

На правах рукописи



ЧЕРНЫШЕВ Максим Николаевич

**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ
ИНФОРМАЦИИ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ИЗОБРАЖЕНИЯ
НАРУШИТЕЛЯ В ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛНАХ
В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ОХРАНЫ**

Специальность 05.13.17 – теоретические основы информатики

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Пенза – 2011

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования “Пензенская государственная технологическая академия” на кафедре “Вычислительные машины и системы”.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор
Сальников Игорь Иванович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор,
Заслуженный деятель науки РФ,
Рыжаков Виктор Васильевич

доктор технических наук, профессор
Светлов Анатолий Вильевич

Ведущая организация – Научно-исследовательский и конструкторский институт радиоэлектронной техники – филиал федерального государственного унитарного предприятия федерального научно-производственного центра «Производственное объединение «Старт» имени М.В. Проценко» (НИКИРЭТ – филиал ФГУП ФНПЦ «ПО «Старт» им. М.В. Проценко»), г. Заречный Пензенской области

Защита состоится 23 декабря 2011 года в 12 часов на заседании диссертационного совета Д 212.337.01 при Пензенской государственной технологической академии по адресу: 440039, г. Пенза, пр. Байдукова / ул. Гагарина, д. 1а / 11, корпус 1, конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”.

Автореферат разослан 22 ноября 2011 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Чулков В.А.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы диссертации. Настоящее время характеризуется усилением террористической угрозы как по отношению к личности, так и по отношению к государственным объектам. В этой связи усиливается роль технических средств охраны (ТСО), которыми оборудуются объекты, а также рубежи и подходы к ним. Для обнаружения нарушителя в охраняемой зоне используется широкий спектр физических эффектов взаимодействия человека-нарушителя с волновыми процессами в различных средах. Особую роль для реализации ТСО играют электромагнитные волны различных диапазонов частот, из которых наиболее предпочтительными являются радиоволны сантиметрового и миллиметрового диапазонов. Радиолучевые ТСО (РЛТСО), работающие в этих диапазонах частот, мало подвержены влиянию погодных условий, и обладают удовлетворительной разрешающей способностью по пространственным размерам, характерным для человека-нарушителя.

Теоретические основы взаимодействия электромагнитных волн с объектами заложили в своих научных трудах известные ученые – Кирхгоф Г.Р., Френель О.Ж., Гудмен Дж., Юу Ф.Т.С., Борн М., Вольф Э., Сороко Л.М., Гинзбург В.М. и др.

Основные положения теории обработки радиолокационной информации разработали ученые – Бакут П.А., Вакман Д.Е., Варакин Л.Е., Гуткин Л.С., Дымова А.И., Казаринов Ю.М., Коган И.М., Котельников В.А., Левин Б.Р., Френкс Л., Ширман Я.Д. и др.

На основе теоретических исследований разработаны методы РЛТСО, весомый вклад в развитие которых внесли отечественные ученые – Оленин Ю.А., Лебедев Л.Е., Сальников И.И., Токарев Н.Н., Якимов А.Н., Уфимцев П.Я. и др.

Особенностью работы современных РЛТСО является пороговый принцип обнаружения сигнала от нарушителя, который прост по своей реализации, но не использует потенциальные информационные возможности электромагнитных волн. В частности, не выполняется классификация нарушителя охраняемой зоны по его изображению.

В этой связи, тема диссертационного исследования, посвященного разработке методов формирования изображения нарушителя в РЛТСО, по которому можно классифицировать объект и, тем самым, существенным образом снизить вероятность ложной тревоги, а также измерить размеры, число нарушителей и их изменяющиеся во времени координаты, является *актуальной*.

Цель настоящей работы – исследование и разработка методов преобразования информации при формировании изображения нарушителя в электромагнитных волнах в технических системах охраны.

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие **задачи**:

– в сравнительном плане оценить информационную емкость РЛТСО, выполняющего пороговое бинарное обнаружение нарушителя и РЛТСО, в котором реализуется формирование изображения нарушителя;

– разработать лучевую математическую модель сигналообразования в двухпозиционных РЛТСО для модуля амплитуды ЭМ-волны с целью оценки параметров пространственной регистрации принимаемой ЭМ-волны в плоскости приема;

– обосновать математическую модель сигналообразования в двухпозиционных РЛТСО на основе дифракционного интеграла Френеля-Кирхгофа и модель человека-нарушителя. Получить аналитическое выражение для комплексной амплитуды ЭМ-волны в плоскости нахождения приемника для анализа результата дифракции;

– разработать метод на основе аналитического выражения и алгоритма преобразования информации для формирования изображения нарушителя по результату регистрации комплексной амплитуды ЭМ-волны с целью улучшения технических характеристик существующих РЛТСО.

Объектом исследования диссертационной работы являются информационные технические системы, работающие в радиодиапазоне электромагнитных волн и используемые для охраны объектов.

Предметом исследования являются методы преобразования информации, используемые в технических системах охраны, и позволяющие улучшить отношение сигнал/шум, формировать изображение нарушителя в электромагнитных волнах, измерить размеры изображения нарушителя с целью его классификации, а также определить число нарушителей.

Методы и средства исследования. При решении поставленных задач использовались положения теории дифракции электромагнитных волн, теория сигналов, методы математического анализа, теория бинарного обнаружения, математическое моделирование и интегрированные среды разработки программ.

Положения, выносимые на защиту.

1. Результат определения информационной емкости радиолучевых технических средств охраны (РЛТСО), заключающийся в том, что если в РЛТСО формируется изображение нарушителя, то информационная емкость увеличивается до 15 бит, но остается меньшей в 2 раза, чем для телевизионных технических средств охраны.

2. Лучевая математическая модель сигналообразования в двухпозиционных РЛТСО и аналитическое выражение, основу которого составляет косинусоидальная зависимость с квадратичным изменением относительного фазового сдвига и функция вида $\sin x/x$, описывающая область “тени” от нарушителя.

3. Математическая модель сигналообразования в двухпозиционных РЛТСО на основе дифракционного интеграла Френеля-Кирхгофа и аналитическое выражение для комплексной амплитуды ЭМ-волны в плоскости нахождения приемника, которое является основой для алгоритма анализа результата дифракции и формирования изображения нарушителя в ЭМ-волнах, а также результаты оценки требований к пространственным параметрам устройства регистрации ЭМ-волны в плоскости приема РЛТСО.

4. Метод формирования изображения нарушителя, включающий в себя аналитическое выражение и алгоритм преобразования информации, использующий результат регистрации комплексной амплитуды ЭМ-волны в точке при-

ема в зависимости от координаты движения нарушителя, позволяющий получить одномерную функцию пропускания нарушителя с динамическим диапазоном >20 , увеличить в среднем в 6 раз отношение сигнал/шум, измерить размер нарушителя в направлении, поперечном оси охраняемой зоны РЛТСО, а также определить число нарушителей с разрешающей способностью, равной 0,1 м.

Достоверность и обоснованность научных положений и выводов обусловлена корректностью математических выражений, согласованностью основных теоретических решений с их практической реализацией, а также результатами вычислительных экспериментов, подтверждающими непротиворечивость основных теоретических результатов.

Научная новизна состоит:

1) в оценке информационной емкости радиолучевых технических средств охраны РЛТСО при условии формирования изображения нарушителя;

2) в разработке лучевой математической модели сигналообразования в двухпозиционных РЛТСО, позволяющей оценить параметры результата дифракции в плоскости приема РЛТСО;

3) в формировании математической модели сигналообразования в двухпозиционных РЛТСО на основе дифракционного интеграла Френеля-Кирхгофа, а также в результатах оценки требований к пространственным параметрам устройства регистрации ЭМ-волны в плоскости приема РЛТСО;

4) в разработке метода формирования изображения нарушителя в ЭМ-волнах, основанного на полученном интегральном преобразовании от результата регистрации комплексной амплитуды ЭМ-волны в точке приема в зависимости от координаты движения нарушителя.

Практическая значимость работы заключается в следующем:

Разработан алгоритм и программное средство, реализующие метод формирования изображения нарушителя в двухпозиционных радиолучевых средствах охраны, который позволяет измерить поперечные размеры нарушителя, улучшить отношение сигнал/шум и определить число нарушителей. Все это позволило существенно улучшить эксплуатационные характеристики радиолучевых технических средств охраны.

Реализация и внедрение результатов работы:

1) разработанные алгоритмы анализа пространственно-временных сигналов на основе интегральных преобразований использовались в разработках ФГУП “Пензенский научно-исследовательский электротехнический институт”, что подтверждено актом внедрения;

2) результаты диссертационных исследований используются при обучении студентов по специальности 230101 в Пензенской государственной технологической академии в рамках дисциплин “Теоретические основы передачи информации” и “Системы искусственного интеллекта”.

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертационного исследования докладывались и обсуждались на IV Всероссийской научно-технической конференции “Искусственный интеллект в XXI веке. Решения в условиях неопределенности” (Пенза, 2006 г.), на ежегодной Всероссийской научно-техни-

ческой конференции “Современные методы и средства обработки пространственно-временных сигналов” (Пенза, 2006–2009, 2011 гг.), на Всероссийской научно-технической конференции “Интеллектуальные и информационные системы” (Тула, 2007 г.), на Международном Форуме по проблемам науки, техники и образования (Москва, Академия наук о Земле, 2007 г.), на 7-й Всероссийской научно-технической конференции “Современные охранные технологии и средства обеспечения комплексной безопасности объектов” (Пенза–Заречный, 2008 г.), на 8-й Международной конференции “Распознавание–2008” (Курск, 2008 г.).

По результатам исследований опубликовано 19 печатных работ (из них 3 – в изданиях из перечня ВАК), а также получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти разделов, заключения, списка литературы и приложения. Работа изложена на 187 страницах основного текста, включающего 59 рисунков, 5 таблиц, список литературных источников из 94 наименований и приложений, содержащих листинг программного средства реализации разработанных алгоритмов преобразования информации, акты об использовании результатов диссертационной работы, свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **ВВЕДЕНИИ** обоснована актуальность работы, сформулированы ее цель и задачи, научная новизна, практическая значимость и основные положения, выносимые на защиту.

РАЗДЕЛ 1 посвящен общим вопросам формирования изображения нарушителя охраняемой зоны в радиолучевых технических средствах охраны (РЛТСО), которые являются одними из перспективных периметровых ТСО. Недостатком существующих РЛТСО является пороговый принцип обнаружения нарушителя (Н), при котором наибольшую сложность представляет уменьшение ложной тревоги при пересечении зоны охраны птицами и животными. Для уменьшения ложных тревог в РЛТСО требуется распознать, классифицировать Н, что возможно сделать, применив дополнительную обработку, выявляя пространственную границу Н, то есть формируя в РЛТСО его изображение.

Наиболее общими характеристиками информационных технических систем являются информационные характеристики, которые позволяют сравнить системы, обладающие разными техническими параметрами, порой несравнимыми. При этом универсальным критерием для сравнения разнохарактерных систем является информационная емкость системы, которая определяется передаваемым сигналом и системой его обработки.

Фундаментальным инвариантом информационной емкости системы является число N_0 полных степеней свободы пространственно-временного сигнала (ПВС), с которым работает система. Степени свободы ПВС определяются через теорему отсчетов Котельникова. Часто в системах обнаружения и измерения параметров объекта используется разрешающая способность по измере-

тому параметру, при этом интервал формирования отсчетов может быть определен как разрешающая способность системы.

С целью сравнения различных видов ТСО и оценки влияния дополнительной обработки сигналов в РЛТСО по формированию изображения нарушителя в данном разделе была определена информационная емкость наиболее распространенных методов. Для порогового бинарного обнаружения информации емкость равна $I_{0,Б} = 1 \log_2 2 = 1$ бит. К ТСО, использующим бинарный метод, относится широкий класс технических средств: виброчувствительные, радиоволновые, радиолучевые двухпозиционные, проводные обрывные, радиолучевые однопозиционные. Наибольший интерес представляют трехмерные многоальтернативные методы ТСО, основанные на создании в пространстве между передатчиком и приемником электромагнитной волны и регистрации изменений параметров этой волны при пересечении ее H . Информационная емкость ТСО в этом случае определяется в виде $I_{3,М} = 1 \log_2 (N_D Q_{max} / \Delta Q)$, где N_D – число состояний отсчета; Q_{max} – объем охраняемой зоны (ОЗ), ΔQ – разрешающая способность по объему. К этим методам относятся *радиолокационные*, основанные на последовательном обзоре ОЗ узким лучом; *инфракрасные*; *телевизионные*. Максимальной информационной емкостью обладают телевизионные ТСО: $I_{3,Б} \approx 30$ бит.

Для оценки информационной емкости двухпозиционных РЛТСО, в которых формируется изображение H , использовалось выражение:

$$I_{3,Б} = 1 \log_2 \left(N_D \frac{X_{ОЗ}}{L_{H,X}} \cdot \frac{Y_{ОЗ}}{L_{H,Y}} \cdot \frac{R_{max}}{\Delta R} \right), \quad (1)$$

где $X_{ОЗ}$ – поперечные размеры ОЗ, $Y_{ОЗ}$ – высота ОЗ, $L_{H,Y}$ – средний рост человека, $L_{H,X}$ – средний поперечный размер H , R_m – максимальная длина ОЗ, ΔR – разрешающая способность по дальности. Если в двухпозиционных РЛТСО реализовать дополнительную обработку сигнала с целью получения изображения H , то для средних значений параметров можно получить $I_{3,Б} \approx 15$.

Таким образом, видно, что формирование изображения существенно увеличивает информационную емкость РЛТСО, приближая ее к характеристикам телевизионных ТСО. При этом РЛТСО имеют существенное преимущество – значительно меньшее влияние погодных условий на их работу.

Двухпозиционная РЛТСО состоит из передатчика (ПРД) и приемника (ПРМ), размещаемых на противоположных сторонах участка рубежа. На входе приемника наблюдается интерференция парциальных волн, прошедших различные пути в ОЗ, включая отраженные от земли, которая изменяется при проходе H в ОЗ. По изменениям принимаемого временного сигнала судят о появлении H в ОЗ. Основой взаимодействия объекта и ЭМ-волн в РЛТСО является дифракция, при этом H перекрывает путь распространения ЭМ-волны, формируя в точке приемника область “тени”. Восстановленное изображение H будет иметь вид темного силуэта на светлом фоне.

На основе применения лучевой модели сигналообразования в двухпозиционных РЛТСО с использованием предположения о перекрытии объектом парциальных плоских волн в ОЗ получено выражение для интерференционного множителя суперпозиции плоских волн $\dot{E}_{\text{ПФМ}} = \sum_i \dot{E}_i e^{j\varphi_i} = \dot{E}_z \psi(\Delta\varphi) e^{j\varphi_z} = \dot{E} \cos(\Delta\varphi) e^{j\varphi}$, распространяющихся под разными углами в пределах диаграммы направленности передающей и приемной антенн с учетом отражения от земли:

$$\psi(\alpha) = \cos(\alpha^2) - 2A_R \left[\frac{\sin(\gamma\alpha)}{\gamma\alpha} \right]^2 + 1, \quad (2)$$

где $\alpha^2 = \varepsilon t^2 = \frac{\pi R_m V_H^2}{\lambda R_H (R_m - R_H)} t^2$ – аргумент функции, характеризующий квадратичное изменение относительного фазового сдвига парциальных волн с учетом движения Н со скоростью $V_H = x_H / t$ перпендикулярно оси ОЗ; ε – масштабный коэффициент, учитывающий связь аргументов в слагаемых; 1 – прибавляется, чтобы сместить интерференционный множитель для учета наличия прямой волны; $A_R = 1 \text{ рад}$, коэффициент учитывающий размерность; R_m – расстояние между ПРД и ПРМ; R_H – расстояние до Н. На рисунке 1 представлен график зависимости (2), учитывающий: осциллирующий характер с линейным изменением частоты; наличие тени от Н; колоколообразное изменение амплитуды за счет влияния диаграммы направленности антенн ПРД и ПРМ.

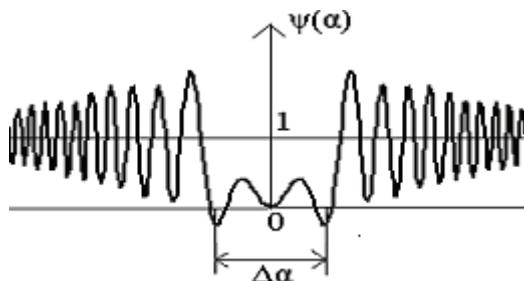


Рисунок 1 – Формирование интерференционного множителя ЭМ-волны с учетом тени от нарушителя

Определена ширина тени для интерференционного множителя в зависимости от параметров РЛТСО по нулевым значениям функции (2):

$$\Delta x_R = 2 \sqrt{\left(\frac{\lambda}{2} - \frac{\Delta x_H^2}{4R_H} \right) \cdot (R_m - R_H) + \Delta x_H}, \quad (3)$$

где Δx_H – размер нарушителя. Из (3) следует, что $\lim_{R_H \rightarrow R_m} \Delta x_R = \Delta x_H$, то есть соответствует геометрической тени. Кроме того, , что соответствует точечному объекту на оси Oz на расстоянии R_H от ПРД.

Далее показано, что для формирования изображения Н в ОЗ РЛТСО необходимо зарегистрировать пространственное амплитудно-фазовое распреде-

ление ЭМ-волны и использовать интегральное преобразование, которое выполняло бы восстановление вида функции пропускания трехмерного, непрозрачного для ЭМ-волн СВЧ-диапазона H по его интерференционной картине, формирующейся в точке приема при движении H .

РАЗДЕЛ 2 посвящен математическому моделированию процесса сигналообразования в двухпозиционных РЛТСО на основе использования дифракционного интеграла Френеля-Кирхгофа и модели человека-нарушителя в виде различным образом ориентированных эллиптических цилиндров или их комбинаций. Используются следующие параметры: образующая – параллельна оси Oy ; плоскость эллипса – параллельна плоскости xOy ; $2a$, $2b$ и $2c$ – максимальные размеры H по осям Ox , Oy и Oz соответственно. При такой модели нарушителя достаточно просто учитывается изменение формы, размеров H , а также его положение – “в рост”, “согнувшись” и “ползком”.

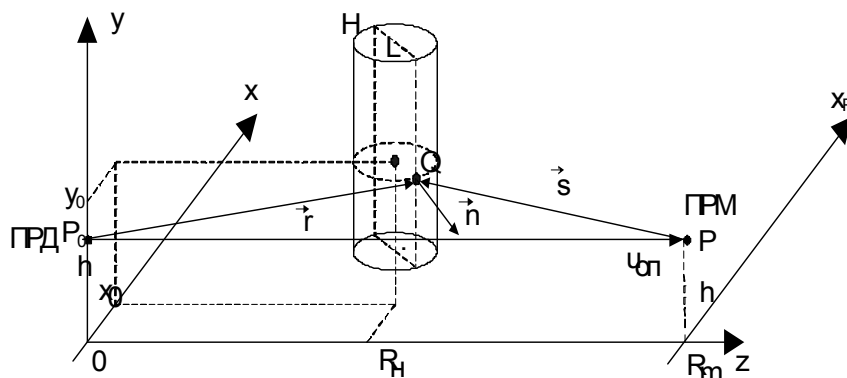


Рисунок 2 – Дифракция ЭМ-волн на H в двухпозиционной РЛТСО

Получено выражение для модуля комплексной амплитуды ЭМ-волны в плоскости нахождения ПРМ как результат интерференции прямой волны $\vec{E}_{\text{пр}}(P)$, выполняющей роль опорной, и дифрагированной на H волны, находящей между ПРМ и ПРД:

$$\vec{E}(P) = -\frac{jA}{2\lambda} \int_{y_0 - b}^{y_0 + b} \int_{x_0 - c}^{x_0 + c} \beta_{\text{пр}}(x, y) \exp(jk(r_{\text{пр}} + s_{\text{пр}})) \left[\frac{b_{\text{пр}}}{r_{\text{пр}}^2 s_{\text{пр}}} - \frac{b_{\text{пр}} - R_m}{r_{\text{пр}} s_{\text{пр}}^2} \right] dx dy, \quad (4)$$

где $\beta_{\text{пр}}(x, y)$ – функция пропускания H в виде проекции теневого контура в плоскости xOy . Проведен анализ пространственного распределения модуля комплексной амплитуды ЭМ-волны в плоскости приема по направлению, ортогональному оси охраняемой зоны. Показано, что чем ближе H находится к ПРМ, тем заметнее проявляется эффект “тени” от H . На рисунке 3 приведены результаты расчетов с использованием (4) в программной среде *Mathcad* значений модуля комплексной амплитуды результата дифракции ЭМ-волн на H , находящимся на расстояниях $R_n=10$ м (а) и $R_n=140$ м (б) при следующих значениях параметров: $a = 0,25$ м, $c = 0,3$ м, $b = 0,8$ м, расстояние между антеннами ПРД и ПРМ

$R_m = 150$ м, высота размещения антенн и высота Н $h = y_0 = 1$ м, длина волны СВЧ-излучения ПРД $\lambda = 0,016$ м.

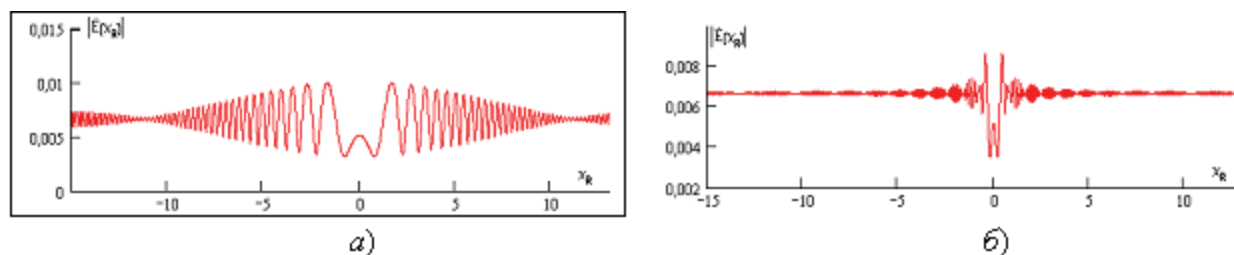


Рисунок 3 – Результат интерференции ЭМ-волн

На основании выражения для интерференционного множителя лучевой модели сигналообразования в двухпозиционных РЛТСО (2), определена зависимость ширины “тени” от расстояния R_H до Н, графики которой представлены на рисунке 4, из которых следуют значения ширины “тени” для двух случаев, представленных на рисунке 2, а, б: $\Delta x_H = 2,1$ м; $\Delta x_H = 0,56$ м, соответственно.

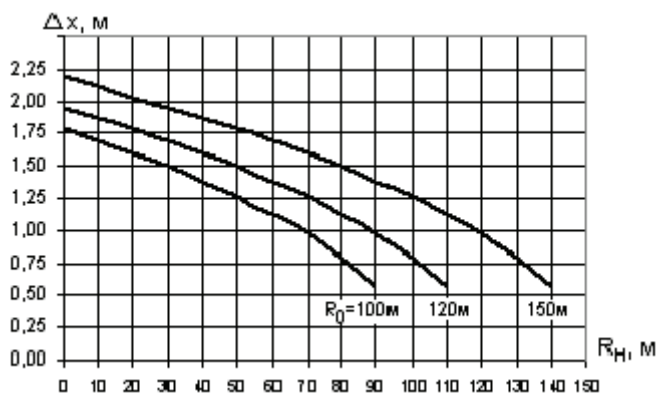


Рисунок 4 – Зависимость ширины “тени” от расстояния до Н

Показано, что зарегистрировав модуль пространственного распределения комплексной амплитуды ЭМ-волны по оси ПРМ как результат дифракции на Н, наряду с определением факта появления Н в ОЗ на основе использования порогового обнаружения, можно измерить пространственные параметры движения Н: по ширине главного минимума “тени” определить дальность до Н; по изменению координаты главного минимума во времени можно определить скорость движения Н.

Оценены требования к пространственным параметрам устройства регистрации ЭМ-волны с использованием теоремы Котельникова. Для $R_H = 10$ м, $\lambda = 0,016$ м, $R_m = 150$ м получено $N_{\text{ПРМ, min}} \approx 182$ с шагом 0,22 м, а для максимального расстояния $R_H = 150$ м необходимо использовать $N_{\text{ПРМ, max}} \approx 2500$ с шагом 0,016 м. Это с конструктивной точки зрения представляется невозможным для реализации, особенно для мобильных ТСО.

Более реально регистрировать временное изменение модуля комплексной амплитуды ЭМ-волны при движении Н, используя при этом точечный ПРМ. Приведены графики зависимостей $|\dot{E}(x_0)|$, вытекающие из решения интеграла Френеля-Кирхгофа, для модуля комплексной амплитуды ЭМ-волны с учетом координат (x_0, y_0) движущегося Н в направлении Ox , полученные в программной среде *Mathcad* (рисунок 5, а).

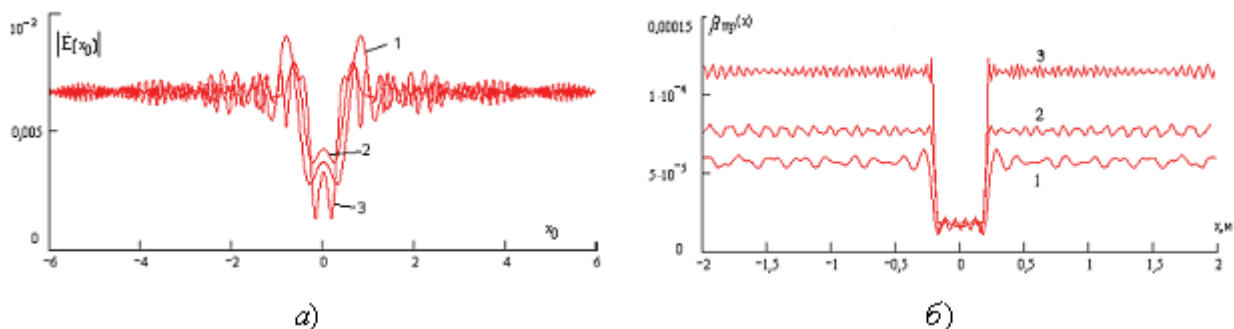


Рисунок 5 – Зависимость модуля комплексной амплитуды в точке ПРМ (а) и функция пропускания Н (б) для различных R_H :
1 – 75 м; 2 – 120 м; 3 – 135 м

Показано, что при регистрации во времени с использованием одного точечного ПРМ при условии движения Н реально имеется возможность регистрировать только изменение **во времени** модуля комплексной амплитуды ЭМ-волны $|\dot{E}(t)|$. Измерение ширины функции $|\dot{E}(t)|$ в окрестности экстремума на выходе точечного ПРМ не позволит измерить расстояние до Н, так как неизвестна скорость движения Н, и наоборот. Для такого способа регистрации остается только возможность обнаружения по превышению экстремума функции $|\dot{E}(t)|$ некоторого порогового уровня, что и используется в реальных двухпозиционных РЛТСО.

Исследованы вопросы бинарного обнаружения, для которого в качестве сигнала принята модель импульсного сигнала с амплитудой S_{max} на фоне нормального аддитивного шума с дисперсией $\sigma_{\text{ш}}^2$. Определены характеристики обнаружения как зависимость $P_{\text{ош}}(S_{\text{п}} / \sigma_{\text{ш}}, N_{\text{сш}})$ вероятности ошибок от отношения порогового уровня к эффективному напряжению шумов при данном значении отношения сигнал/шум. Показано, что при равной значимости $P_{\text{лт}}$ и $P_{\text{пр}}$ характеристики обнаружения имеют минимум при $S_{\text{п,ош}} = S_{\text{max}} / 2$. На основе анализа показано, что отношение сигнал/шум для регистрируемого точечным ПРМ результата дифракции изменяется в небольших пределах $N_{\text{сш}} = 1,83 \div 7,4$, что дает в среднем невысокие обнаружительные характеристики РЛТСО. Для улучшения характеристик обнаружения целесообразно проводить предварительную обработку принятого сигнала с целью улучшения отношения сигнал/шум, подобной предварительной обработкой может служить *согласованная фильтрация*.

В РАЗДЕЛЕ 3 получено преобразование для восстановления функции пропускания Н, которое является основой метода формирования одномерного изображения Н:

$$\beta_{\text{np}}(x) = \frac{1}{2\lambda} \int_{-\infty}^{\infty} \dot{E}(P) \frac{\exp[-jk(\sqrt{(x+x_0)^2 + R_H^2} + \sqrt{(x+x_0)^2 + (R_m - R_H)^2})]}{\sqrt{(x+x_0)^2 + R_H^2} \sqrt{(x+x_0)^2 + (R_m - R_H)^2}} \times$$

$$\times \left[\frac{R_H}{\sqrt{(x+x_0)^2 + R_H^2}} - \frac{R_H - R_m}{\sqrt{(x+x_0)^2 + (R_m - R_H)^2}} \right] dx_0 \quad (5)$$

Результаты расчета в среде *Mathcad* значений $|\dot{E}(x_0)|$ для Н при значениях $a = 0,2$ м, $c = 0,3$ м и $b = 0,8$ м приведены на рисунке 5, б для параметров $y_0 = h = 1$ м, $R_m = 150$ м; $\lambda = 0,016$ м. При расчете значение переменной изменялось в пределах: $-4 \leq x_0 \leq 4$ м.

Восстановление одномерной функции пропускания нарушителя характеризуется высоким динамическим диапазоном, который оценивается отношением > 20 , и позволяет регистрировать размер нарушителя в поперечном направлении оси охраняемой зоны РЛТСО с погрешностью менее 10 %.

Получена количественная оценка качества восстановления функции пропускания из которой следует, что отношение сигнал/шум для восстановленной функции пропускания изменяется в пределах: $N_{\text{сш}} = 13,7 - 38,3$. Это означает, что преобразование (5) дает улучшение отношения сигнал/шум в среднем в 6 раз, что позволяет существенно улучшить характеристики бинарного обнаружения для РЛТСО, а измерение поперечных размеров нарушителя позволяет использовать дополнительный признак для различения человека-нарушителя от других объектов.

Обоснована структурная схема аппаратуры приема для реализации полученного преобразования (5). Показано, что для формирования комплексной амплитуды сигнала на выходе ПРМ РЛТСО необходимо выделение действительной $\text{Re}\{U(t)\}$ и мнимой $\text{Im}\{U(t)\}$ составляющих комплексной амплитуды входного напряжения, что может быть обеспечено приемником с квадратурным детектором. В таком приемнике действительная и мнимая часть входного напряжения разделяются путем введения фазового сдвига на $\pi/2$, а несущее колебание с частотой $\omega_{\text{оп}}$ устраняется фильтрацией. Далее следует блок преобразования, выполняющий восстановление функции пропускания нарушителя и блок измерения параметров – размеров нарушителя, числа нарушителей и пороговой схемы для определения факта нарушения.

РАЗДЕЛ 4 посвящен вопросам получения информации о размерах нарушителя в вертикальной плоскости. Показано, что для этого необходимо использовать линейку точечных приемников, размещенных в плоскости ПРМ. На осно-

ве интеграла Френеля-Кирхгофа получено выражение для комплексной амплитуды опорной ЭМ-волны, зависящее от высоты расположения точки приема $P^{(n)}$:

$$\dot{E}(P^{(n)}) = \dot{E}_{\text{от}}(P^{(n)}) + \frac{jA}{2\lambda} \int_{y_0-b}^{y_0+b} \int_{x_L}^{x_k} \beta_{\text{пр}}(x, y) \exp(jk(r_{1\text{пр}} + s_{1\text{пр}})) \left[\frac{b_{\text{пр}}}{r_{1\text{пр}}^2 s_{1\text{пр}}} - \frac{b_{\text{пр}} - R_m}{r_{1\text{пр}} s_{1\text{пр}}^2} \right] dx dy. \quad (6)$$

Получено выражение в виде двойной суммы от отсчетов двумерной комплексной амплитуды ЭМ-волны $\dot{E}(x_{0m}, h_{\text{ПРМ}}^{(n)})$ с выхода n -го ПРМ при значении координаты x_{0m} центра нарушителя для случая эквидистантного размещения $2N$ точечных ПРМ по вертикали $\Delta h_{\text{ПРМ}}^{(n)} = \Delta h_{\text{ПРМ}}$ и $h_{\text{ПРМ}}^{(n)} = h_{N, \text{ПРМ}} + (n - N)\Delta h_{\text{ПРМ}}$:

$$\begin{aligned} \beta_{\text{пр}}(x, y) = & \frac{1}{2\lambda} \sum_{m=0}^{2M} \sum_{n=0}^{2N} \dot{E}(x_{0m}, h_{\text{ПРМ}}^{(n)}) \times \\ & \times \frac{\exp[-jk(\sqrt{(x+x_0)^2 + (y-h_{\text{ПРД}})^2 + R_{\text{Ч}}^2} + \sqrt{(x+x_0)^2 + (y-h_{\text{ПРМ}}^{(n)})^2 + (R_m - R_{\text{Ч}})^2})]}{\sqrt{(x+x_0)^2 + (y-h_{\text{ПРД}})^2 + R_{\text{Ч}}^2} \sqrt{(x+x_0)^2 + (y-h_{\text{ПРМ}}^{(n)})^2 + (R_m - R_{\text{Ч}})^2}} \Big] \times \\ & \times \left[\frac{R_{\text{Ч}}}{\sqrt{(x+x_0)^2 + (y-h_{\text{ПРД}})^2 + R_{\text{Ч}}^2}} - \frac{R_{\text{Ч}} - R_m}{\sqrt{(x+x_0)^2 + (y-h_{\text{ПРМ}}^{(n)})^2 + (R_m - R_{\text{Ч}})^2}} \right] \Delta h_{\text{ПРМ}} \Delta x_0 \end{aligned} \quad (7)$$

где Δx_0 – шаг дискретизации x_0 , $2M$ – максимальное значение индекса m .

Приведены результаты восстановления двумерной функции пропускания нарушителя $\beta_{\text{пр}}(x, y)$ при движении Н как “в рост”, так и “согнувшись” в виде линии уровня двумерной функции пропускания, показывающей сечение или теневой контур нарушителя (рисунок 6). Полученные размеры совпадают с размерами модели нарушителя с погрешностью менее 10 %.

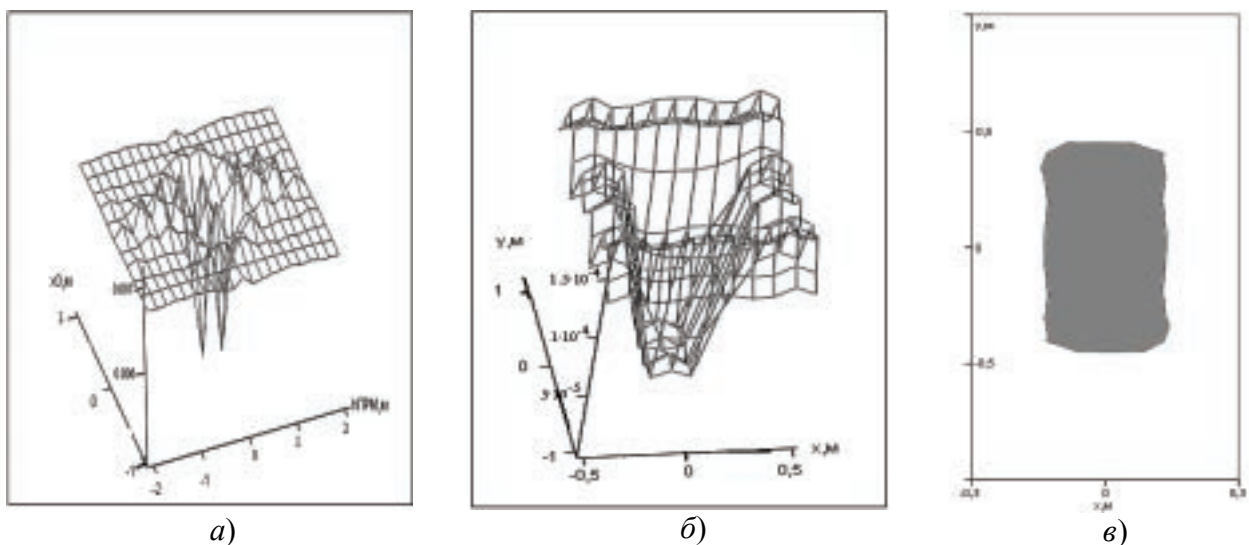


Рисунок 6 – Модуль двумерной комплексной амплитуды $\dot{E}(P^{(n)})$ (а), результат восстановления двумерной функции пропускания объекта (б) и (в)

На основании анализа протяжённости фронта импульса восстановленной функции пропускания нарушителя в вертикальной плоскости \mathcal{Y}_Φ был рассчитан интервал размещения приемных антенн по вертикали $\Delta h_{\text{ПРМ}}^n$, а также получено выражение для числа приемных антенн в вертикальной линейке приемников. Показано, что для удовлетворительного восстановления функции пропускания нарушителя, при котором еще возможно измерить размеры нарушителя, в вертикальной плоскости требуется от 44 до 120 приемных антенн в линейке. При этом, для $\lambda = 0,016$ м размеры линейки ПРМ изменяются от 2 до 50 м. Большое количество приемных антенн и внушительные размеры линейки вряд ли позволят практически реализовать РЛТСО, восстанавливающую функцию пропускания по вертикали, или потребует значительных экономических затрат.

Рассмотрен вопрос формирования изображения по изменяющемуся во времени выходному сигналу приемника РЛТСО. Показано, что важной особенностью принимаемого сигнала является неизвестный момент появления нарушителя, что приводит к необходимости циклического выполнения преобразования, восстанавливающего функцию пропускания H . Получено выражение для функции пропускания H с учетом несимметричности дифракционной картины от H относительно середины. Полученные результаты восстановления функции пропускания при смещении H показывают наличие смещения, что доказывает адекватность полученной модели (рисунок 9).

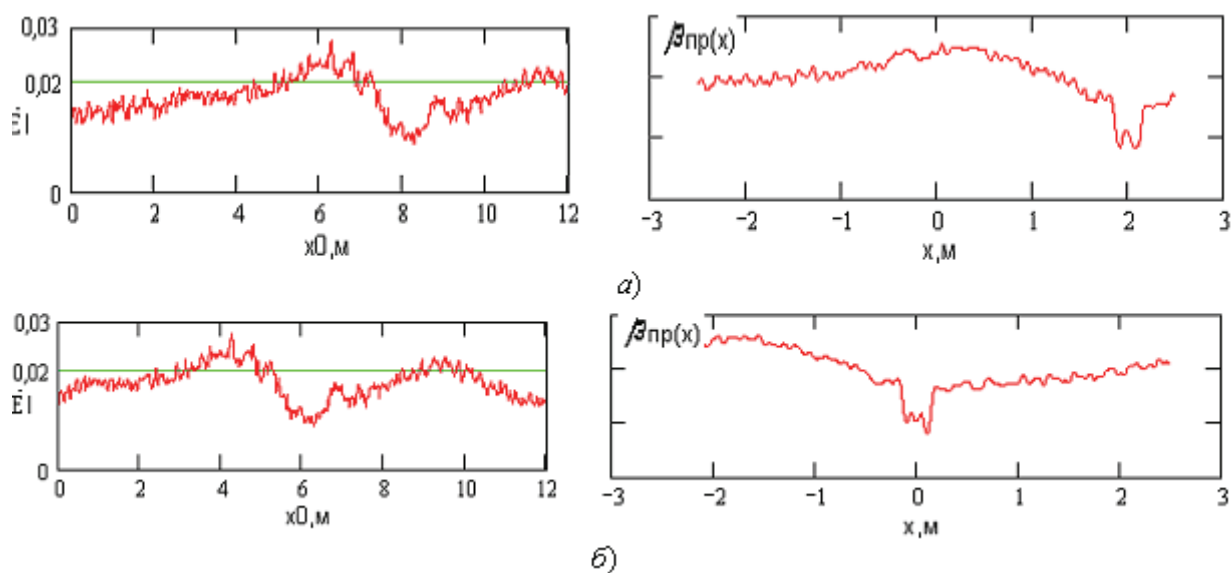


Рисунок 7 – Результаты восстановления функции пропускания (справа) по различным участкам дифракционной картины H (слева)

Непрерывное смещение функции пропускания при восстановлении её по различным участкам дифракционной картины H и несимметричность её относительно значения $x = 0$ приводят и к необходимости учета вида преобразования.

РАЗДЕЛ 5 посвящен разработке программного обеспечения и результатам моделирования разработанных алгоритмов.

Для подтверждения правильности полученных преобразований и зависимостей на начальном этапе данной работы использовался программный пакет *Mathcad*. При этом, время формирования результата дифракции для одномерного объекта (например, рисунки 3, 5) составляло порядка 1,5 мин. Для формирования результата восстановления одномерной функции пропускания H по результату дифракции ЭМ-волны на объекте в программном пакете *Mathcad* требовалось уже до 30 мин.

Даже для теоретических исследований такие временные интервалы неприемлемы, тем более для работы реальных РЛТСО. Поэтому, было разработано специализированное программное средство, зарегистрированное в Реестре программ для ЭВМ Роспатента. Разработанное программное средство дает возможность получать результат дифракции ЭМ-волны на H , а также восстанавливать функцию пропускания H за время порядка 10 секунд. При этом становится возможным моделировать циклическое преобразование входной реализации и результат дифракции ЭМ-волны на H при неизвестном моменте появления H , о котором говорилось в разделе 4.

Программное средство разработано на базе пакета *Microsoft Visual Studio-2005*. Оно моделирует работу РЛТСО и реализует следующие функции: ввод параметров моделирования РЛТСО; преобразование Френеля-Кирхгофа для моделирования дифракции ЭМ-волн на объекте; восстановление функции пропускания объекта по результату дифракции ЭМ-волн на объекте; измерение размера нарушителя в вертикальной плоскости по направлению, ортогональному оси охраняемой зоны.

Разработан и реализован алгоритм работы устройства анализа сигнала по смещённым реализациям комплексной амплитуды ЭМ-волны, выполняющий восстановление функции пропускания объекта-нарушителя.

Выражение (5) для восстановления вида функции пропускания по комплексной амплитуде ЭМ-волны $\dot{E}(P, x_0)$ с учетом конечных пределов интегрирования по переменной x_0 может быть представлено в виде:

$$\beta_{\text{тп}}(x) = \frac{1}{2\lambda} \int_{-x_{0\text{max}}}^{x_{0\text{min}}} \dot{E}(P, x_0) \times F(x, x_0) dx_0, \quad (8)$$

где $F(x, x_0) = \frac{\exp[-jk(r(x_0) + s(x_0))]}{r(x_0)s(x_0)} \left[\frac{R_H}{r(x_0)} - \frac{R_H - R_m}{s(x_0)} \right]$.

Расчет значений функции $\beta_{\text{тп}}(x)$ в соответствии с выражением (8) с помощью ЭВМ может быть выполнен только в конечном числе точек, ограниченном производительностью ЭВМ. Поэтому переменная x может принимать следующие значения: $x = -x_{\text{max}}; -x_{\text{max}} + \Delta x; -x_{\text{max}} + 2\Delta x; \dots; x_{\text{max}} - \Delta x; x_{\text{max}}$. Величина x_{max} должна выбираться так, чтобы максимально возможный размер нарушителя был меньше $2x_{\text{max}}$. Для каждого значения x значение интеграла в выражении (8) можно вычислить по формуле трапеций:

$$\int_{-x_{0\min}}^{x_{0\max}} h(x, x_0) dx_0 \approx \sum_{i=1}^{q-1} \frac{\Delta x_0}{2} (h(x, x_{0i}) + h(x, x_{0i+1})), \quad (9)$$

где $h(x, x_0) = \dot{E}(P, x_0) \times F(x, x_0)$, $x_{0i} = -x_{0\max} + (i-1)\Delta x_0$.

Так как при работе РЛТСО предполагается многократный расчет функции пропускания $\beta_{\text{пр}}(x)$ на одинаковых множествах значений x и x_0 , следует до начала работы системы произвести расчет значений $F(x, x_0)$ и сохранить их в памяти ЭВМ. Это ускорит выполнение расчета функции пропускания за счет увеличения необходимого объема оперативной памяти ЭВМ, так как сложная операция вычисления $F(x, x_0)$ заменяется на простую операцию выборки значения из оперативной памяти. Удобнее всего организовать хранение этих данных с помощью двумерного массива размером $b \times q$:

$$F = \begin{pmatrix} F(x_1, x_{01}) & \dots & F(x_1, x_{0q}) \\ \dots & \dots & \dots \\ F(x_b, x_{01}) & \dots & F(x_b, x_{0q}) \end{pmatrix}. \quad (10)$$

Таким образом, определение функции пропускания сводится к вычислению значений сумм.

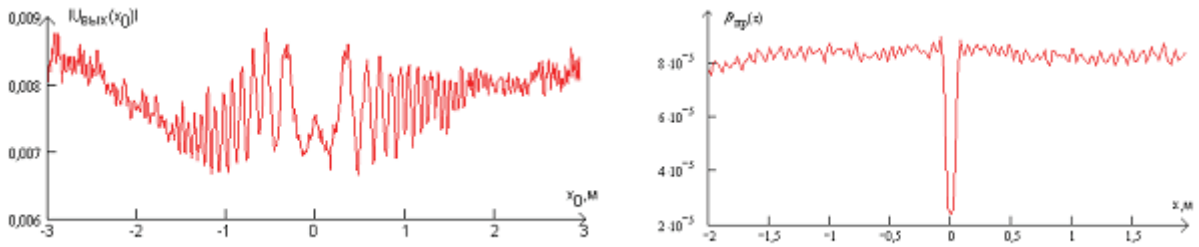
$$\beta_{\text{пр}}(x_j) = \frac{1}{2\lambda} \frac{\Delta x_0}{2} \sum_{i=1}^{q-1} [\dot{E}(P, x_{0i}) F(x_j, x_{0i}) + \dot{E}(P, x_{0i+1}) F(x_j, x_{0i+1})], \quad (11)$$

где $x_j = -x_{\max} + (j-1)\Delta x$, $j = 1, \dots, b$.

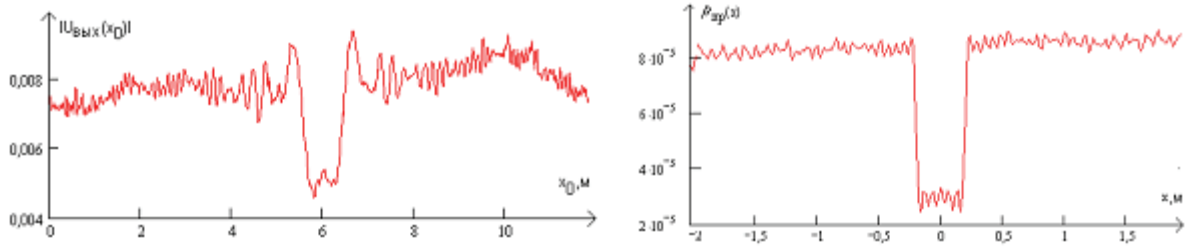
На рисунке 8 приведены результаты восстановления функции пропускания нарушителя по соответствующим реализациям выходного сигнала $\dot{U}_{\text{вых}}(P, x_0)$ для отношения сигнал/шум $U_c/U_{\text{ш}}=17$.

Показано, что при высоком отношении сигнал/шум абсолютная погрешность восстановления поперечного размера $N \delta L_{\text{ж}} = 0,1$ м, что вполне допустимо для практического использования при классификации объектов нарушения ОЗ в РЛТСО.

Далее показано, что разработанный метод восстановления функции пропускания объектов в охранной зоне РЛТСО обладает разрешающей способностью по числу N в направлении движения N . На рисунке 9, *a* представлен результат дифракции ЭМ-волн на двух нарушителях. Используя пороговое обнаружение, которое используется в современных РЛТСО, невозможно определить количество нарушителей. Разработанное преобразование, восстанавливающее функцию пропускания нарушителя, дает четкое разделение сигналов от двух нарушителей (рисунок 9, *б*).

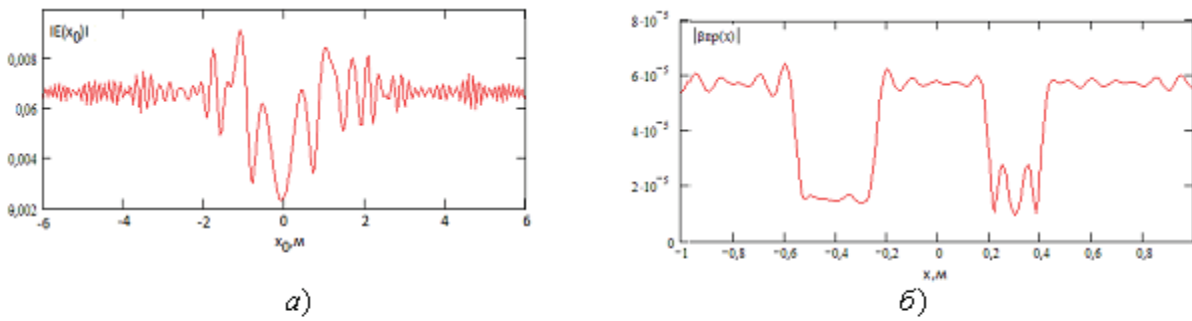


а)



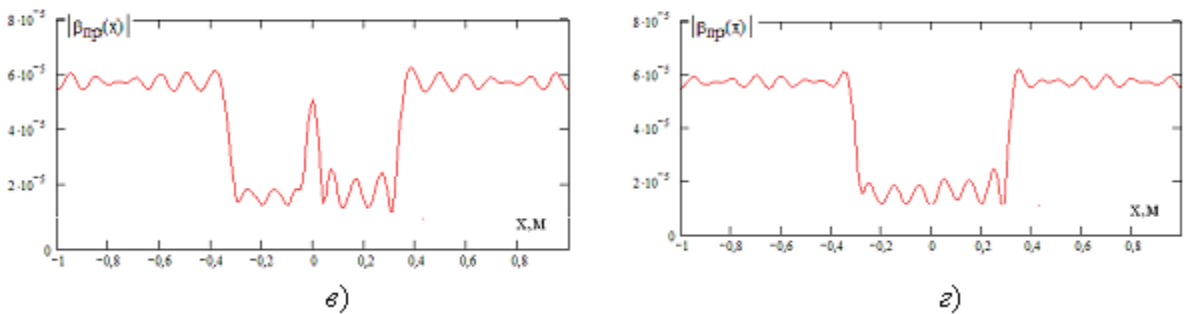
б)

Рисунок 8 – Вид модуля выходного сигнала $\left| \dot{U}_{\text{ВЫХ}}(P, x_0) \right|$ как результат дифракции ЭМ-волн на Н и результаты восстановления функции пропускания Н при различных размерах нарушителя: $L_{\text{Н}} = 0,1 \text{ м}$ (а); $0,4 \text{ м}$ (б)



а)

б)



в)

г)

Рисунок 9 – Определение разрешающей способности по восстановлению функции пропускания для двух нарушителей

Выполненная оценка разрешающей способности показала, что минимальное расстояние между нарушителями, когда они воспринимаются отдельно, равно $\Delta x_{\text{Н}} = 0,1 \text{ м}$ (рисунок 9, в). При меньшем расстоянии отклики сливаются (рисунок 9, г).

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Оценена информационная емкость радиолучевых технических систем охраны (РЛТСО). Показано, что если в РЛТСО формируется изображение нарушителя, то информационная емкость увеличивается до 15 бит, но остается меньшей в 2 раза, чем для телевизионных ТСО.

2. На основе использования лучевой модели сигналообразования в двухпозиционных РЛТСО получено выражение для интерференционного множителя принимаемой ЭМ-волны, основу которого составляет косинусоидальная зависимость с квадратичным изменением относительного фазового сдвига. Полученная формула для интерференционного множителя может быть использована для согласованной фильтрации с целью улучшения отношения сигнал/шум, а также для измерения параметров движения нарушителя – дальности и скорости движения.

3. Показано, что в качестве другой математической модели процесса сигналообразования в двухпозиционных РЛТСО эффективно использовать дифракционный интеграл Френеля-Кирхгофа. Для модели человека-нарушителя в виде различным образом ориентированных эллиптических цилиндров получено выражение для модуля комплексной амплитуды ЭМ-волны в плоскости нахождения приемника как результат интерференции прямой ЭМ-волны, выполняющей роль опорной, и дифрагированной на нарушителе ЭМ-волны. Это выражение является основой для анализа результата дифракции и восстановления функции пропускания, описывающей нарушителя.

4. Оценены требования к пространственным параметрам устройства регистрации ЭМ-волны. Показано, что при расстоянии до нарушителя, изменяющемся в пределах 10–150 м требуется от 180 до 2500 приемников. Это с конструктивной точки зрения реализовать невозможно, особенно для мобильных ТСО. Показано, что наиболее реально регистрировать временное изменение модуля комплексной амплитуды ЭМ-волны при движении нарушителя, используя при этом один приемник.

5. Получено выражение для восстановления одномерной функции пропускания нарушителя по результату регистрации комплексной амплитуды ЭМ-волны в точке приема от координаты движения нарушителя. Показано, что восстановленная одномерная функция пропускания нарушителя характеризуется высоким динамическим диапазоном >20 , и позволяет измерять размер нарушителя в направлении, поперечном оси охраняемой зоны РЛТСО. Полученные размеры совпадают с размерами модели нарушителя с погрешностью менее 10%.

6. Выполнена количественная оценка качества восстановления функции пропускания. Показано, что отношение сигнал/шум для восстановленной функции пропускания улучшается в среднем в 6 раз, что дает существенное улучшение характеристики бинарного обнаружения для РЛТСО.

7. Получены выражения на основе интеграла Френеля-Кирхгофа для комплексной амплитуды ЭМ-волны в точках нахождения точечных антенн вертикальной линейки РЛТСО, а также выражение для восстановления двумерной

функции пропускания H в виде зависимостей от дискретных аргументов x_{0m} и, пригодное для проведения численных расчетов.

8. Показано, что разработанный метод восстановления функции пропускания объектов в охранной зоне РЛТСО обладает разрешающей способностью в направлении движения нарушителя $\Delta x_x = 0,1$ м. Это дает возможность определения числа нарушителей в охраняемой зоне РЛТСО.

9. На основе разработанных математических моделей создано программное средство, моделирующее работу РЛТСО. Показано, что производительность вычислений в разработанной специализированной программе повышается в 180 раз по сравнению с использованием универсальной вычислительной среды *Mathcad*.

Разработанные модели и алгоритмы могут быть реализованы в специализированных устройствах цифровой обработки информации на базе микроконтроллеров или программируемых логических интегральных схем. Это даст возможность существенно повысить эксплуатационные характеристики мобильных РЛТСО и увеличить эффективность их применения.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Чернышев, М.Н. Определение размера и скорости движения нарушителя в двухпозиционных охранных системах ближней радиолокации [Текст] / И.И. Сальников, М.Н. Чернышев // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2011. – № 1 (17). – С. 96–105.

2. Чернышев, М.Н. Моделирование сигналообразования в радиолокационных технических системах охраны [Текст] / И.И. Сальников, М.Н. Чернышев // Фундаментальные исследования. – 2011. – № 8. – Ч. 2. – С. 397–401.

3. Чернышев, М.Н. Сравнение обратных преобразований Френеля и Кирхгофа при восстановлении одномерной функции пропускания объекта в зоне действия радиолокационной системы охраны [Текст] / Сальников И.И., Чернышев М.Н., Чернышев Н.И. // Современные проблемы науки и образования. – 2011. – № 7. – С. 32–36.

Публикации в других изданиях:

4. Чернышев, М.Н. Анализ сигналообразования РЛТСО с помощью интеграла Френеля-Кирхгофа [Текст] / М.Н. Чернышев // Современные методы и средства обработки пространственно-временных сигналов: Сборник статей IV Всероссийской научно-технической конференции. – Пенза: Приволжский Дом знаний, 2006. – С. 82–85.

5. Чернышев, М.Н. Расчет сигнала на входе приемника двухпозиционного РЛТСО для отражающего объекта [Текст] / И.И. Сальников, М.Н. Чернышев // Искусственный интеллект в XXI веке. Решения в условиях неопределенности: Сборник статей IV Международной научно-технической конференции. – Пенза: Приволжский дом знаний. – 2006. – С. 146–150.

6. Чернышев, М.Н. Интеграл Френеля-Кирхгофа при моделировании нарушителя в виде эллиптического цилиндра в двухпозиционных РЛТСО [Текст] / И.И. Сальников, М.Н. Чернышев // Современные методы и средства обработки пространственно-временных сигналов: Сборник статей V Всероссийской научно-технической конференции. – Пенза: Приволжский Дом знаний, 2007. – С. 28–33.

7. Чернышев, М.Н. Результаты программного моделирования сигналаобразования в двухпозиционных РЛТСО [Текст] / И.И. Сальников, М.Н. Чернышев // Современные методы и средства обработки пространственно-временных сигналов: Сборник статей V Всероссийской научно-технической конференции.– Пенза: Приволжский Дом знаний, 2007.–С.33–36.

8. Чернышев, М.Н. Использование дифракционной картины непрозрачного трехмерного объекта для восстановления вида его функции пропускания [Текст] / И.И. Сальников, М.Н. Чернышев, Н.И. Чернышев // Современные методы и средства обработки пространственно-временных сигналов: Сборник статей V Всероссийской научно-технической конференции. – Пенза: Приволжский дом знаний, 2007. – С. 36–40.

9. Чернышев, М.Н. Использование преобразования Френеля-Кирхгофа для определения геометрических размеров нарушителя охраняемой зоны двухпозиционных радиолучевых технических средств охраны [Текст] / М.Н. Чернышев // Интеллектуальные и информационные системы: Материалы Всероссийской научно-технической конференции. – Тула: Тульский государственный университет, 2007. С. 96–98.

10. Чернышев, М.Н. Организация периметра охраны объекта двухпозиционных РЛТСО для определения скорости и местоположения нарушителя [Текст] / М.Н. Чернышев // Труды Международного Форума по проблемам науки, техники и образования; под ред. В.А. Малинникова, В.В. Вишневого. – М.: Академия наук о Земле, 2007. – С. 76–77.

11. Чернышев, М.Н. Измерение пространственных размеров нарушителя в радиолокационных системах охраны [Текст] / И.И. Сальников, М.Н. Чернышев // Современные охранные технологии и средства обеспечения комплексной безопасности объектов: Сборник статей седьмой Всероссийской научно-технической конференции. – Пенза-Заречный:, 2008.– С.124.

12. Чернышев, М.Н. Влияние отношения сигнал-шум на восстановление функции пропускания непрозрачного объекта по его дифракционной картине ЭМ-поля [Текст] / И.И. Сальников, М.Н. Чернышев, Н.И. Чернышев // Современные методы и средства обработки пространственно-временных сигналов: Сборник статей VI Всероссийской научно-технической конференции. – Пенза: Приволжский Дом знаний, 2008. – С. 37–41.

13. Чернышев, М.Н. Использование оптимального приема при определении размера нарушителя охраняемой зоны двухпозиционных РЛТСО [Текст] // И.И. Сальников, М.Н. Чернышев // Современные методы и средства обработки пространственно-временных сигналов: Сборник статей VI Всероссийской научно-технической конференции. – Пенза: Приволжский Дом знаний, 2008. – С. 41–44.

14. Чернышев, М.Н. Модель шума в двухпозиционных радиолокационных технических средствах охраны [Текст] / М.Н. Чернышев // Современные методы и средства обработки пространственно-временных сигналов: Сборник статей VI Всероссийской научно-технической конференции. – Пенза: Приволжский Дом знаний, 2008. – С. 44–47.

15. Чернышев, М.Н. Формирование контура изображения нарушителя в радиолучевых системах охраны при воздействии помех [Текст] / И.И. Сальников, М.Н. Чернышев // Распознавание–2008: Сборник материалов 8-й Международной конференции. Ч.2. – Курск: КГТУ, 2008. – С. 154–156.

16. Чернышев, М.Н. Восстановление вида двумерной функции пропуска объекта в двухпозиционных РЛТСО [Текст] / И.И. Сальников, М.Н. Чернышев, Н.И. Чернышев // Современные методы и средства обработки пространственно-временных сигналов: Сборник статей VII Всероссийской научно-технической конференции. – Пенза: ПДЗ, 2009. – С. 20–24.

17. Чернышев, М.Н. Особенности восстановления вида функции пропуска по участку реализации выходного сигнала ПРМ двухпозиционной РЛТСО [Текст] / М.Н. Чернышев // Современные методы и средства обработки пространственно-временных сигналов: Сборник статей VII Всероссийской научно-технической конференции. – Пенза, Приволжский Дом знаний, 2009. – С. 25–29.

18. Чернышев, М.Н. Выбор протяженности регистрации комплексной амплитуды ЭМ-поля при восстановлении функции пропуска объекта в двухпозиционных РЛТСО [Текст] / М.Н. Чернышев // Современные методы и средства обработки пространственно-временных сигналов: Сборник статей IX Всероссийской научно-технической конференции. – Пенза, Приволжский Дом знаний, 2011. – С. 41–46.

Зарегистрированные программы:

19. Программа обнаружения нарушителя зоны охраны двухпозиционных РЛТСО. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2011616218 / М.Н. Чернышев. Заявл. 20.05.2011. Зарегистрировано 09.08.2011.

ЧЕРНЫШЕВ Максим Николаевич

**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ
ИНФОРМАЦИИ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ИЗОБРАЖЕНИЯ
НАРУШИТЕЛЯ В ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛНАХ
В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ОХРАНЫ**

Автореферат

Компьютерная верстка Д.Б. Фатеева, Е.В. Рязановой

Сдано в производство 21.11.2011. Формат 60x84 ¹/₁₆
Бумага типогр. №1. Печать трафаретная. Шрифт Times New Roman Сут.
Усл. печ. л. 1,28. Уч.-изд. л. 1,29. Заказ № 2090. Тираж 100.

Пензенская государственная технологическая академия.
440605, Россия, г. Пенза, пр. Байдукова/ ул. Гагарина, 1^а/11.