

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Фам Дык Хи на тему:

«Обработка радиосигналов при обнаружении объектов с квадратичной вольтамперной характеристикой для инженерной робототехники»,

представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.2.13 – Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения

Актуальность темы диссертации.

Диссертационная работа Фам Дык Хи посвящена решению важной прикладной задачи, имеющей большую социально-экономическую значимость как для Социалистической Республики Вьетнам, так и для любого современного мегаполиса или места постоянного проживания большого скопления людей: очистке территорий от радио- и электронного «хлама», среди которого могут быть взрывоопасные предметы различного происхождения. Такого рода высокотехнологичный мусор содержит электронные компоненты, имеющих нелинейные отражательные свойства по отношению к падающим на них радиоволнам. Традиционные методы поиска (магнитометрия, индукционные) малоэффективны на больших площадях, особенно в условиях сложного рельефа и растительности.

Развитие методов радиолокации, основанных на анализе гармоник радиолокационного сигнала, отраженного от небольших искусственных объектов, находящихся либо на поверхности земли, либо на незначительной глубине с возможностью точной фиксации их местоположения, представляется своевременным и актуальным. Сверхзадача автора заключается в создании мобильной роботизированной платформы, которая могла бы в автоматическом режиме обследовать значительные площади. Имея в виду эту цель, автор и строит своё диссертационное исследование.

Структура диссертации построена по принципу: от описания базовой физической модели явления, которое лежит в основе работы, к описанию системы в комплексе.

Диссертация состоит из введения, трёх глав, заключения, списка литературы и приложений. Основная часть изложена на 125 страницах, содержит 49 рисунков и 5 таблиц.

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель, научная задача и частные задачи исследования, определены объект и предмет, изложены научная новизна, теоретическая и практическая значимость, приведены сведения об апробации и публикациях.

Первый раздел посвящён анализу проблемы мониторинга местности Вьетнама с целью обнаружения взрывоопасных предметов и электронных устройств, содержащих полупроводниковые компоненты. Приведены сведения о значительном загрязнении территории страны искусственными объектами. Проведён обзор существующих технологий поиска (магнитометрические, индукционные, механические, газоаналитические). Автор убедительно показывает, что их эффективность недостаточна для обнаружения малоразмерных объектов.

Обоснована перспективность применения нелинейных радиотехнических систем (РТС), работающих по принципу регистрации второй гармоники рассеянного сигнала. Это также является перспективным для создания систем автоматизированного мониторинга, основанных на использовании беспилотных летальных аппаратов.

Второй раздел посвящен анализу явления, которое положено в основу диссертации – описывает разработку усовершенствованной модели нелинейной РТС в свободном пространстве. На основе степенного ряда Тейлора построена полиномиальная модель точечного нелинейного рассеивателя с квадратичной вольт-амперной характеристикой. Выполнен пошаговый вывод уравнений радиолинии, в результате которого получено основное уравнение дальности для n -й гармоники. Введены корректирующие коэффициенты K_1 (экранирование корпусом и средой) и K_2 (несовпадение поляризации), повышающие точность расчёта энергетического баланса. Получены выражения для максимальной дальности на 2-й и 3-й гармониках. Проведён анализ влияния шума на радиоприёмный тракт при использовании простейшего тонового сигнала и его квадратурного приема. Записано уравнение дальности с учётом белого гауссова шума и построены зависимости отношения «сигнал/шум» от расстояния, мощности излучения и уровня шума. С использованием критерия Неймана–Пирсона разработана методика расчёта вероятностей правильного обнаружения и ложной тревоги для сигнала 2-й гармоники, построены кривые обнаружения при различных параметрах системы. Установлено, что вероятность обнаружения резко снижается при учёте экранирования и рассогласования поляризаций, а повышение мощности передатчика эффективнее увеличивает дальность, чем снижение шума приёмника.

Третий раздел посвящён методам пространственного разделения сигналов и угловой локализации нелинейных объектов, т.е. относится непосредственно к использованию метода, описанного в первых двух главах. Представлены результаты экспериментальных измерений диаграмм направленности цилиндрической и конической спиральных антенн (СА) на основной частоте 900 МГц и удвоенной частоте 1,8 ГГц с использованием векторного анализатора цепей.

На основе полученных во втором разделе выражений разработана имитационная модель радиолинии, моделирующая три ситуации: линейный отражатель, один и два нелинейных элемента. По результатам моделирования предложен алгоритм обработки принимаемых сигналов, основанный на сравнении отношения мощностей 2-й и 1-й гармоник с пороговым уровнем. Выполнен сравнительный анализ амплитудных (максимума, минимума) и фазового методов угловой локализации. Установлено, что суммарно-разностный метод сравнения обладает наилучшей точностью при малых угловых смещениях. Исследована угловая разрешающая способность суммарно-разностного метода, получен практический критерий разрешения. В завершающей части раздела предложена структурная схема мобильной нелинейной РТС, определены её состав, технические характеристики (импульсная мощность передатчика 100–200 Вт, рабочие частоты 2,4/4,8 ГГц, длительность импульса 0,5 мкс, гарантированная дальность до 30 м) и особенности антенных конструкций.

В заключении сформулированы основные результаты работы, подтверждающие достижение поставленной цели и решение научной задачи.

Научная новизна работы состоит в следующем.

1. Усовершенствована модель нелинейной радиотехнической системы, комплексно учитывающая физические и радиотехнические процессы рассеяния радиоволн на объектах с квадратичной вольт-амперной характеристикой, включая их экранирование и поляризационные характеристики.

2. Получены зависимости вероятности правильного обнаружения от угла наклона зондирующего луча и несовпадения поляризации.

3. Показано, что суммарно-разностный метод угловой локализации при малом отклонении осей приемных антенн обеспечивает точность, сопоставимую с фазовым методом, что упрощает практическую реализацию.

4. Обрисован и обоснован технический облик мобильной платформы на основе транспортного средства, приведены ее ключевые параметры.

Обоснованность научных положений подтверждается корректным использованием математического аппарата и согласием с результатами имитационного моделирования. Выводы и результаты работы согласуются с результатами других авторов и частичной экспериментальной проверкой.

Основные результаты опубликованы в 11 работах, включая 5 статей в журналах из перечня ВАК, 1 публикацию в изданиях Web of Science/Scopus, а также защищены 2 патентами и 1 свидетельством о регистрации программы для ЭВМ.

Практическая ценность.

Практическая значимость диссертации заключается в том, что предложены инженерные формулы и алгоритмы, которые позволяют построить методику оценки дальности и вероятности обнаружения объектов с нелинейной ВАХ. Автор правильно акцентирует внимание на том, что за счёт использования уже готовой беспроводной аппаратуры в массовом сегменте диапазона 2.4 ГГц можно быстро прототипировать необходимые макеты для отработки предлагаемых решений.

Разработанные подходы к построению мобильной роботизированной платформы и обоснование её облика создают основу для создания реального образца. Представлены акты о внедрении результатов работы в учебный процесс МТУСИ.

Автореферат адекватно отражает основное содержание диссертации, её структуру, ключевые научные положения, результаты и выводы. Оформление автореферата соответствует установленным требованиям.

Замечания по диссертации.

1. Имеется общий вопрос о целесообразности использования предлагаемой роботизированной РТС: из постановки задачи следует, что комплекс предназначен для очистки больших площадей. Значит ли это, что нужен также агрегат, который будет такую очистку физически осуществлять? Не проще ли иметь одного робота, который будет заниматься сплошной очисткой поверхности земли без предварительной разведки и обнаружения «электронного мусора»?

2. Для частичной проверки выводов работы автор поставил эксперимент с отражением радиосигнала от антенны (раздел 3.1). Из текста не очень ясно, почему «исследуемые антенны рассматривались в качестве НО, которые излучали сигнал на 2-й гармонической частоте». В антенне имелся нелинейный элемент? Хотелось бы также узнать, почему, хотя бы в самой простой постановке, не был проведен эксперимент по рассеянию на реальных полупроводниковых элементах (диод, транзистор)?

3. В разделе 3.2 (имитационная модель) не очень внятно описана собственно имитационная модель. На чем она построена, и что она из себя представляет? Это программная модель, которая имитировала операции по обработке сигналов?

4. Автор использует линейную шкалу для представления величин, которые меняются на много порядков – вероятности ошибок на рис. 2.10–2.15. Также на рисунках, где

отображается мощность сигналов от расстояния (например рис. 2.6–2.8) удобно было бы использовать логарифмические шкалы по обеим осям, что визуально за счет линейного наклона позволяет явно показать степенной характер соответствующих величин.

Указанные замечания не снижают общей положительной оценки работы и не затрагивают её основных защищаемых положений.

Диссертация по своему содержанию, объектам и методам исследования полностью соответствует паспорту научной специальности 2.2.13 – «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения».

Диссертационная работа Фам Дык Хи на тему «Обработка радиосигналов при обнаружении объектов с квадратичной вольт-амперной характеристикой для инженерной робототехники» является законченной научно-квалификационной работой, содержащей решение актуальной научной задачи – повышение эффективности обработки радиосигналов в радиотехнических системах для обнаружения объектов с квадратичной вольт-амперной характеристикой, имеющей существенное практическое значение.

Работа соответствует требованиям пункта 9 Положения о присуждении учёных степеней, утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842 (с последующими изменениями), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а её автор, Фам Дык Хи, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.13 – «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения».

Ведущий научный сотрудник,
доктор физико-математических наук,
профессор РАН

Кузьмин Лев Викторович

«12» мая 2026 г.

Подпись ведущего научного сотрудника Кузьмина Л.В. удостоверяю.

Ученый секретарь
ИРЭ им. В.А.Котельникова РАН



И.И. Чусов

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт радиотехники и электроники им. В.А.Котельникова Российской академии наук (ИРЭ им. В.А.Котельникова РАН)

125009, г. Москва, ул. Моховая, д.11, стр.7

Тел.: +7 (495) 629-72-78, 89165115630

e-mail: lvk@cplire.ru

<http://cplire.ru/>