t_1, t_2,\ldots, t_m)$, из сигналов P_1 формируют пакет R_1 для M измерений и вычисляют оценки математического ожидания M_{p1} и дисперсии ослабления сигнала D_{p1}, оценивают наличие нарушителя в охраняемой зоне по результатам вычисления M_p и D_p, при этом наличие нарушителя определяют, сравнивая значения оценки математических ожиданий M_{p1} и M_{p0} между собой и дополнительно сравнивая значения дисперсий отклонения ослабления сигнала D_{p1} и D_{p0} между собой:

1) если $/M_{p1}/>/M_{p0}/$ или $/M_{p1}/</M_{p0}/$, то фиксируют наличие нарушителя;

2) если $/M_{p1}/=/M_{p0}/$, то дополнительно сравнивают дисперсии ослабления сигнала, определяют наличие нарушителя, исходя из следующих условий:

-если $D_{p1}= D_{p0}$, то фиксируют отсутствие нарушителя,

-если $D_{p1} > D_{p0}$, то фиксируют наличие нарушителя.

Пакет R_0 включает число измерений N больше, чем число измерений M пакета R_1.

В соответствии с изобретением, в предлагаемом способе оценку наличия нарушителя в охраняемой зоне выполняют с использованием двух статистических характеристик мощности сигнала на входе приемника, получаемых на основе фиксированного числа измерений входного сигнала приемника и фиксированного интервала времени между измерениями.

Работа предлагаемой радиотехнической системы обнаружения несанкционированного доступа поясняется рисунками, представленными на фигура1, фигура 2, фигура 3, фигура 4.

На фигуре 1 представлена схема расположения элементов радиолучевой системы определения наличия нарушителя (приложение B, рисунок B1).

На фигуре 2 представлены экспериментальные результаты оценки математического ожидания Mp1 ослабления сигнала мощности на входе приемника для нарушителя, находящегося на различных расстояниях относительно передатчика (приложение C, рисунок C1).

На фигуре 3 представлена экспериментальная зависимость оценки дисперсии D_{p1} сигнала мощности на входе приемника для нарушителя, находящегося на различных расстояниях относительно передатчика (приложение C, рисунок C2).

На фигуре 4 представлены характеристики напряженности электромагнитного поля сигнала интерференции при многолучевом сигнале [48] (рисунок 2.1).

На фигуре 1, обозначены:

а) 1; 2– приемный и передающий пост;

б) 3 – нарушитель;

в) R1 - радиус первой зоны Френеля для частоты F,

г) 4- почва.

На фигуре 2, обозначены:

а) M_{p1}- оценка математического ожидания ослабления радиосигнала при наличии нарушителя для различных расстоянии положения нарушителя, где точки (квадратики) условно соединены прямыми линиями;

б) M_{p0}- оценка математического ожидания ослабления сигнала при отсутствии нарушителя (пунктирная линия);

в) границы интервала M_{p0} – значения интервальной оценки математического ожидания ослабления сигнала с вероятностью 95 % .

На фигуре 3 обозначены значения дисперсии ослабления сигнала (квадратики) для различных расстоянии положения нарушителя.

На фигуре 4 обозначены:

а) Ф - фазовый сдвиг (радиан),

б) R- величина пропорциональная количеству лучей,

в) $\frac{I}{I_0}$ - относительная мощность сигнала приемника,

г) I- мощность сигнала приемника,

д) I_0 - мощность сигнала передатчика.

Работу способа определения наличия нарушителя можно пояснить следующим образом. Радиолучевая система определения наличия нарушителя состоит из передатчика, излучающего частоту F, и приемника, во время работы, которых образуется канал передачи электромагнитной энергии - радиолуч. Устройства имеют объемную зону обнаружения - вытянутый эллипсоид вращения, диаметр которого зависит от рабочей частоты излучения передатчика F и расстояния между передатчиком и приемником L. Экранирование первой зоны Френеля нарушителем приводит к ослаблению напряженности поля в зависимости от величины перекрытия сигнала. Система работает в двух режимах: в режиме определения величины мощности сигнала в приемнике при отсутствии нарушителя и в штатном режиме определения наличия нарушителя. Результирующий сигнал приемника включает несколько составляющих: составляющую - уровень сигнала как глобальное среднее значение, которое зависит от расстояния пролета L между передатчиком и приемником (уменьшается с увеличением расстояния), составляющую - медленные вариации поля вокруг глобального среднего значения за счёт затенений (медленные замирания) и составляющую - быстрые вариации во времени (быстрые замирания). Быстрые замирания возникают вследствие того, что длина волны сигнала в радиолучевой системе составляет единицы-десятки сантиметров и наличие множества отраженных сигналов со случайными величинами амплитуды и фазы приводит к значительным изменениям уровня принимаемого сигнала даже при незначительных перемещениях или колебаниях положения нарушителя.

Мощность сигнала при интерференции двух сигналов, при разных путях распространения сигналов будет соответствовать зависимости (2.1).

В выражении (2.1) составляющая $I_{инт}=2\sqrt{I_1 I_2}\,\gamma\cos(2\pi(S+\Delta S)/\lambda)$ рассматривается как интерференционная функция, которая характеризует влияние двулучевого распространения сигналов на результирующий сигнал.

Две особенности соответствуют уравнению (2.1) при интерференции двулучевого сигнала и позволяют повысить надежность определения наличия нарушителя. Первая особенность - имеют место ослабляющая или усиливающая интерференция и, соответственно, минимум и максимум выражения (2.1):

а) если разность хода лучей равна целому числу длин волн или взаимодействующие волны имеют равные фазы φ в рамках одной длины волны, то суммарный сигнал двух лучей максимален, при этом происходит усиление суммарного сигнала (усиливающая интерференция),

б) если разность фаз φ сигналов близка к 180^0, то амплитуда суммарного сигнала может стать минимальной (ослабляющая интерференция). Плавное чередование слабо выраженных максимумов и минимумов мощности сигнала характеризует двулучевое распространение (замирание) сигнала в зависимости от разности хода сигналов.

Вторая особенность - существуют области низкой и высокой чувствительности мощности приемника к изменению величин ΔS, определяющих быстрые замирания:

а) область низкой чувствительности, если изменение ΔS соответствует участку максимума или минимума косинусоидальной функции, т. е. (фаза близка к 0^0, крутизна функции минимальна),

б) область высокой чувствительности, если изменение ΔS соответствует участку характеристики косинусоидальной функции с высокой крутизной (фаза близка к 90^0).

Изменения величины колебаний быстрых замираний, можно в этом случае, характеризовать значением дисперсии Dp, которую можно использовать в качестве дополнительного параметрам случайного процесса для фиксации наличия нарушителя.

При наличии нарушителя с размерами контура тела, превышающими длину волны, имеет место дифракция сигнала, которая существенно изменяет результирующий уровень мощности и глубину быстрых замираний сигнала приемника за счет многолучевого распространения. Для многолучевого распространения сигнала интерференционная картина формируется в виде суммы влияния всех составляющих и существенно отличается от зависимости (4.1). Напряженность поля включает узкие участки с большой интенсивностью результирующего сигнала, которые разделены широким участком с низкой напряженностью поля (фигура 4). При этом также как для случая отсутствия нарушителя эти участки являются областями с большой или малой чувствительностью к изменению характеристик ΔS. Значение дисперсии Dp, которое для процесса с многолучевым распространением значительно увеличивается по сравнению с двулучевым распространением, можно использовать для оценки наличия нарушителя.

Наличие нарушителя в контролируемой зоне приводит к изменению электромагнитного поля за счет затенения приемника и дифракции сигнала на контуре нарушителя и при этом возможна взаимная компенсация влияния изменения этих составляющих. Компенсация составляющих напряженности поля приводит к неопределенности при принятии решения о наличии нарушителя.

4.1 Пример работы системы

4.1.1 Режим 1 - система находится в режиме запуска при отсутствии нарушителя.

1) Генерируют сигнал частоты F, при отсутствии нарушителя измеряют и запоминают сигнал P_0 на входе в приемник. Устанавливают интервал времени между измерениями Δ, величину которого определяют в зависимости от предполагаемой скорости движения нарушителя и желаемой точности оценки характеристик.

2) Формируют пакет R_0 для N измерений, запоминают сигналы $P_0(t_1, t_2, t_n)$ этого пакета, определяют оценки математического ожидания M_{p0} и дисперсии D_{p0} ослабления сигнала для режима отсутствия нарушителя, принимаемых в качестве пороговых значений.

4.1.2 Режим 2 - система находится в штатном режиме работы.

1) Генерируют сигнал частоты F , нарушитель пересекает границу зоны и перемещается на расстоянии L_1 от передатчика, измеряют и запоминают сигнал P_1 на входе в приемник. Устанавливают интервал времени между измерениями Δ, величина которого зависит от предполагаемой скорости движения нарушителя и желаемой точности оценки характеристик.

2) Формируют пакет R_1 для M измерений, число которых зависит от предполагаемой скорости движения нарушителя и желаемой точности оценки характеристик, запоминают сигналы $P_1(t_1,t_2,t_m)$ этого пакета, определяют оценки математического ожидание M_{p1} и дисперсии D_{p1} ослабления сигнала.

3) Определяют наличие нарушителя, для этого первоначально сравнивают значения M_{p0}, M_{p1} и затем сравнивают значения D_{p0}, D_{p1}, при этом:

1) вариант, когда $/M_{p1}/> /M_{p0}/$. Такой результат имеет место в случае, если нарушитель находится в охраняемой зоне и ослабление сигнала происходит за счет экранирования сигнала объектом и дополнительно за счет ослабляющей интерференции многолучевого распространения сигналов. Причем, сигнал ослабляющей интерференции суммируется с сигналом экранирования и увеличивает общее ослабление. Решение о наличии нарушителя принимается системой верно;

2) вариант, когда $/M_{p1}/< /M_{p0}/$. Такой результат имеет место в случае, если нарушитель находится в охраняемой зоне и ослабление сигнала происходит за счет экранирования сигнала объектом и дополнительно за счет усиливающей интерференции многолучевого распространения сигналов.

Причем, величина сигнала усиливающей интерференции превышает сигнал экранирования и уменьшает, тем самым, общее ослабление. Решение о наличии нарушителя принимается системой верно;

3) вариант, когда $/M_{p1}/= /M_{p0}/$. Такой результат имеет место в двух случаях: нарушитель отсутствует или нарушитель находится в охраняемой зоне. Для принятия решения в этом случае сравнивают дополнительно значения D_{p1} и D_{p0}. Если $D_{p1}= D_{p0}$, то принимается решение, что нарушитель отсутствует. Если $D_{p1}> D_{p0}$, то принимается решение, что нарушитель находится в охраняемой зоне. В этом варианте величина сигнала усиливающей интерференции равна сигналу экранирования и происходит компенсация изменения этих сигналов, что соответствует равенству $/M_{p1}/ = /M_{p0}/$. Решение о наличии или отсутствии нарушителя принимается системой верно.

Для проверки алгоритмов работы предлагаемого способа проведен физический эксперимент, моделирующий взаимодействие нарушителя и изменения входной мощности сигнала приемника. Характеристики нарушителя и устройств: рост нарушителя равен 1.7 м, ширина грудной клетки нарушителя 0.4м, высота установки антенн передатчика и приемника H=1.25 м, длина пролета L=20 м, значение частоты генератора устройств ZigBee F=2.4ГГц, приемник с логарифмической амплитудной характеристикой принимает сигналы и представляет результат одного измерения после усреднения по восьми периодам (128 мкс) принятого сигнала. Пакет включал пять измерений для каждого положения нарушителя, которые проводились с интервалом времени 0.5с. Нарушитель занимал одно из 7 положений с шагом 2.5м вдоль трассы и находился на этих отметках во время проведения измерений. Интервальная оценка математических ожиданий с доверительным интервалом 0.95 проводилась на основе использования распределения Стьюдента.

При отсутствии нарушителя интервальная оценка математического ожидания M_{p0}= 57÷59 дБм , дисперсия ослабления сигнала D_{p0}= 1.2 $(дБм)^2$.

На фигуре 2 представлены результаты вычисления оценок M_{p1}. Из фигуры 2 видно, что для штатного режима работы системы и положения нарушителя на отметках 7.5 м, 10 м, 15 м оценки математического ожидания $M_{p1}=M_{p0}$, т.е. для принятия решения о наличии нарушителя необходима дополнительно сравнить дисперсии D_{p1} ослабления сигнала. Из фигуре 3 видно, что для штатного режима работы системы и положения нарушителя на отметках 7.5 м, 10 м, 15 м оценки дисперсии D_{p1}составляют соответственно 9 $(дБм)^2$, 7.8 $(дБм)^2$, 11.7 $(дБм)^2$.Эти значения больше, чем D_{p0}=1.2, что подтверждает наличие нарушителя. Для положения нарушителя на отметках 2.5 м, 12.5 м, 17.5 м оценки математического ожидания $/M_{p1}/>/M_{p0}/$, а для отметки 5м оценка математического ожидания $/M_{p1}/</M_{p0}/$, эти результаты подтверждают наличие нарушителя. Представленные экспериментальные результаты подтверждают эффективность фиксации нарушителя и надежность обнаружения.

Реализовать способ определения наличия нарушителя можно при помощи устройств беспроводной передачи данных ZigBee стандарта IEEE 802.15.4.

Устройства ZigBee работают в режиме приема/передачи, в диапазоне 2.4 ГГц, в котором предусмотрено 16 частотных каналов с шагом 5 МГц. При использовании такого диапазона частот сигнал длина волны радиосигнала позволяет получить режим дифракции при реальных размерах нарушителя.

Таким образом, предлагаемый способ определения наличия нарушителя в контролируемой зоне предоставляет возможность фиксации нарушителя и увеличение надежности обнаружения при реальных размерах нарушителя и наличии быстрых замираний сигнала, что достигается за счет выполнения N измерений входного сигнала приемника для фиксированных интервалов времени, вычисления оценок математического ожидания и дисперсии временного ряда при отсутствии нарушителя и при наличии нарушителя, и сравнения этих двух статистических характеристик сигнала приемника, определяемых свойствами объекта, со значениями этих характеристик при отсутствии нарушителя.

4.2 Формула изобретения

4.2.1 Способ определения наличия нарушителя в контролируемой зоне, сформированной передающим и приемным устройствами, включающий обработку сигналов на входе приемника, отличающийся тем, что устанавливают генерацию частоты F сигнала передатчика и для режима отсутствия нарушителя измеряют мощность сигнала P_0 в приемнике с интервалом времени Δ между измерениями, формируют пакет R_0 для N измерений, запоминают сигналы P_0 (t_1, t_2,..,t_n) этого пакета, вычисляют оценки математического ожидание M_{p0} и дисперсии D_{p0} ослабления сигнала, принимаемых в качестве порогового уровня, измеряют мощность сигнала P_1 с интервалом времени Δ между измерениями для штатного режима работы, формируют пакет R_1 для M измерений, запоминают сигналы P_1(t_1, t_2,..,t_m) пакета R_1, вычисляют оценки математического ожидания M_{p1} и дисперсии D_{p1} штатного режима работы, сравнивают раздельно M_p для двух режимов работы и D_p для этих режимов, по результатам сравнения определяют наличие нарушителя в контролируемой зоне [50].

4.2.2 Способ по п.1, отличающийся тем, что наличие нарушителя в контролируемой зоне определяют, исходя из следующих условий:

-если $/M_{p1}/>/M_{p0}/$ или $/M_{p1}/</M_{p0}/$, то фиксируют наличие нарушителя;

-если $/M_{p1}/=/M_{p0}/$, то дополнительно сравнивают дисперсии ослабления сигнала,

-при $D_{p1}(2) = D_{p0}(2)$, фиксируют отсутствие нарушителя,

-при $D_{p1}(6) > D_{p0}(2)$, фиксируют наличие нарушителя;

4.2.3 Способ по п.1, отличающийся тем, что пакет R_0 включает число измерений N больше, чем число измерений M пакета R_1.

Предложенный способ определения наличия объекта обеспечивает надежность и точность при его применении. Заявка была подана на рассмотрение смотрите приложение Е.

Заключение

1) Разработаны двулучевая и многолучевая модели зависимости характеристики положения объекта, от различных возмущении. Приведена оценка изменения интенсивности радиосигнала при положении передатчика и приемника на расстояниях 20 и 60 м.

2) Установлено в результате моделирования, что двулучевое распространение сигнала характеризует плавное чередование слабо выраженных максимумов и минимумов мощности сигнала в зависимости от разности хода сигналов.

3) Установлено в результате моделирования, что многолучевое распространение сигнала характеризуется напряженностью поля, которое включает узкие участки с большой интенсивностью результирующего сигнала, разделенные широким участком с низкой напряженностью поля. Расчет напряженности поля был произведен при ширине объектов равной 0.4м, 0.6м, 0.8м.

При моделировании распространения радиосигнала рассмотрено изменение интенсивности сигнала в зависимости от разности хода лучей и фаз распространения сигналов. Дисперсия сигнала в зависимости от фазы распространения сигнала меняется существенно. При 180, 540, 900, 360, 720 градусах дисперсия равна малым значениям, при остальных значениях фазы дисперсия резко меняется.

Экспериментально оценено влияние подвижных объектов на распространение радиосигнала. С использованием статистической обработки результатов определены доверительные интервалы оценки математического ожидания мощности радиосигнала.

Опираясь на результаты экспериментальных исследовании и моделирования была подана заявка на изобретение «Способ определения наличия нарушителя». Предлагаемое изобретение может быть использовано в организации охранных систем на объектах.

Список литературы

1 Журавский А. Н., Леонтьев В. В. Классификация систем охраны периметров объектов // Известия СПбГЭТУ "ЛЭТИ". Сер. "Радиоэлектроника и телекоммуникации" - Вып. 2, стр. 27–31, 2002г.

2 Леонтьев В.В. К теории радиолокационных систем охраны периметра //Известия вузов России - Вып. 4, 54 стр, Радиоэлектроника 2004 г.

3 Jun Wang, Min Chen, Victor C. M. Leung Forming priority based and energy balanced ZigBee networks—a pricing approach//Telecommunication Systems September 2011, Volume 52, p. 1281-1292.

4 «Обнаружение и измерение координат движущихся объектов в многопозиционной системе» // Научная библиотека- disserCat http://www.dissercat.com/content/obnaruzhenie-i-izmerenie-koordinat-dvizhushchikhsya-nazemnykh-obektov-v-mnogopozitsionnoi-pr#ixzz2uESQIvkW

5 Чапурский В.В. Синтезированная теневая радиоголография в бистатической радиолокации // Вып. №3 , стр. 52–69 - Радиотехника 2009 г.

6 Bistatic Radar. Principles and Practice / Ed. M. Cherniakov. – England: Wiley, 2007. – 504 p.

7 Ковалев А.Н., Ковалев Ф.Н. Измерение угловых координат движущейся цели в просветных радиолокаторах с разнесенным приемом. Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е.Алексеева №4, 2013г.

8 Ковалев Ф.Н. Определение координат движущихся целей по измерениям доплеровской частоты в радиолокационных системах с обнаружением “на просвет” // Т. 52, № 3 - Радиотехника и электроника 2007 г.

9 Шевченко В.Н., Пархоменко Н.Г. Способ пассивного обнаружения подвижных объектов, патент России №RU 2471199, опубликован 27.12.2012г.

10 Явления, возникающие при распространении радиоволн. // Интернет страница «Беспроводная связь, история стандарты и технологии»: http://celnet.ru/probrad.php

11 Гавриленко В.Г., Яшнов В.А. Распространение радиоволн//Учебно-методический материал. Нижегородский университет им. Н. И. Лобачевского. Нижний Новгород, 2003г.- 43 стр.

12 Многолучевое распространение радиоволн. // Сайт «Системы и сети связи» - http://systemseti.com/CCPO/403.html

13 И. Иродов. Волновые процессы основные законы// Лаборатория базовых знаний , 2004г. Изд. Бином.

14 Елькин М.С. Оценка пригодности радиолинии вне помещений // Электронная газета «Системы безопасности» http://www.secuteck.ru/articles2/firesec/ocenka-prigodnosti-radiolinii-vne-pomeshenii

15 Г.Д. Малюжинец, Развитие представлений о явлениях дифракции// Электронный журнал «Успехи физических наук» 1959г. - стр. 321

http://www.ebiblioteka.lt/resursai/Uzsienio%20leidiniai/Uspechi_Fiz_Nauk/1959/10/r5910g.pdf

16 Сердюк В.М. Дифракция электромагнитной волны на щели в проводящем экране произвольной толщины // Журнал технической физики, 2005 г., том 75, выпуск 8, стр.113

17 Дифракция Френеля от простейших преград // Научная библиотека Scask. - ens.tpu.ru / posobie_fis_kusn / 09-3.htm

18 Литвинов О.С., Павлов К.Б., Горелик В.С. Электромагнитные волны и оптика // электронный учебник // изд-во МГТУ имени Н.Э.Баумана 2006 г. http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom4/ch5/texthtml/ch5_3.htm

19 Guorui Han ; Wenmei Zhang ; Zhang, Y.P. An Experiment Study of the Propagation of Radio Waves in a Scaled Model of Long-Wall Coal Mining Tunnels // Antennas and Wireless Propagation Letters, IEEE, Publication Year 2009, Pages 502-504

20 Xiaoyang Huang, ; Bingquan Chen, ; Hong-Liang Cui ;Stamnes, J.J. ; Pastore, R. ; Farwell, M. ; Chin, W. ; Ross, J. Radio-Propagation Model Based on the Combined Method of Ray Tracing and Diffraction // Antennas and Propagation Publication Year: 2006 , Page(s): 1284 – 1291

21 Ю.В.Андреев, А.С.Дмитриев, А.В.Клецов. Усиление хаотических радиоимпульсов в многолучевой среде распространения//Радиотехника и электроника, 2007, т. 52, №7, стр. 838–846.

22 О. Пушкарев. Проверка дальности связи ZigBee-модулей Maxstream //Новости электроники №5, 2006г, стр.14-16

23 G. Betta. Experimental Investigation of the Electromagnetic Interference of ZigBee Transmitters on Measurement Instruments // Instrumentation and Measurement, IEEE , 16 May 2008, Pages 2118 - 2127

24 С. Михайлов. Влияние многолучевости на распространение радиосигнала// Беспроводные технологии №2, 2006 г. – 18 стр.

25 Ассамблея радиосвязи МСЭ, Расчет ослабления в свободном пространстве// Рекомендация МСЭ-R P.525-2 www.itu.int/dms_pubrec/itu.../R-REC-P.525-2-199408-I!!MSW-R.doc

26 Б. Скляр Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. М.: Издательский дом «Вильямс», 2003.

27 С.В. Столлинг. Беспроводные линии связи и сети. М.: Издательский дом «Вильямс», 2003 г.

28 Ф.Б. Черный. Распространение радиоволн // М.: Сов. Радио, 1972.

29 Е.Л. Черенкова, Чернышев О.В. Распространение радиоволн. – М.: Радио и связь, 1984 г.

30 Nobles P. A study into indoor propagation factors at17Ghz and 60 GHz – Final Report. http://www.radio.gov.uk/topics/ptopagation/indprop

31 В.Г. Гавриленко, В.А. Яшнов. Передача информации по беспроводным сетям в условиях пересеченной местности //Учебно-методический материал, Нижний Новгород, Нижегородский университет им. Н. И. Лобачевского 2007г.

32 Okumura J., Ohmori E., Kawano T., Fukuda K. Field strength and its variability in VHF and UHF land-mobile radio service.// Rev. ins. Elec. Eng., 1968, v.16, no. 9-10, p. 825-873.

33 Collonge, S. ; Zaharia, G. ; El Zein, G. Influence of the furniture on 60 GHz radio propagation in a residential environment// Signals, Circuits and Systems, 2003- pages 413 - 416 vol.2

34 Wenqi Guo ; Healy, W.M. ; MengChu Zhou. Impacts of 2.4-GHz ISM Band Interference on IEEE 802.15.4 Wireless Sensor Network Reliability in Buildings// Instrumentation and Measurement, IEEE Transactions – 31.05.2012 year, p.2533-2544

35 Wenqi Guo ; Healy, W.M. ; Meng Chu Zhou. An experimental study of interference impacts on ZigBee-based wireless communication inside buildings// Mechatronics and Automation (ICMA), 4.08.2010 y.-1982-1987 p.

36 М. М. Башкиров, Дмитриев В.Г., Сергеев В. И., Сергеева Е.А., Федорова З.Н. Способ обнаружения объекта // Патент России №2296343 - 27.03.2007 г.

37 Ю.М.Казаринов. Принципы построения радиолокационных систем // «Радиотехнические системы» – М.:Москва 1991г.

38 А.А. Часовской Устройство обработки радиолокационных сигналов патент №2247408, 27.02.2005 г.

39 Е.Ю. Андрианов Радиоволновой способ обнаружения объектов// патент № 2348980, опуб.10.03.2009г.

40 Алексашенко В. А., Бородин А. М., Дмитриев В. Г., Перунов Ю. М., Сергеев В.И., Сергеева Е.А., Сосунов В.А., Фёдорова З.Н. Способ обнаружения объектов (варианты)// патент № 2287170, опуб.10.11.2006

41 Сергеев В.И. Способ обнаружения объекта// патент №2073884, опубл. 20.02.1997г.

42 Адрианов Е.Ю. Радиоволновой способ обнаружения объектов// патент России №2348980 С2, опубл.10.03.2009г.

43 М.П. Долуханов. Распространение радиоволн. - М.:Связь, 1972 г.

44 Лабораторное исследование эталона Фабри-Перо // Общая астрофизика, задачи астрофизического практикума / Heritage астрономическое наследие - http://heritage.sai.msu.ru/ucheb/Zasov/zadacha_10.htm

45 Интервальная оценка математического ожидания при известной дисперсии // Методические указания на сайте Metdoc - http://edu.dvgups.ru/METDOC/ENF/VMATEM/WM/METOD/UPVM/frame/13.htm

46 Р.Г. Магауенов Системы охранной сигнализации: основы теории и принципы построения. Учебное пособие. - М. Горячая линия - Телеком, 2004. - Гл.3, с.134-138

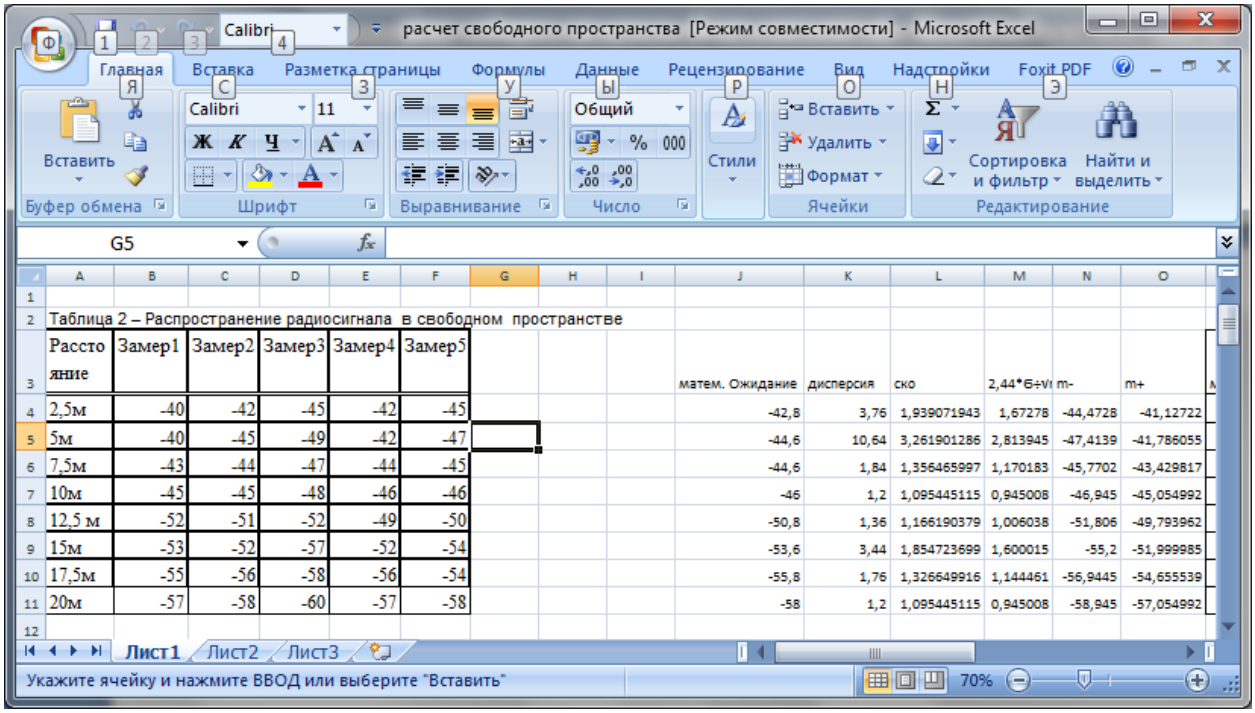
47 Б.С. Введенский. Интеллектуальные датчики для охраны периметров // Журнал «Системы безопасности» №3, 2011г., стр.21.

48 Лабораторное исследование эталона Фабри-Перо // Общая астрофизика, задачи астрофизического практикума / Heritage астрономическое наследие - http://heritage.sai.msu.ru/ucheb/Zasov/zadacha_10.htm

49 Н.Т. Аршидинова. Экспериментальные исследования распространения радиосигнала при перемещении подвижных объектов // Сборник научных трудов «Энергетика, радиотехника, электроника и связь», АУЭС 2013 г.

50 О.З. Рутгайзер, Н.Т. Аршидинова. Заявка на выдачу инновационного патента №2013/1978.1 от 27.12.13 на изобретение «Способ определения наличия нарушителя».

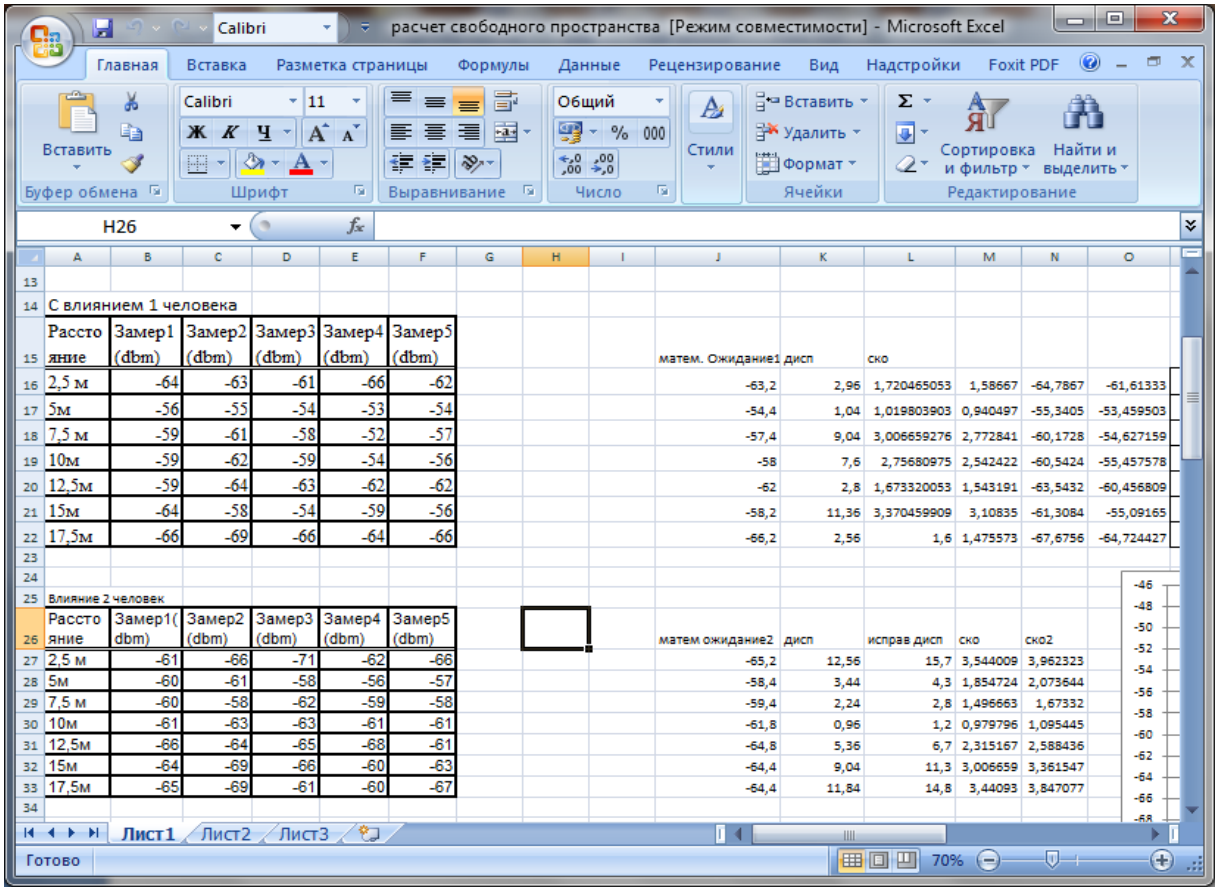
Приложение А
Статистическая обработка данных с помощью программы Excel



Расстояние	Замер1	Замер2	Замер3	Замер4	Замер5	матем. Ожидание	дисперсия	ско	2,44*б÷√n	m-	m+
2,5м	-40	-42	-45	-42	-45	-42,8	3,76	1,939071943	1,67278	-44,4728	-41,12722
5м	-40	-45	-49	-42	-47	-44,6	10,64	3,261901286	2,813945	-47,4139	-41,786055
7,5м	-43	-44	-47	-44	-45	-44,6	1,84	1,356465997	1,170183	-45,7702	-43,429817
10м	-45	-45	-48	-46	-46	-46	1,2	1,095445115	0,945008	-46,945	-45,054992
12,5 м	-52	-51	-52	-49	-50	-50,8	1,36	1,166190379	1,006038	-51,806	-49,793962
15м	-53	-52	-57	-52	-54	-53,6	3,44	1,854723699	1,600015	-55,2	-51,999985
17,5м	-55	-56	-58	-56	-54	-55,8	1,76	1,326649916	1,144461	-56,9445	-54,655539
20м	-57	-58	-60	-57	-58	-58	1,2	1,095445115	0,945008	-58,945	-57,054992

Рисунок А1 - Статистическая обработка данных при распространении радиосигнала в свободном пространстве

Продолжение приложения А



С влиянием 1 человека

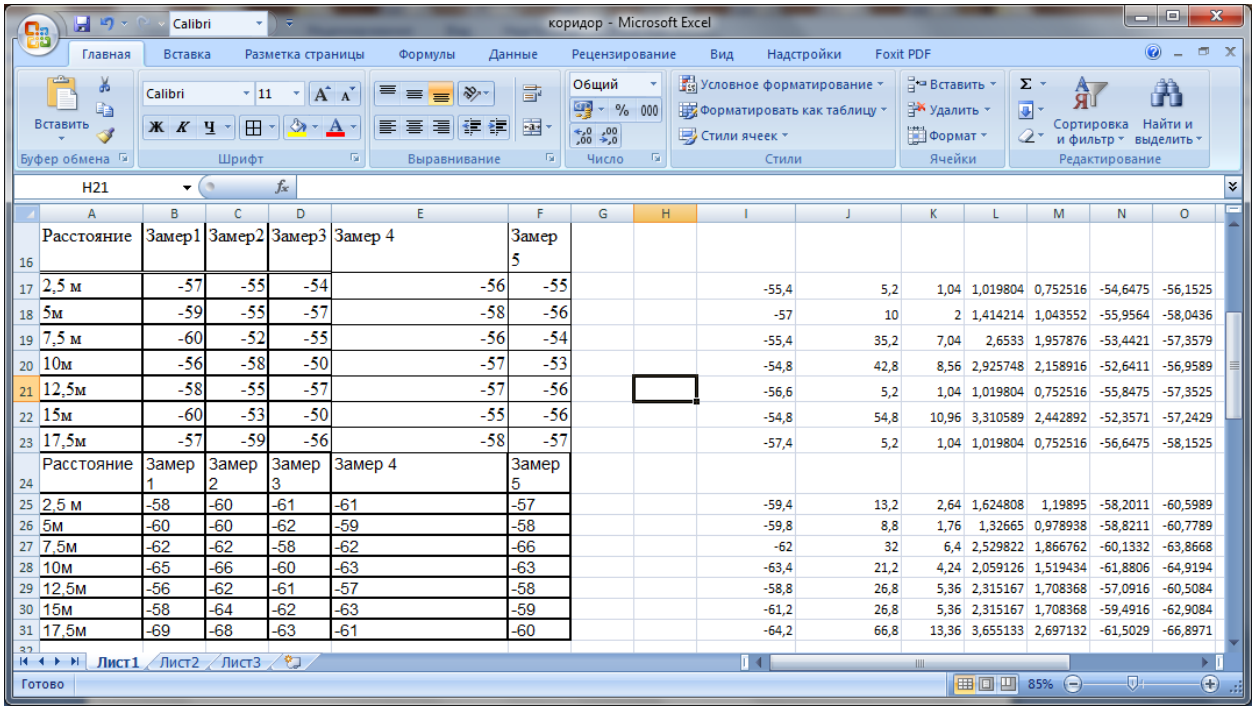
Расстояние	Замер1 (dbm)	Замер2 (dbm)	Замер3 (dbm)	Замер4 (dbm)	Замер5 (dbm)	матем. Ожидание1	дисп	ско			
2,5 м	-64	-63	-61	-66	-62	-63,2	2,96	1,720465053	1,58667	-64,7867	-61,61333
5м	-56	-55	-54	-53	-54	-54,4	1,04	1,019803903	0,940497	-55,3405	-53,459503
7,5 м	-59	-61	-58	-52	-57	-57,4	9,04	3,006659276	2,772841	-60,1728	-54,627159
10м	-59	-62	-59	-54	-56	-58	7,6	2,75680975	2,542422	-60,5424	-55,457578
12,5м	-59	-64	-63	-62	-62	-62	2,8	1,673320053	1,543191	-63,5432	-60,456809
15м	-64	-58	-54	-59	-56	-58,2	11,36	3,370459909	3,10835	-61,3084	-55,09165
17,5м	-66	-69	-66	-64	-66	-66,2	2,56	1,6	1,475573	-67,6756	-64,724427

Влияние 2 человек

Расстояние	Замер1(dbm)	Замер2 (dbm)	Замер3 (dbm)	Замер4 (dbm)	Замер5 (dbm)	матем ожидание2	дисп	исправ дисп	ско	ско2
2,5 м	-61	-66	-71	-62	-66	-65,2	12,56	15,7	3,544009	3,962323
5м	-60	-61	-58	-56	-57	-58,4	3,44	4,3	1,854724	2,073644
7,5 м	-60	-58	-62	-59	-58	-59,4	2,24	2,8	1,496663	1,67332
10м	-61	-63	-63	-61	-61	-61,8	0,96	1,2	0,979796	1,095445
12,5м	-66	-64	-65	-68	-61	-64,8	5,36	6,7	2,315167	2,588436
15м	-64	-69	-66	-60	-63	-64,4	9,04	11,3	3,006659	3,361547
17,5м	-65	-69	-61	-60	-67	-64,4	11,84	14,8	3,44093	3,847077

Рисунок А2 - Статистическая обработка данных при распространении радиосигнала в свободном пространстве с влиянием людей

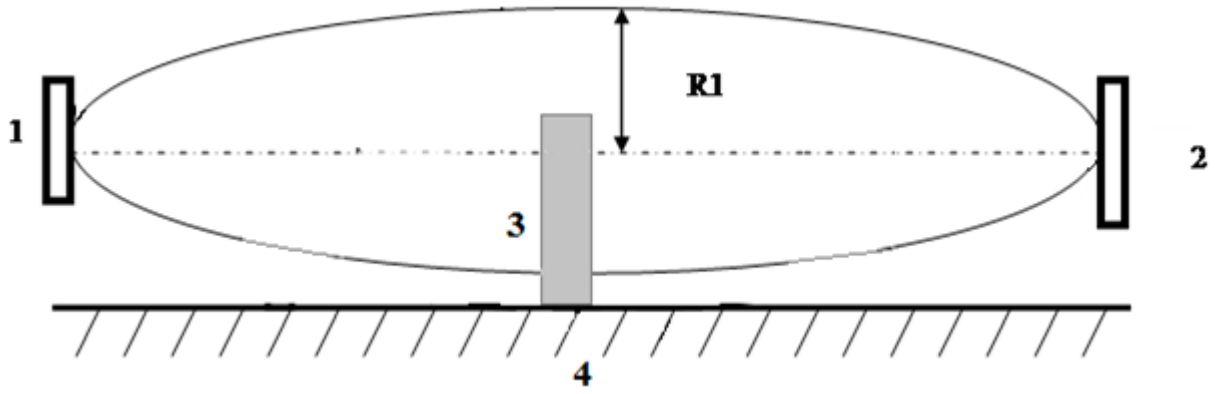
Продолжение приложения А



	Расстояние	Замер1	Замер2	Замер3	Замер 4	Замер 5									
17	2,5 м	-57	-55	-54	-56	-55			-55,4	5,2	1,04	1,019804	0,752516	-54,6475	-56,1525
18	5м	-59	-55	-57	-58	-56			-57	10	2	1,414214	1,043552	-55,9564	-58,0436
19	7,5 м	-60	-52	-55	-56	-54			-55,4	35,2	7,04	2,6533	1,957876	-53,4421	-57,3579
20	10м	-56	-58	-50	-57	-53			-54,8	42,8	8,56	2,925748	2,158916	-52,6411	-56,9589
21	12,5м	-58	-55	-57	-57	-56			-56,6	5,2	1,04	1,019804	0,752516	-55,8475	-57,3525
22	15м	-60	-53	-50	-55	-56			-54,8	54,8	10,96	3,310589	2,442892	-52,3571	-57,2429
23	17,5м	-57	-59	-56	-58	-57			-57,4	5,2	1,04	1,019804	0,752516	-56,6475	-58,1525
24	Расстояние	Замер 1	Замер 2	Замер 3	Замер 4	Замер 5									
25	2,5 м	-58	-60	-61	-61	-57			-59,4	13,2	2,64	1,624808	1,19895	-58,2011	-60,5989
26	5м	-60	-60	-62	-59	-58			-59,8	8,8	1,76	1,32665	0,978938	-58,8211	-60,7789
27	7,5м	-62	-62	-58	-62	-66			-62	32	6,4	2,529822	1,866762	-60,1332	-63,8668
28	10м	-65	-66	-60	-63	-63			-63,4	21,2	4,24	2,059126	1,519434	-61,8806	-64,9194
29	12,5м	-56	-62	-61	-57	-58			-58,8	26,8	5,36	2,315167	1,708368	-57,0916	-60,5084
30	15м	-58	-64	-62	-63	-59			-61,2	26,8	5,36	2,315167	1,708368	-59,4916	-62,9084
31	17,5м	-69	-68	-63	-61	-60			-64,2	66,8	13,36	3,655133	2,697132	-61,5029	-66,8971

Рисунок А3 - Статистическая обработка данных при распространении радиосигнала в помещении типа коридор.

Приложение В
Схема расположения элементов эксперимента



1 - передатчик,
2 - приемник,
3 - объект,
4- земная поверхность,
R1- радиус зоны Френеля

Рисунок В1 – Схема расположения элементов эксперимента (Фигура 1)

Приложение С
Экспериментальные результаты оценки математического ожидания Mp1 и дисперсии Dp1 ослабления сигнала мощности на входе приемника для нарушителя

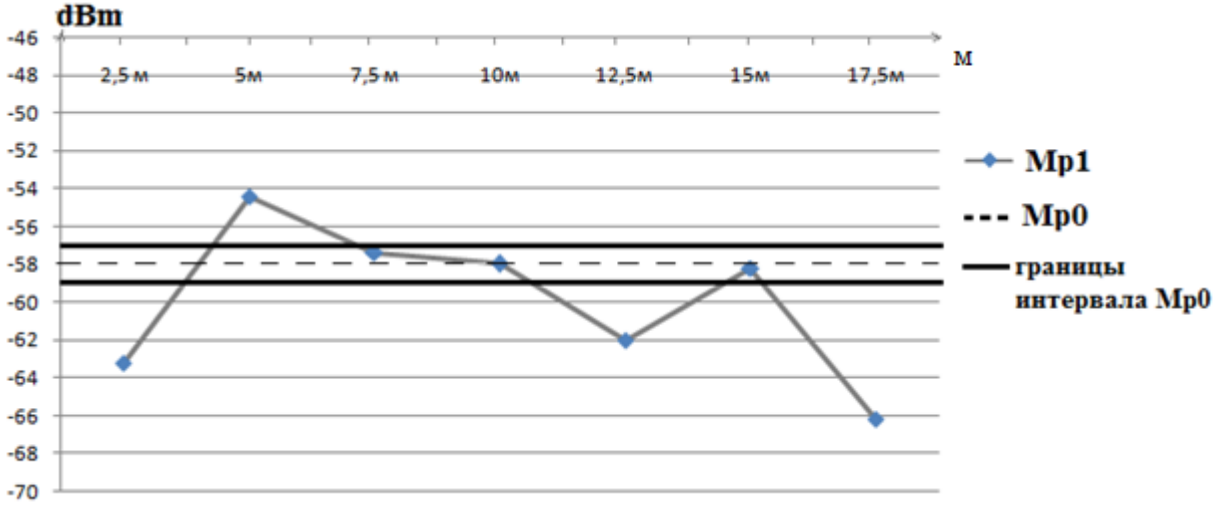


Рисунок С1 - Экспериментальные результаты оценки математического ожидания Mp1 (Фигура 2)

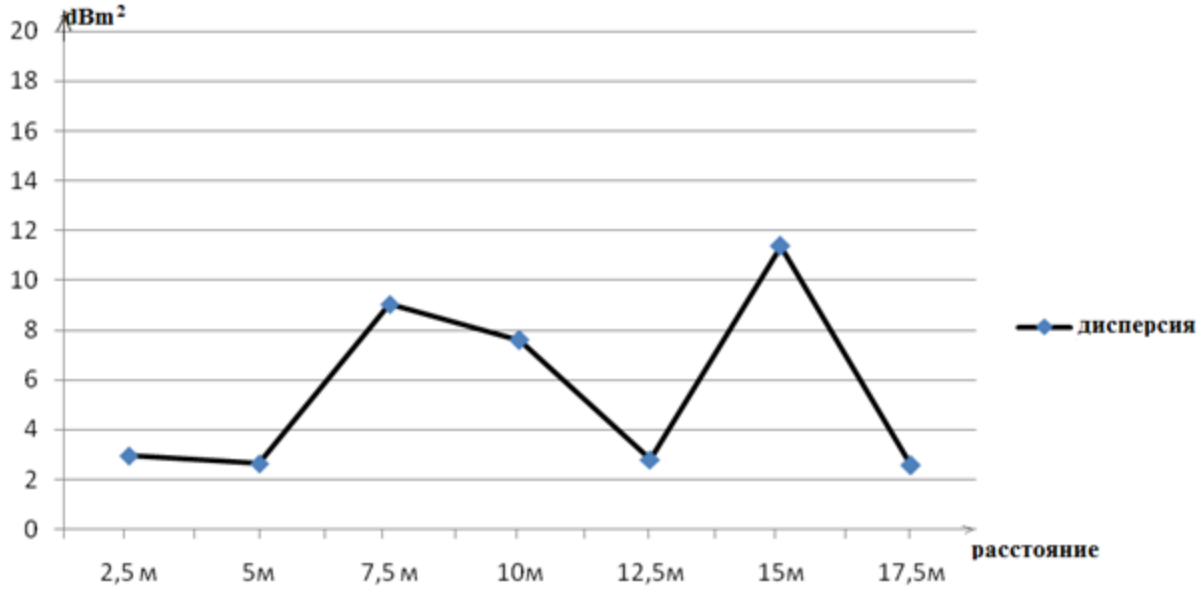


Рисунок С2 - Экспериментальные результаты дисперсии Dp1 (Фигура 3)

Приложение D
Код программы на языке «Си-шарп»

Код программы на языке СИ-ШАРП:

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Linq;
using System.Threading.Tasks;
using System.Windows.Forms;
namespace test1
{
    static class Program
    {
        /// <summary>
        /// The main entry point for the application.
        /// </summary>
        [STAThread]
        static void Main()
        {
            Application.EnableVisualStyles();
            Application.SetCompatibleTextRenderingDefault(false);
            Application.Run(new Form1());
        }
    }
}
namespace test1
{
    partial class Form1
    {
        /// <summary>
        /// Required designer variable.
        /// </summary>
        private System.ComponentModel.IContainer components = null;
        /// <summary>
        /// Clean up any resources being used.
        /// </summary>
        /// <param name="disposing">true if managed resources should be disposed;
otherwise, false.</param>
        protected override void Dispose(bool disposing)
        {
            if (disposing && (components != null))
            {
                components.Dispose();
```

```
        }
```



```
 base.Dispose(disposing);
    }
    #region Windows Form Designer generated code
    /// <summary>
    /// Required method for Designer support - do not modify
    /// the contents of this method with the code editor.
    /// </summary>
    private void InitializeComponent()
    {
        System.ComponentModel.ComponentResourceManager resources = new
System.ComponentModel.ComponentResourceManager(typeof(Form1));
        this.label1 = new System.Windows.Forms.Label();
        this.label2 = new System.Windows.Forms.Label();
        this.textBox1 = new System.Windows.Forms.TextBox();
        this.textBox2 = new System.Windows.Forms.TextBox();
        this.button1 = new System.Windows.Forms.Button();
        this.textBox3 = new System.Windows.Forms.TextBox();
        this.pictureBox1 = new System.Windows.Forms.PictureBox();
        this.button2 = new System.Windows.Forms.Button();
        this.button3 = new System.Windows.Forms.Button();
        this.button4 = new System.Windows.Forms.Button();
((System.ComponentModel.ISupportInitialize)(this.pictureBox1)).BeginInit();
        this.SuspendLayout();
        //
        // label1
        //
        this.label1.AutoSize = true;
        this.label1.BackColor = System.Drawing.SystemColors.HotTrack;
        this.label1.Font = new System.Drawing.Font("Microsoft Sans Serif", 12F,
System.Drawing.FontStyle.Regular, System.Drawing.GraphicsUnit.Point,
((byte)(0)));
        this.label1.Location = new System.Drawing.Point(28, 95);
        this.label1.Name = "label1";
        this.label1.Size = new System.Drawing.Size(21, 20);
        this.label1.TabIndex = 0;
        this.label1.Text = "R";
        //
        // label2
        //
        this.label2.AutoSize = true;
        this.label2.BackColor = System.Drawing.SystemColors.HotTrack;
```

```
this.label2.Font = new System.Drawing.Font("Microsoft Sans Serif", 12F,
System.Drawing.FontStyle.Regular, System.Drawing.GraphicsUnit.Point,
((byte)(0)));
        this.label2.Location = new System.Drawing.Point(33, 145);
        this.label2.Name = "label2";
        this.label2.Size = new System.Drawing.Size(14, 20);
        this.label2.TabIndex = 1;
        this.label2.Text = "f";
        //
        // textBox1
        //
        this.textBox1.BackColor = System.Drawing.SystemColors.ButtonFace;
        this.textBox1.Location = new System.Drawing.Point(61, 95);
        this.textBox1.Name = "textBox1";
        this.textBox1.Size = new System.Drawing.Size(100, 20);
        this.textBox1.TabIndex = 2;
        this.textBox1.TextChanged += new
System.EventHandler(this.textBox1_TextChanged);
        //
        // textBox2
        //
        this.textBox2.BackColor = System.Drawing.SystemColors.ButtonFace;
        this.textBox2.Location = new System.Drawing.Point(61, 142);
        this.textBox2.Name = "textBox2";
        this.textBox2.Size = new System.Drawing.Size(100, 20);
        this.textBox2.TabIndex = 3;
        this.textBox2.TextChanged += new
System.EventHandler(this.textBox2_TextChanged);
        //
        // button1
        //
        this.button1.BackColor = System.Drawing.SystemColors.AppWorkspace;
        this.button1.Font = new System.Drawing.Font("Microsoft Sans Serif", 9.75F,
System.Drawing.FontStyle.Regular, System.Drawing.GraphicsUnit.Point,
((byte)(0)));
        this.button1.ForeColor = System.Drawing.SystemColors.ActiveCaptionText;
        this.button1.Location = new System.Drawing.Point(61, 286);
        this.button1.Name = "button1";
        this.button1.Size = new System.Drawing.Size(75, 53);
        this.button1.TabIndex = 4;
        this.button1.Text = "Result";
```

```
this.button1.UseVisualStyleBackColor = false;
```

Продолжение приложения D

```
this.button1.Click += new System.EventHandler(this.button1_Click);
//
// textBox3
//
this.textBox3.BackColor = System.Drawing.SystemColors.ButtonFace;
this.textBox3.Font = new System.Drawing.Font("Microsoft Sans Serif", 12F,
System.Drawing.FontStyle.Regular, System.Drawing.GraphicsUnit.Point,
((byte)(0)));
this.textBox3.Location = new System.Drawing.Point(167, 289);
this.textBox3.Multiline = true;
this.textBox3.Name = "textBox3";
this.textBox3.RightToLeft = System.Windows.Forms.RightToLeft.Yes;
this.textBox3.Size = new System.Drawing.Size(235, 50);
this.textBox3.TabIndex = 5;
this.textBox3.TextChanged += new
System.EventHandler(this.textBox3_TextChanged);
//
// pictureBox1
//
this.pictureBox1.Image =
((System.Drawing.Image)(resources.GetObject("pictureBox1.Image")));
this.pictureBox1.Location = new System.Drawing.Point(331, 65);
this.pictureBox1.Name = "pictureBox1";
this.pictureBox1.Size = new System.Drawing.Size(210, 76);
this.pictureBox1.SizeMode =
System.Windows.Forms.PictureBoxSizeMode.StretchImage;
this.pictureBox1.TabIndex = 6;
this.pictureBox1.TabStop = false;
this.pictureBox1.Click += new
System.EventHandler(this.pictureBox1_Click);
//
// button2
//
this.button2.Location = new System.Drawing.Point(12, 12);
this.button2.Name = "button2";
this.button2.Size = new System.Drawing.Size(75, 23);
this.button2.TabIndex = 7;
this.button2.Text = "????";
this.button2.UseVisualStyleBackColor = true;
//
// button3
```

```
this.button3.Location = new System.Drawing.Point(113, 12);
this.button3.Name = "button3";
this.button3.Size = new System.Drawing.Size(75, 23);
this.button3.TabIndex = 8;
this.button3.Text = "??????";
this.button3.UseVisualStyleBackColor = true;
//
// button4
//
this.button4.Location = new System.Drawing.Point(207, 12);
this.button4.Name = "button4";
this.button4.Size = new System.Drawing.Size(75, 23);
this.button4.TabIndex = 9;
this.button4.Text = "??????";
this.button4.UseVisualStyleBackColor = true;
//
// Form1
//
this.AutoScaleDimensions = new System.Drawing.SizeF(6F, 13F);
this.AutoScaleMode = System.Windows.Forms.AutoScaleMode.Font;
this.BackColor = System.Drawing.SystemColors.ActiveCaption;
this.BackgroundImage =
((System.Drawing.Image)(resources.GetObject("$this.BackgroundImage")));
this.ClientSize = new System.Drawing.Size(613, 438);
this.Controls.Add(this.button4);
this.Controls.Add(this.button3);
this.Controls.Add(this.button2);
this.Controls.Add(this.pictureBox1);
this.Controls.Add(this.textBox3);
this.Controls.Add(this.button1);
this.Controls.Add(this.textBox2);
this.Controls.Add(this.textBox1);
this.Controls.Add(this.label2);
this.Controls.Add(this.label1);
this.Icon = ((System.Drawing.Icon)(resources.GetObject("$this.Icon")));
this.Name = "Form1";
this.Text = "Nargiz";
this.Load += new System.EventHandler(this.Form1_Load);
((System.ComponentModel.ISupportInitialize)(this.pictureBox1)).EndInit();
this.ResumeLayout(false);
this.PerformLayout();
```

```
        }
```



```
 #endregion
        private System.Windows.Forms.Label label1;
        private System.Windows.Forms.Label label2;
        private System.Windows.Forms.TextBox textBox1;
        private System.Windows.Forms.TextBox textBox2;
        private System.Windows.Forms.Button button1;
        private System.Windows.Forms.TextBox textBox3;
        private System.Windows.Forms.PictureBox pictureBox1;
        private System.Windows.Forms.Button button2;
        private System.Windows.Forms.Button button3;
        private System.Windows.Forms.Button button4;
    }
}

namespace test1
{
    partial class Form1
    {
        /// <summary>
        /// Required designer variable.
        /// </summary>
        private System.ComponentModel.IContainer components = null;
        /// <summary>
        /// Clean up any resources being used.
        /// </summary>
        /// <param name="disposing">true if managed resources should be disposed;
otherwise, false.</param>
        protected override void Dispose(bool disposing)
        {
            if (disposing && (components != null))
            {
                components.Dispose();
            }
            base.Dispose(disposing);
        }
        #region Windows Form Designer generated code
        /// <summary>
        /// Required method for Designer support - do not modify
        /// the contents of this method with the code editor.
        /// </summary>
        private void InitializeComponent()
```

```
{
```



```
System.ComponentModel.ComponentResourceManager resources = new System.ComponentModel.ComponentResourceManager(typeof(Form1));
this.label1 = new System.Windows.Forms.Label();
this.label2 = new System.Windows.Forms.Label();
this.textBox1 = new System.Windows.Forms.TextBox();
this.textBox2 = new System.Windows.Forms.TextBox();
this.button1 = new System.Windows.Forms.Button();
this.textBox3 = new System.Windows.Forms.TextBox();
this.pictureBox1 = new System.Windows.Forms.PictureBox();
this.button2 = new System.Windows.Forms.Button();
this.button3 = new System.Windows.Forms.Button();
this.button4 = new System.Windows.Forms.Button();
((System.ComponentModel.ISupportInitialize)(this.pictureBox1)).BeginInit();
this.SuspendLayout();
//
// label1
//
this.label1.AutoSize = true;
this.label1.BackColor = System.Drawing.SystemColors.HotTrack;
this.label1.Font = new System.Drawing.Font("Microsoft Sans Serif", 12F, System.Drawing.FontStyle.Regular, System.Drawing.GraphicsUnit.Point, ((byte)(0)));
this.label1.Location = new System.Drawing.Point(28, 95);
this.label1.Name = "label1";
this.label1.Size = new System.Drawing.Size(21, 20);
this.label1.TabIndex = 0;
this.label1.Text = "R";
//
// label2
//
this.label2.AutoSize = true;
this.label2.BackColor = System.Drawing.SystemColors.HotTrack;
this.label2.Font = new System.Drawing.Font("Microsoft Sans Serif", 12F, System.Drawing.FontStyle.Regular, System.Drawing.GraphicsUnit.Point, ((byte)(0)));
this.label2.Location = new System.Drawing.Point(33, 145);
this.label2.Name = "label2";
this.label2.Size = new System.Drawing.Size(14, 20);
this.label2.TabIndex = 1;
this.label2.Text = "f";
//
```

```
        // textBox1
```



```
        this.textBox1.BackColor = System.Drawing.SystemColors.ButtonFace;
        this.textBox1.Location = new System.Drawing.Point(61, 95);
        this.textBox1.Name = "textBox1";
        this.textBox1.Size = new System.Drawing.Size(100, 20);
        this.textBox1.TabIndex = 2;
        this.textBox1.TextChanged += new
System.EventHandler(this.textBox1_TextChanged);
        //
        // textBox2
        //
        this.textBox2.BackColor = System.Drawing.SystemColors.ButtonFace;
        this.textBox2.Location = new System.Drawing.Point(61, 142);
        this.textBox2.Name = "textBox2";
        this.textBox2.Size = new System.Drawing.Size(100, 20);
        this.textBox2.TabIndex = 3;
        this.textBox2.TextChanged += new
System.EventHandler(this.textBox2_TextChanged);
        //
        // button1
        //
        this.button1.BackColor = System.Drawing.SystemColors.AppWorkspace;
        this.button1.Font = new System.Drawing.Font("Microsoft Sans Serif", 9.75F,
System.Drawing.FontStyle.Regular,          System.Drawing.GraphicsUnit.Point,
((byte)(0)));
        this.button1.ForeColor = System.Drawing.SystemColors.ActiveCaptionText;
        this.button1.Location = new System.Drawing.Point(61, 286);
        this.button1.Name = "button1";
        this.button1.Size = new System.Drawing.Size(75, 53);
        this.button1.TabIndex = 4;
        this.button1.Text = "Result";
        this.button1.UseVisualStyleBackColor = false;
        this.button1.Click += new System.EventHandler(this.button1_Click);
        //
        // textBox3
        //
        this.textBox3.BackColor = System.Drawing.SystemColors.ButtonFace;
        this.textBox3.Font = new System.Drawing.Font("Microsoft Sans Serif", 12F,
System.Drawing.FontStyle.Regular,          System.Drawing.GraphicsUnit.Point,
((byte)(0)));
        this.textBox3.Location = new System.Drawing.Point(167, 289);
        this.textBox3.Multiline = true;
```

```
this.textBox3.Name = "textBox3";
```



```
this.textBox3.RightToLeft = System.Windows.Forms.RightToLeft.Yes;
this.textBox3.Size = new System.Drawing.Size(235, 50);
this.textBox3.TabIndex = 5;
this.textBox3.TextChanged += new
System.EventHandler(this.textBox3_TextChanged);
//
// pictureBox1
//
this.pictureBox1.Image =
((System.Drawing.Image)(resources.GetObject("pictureBox1.Image")));
this.pictureBox1.Location = new System.Drawing.Point(331, 65);
this.pictureBox1.Name = "pictureBox1";
this.pictureBox1.Size = new System.Drawing.Size(210, 76);
this.pictureBox1.SizeMode =
System.Windows.Forms.PictureBoxSizeMode.StretchImage;
this.pictureBox1.TabIndex = 6;
this.pictureBox1.TabStop = false;
this.pictureBox1.Click += new
System.EventHandler(this.pictureBox1_Click);
//
// button2
//
this.button2.Location = new System.Drawing.Point(12, 12);
this.button2.Name = "button2";
this.button2.Size = new System.Drawing.Size(75, 23);
this.button2.TabIndex = 7;
this.button2.Text = "????";
this.button2.UseVisualStyleBackColor = true;
//
// button3
//
this.button3.Location = new System.Drawing.Point(113, 12);
this.button3.Name = "button3";
this.button3.Size = new System.Drawing.Size(75, 23);
this.button3.TabIndex = 8;
this.button3.Text = "??????";
this.button3.UseVisualStyleBackColor = true;
//
// button4
//
this.button4.Location = new System.Drawing.Point(207, 12);
```

```
        this.button4.Name = "button4";
```

Продолжение приложения D

```
 this.button4.Size = new System.Drawing.Size(75, 23);
        this.button4.TabIndex = 9;
        this.button4.Text = "??????";
        this.button4.UseVisualStyleBackColor = true;
        //
        // Form1
        //
        this.AutoScaleDimensions = new System.Drawing.SizeF(6F, 13F);
        this.AutoScaleMode = System.Windows.Forms.AutoScaleMode.Font;
        this.BackColor = System.Drawing.SystemColors.ActiveCaption;
        this.BackgroundImage =
((System.Drawing.Image)(resources.GetObject("$this.BackgroundImage")));
        this.ClientSize = new System.Drawing.Size(613, 438);
        this.Controls.Add(this.button4);
        this.Controls.Add(this.button3);
this.Controls.Add(this.button2);
        this.Controls.Add(this.pictureBox1);
        this.Controls.Add(this.textBox3);
        this.Controls.Add(this.button1);
        this.Controls.Add(this.textBox2);
        this.Controls.Add(this.textBox1);
        this.Controls.Add(this.label2);
        this.Controls.Add(this.label1);
        this.Icon = ((System.Drawing.Icon)(resources.GetObject("$this.Icon")));
        this.Name = "Form1";
        this.Text = "Nargiz";
        this.Load += new System.EventHandler(this.Form1_Load);
        ((System.ComponentModel.ISupportInitialize)(this.pictureBox1)).EndInit();
        this.ResumeLayout(false);
        this.PerformLayout();
    }
    #endregion
    private System.Windows.Forms.Label label1;
    private System.Windows.Forms.Label label2;
    private System.Windows.Forms.TextBox textBo
x1;
    private System.Windows.Forms.TextBox textBox2;
    private System.Windows.Forms.Button button1;
    private System.Windows.Forms.TextBox textBox3;
    private System.Windows.Forms.PictureBox pictureBox1;
    private System.Windows.Forms.Button button2;
```

```
        private System.Windows.Forms.Button button3;
```

Окончание приложения D

```
   private System.Windows.Forms.Button button4;
    }
}
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using System.Windows.Forms;

namespace test1
{
    public partial class Form1 : Form

        public Form1
{
            InitializeComponent();
        }
        private void textBox1_TextChanged(object sender, EventArgs e)
        {
        }
        private void textBox2_TextChanged(object sender, EventArgs e)
        {
        }
        private void textBox3_TextChanged(object sender, EventArgs e)
        {
        }
          private void button1_Click(object sender, EventArgs e)
         Double R = Convert.ToDouble(textBox1.Text);
Double f = Convert.ToDouble(textBox2.Text)*Math.PI/180;
Double Result = Math.Pow((1 - R), 2) / (Math.Pow((1 - R), 2) + 4 * R *
Math.Pow(Math.Sin(f / 2), 2));
            textBox3.Text = Convert.ToString(Result);
        }
        private void pictureBox1_Click(object sender, EventArgs e)
        {
        }
        private void Form1_Load(object sender, EventArgs e)
```

{

Приложение Е

Заявка на выдачу инновационного патента №2013/1978.1 от 27.12.14 на изобретение «Способ определения наличия нарушителя».

Форма ИЗ-1 И.П.

Приложение1
к Инструкции по составлению, оформлению и рассмотрению заявки на выдачу инновационного патента или патента на изобретение

Дата поступления	(85) Дата перевода международной заявки на национальную фазу	(21) Регистрационный №	(22) Дата подачи
27 [illegible] 2013		2013/1978.1	

☐ (86) регистрационный номер международной заявки и дата международной подачи, установленные получающим ведомством

☐ (87) номер и дата международной публикации международной заявки

☐ (96) номер евразийской заявки и дата подачи заявки, установленные получающим ведомством

☐ (97) номер и дата публикации евразийской заявки

ЗАЯВЛЕНИЕ
о выдаче инновационного патента Республики Казахстан на изобретение

В РГКП «Национальный институт интеллектуальной собственности» Комитета по правам интеллектуальной собственности Министерства Юстиции Республики Казахстан

010000, г. Астана, Левобережье, Дом Министерств, Ул. Орынбор, дом 8, подъезд №18 В

Предоставляя указанные ниже документы, прошу (просим) выдать инновационный патент Республики Казахстан на имя заявителя(ей)

(71) Заявитель(и):

Некоммерческое акционерное общество "Алматинский университет энергетики и связи"
050013, Республика Казахстан, г. Алматы, ул. Байтурсынова, 126

(указывается полное имя или наименование и местожительство или местонахождение.
Данные о местожительстве авторов-заявителей приводятся в графе, рядом с графой с кодом (72)

Код страны по стандарту ВОИС ST.3 (если он установлен)

KZ

Заполняется только при испрашивании приоритета по дате, более ранней, чем дата подачи заявки в НИИС

Прошу (просим) установить приоритет изобретения по дате:

☐ подачи первой(ых) заявки(ок) в государстве-участнике Парижской конвенции (п.2 ст.20 Закона)

☐ подачи более ранней заявки в НИИС в соответствии с п. 4 ст. 20 Закона

☐ подачи первоначальной заявки в НИИС в соответствии с п. 5 ст. 20 Закона

☐ приоритета первоначальной заявки (п.5 ст. 20 Закона)

(номер заявки _____, дата подачи _____)

☐ поступления дополнительных материалов к более ранней заявке (п. 3 ст. 20 Закона)

☐ № первой, более ранней, первоначальной заявки	☐ Дата испрашиваемого приоритета	(33) Код страны подачи по ST.3 (при испрашивании конвенционного приоритета)

(54) Название изобретения

СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАЛИЧИЯ НАРУШИТЕЛЯ

☐ Соблюдены требования п. 4 ст. 9 Закона

Адрес для переписки (полный почтовый адрес и имя адресата)
050013, Республика Казахстан, г. Алматы, ул. Байтурсынова, 126, Некоммерческое АО "АУЭС", научно-исследовательский сектор

Телефон: 8(727)292-90-55 Факс: 8(727) 292-09-14

☐74) Патентный поверенный (полное имя, регистрационный номер) или представитель заявителя(ей) (полное имя или наименование)

30 [illegible]

Крыс [illegible]

Продолжение приложения Е

Перечень прилагаемых документов	Кол-во л. в 1 экз.	Кол-во экз.
☐ приложение к заявлению		
☐ описание изобретения	12	3
☐ формула изобретения	1	3
☐ чертеж(и) и иные материалы	-	3
☐ реферат	1	3
☐ документ об оплате подачи заявки	1	1
☐ документ, подтверждающий наличие оснований для уменьшения размера оплаты		
☐ копия(и) первой(ых) заявки(ок) (при испрашивании конвенционного приоритета)		
☐ документы заявки на иностранном языке		
☐ доверенность, удостоверяющая полномочия патентного поверенного или представителя		
☐Свид-во о гос-ной перерегистрации юридического лица	1	2

Основание для возникновения права на подачу заявки и получение инновационного патента (без представления документа):

☒ заявитель является работодателем и соблюдены условия п. 2 ст. 10 Закона

☐ переуступка права работодателем или его пра-вопреемником

☐ переуступка права автором или его правопре-емником

☐ право наследования

Қазақстан Республикасының Әділет министрлігі Зияткерлік меншік құқығы комитеті "Ұлттық зияткерлік меншік институты" шаруашылық жүргізу құқығындағы республикалық мемлекеттік кәсіпорнының филиалы (Алматы қаласы)

27 ДЕК 2013

Кіріс № 26427 бет 60 + 1 диск

Қолы

(место для штампа НИИС)

№ фигуры чертежей, предлагаемой для публикации с формулой(рефератом)

☐72) Автор(ы) (указывается полное имя)	Полный почтовый адрес местожительства, включая наименование страны и ее код по стандарту ВОИС ST.3, если он установлен	Подпись(и) автора(ов)-заявителя(ей) и/или автора(ов), переуступившего(их) право на получение инновационного патента
Рутгайзер Олег Зиновьевич	050062, Республика Казахстан, г.Алматы, 5 мкр-н, дом 19, кв. 3	
Аршидинова Наргиз Туглукжановна	050035, Республика Казахстан, г. Алматы, 10 мкр-н, дом 17, кв. 20	

Я (мы)

(Ф.И.О.)

прошу (просим) не упоминать меня (нас) как автора(ов) при публикации сведений о выдаче инновационного патента

Подпись(и) автора(ов):

Подпись:

Ректор **Даукеев Гумарбек Жусупбекович**

подпись(и) заявителя(ей), не являющегося(ихся) автором(ами), (при подписании от имени юридического лица одпись руководителя скрепляется печатью)