

Учреждение образования
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

УДК 621.396:621.391.037 (043.3)

ЧЕРТКОВ
Валерий Михайлович

**АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС
ОБНАРУЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ ЗАКЛАДНЫХ УСТРОЙСТВ
ПО ОТКЛИКУ АМПЛИТУДНО-МОДУЛИРОВАННОГО СИГНАЛА
С ПОДАВЛЕННОЙ НЕСУЩЕЙ**

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

по специальности 05.13.19 – Методы и системы защиты информации,
информационная безопасность

Минск 2019

Работа выполнена в учреждении образования «Полоцкий государственный университет».

Научный руководитель **Железняк Владимир Кириллович**, доктор технических наук, профессор, профессор учреждения образования «Полоцкий государственный университет»

Официальные оппоненты: **Вилькоцкий Марат Антонович**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры информатики и методики преподавания информатики учреждения образования «Белорусский государственный педагогический университет имени Максима Танка»

Хижняк Александр Вячеславович, кандидат технических наук, доцент, начальник научно-исследовательской лаборатории кафедры автоматизированных систем управления войсками учреждения образования «Военная академия Республики Беларусь»

Оппонирующая организация Государственное научное учреждение «Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси»

Защита состоится «19» сентября 2019 г. в 14.00 на заседании совета по защите диссертаций Д 02.15.06 при учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» по адресу: 220013, г. Минск, ул. П. Бровки, 6, корп. 1, ауд. 232, тел. 293-89-89, e-mail: dissovet@bsuir.by.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

Автореферат разослан «16» августа 2019 г.

Ученый секретарь совета
по защите диссертаций Д 02.15.06
кандидат технических наук, доцент



О. В. Бойправ

ВВЕДЕНИЕ

Электронные закладные устройства (ЭЗУ) перехвата речевых сигналов являются источниками угрозы безопасности информации, способны принимать и обрабатывать ее в различных режимах работы. Они малогабаритны, обладают высокой скрытностью и помехоустойчивостью. Это обусловило необходимость исследований по разработке новых методов и аппаратуры обнаружения и идентификации ЭЗУ в условиях значительной неопределенности демаскирующих признаков.

Одним из основных технических средств обнаружения ЭЗУ является нелинейный радиолокатор (НРЛ). К важным техническим параметрам, предъявляемым к НРЛ, относятся высокая вероятность правильного обнаружения ЭЗУ и повышенная дальность их обнаружения при неизменной мощности высокочастотного излучения. Несмотря на ряд достоинств НРЛ и методов поиска и обнаружения ЭЗУ, разработка и обоснование новых с превосходящими параметрами и характеристиками являются актуальными.

В работе представлены результаты теоретического обоснования, разработки и реализации НРЛ в виде аппаратно-программного комплекса с высокой вероятностью правильного обнаружения ЭЗУ. Разработана имитационная модель распознавания типа нелинейности задаваемой вольт-амперной характеристики (ВАХ), включающая формирование, оценку и избирательный прием обоснованного зондирующего амплитудно-модулированного сигнала (АМ-сигнала) с подавленной несущей и алгоритм управления уровнями его боковых частот. Это позволило разработать метод определения численных значений степенных коэффициентов полинома, аппроксимирующего задаваемую ВАХ, на основе цифровой обработки статистических данных об уровнях комбинационных составляющих переизлученного зондирующего сигнала (ЗС) от ЭЗУ. Зависимость изменения расчетных значений степенных коэффициентов аппроксимационного полинома от направления облучения ЭЗУ определяет его идентификационный образ (ИО). Предложен метод обнаружения ЭЗУ с автоматизированным принятием решения по выявлению ЭЗУ по введенному критерию, представляющему собой пороговое значение скорректированного коэффициента детерминации, устанавливающего отличие между значениями ИО, полученного при обследовании помещения, и значениями типовых ИО для полупроводниковых компонент и структур металл-оксид-металл. Результат представляется в виде расчетного значения критерия в графическом интерфейсе пользователя на АПК практически в режиме реального времени, что существенно сокращает время принятия решения оператором и повышает вероятность правильного обнаружения.

На основании изложенного получено теоретическое и экспериментальное обоснование применения зондирующего АМ-сигнала с подавленной несущей и на его базе разработаны метод обнаружения ЭЗУ и АПК, работающий в режиме реального времени с превышающими целевыми параметрами. Это определило актуальность диссертационной работы.

Связь работы с крупными научными программами и темами

Тема диссертационной работы утверждена решением Совета университета учреждения образования «Полоцкий государственный университет» (протокол № 2 от 27.10.2017 г.) и соответствует приоритетным направлениям фундаментальных и прикладных научных исследований Республики Беларусь на 2016–2020 годы, утвержденным постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 12.03.2015 г. № 190 согласно пункту 13 «Безопасность человека, общества и государства».

Работа выполнялась в учреждении образования «Полоцкий государственный университет» в рамках научно-исследовательских госбюджетных тем:

1. «Разработка макетного образца переносного локатора подповерхностного зондирования для обнаружения скрытых объектов» по заданию 2.2 комплексного научно-исследовательского проекта «Разработка теоретических основ, экспериментальные исследования и создание макетов (и экспериментальных образцов) приборов» (ГБ 4526, 2006–2009 гг., № госрегистрации 20062376).

2. «Исследование по созданию устройств обработки сигналов радиовидения» (ГБ 0429, 2009–2010 гг., № госрегистрации 20090460).

3. «Разработка основных принципов структурного построения модулей ЦОС на основе сверхбыстродействующей элементной базы для реализации радиолокационной системы с активной фазированной антенной решеткой» по заданию 1.3.16 «Разработка и исследование новых методов создания радиолокационных систем с активной фазированной антенной решеткой на основе СВЧ-твердотельной и оптоэлектронной элементной базы для обзора воздушного пространства» ГНПИ «Электроника и фотоника» (ГБ 0514, 2014–2015 гг., № госрегистрации 20142015).

Цель и задачи исследования

Целью диссертационной работы является установление зависимостей параметров составляющих спектра сигнала, переизлученного нелинейными элементами электронных закладных устройств, от уровней спектральных составляющих зондирующего сигнала и разработка на основе этих зависимостей нового метода и аппаратно-программного комплекса обнаружения электронных закладных устройств, характеризующихся по сравнению с аналогами повышенной точностью и вероятностью правильного обнаружения. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие научные задачи:

1. Системно проанализировать современные НРЛ и АПК, их параметры, характеристики зондирующих сигналов и существующие методы обнаружения ЭЗУ и определить основные признаки выявления ЭЗУ, обеспечивающие повышение дальности и вероятности правильного их обнаружения.

2. Предложить и теоретически обосновать ЗС и алгоритм его формирования для автоматизированного обнаружения ЭЗУ, позволяющих повысить уровень принимаемого переизлученного сигнала по сравнению с известными уровнями второй и третьей гармоник метода излучения гармонического сигнала.

3. Разработать имитационную модель нелинейного преобразования ЗС, включающую его формирование, имитацию нелинейного преобразования на задаваемой ВАХ и избирательный прием образовавшегося отклика на комбинационных составляющих спектра для выявления зависимостей их образования, позволяющих установить тип нелинейности задаваемой ВАХ с высокой точностью.

4. Разработать метод обнаружения ЭЗУ и научно обосновать критерий автоматизированного принятия решения по выявлению ЭЗУ, обеспечивающие повышение вероятности правильного их обнаружения.

5. Разработать структурную схему АПК и на ее базе действующую модель, позволяющих экспериментально обосновать метод обнаружения ЭЗУ и подтвердить теоретические и экспериментальные исследования с обобщением и систематизацией результатов.

Научная новизна

1. Теоретически обосновано и экспериментально доказано, что в спектре переизлученного предложенного зондирующего АМ-сигнала с подавленной несущей от элементов ЭЗУ формируются комбинационные составляющие на частотах удвоенной восстановленной несущей ($2\omega_0$) и разности утроенной несущей и модулирующей частоты ($3\omega_0 - \Delta\omega$), которые превышают уровни на 3 и 9 дБ соответственно по сравнению со второй и третьей гармониками метода излучения гармонического сигнала.

2. Установлена системным методом зависимость уровней комбинационных составляющих спектра переизлученного ЭЗУ сигнала от уровней боковых частот зондирующего АМ-сигнала с подавленной несущей, повторяющая форму ВАХ нелинейных элементов ЭЗУ. Это позволило разработать метод определения численных значений степенных коэффициентов полинома, аппроксимирующего ВАХ нелинейных элементов ЭЗУ, с высокой точностью (среднеквадратичное отклонение составляет 10^{-4}) благодаря накоплению и обработке данных измерений уровней комбинационных составляющих.

3. Предложен и обоснован критерий автоматизированного принятия решения выявления ЭЗУ в режиме непрерывного излучения ЗС по определенному пороговому значению скорректированного коэффициента детерминации, устанавливающей отличие значений ВАХ ЭЗУ, полученной из степенных коэффициентов аппроксимирующего ее полинома, от значений типовых ВАХ для полупроводниковых компонентов электронных устройств и структур металл-оксид-металл. Это повысило вероятность правильного обнаружения ЭЗУ не ниже 0,94 с заданной вероятностью ложной тревоги 0,01.

Положения, выносимые на защиту

1. Метод формирования зондирующего амплитудно-модулированного сигнала с подавленной несущей, основанный на автоматическом регулировании уровня сигнала на нижней боковой частоте, заключающемся в итерационном увеличении уровня зондирующего сигнала на нижней боковой частоте при одновременном возрастании его мощности, до тех пор пока она не достигнет значения 3 Вт, что приводит к увеличению на 3 дБ уровня комбинационной составляющей на удвоенной несущей частоте при одновременном увеличении на 9 дБ уровня комбинационной составляющей на частоте, являющейся разностью между утроенной несущей частотой и частотой модулирующего сигнала, что позволило увеличить дальность обнаружения электронного закладного устройства до 2,5 м в режиме непрерывного излучения.

2. Метод определения численных значений степенных коэффициентов полинома для аппроксимации вольт-амперной характеристики нелинейных элементов электронного закладного устройства, основанный на вычислении разностей между уровнем комбинационной составляющей спектра переизлученного электронным закладным устройством зондирующего сигнала на удвоенной несущей частоте и уровнем комбинационной составляющей спектра этого сигнала на частоте, являющейся разностью между удвоенной несущей частотой и частотой модулирующего сигнала с последующими накоплением и анализом значений этих разностей.

3. Метод обнаружения электронных закладных устройств, заключающийся в вычислении скорректированных коэффициентов детерминации на основе значений вольт-амперной характеристики электронного закладного устройства, полученной из степенных коэффициентов аппроксимирующего ее полинома, и значений эталонной вольт-амперной характеристики полупроводников и структур металл-оксид-металл, формируемой аппроксимацией значений вольт-амперной характеристики электронного закладного устройства по экспоненциальному (полупроводники) и кубическому законам (структур металл-оксид-металл), обеспечивающий повышение на 14 % вероятности правильного обнаружения электронных закладных устройств по сравнению с известными методами при вероятности ложной тревоги 2 %.

Личный вклад соискателя

Основные результаты, приведенные в диссертационной работе, получены соискателем самостоятельно.

До 2014 года научным руководителем и соавтором основных публикаций был кандидат технических наук, доцент С. В. Мальцев, совместно с которым осуществлялось определение целей и постановка задач исследования, выбор методов

и направлений исследований. С 2014 года научным руководителем и соавтором основных публикаций является доктор технических наук, профессор В. К. Железняк, совместно с которым были скорректированы цели, уточнены методы и направления исследований, проведена интерпретация экспериментальных работ, обобщены научные результаты и сформулированы положения, выносимые на защиту. В совместных публикациях по теме диссертационной работы вклад соискателя определяется рамками излагаемых результатов. На все совместно опубликованные с соавторами работы приведены ссылки. Обзор методов обнаружения элементов с нелинейными ВАХ, их сравнительный анализ и моделирование отклика на сложный ЗС проводились совместно с аспирантом М. М. Ивановым при консультации научного руководителя В. К. Железняка. Совместно с кандидатом технических наук, доцентом Р. П. Богущем осуществлялась интерпретация результатов моделирования цифровой фильтрации крупноформатных изображений на программируемой логической интегральной схеме (ПЛИС). С магистрантами А. В. Андрощуком и А. С. Залесским, а также со студентами В. В. Киселевым, А. А. Высоцким составлялась обзорно-аналитическая часть совместно опубликованных работ.

Апробация диссертации и информация об использовании ее результатов

Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих научных конференциях и семинарах: 5-й Международной научной конференции по военно-техническим проблемам, проблемам обороны и безопасности, использованию технологий двойного применения «Milex-2011» (Минск, 2011); III, V, VI, VII, IX, X конференциях молодых ученых «Европейский и национальный контекст в научных исследованиях» (Новополоцк, 2011, 2013, 2014, 2015, 2017, 2018); II Республиканской научной конференции студентов, магистрантов и аспирантов «Актуальные вопросы физики и техники» (Гомель, 2013); V Международной научно-практической конференции «Интеллектуальные системы на транспорте» (Санкт-Петербург, 2015); VI Научно-технической конференции «Техническое зрение в системах управления – 2015» (Москва, 2015); Международной научной конференции «Информационные технологии и системы (ИТС 2015)» (Минск, 2015); XVIII, XX, XXI, XXII, XXIII Международных научно-технических конференциях «Современные средства связи» (Минск, 2013, 2015, 2016, 2017, 2018); XII, XIII Международных научных конференциях «Молодежь в науке» (Минск, 2015, 2016); I Евразийском форуме молодых ученых «YES-Forum» (Минск, 2015); Международных научно-практических конференциях «Теоретические и прикладные проблемы информационной безопасности» (Минск, 2016, 2017); XXII, XXIII научно-практических конференциях «Комплексная защита информации» (Полоцк, 2017, Суздаль, 2018); XV, XVI Белорусско-российских научно-технических конференциях «Технические средства защиты информации»

(Минск, 2017, 2018); Республиканских семинарах «Математическое моделирование сложных систем, анализ данных и защита информации» (Минск, апрель 2016, март, октябрь 2017, октябрь 2018).

Опубликование результатов диссертации

По результатам исследований, представленных в диссертации, опубликовано 40 работ, в том числе 10 статей в журналах из Перечня рецензируемых научных журналов и изданий в соответствии с пунктом 18 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь общим объемом 7,3 авторских листов, 21 статья в сборниках материалов научных конференций, 7 тезисов докладов конференций, получены 1 патент Республики Беларусь на изобретение и 1 патент Республики Беларусь на полезную модель.

Структура и объем диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, четырех глав с выводами по каждой главе, заключения, библиографического списка. Общий объем диссертации составляет 210 страниц, из которых 139 страниц текста, 97 рисунков на 36 страницах, 10 таблиц на 3 страницах, библиографический список из 103 источников и 40 собственных публикаций автора на 13 страницах, 6 приложений на 19 страницах.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В **первой главе** проанализированы нелинейные преобразования и переизлучения ЗС полупроводниковыми техническими средствами и ЭЗУ, в составе которых присутствуют полупроводниковые компоненты. Выявлены факторы, влияющие на дальность обнаружения ЭЗУ при неизменной мощности высокочастотного излучения зондирующего сигнала. Проанализированы принципы действия НРЛ для обнаружения и идентификации ЭЗУ, в составе которых присутствуют полупроводниковые компоненты. Как правило, излучающими ЗС являются гармонические колебания, имеющие мощность излучения не более 10 Вт. При воздействии такого сигнала на полупроводниковые компоненты формируются четные высшие гармоники, а на металлические элементы строительных конструкций и контактные соединения (структуры металл-оксид-металл) – нечетные гармоники.

Традиционным методом поиска и обнаружения ЭЗУ является анализ второй и третьей гармоник переизлучаемого ЗС, которые указывают на наличие нелинейных соединений. При этом распознавание типа соединения естественного (металл-оксид-металл) или искусственного (полупроводниковый компонент)

основывается на разности уровней гармоник порядка 20 дБ.

Рассмотрены существующие и перспективные методы обнаружения ЭЗУ. Раскрыта сущность и указаны недостатки приведенных методов. Определено, что методы, основанные на непрерывном излучении многогармонического сигнала, не обеспечивают высокую вероятность правильного обнаружения при малой дальности (1–1,5 м) обнаружения ЭЗУ. Импульсные методы поиска и обнаружения имеют большую дальность обнаружения ЭЗУ (до 10 м), но сравнительно низкую вероятность правильного их обнаружения из-за конструктивной сложности реализации передатчика и приемника в широкой полосе частот.

Отмечено, что применение в НРЛ составного ЗС является преимущественным для обнаружения и распознавания типов элементов с нелинейной ВАХ и позволяет увеличить чувствительность приема его отклика, дальность действия НРЛ и вероятность правильного обнаружения ЭЗУ благодаря оценке уровней комбинационных частот в спектре отклика. Это обуславливает формирование нового ЗС, позволяющего повысить уровень принимаемого переизлученного ЭЗУ сигнала отклика по сравнению с известными уровнями второй и третьей гармоник метода излучения гармонического сигнала. Показано, что в настоящее время идентификация ЭЗУ с помощью НРЛ реализуется по двум классам: структуры металл-оксид-металл (естественного происхождения) и полупроводниковые компоненты РЭА (искусственного происхождения).

Из результатов проведенного анализа следует, что современные методы не реализуют на достаточном уровне вероятность правильного обнаружения ЭЗУ. Установлено, что наиболее эффективными признаками по обнаружению электронных компонентов в составе ЭЗУ являются их восстанавливаемая ВАХ и эффективная площадь рассеяния (ЭПР). Это обуславливает необходимость разработки нового метода распознавания типов нелинейности ВАХ нелинейных элементов ЭЗУ с высокой точностью путем установления численных значений степенных коэффициентов полинома, аппроксимирующего ВАХ, а также разработку принципиально нового метода их обнаружения и идентификации ЭЗУ с оперативностью предоставления обработанных данных в режиме реального времени. Для решения и реализации поставленных задач определены дальнейшие направления исследований: обоснование нового ЗС и алгоритма его формирования для обнаружения и идентификации ЭЗУ; разработка имитационной модели нелинейного преобразования ЗС для выявления закономерностей изменения параметров составляющих спектра сигнала, переизлученного нелинейными элементами ЭЗУ, от уровней спектральных составляющих ЗС; разработка метода определения численных значений степенных коэффициентов полинома, аппроксимирующего ВАХ нелинейных элементов ЭЗУ.

Во **второй** главе работы обосновывается зондирующий измерительный АМ-сигнал с подавленной несущей $\omega_0 = 2\pi f_0$, представляющий две боковые гармонические составляющие с амплитудами U_{m1} и U_{m2} :

$$u(t) = U_{m1} \cos(\omega_0 + \Delta\omega)t + U_{m2} \cos(\omega_0 - \Delta\omega)t, \quad (1)$$

где $\omega_0 + \Delta\omega$ – верхняя боковая частота;

$\omega_0 - \Delta\omega$ – нижняя боковая частота;

$\Delta\omega$ – модулирующая частота.

Применение ЗС (1) обуславливает формирование комбинационных составляющих в спектре его отклика от ЭЗУ, которые характеризуются более высокими амплитудными значениями по сравнению со второй и третьей гармониками в спектре отклика на моногармонический ЗС. Данный ЗС обеспечивает выявление принципиальных особенностей и закономерностей изменения параметров составляющих спектра сигнала, переизлученного нелинейными элементами ЭЗУ, от уровней спектральных составляющих ЗС.

Для исследования нелинейного преобразования ЗС предложена модель нелинейного элемента (НЭ) в виде полинома 3-го порядка, описывающего его ВАХ:

$$i(u) = a_0 + a_1(u) + a_2(u)^2 + a_3(u)^3, \quad (2)$$

где a_0, a_1, a_2, a_3 – степенные коэффициенты полинома

Подстановкой выражения (1) в (2) имитируется прохождение ЗС через НЭ, определяется влияние каждого из степенных коэффициентов полинома (2), на параметры составляющих спектра отклика, образованного взаимодействием ЗС и нелинейной ВАХ. Математическое представление переизлученного ЗС имеет вид

$$\begin{aligned} i(u) = & a_0 + a_1 U_{m1} \cos(\omega_0 + \Delta\omega)t + a_1 U_{m2} \cos(\omega_0 - \Delta\omega)t + \frac{a_2}{2} (U_{m1}^2 + U_{m2}^2) + \\ & + \frac{a_2}{2} U_{m1}^2 \cos(2\omega_0 + 2\Delta\omega)t + \frac{a_2}{2} U_{m2}^2 \cos(2\omega_0 - 2\Delta\omega)t + \\ & + a_2 U_{m1} U_{m2} \cos(2\omega_0)t + a_2 U_{m1} U_{m2} \cos(2\Delta\omega)t + \left(\frac{3a_3 U_{m1}^3}{4} + \frac{3a_3 U_{m1} U_{m2}^2}{2} \right) \cos(\omega_0 + \Delta\omega)t + \\ & + \frac{a_3 U_{m2}^3}{4} \cos(3\omega_0 - 3\Delta\omega)t + \left(\frac{3a_3 U_{m2}^3}{4} + \frac{3a_3 U_{m2} U_{m1}^2}{2} \right) \cos(\omega_0 - \Delta\omega)t + \\ & + \frac{a_3 U_{m1}^3}{4} \cos(3\omega_0 + 3\Delta\omega)t + \frac{3a_3 U_{m2} U_{m1}^2}{4} \cos(3\omega_0 + \Delta\omega)t + \\ & + \frac{3a_3 U_{m2} U_{m1}^2}{4} \cos(\omega_0 + 3\Delta\omega)t + \frac{3a_3 U_{m1} U_{m2}^2}{4} \cos(3\omega_0 - \Delta\omega)t + \frac{3a_3 U_{m1} U_{m2}^2}{4} \cos(\omega_0 - 3\Delta\omega)t. \end{aligned} \quad (3)$$

Комбинационные составляющие образованы на частотах $2\omega_0$, $3\omega_0 + \Delta\omega$ и $3\omega_0 - \Delta\omega$. Комбинационная составляющая на частоте $2\omega_0$ соответствует удвоенной частоте восстановленной несущей и несет информацию о типе квадратичной нелинейности ВАХ исследуемого НЭ.

Для исследования структуры амплитудного спектра отклика от НЭ разработана имитационная модель нелинейного преобразования ЗС в среде MATLAB (R2018a), включающая формирование АМ-сигнала с подавленной несущей; имитацию нелинейного преобразования спектра ЗС на основе задаваемой ВАХ с учетом динамического диапазона входного сигнала; дискретное преобразование Фурье; отображение спектральных компонент отклика. Спектральный состав амплитуд переизлученного ЗС (3) нелинейной ВАХ представлен на рисунке 1.

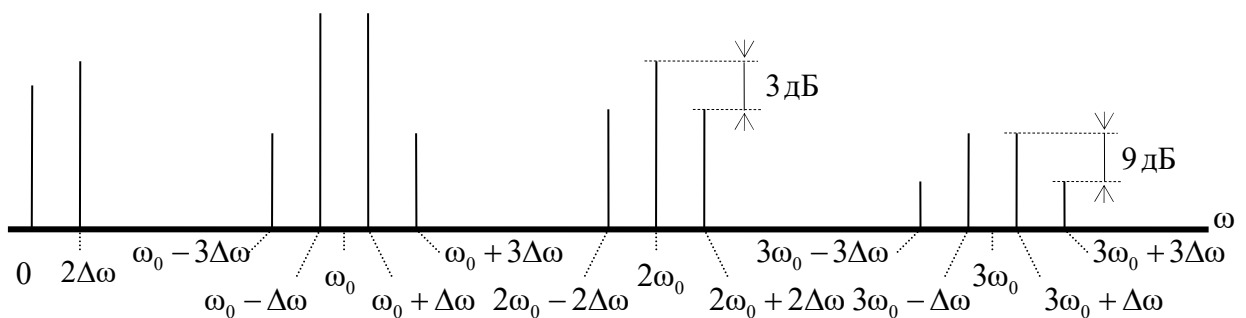


Рисунок 1. – Спектральный состав амплитуд переизлученного зондирующего сигнала

По результатам компьютерного моделирования установлено:

- уровень сигнала на комбинационной частоте, соответствующей разности утроенной несущей и модулирующей частоты $3\omega_0 - \Delta\omega$, превышает уровень сигнала на частоте третьей гармоники в спектре отклика на моногармонический ЗС на величину не менее 9 дБ;

- при наличии квадратичного члена аппроксимации происходит восстановление подавленной несущей на удвоенной комбинационной частоте $2\omega_0$ в спектре отклика, причем ее уровень превосходит уровень сигнала на частоте второй гармоники в спектре отклика на моногармонический ЗС на величину не менее 3 дБ.

Анализ спектрального состава переизлученного ЗС нелинейной ВАХ (см. рисунок 1) позволил оптимизировать НРЛ путем настройки приемников на оптимальные частоты по энергетическим и информационным параметрам и разработать имитационную модель распознавания типов нелинейностей, задаваемых ВАХ. Блок-схема имитационной модели представлена на рисунке 2.

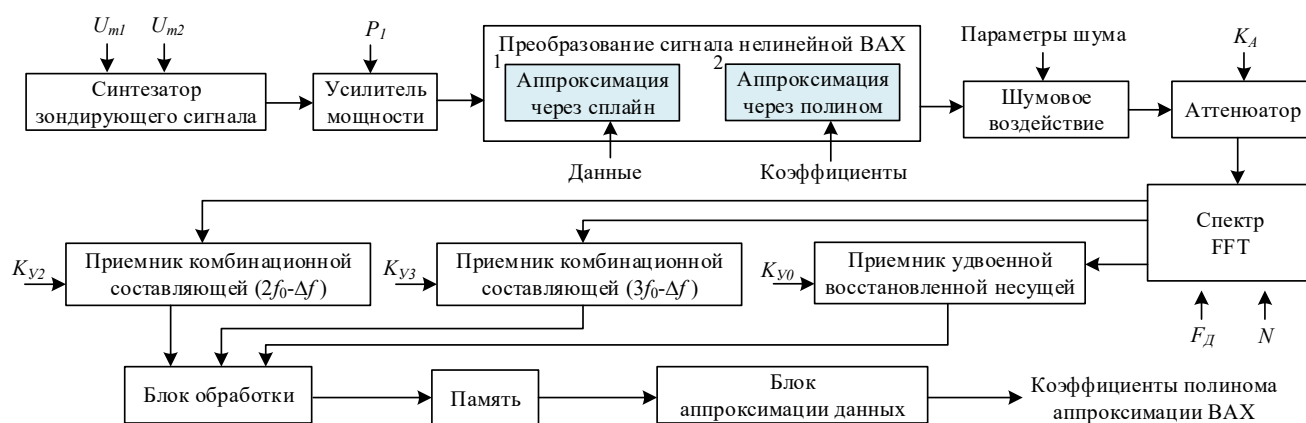


Рисунок 2. – Блок-схема имитационной модели распознавания типов нелинейности ВАХ

В модели параметры среды распространения имитируют блок «Аттенюатор», в котором задается коэффициент затухания электромагнитной волны, и блок «Шумовое воздействие», регулирующий параметры шума в диапазоне частот 800–820 МГц.

В имитационной модели распознавания типов нелинейности ВАХ реализованы следующие функции:

- управление уровнями боковых составляющих зондирующего АМ-сигнала с подавленной несущей и уровнем мощности излучения;
- оценка уровней высших гармоник переизлученного ЗС с различными коэффициентами усиления в каждом канале приема;
- управление моделями ВАХ; имитирование шумового воздействия в каналах приема, влияющих на их коэффициенты усиления.

Для реализации управления уровнями боковых составляющих зондирующего АМ-сигнала разработан метод его формирования. Суть метода заключается в итерационном увеличении уровней ЗС на нижней и верхней боковых частотах с разным шагом до значения общей их мощности 3 Вт. Это позволило установить повторяющую форму задаваемой ВАХ зависимость уровней комбинационных составляющих спектра переизлученного ЭЗУ сигнала от уровней боковых частот зондирующего АМ-сигнала с подавленной несущей и на основании установленной зависимости разработать метод определения численных значений степенных коэффициентов полинома, аппроксимирующего ВАХ, основывающийся на вычислении значения разностей между уровнями комбинационных составляющей в спектре отклика на ЗС от НЭ с последующим их накоплением для обработки и интерполяции по вычислению числовых значений.

Проведен вычислительный эксперимент с помощью блок-схемы (см. рисунок 2) апробации разработанного метода определения численных значений степенных коэффициентов полинома, аппроксимирующего задаваемую ВАХ. В качестве критерия определения меры сходства, задаваемой степенными коэффициентами ВАХ и расчетной ВАХ, выбрано среднее значение

среднеквадратичных отклонений каждого расчетного коэффициента аппроксимирующего полинома третьей степени. В результате установлено, что среднеквадратичное отклонение численных значений степенных коэффициентов полинома, от задаваемых значений степенных коэффициентов при имитационном моделировании, составляет 10^{-4} при отношении принимаемого сигнала к шуму не менее 10 дБ. Достигнутая высокая точность установления типа нелинейности ВАХ нелинейного элемента путем определения числовых значений степенных коэффициентов аппроксимирующего ее полинома определила дальнейшее направление исследований по разработке и экспериментальному обоснованию метода обнаружения ЭЗУ, обеспечивающего высокую вероятность правильного их обнаружения.

В третьей главе представлен и обоснован метод обнаружения ЭЗУ с распознаванием типов нелинейностей их ВАХ. Выполнен вычислительный эксперимент по апробации разработанного метода обнаружения ЭЗУ, где в качестве имитаторов ЭЗУ задавались справочные и экспериментальные табличные данные ВАХ полупроводниковых компонентов, а также экспериментальные табличные данные и справочные ВАХ для структур металл-оксид-металл.

В ходе вычислений регистрировались уровни комбинационных составляющих спектра отклика их разности и отношения друг с другом, определялись статистические характеристики результатов вычислений и погрешности оценок моментов значений уровней комбинационных составляющих в спектре отклика НЭ на ЗС и их отношений для расчета вероятностей правильного обнаружения и ложной тревоги; выборочное математическое ожидание; выборочное среднеквадратичное отклонение; оценка достоверности гипотезы нормальности распределения выборочных значений по критерию χ^2 ; оценка достоверности гипотезы нормальности распределения выборочных значений по критерию p -level.

По критерию χ^2 , полученному из статистикам характеристики результатов вычислений, доверительная вероятность соответствия экспериментальных данных нормальному распределению составила более 50 %, по критерию p -level – более 60 %.

Выбран и обоснован критерий, представляющий скорректированный коэффициент детерминации, устанавливающий отличие значений ВАХ ЭЗУ, полученной из степенных коэффициентов аппроксимирующего ее полинома, от значений типовых ВАХ для полупроводниковых компонентов электронных устройств и структур металл-оксид-металл, и его пороговое значение для принятия решения о выявлении ЭЗУ, обеспечивающие оптимальное значение вероятности правильного их обнаружения при заданной вероятности ложной тревоги.

Представлены результаты вычислительного эксперимента по апробации метода обнаружения ЭЗУ по выбранному критерию. Вероятность правильного обнаружения (D) составляет 0,94 для полупроводниковых компонентов РЭА и 0,84 для структур металл-оксид-металл при заданной вероятности ложного тревоги (F) для двух типов НЭ 0,01. Вероятность затруднительного распознавания, в котором

алгоритм не смог выдать ответ, для полупроводниковых компонентов составляет 0,05 и 0,15 – для структур металл-оксид-металл.

Идентификация ЭЗУ показана путем построения его ИО, который определяет зависимость изменения расчетных значений коэффициентов степенного аппроксимационного полинома от направления облучения ЭЗУ. Направление облучения ЭЗУ определяется углом места и азимутом относительно центра излучающей антенны АПК. Идентификация осуществляется последовательным поиском в экспериментально заполненной базе данных эталонов ИО. Полученный ИО при обследовании помещения поочередно сравнивается с имеющимися эталонами в базе данных с определением степени их подобия методом расчета метрики среднеквадратичной погрешности. Особенностью оценки степени подобия ИО является вычисление его численного значения. После сравнения всех записей в базе данных определяется максимально похожий ИО. Если степень подобия окажется меньше 0,70, то принимается решение о внесении новой записи в базу данных после детального дополнительного исследования. Если степень подобия выше 0,70, то процедура идентификации завершается. В результате имитационного моделирования апробации метода идентификации ЭЗУ установлено, что вероятность правильного обнаружения ЭЗУ в среднем увеличивается на 5 %.

Таким образом, результаты, полученные в ходе вычислительных экспериментов, обосновывают дальнейшее направление исследований по разработке структурной схемы и АПК, позволяющих экспериментально обосновать метод обнаружения ЭЗУ и сопоставить теоретические и экспериментальные исследования.

В **четвертой** главе синтезирована структурная схема и модель АПК обнаружения ЭЗУ, основанный на разработанном методе обнаружения ЭЗУ.

В результате анализа структурных схем НРЛ, представленных в главе 1, и с учетом результатов имитационного моделирования распознавания типов нелинейности, задаваемых ВАХ, синтезирована структурная схема модели АПК обнаружения ЭЗУ, представленная на рисунке 3.

Разработанный АПК использует микропроцессорную систему управления (МПС), обеспечивающую взаимодействие всех частей комплекса, их конфигурацию и калибровку. Аппаратно-программный комплекс управляется программным обеспечением MATLAB, за счет которого выполняется цифровая обработка информации, полученная в ходе анализа переизлученного ЗС от ЭЗУ.

Принципиальное отличие разработанного АПК от существующих НРЛ заключается в применении зондирующего АМ-сигнала с подавленной несущей, формируемого в блоке «Синтезатор зондирующего сигнала», структура которого представлена на рисунке 4, и введении дополнительного третьего канала приема, настроенного на комбинационную частоту, равную удвоенной частоте подавленной несущей ЗС.

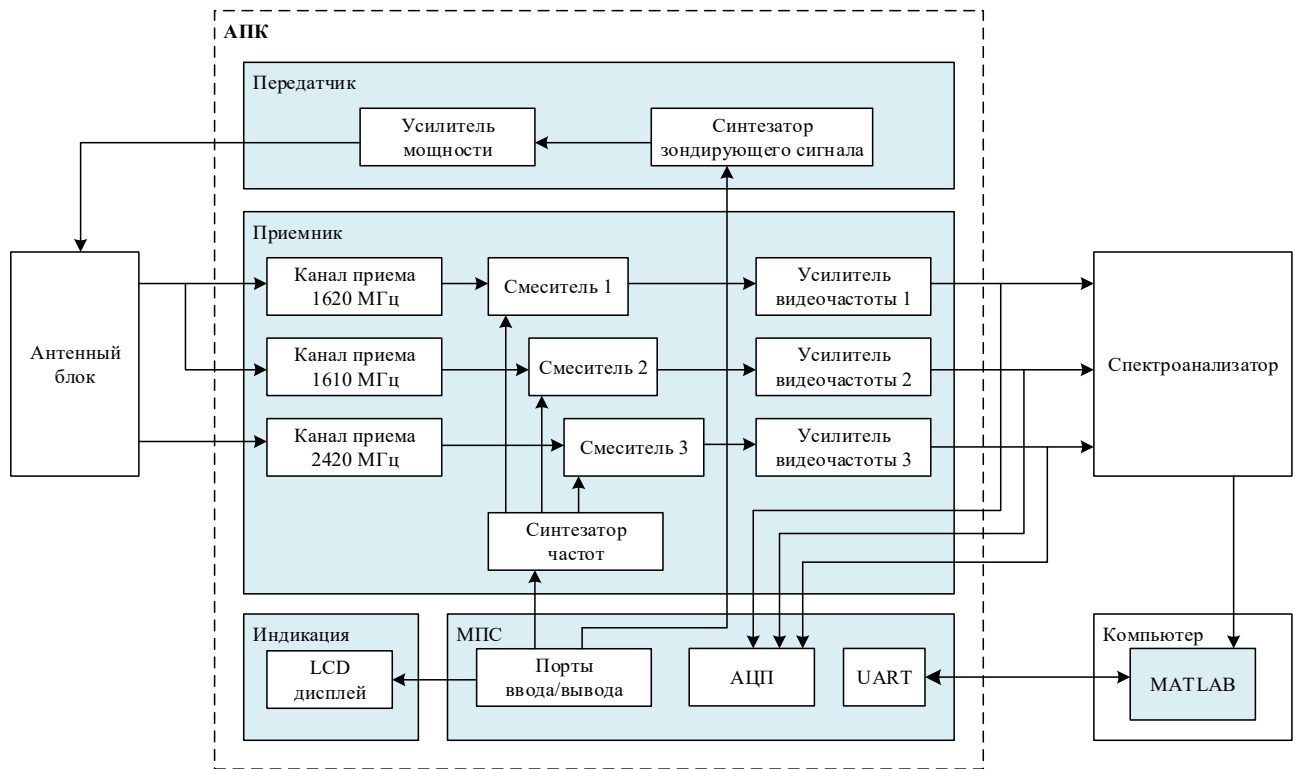


Рисунок 3. – Структурная схема модели АПК обнаружения ЭЗУ

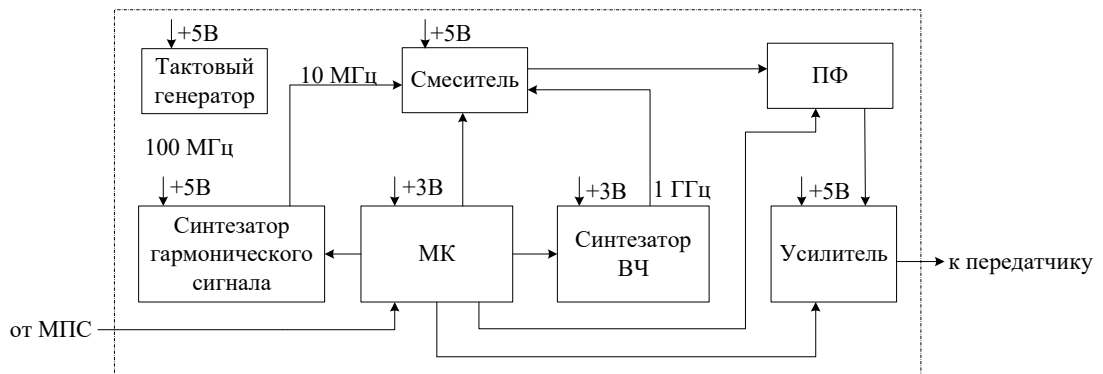


Рисунок 4. – Структурная схема синтезатора ЗС

Структурная схема синтезатора частот включает тактовый генератор прямоугольных импульсов с частотой следования 100 МГц, необходимые для синтезатора гармонического сигнала частотой 10 МГц; синтезатор высокой частоты (ВЧ) 1 ГГц, управляемый МПС; смеситель балансной модуляции при которой формируется ЗС; цифровой полосовой фильтр с различными коэффициентами ослабления в выбранном диапазоне частот и настроенный на верхнюю боковую составляющую сформированного ЗС.

Для практической реализации АПК и расширения его возможностей в качестве МПС предложена ПЛИС. Основные задачи ПЛИС в составе АПК – управление режимами синтеза ЗС, цифровая обработка накопленных результатов измерений уровней комбинационных составляющих отклика и математический расчет ИО исследуемого ЭЗУ. Отличительными особенностями

АПК являются обработка результатов измерений в автоматизированном режиме и предоставление оператору сведений о характеристиках ЭЗУ в режиме реального времени, что позволяет ускорить их локализацию.

Описан способ повышения быстродействия АПК с помощью схемно-конструктивных решений организации внутренней структуры ПЛИС. Сокращение вычислительных операций сложения/вычитания затрат достигается путем отбрасывания полученных значений на i -й итерации меньше установленного порога. При этом общее число итераций ограничено величиной $\lceil \log_m N \rceil$ для матриц размером $N \times N$.

Для экспериментальной оценки показателей разработанного метода обнаружения ЭЗУ проведено экспериментальное исследование. В таблице 1 представлены показатели теоретического и экспериментального исследований, а также показатели известного алгоритма обнаружения и распознавания типов нелинейностей ВАХ, разработанного В. Л. Каргашиным и В. Н. Ткачем, суть которого основана на физических предпосылках различной скорости изменения уровней второй и третьей гармоник отраженного ЗС при снижении мощности зондирования от максимального до минимального.

Таблица 1. – Сравнение показателей обнаружения электронных закладных устройств

Тип объекта	Правильное обнаружение			Распознавание не определено			Ложная тревога		
	Известный	Теоретическое	Эксперимент	Известный	Теоретическое	Эксперимент	Известный	Теоретическое	Эксперимент
Полупроводниковые компоненты	0,69	0,94	0,83	0,28	0,05	0,15	0,03	0,01	0,02
Структуры металл-оксид-металл	0,61	0,84	0,71	0,36	0,15	0,27	0,03	0,01	0,02

Таким образом, вероятность правильного обнаружения для электронных полупроводниковых компонент оказалась ниже теоретической на 11 % и на 14 % выше аналогичного показателя современного способа обнаружения ЭЗУ, опубликованного в открытой печати. Вероятность правильного обнаружения структур металл-оксид-металл по данным эксперимента на 12 % ниже теоретического показателя и на 13 % выше аналогичного показателя современного способа. Экспериментально подтверждено, что разработанный АПК обеспечивает повышение дальности обнаружения ЭЗУ на 25 % до 2,5 м при уровне отношения сигнал/шум 10 дБ в режиме непрерывного излучения, по сравнению с известными НРЛ непрерывного излучения ЗС.

В приложениях представлены акты о практическом использовании результатов диссертационной работы, копии дипломов за лучшую презентацию проекта на I Евразийском форуме молодых ученых и лучший доклад на XII Международной конференции молодых ученых «Молодежь в науке-2015».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. Научно обоснован новый метод формирования зондирующего АМ-сигнала с подавленной несущей, основанный на автоматическом итерационном регулировании уровня сигнала на нижней боковой частоте при одновременном возрастании его мощности, до тех пор пока она не достигнет максимального значения 3 Вт, позволяющий обеспечить различие типов источников нелинейностей (металл-оксид-металл или полупроводниковый компонент электронных устройств) [6, 16, 20]. Применение зондирующего АМ-сигнала с подавленной несущей позволило увеличить на 3 дБ уровень комбинационной составляющей на удвоенной несущей частоте и на 9 дБ уровень комбинационной составляющей на частоте, представляющей разность между удвоенной несущей частотой и частотой модулирующего сигнала [3, 6–11, 14, 15, 17, 20, 21, 27, 34].

2. Разработан метод определения численных значений степенных коэффициентов полинома, аппроксимирующего ВАХ нелинейными элементами ЭЗУ [39], со среднеквадратичным отклонением 10^{-4} , на основе установленной зависимости уровней комбинационных составляющих в спектре зондирующего сигнала, переизлученного нелинейными элементами ЭЗУ, от регулируемых уровней боковых частот зондирующего АМ-сигнала с подавленной несущей [15, 17] путем оценки уровней комбинационных составляющих в спектре переизлученного ЭЗУ зондирующего сигнала и их разностей с последующим накоплением, анализом и интерполяцией [7, 28, 29].

3. Предложен и обоснован метод обнаружения ЭЗУ, опирающийся на автоматизированное принятие решения по введенному критерию [38], устанавливающему отличие значений восстановленной нелинейной ВАХ исследуемого элемента [16, 23, 24, 32, 35, 36] от значений типовых ВАХ для полупроводниковых компонент электронных устройств и структур металл-оксид-металл. По результатам вычислительного эксперимента установлено, что разработанный метод позволяет повысить вероятность правильного обнаружения ЭЗУ до 0,94 с заданной вероятностью ложного тревоги 0,01 и снизить неопределенность принятия решения до 0,05 [1, 2, 13, 18, 19, 33].

Анализ теоретических и экспериментальных результатов разработанного метода обнаружения ЭЗУ показал, что вероятность правильного обнаружения для электронных полупроводниковых компонент составила 0,83 и оказалась ниже теоретической на 11 % и на 14 % выше аналогичного показателя современного способа обнаружения ЭЗУ, опубликованного в открытой печати. Вероятность правильного обнаружения структур металл-оксид-металл по данным эксперимента составляет 0,71, что на 12 % ниже теоретического показателя и на 13 % выше аналогичного показателя современного способа [30, 31].

4. Синтезирована и обоснована структурная схема и действующая модель АПК обнаружения ЭЗУ с улучшенными характеристиками на современной элементной базе, включающая техническую реализацию сокращения вычислительных затрат [4, 26, 27, 40], формирующая в автоматизированном режиме направленный ЗС и позволяющая принимать его отклик на комбинационных спектральных составляющих, уровень которых превышает уровень высших гармоник метода излучения гармонического ЗС, и автоматизировать принятие решения по обнаружению ЭЗУ, что улучшило на 25 % расстояние обнаружения ЭЗУ по уровню отношения сигнал/шум 10 дБ в режиме непрерывного излучения (до 2,5 м по сравнению с известными нелинейными радиолокаторами непрерывного излучения ЗС) [4, 5, 12, 22, 25, 37].

Таким образом, предложенное диссертационное исследование является законченной научно-квалификационной работой, проведенной в рамках приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в виде представленных теоретических положений, совокупность которых квалифицируется как научно обоснованные решения, направленные на разработку методов обеспечения информационной безопасности объектов и систем различного назначения и повышение эффективности существующих технических средств защиты от утечки речевой информации. Применение разработанного аппаратно-программного комплекса и метода обнаружения ЭЗУ вносят значительный вклад в дальнейшее развитие безопасности и технической защиты информации в Республике Беларусь.

Рекомендации по практическому использованию результатов

Аппаратно-программный комплекс обнаружения электронных закладных устройств рекомендуется для применения в службах безопасности, службах ведомственной и личной охраны, с целью поиска и выявления электронных закладных устройств любого функционального назначения, в том числе и радиоэлектронных взрывных устройств.

Аппаратно-программный комплекс может использоваться при поиске источников мобильной связи. Такой поиск, как правило, осуществляется в сфере корпоративной политики безопасности в организациях, а также связан с законодательными ограничениями использования мобильных телефонов.

Результаты разработки и оптимизации структурных модулей аппаратно-программного комплекса были использованы в рамках комплексного научно-исследовательского проекта «Разработка теоретических основ, экспериментальные исследования и создание макетов (и экспериментальных образцов) приборов» в ходе реализации задания 2.2 «Разработка макетного образца переносного локатора подповерхностного зондирования для обнаружения скрытых объектов» (2006 – 2009 гг. № госрегистрации 20063316), проводимого

на базе Центра 1.6 БГУИР. Там же, в рамках ГНПИ «Электроника и фотоника» реализовано комплексное задание 1.3.16 «Разработка и исследование новых методов создания радиолокационных систем с активной фазированной антенной решеткой на основе СВЧ-твердотельной и оптоэлектронной элементной базы для обзора воздушного пространства» (2014 – 2015 гг. № госрегистрации 20143436) были использованы результаты разработки и верификации программной модели вычисления свертки двумерных сигналов на базе программируемой логической интегральной схемы с учетом сокращения вычислительных затрат.

Модель аппаратно-программного комплекса легла в основу стенда прототипа, проектируемого обществом с ограниченной ответственностью «РадиоЛэб», устройства для исследования оценки параметров сигналов в режиме реального времени.

Разработанные методы, алгоритмы и принципы построения аппаратно-программного комплекса обнаружения электронных закладных устройств внедрены в учебный процесс Полоцкого государственного университета по дисциплинам «Сигнальные процессоры и проектирование программируемых цифровых устройств», «Технические средства и методы защиты информации» и «Программно-аппаратные и технические средства защиты информации».

Результаты диссертационной работы были отмечены дипломами I степени международной научной конференции «Молодежь в науке-2015» и III степени I Евразийского форума молодых ученых Национальной академией наук Беларуси.

Получены патенты на полезную модель «Устройство вычисления векторно-матричного произведения» и изобретение «Способ обнаружения нелинейного объекта с идентификацией типа нелинейности».

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ

Статьи в рецензируемых научных журналах

1. Чертков, В. М. Использование фазоманипулированного сигнала в задачах нелинейной радиолокации / В. М. Чертков, С. В. Мальцев // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. С, Фундамент. науки. – 2010. – № 3. – С. 129–134.

2. Чертков, В. М. Определение электрофизических свойств объекта методами нелинейной радиолокации / В. М. Чертков, С. В. Мальцев // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. С, Фундамент. науки. – 2012. – № 4. – С. 99–102.

3. Чертков, В. М. Поиск и обнаружение нелинейных объектов с распознаванием типа нелинейности на основе их электрофизических свойств / В. М. Чертков, С. В. Мальцев // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. С, Фундамент. науки. – 2013. – № 4. – С. 105–109.

4. Чертков, В. М. Нерекурсивная фильтрация изображений с использованием ПЛИС архитектуры FPGA / В. М. Чертков, Р. П. Богуш, А. В. Андрощук // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. С, Фундамент. науки. – 2015. – № 12. – С. 15–21.

5. Чертков, В. М. Способ повышения чувствительности нелинейного радиолокатора / В. М. Чертков, М. М. Иванов, В. К. Железняк // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. С, Фундамент. науки. – 2016. – № 4. – С. 72–77.

6. Чертков, В. М. Аппаратно-программный комплекс автоматизированного поиска с возможностью идентификации радиоэлектронных средств скрытого съема информации / В. М. Чертков, В. К. Железняк // Изв. НАН Беларуси. Сер. физ.-техн. наук. – 2016. – № 4. – С. 99–105.

7. Чертков, В. М. Определение нелинейности вольтамперной характеристики объекта, исследуемого нелинейным радиолокатором / В. М. Чертков, В. К. Железняк // Докл. БГУИР. – 2017. – № 8. – С. 60–66.

8. Чертков, В. М. Обзор методов обнаружения нелинейных элементов с помощью нелинейного радиолокатора / В. М. Чертков, М. М. Иванов, В. К. Железняк // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. С, Фундамент. науки. – 2017. – № 12. – С. 10–16.

9. Чертков, В. М. Алгоритм определения меры схожести идентификационных образов закладных устройств / В. М. Чертков, В. К. Железняк // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. С, Фундамент. науки. – 2018. – № 4. – С. 20–27.

10. Чертков, В. М. Моделирование и обработка отклика сложного зондирующего сигнала от нелинейности с аппроксимацией степенным рядом / М. М. Иванов, В. М. Чертков // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. С, Фундамент. науки. – 2018. – № 4. – С. 71–78.

Статьи в сборниках материалов научных конференций

11. Chertkov, V. M. The review of methods of restaration current-voltage characteristics in the nonlinear radar-location / V. M. Chertkov, V. V. Kiselev // *Материалы конф. молодых ученых, Новополоцк, 27–28 апр. 2011 г. : в 3 ч. / Полоц. гос. ун-т. ; редкол.: Д. Н. Лазовский [и др.]*. – Новополоцк : ПГУ, 2011. – Ч. 3 : Технология. – С. 24–26.

12. Чертков, В. М. Способ обнаружения нелинейного объекта с распознаванием типа нелинейности / В. М. Чертков, М. М. Иванов, Ю. А. Андреев // *Актуальные вопросы физики и техники : материалы II Республ. науч. конф. студентов, магистрантов и аспирантов, Гомель, 18 апр. 2013 г. : в 2 ч. / Гомел. гос. ун-т им. Ф. Скорины ; редкол.: А. В. Рогачев (гл. ред.) [и др.]*. – Гомель, 2013. – Ч. 1. – С. 112–115.

13. Чертков, В. М. Идентификация нелинейных объектов с учетом их электрофизических свойств / В. М. Чертков, С. В. Мальцев // *Современные средства связи : материалы XVIII Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 15–16 окт. 2013 г. / Высш. гос. колледж связи ; редкол.: А. О. Зеневич [и др.]*. – Минск, 2013. – С. 214–215.

14. Чертков, В. М. Повышение надежности идентификации нелинейных объектов / В. М. Чертков, С. В. Мальцев // *Информатика, математическое моделирование, экономика : сб. науч. ст. по итогам III Междунар. науч.-практ. конф., Смоленск, 24–26 апр. 2013 г. : в 3 т. / Смол. фил. Рос. ун-та кооп. ; редкол.: А. А. Усков [и др.]*. – Смоленск, 2013. – Т. 2. – С. 77–80.

15. Chertkov, V. M. Development of nonlinear junction locator antenna system subsurface radiolocation / V. M. Chertkov, M. M. Ivanou // *Европейский и национальный и контексты в научных исследованиях : материалы V конф. молодых ученых, Новополоцк, 24–25 апр. 2013 г. : в 3 ч. / Полоц. гос. ун-т ; редкол.: Д. Н. Лазовский [и др.]*. – Новополоцк : ПГУ, 2013. – Ч. 3 : Технология. – С. 180–184.

16. Чертков, В. М. Модель системы управления на основе обработки и анализа данных в режиме реального времени инструментами MATLAB / В. М. Чертков // *Техника и технология: новые перспективы развития : материалы XV Междунар. науч.-практ. конф., Москва, 20 нояб. 2014 г. / Науч. журн. «Естеств. и техн. науки» ; редкол.: Л. Г. Константинова [и др.]*. – М. : Спутник +, 2014. – С. 111–118.

17. Chertkov, V. M. Nonlinear junction locator with the possibility of identifying nonlinear objects / V. M. Chertkov, M. M. Ivanou // *Европейский и национальный контексты в научных исследованиях : материалы VI конф. молодых ученых, Новополоцк, 22–23 апр., 2014 г. : в 3 ч. / Полоц. гос. ун-т ; редкол.: Д. Н. Лазовский [и др.]*. – Новополоцк : ПГУ, 2014. – Ч. 3 : Технология. – С. 134–137.

18. Чертков, В. М. Идентификация радиоэлектронных средств скрытого

сьема информации средствами нелинейной радиолокации / В. М. Чертков, В. К. Железняк // Современные средства связи : материалы XX Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 14–15 окт. 2015 г. / Высш. гос. колледж связи ; редкол.: А.О. Зеневич [и др.] – Минск, 2015. – С. 210–211.

19. Чертков, В. М. Метод повышения достоверности идентификации закладных устройств с применением DSB-сигнала / В. М. Чертков, В. К. Железняк // Интеллектуальные системы на транспорте (ИнтеллектТранс-2015) : материалы V междунар. науч.-практ. конф. / Петербург. гос. ун-т путей сообщения ; редкол.: А. А. Корниенко [и др.]. – СПб., 2015. – С. 293–298.

20. Чертков, В. М. Программное управление аппаратно-программным комплексам автоматизированного поиска радиоэлектронных средств скрытого съема информации / В. М. Чертков, В. К. Железняк // Информационные технологии и системы 2015 (ИТС 2015) : материалы междунар. науч. конф., Минск, 28 окт. 2015 г. / Бел. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники ; редкол.: Л. Ю. Шилин [и др.]. – Минск, 2015. – С. 34–35.

21. Методы синхронизации в сверхширокополосных системах связи / В. М. Чертков [и др.] // Телекоммуникационные системы и сети : материалы 51-й науч. конф. аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, 13–17 апр. 2015 г. / Бел. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники ; редкол.: М. П. Батура [и др.]. – Минск, 2015. – С. 43–44.

22. Chertkov, V. M. Pulse modulation for ultra-wideband communication systems / V. M. Chertkov, M. M. Ivanou // Европейский и национальный контексты в научных исследованиях : материалы V конф. молодых ученых, Новополоцк, 29–30 апр. 2015 г. : в 3 ч. / Полоц. гос. ун-т ; редкол.: Д. Н. Лазовский [и др.]. – Новополоцк : ПГУ, 2015. – Ч. 3 : Технология. – С. 144–147.

23. Chertkov, V. M. Model management system that is based on data processing and analysis in real time with instruments MATLAB / V. M. Chertkov, A. A. Vysotsky // Европейский и национальный контексты в научных исследованиях : материалы V конф. молодых ученых, Новополоцк, 29–30 апр. 2015 г. : в 3 ч. / Полоц. гос. ун-т. ; редкол.: Д. Н. Лазовский [и др.]. – Новополоцк : ПГУ, 2015. – Ч. 3 : Технология. – С. 172–175.

24. Чертков, В. М. Идентификационный портрет как основной параметр идентификации РЭС / В. М. Чертков, В. К. Железняк // Теоретические и прикладные аспекты информационной безопасности : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 31 марта 2016 г. / Акад. М-ва внутр. дел Респ. Беларусь ; редкол.: В. Б. Шабанов (отв. ред.) [и др.]. – Минск, 2016. – С. 237–241.

25. Чертков, В. М. Математическая модель оценки избирательным приемом уровней высших гармоник зондирующего АМ-сигнала с подавленной несущей для определения типа нелинейности цели / В. М. Чертков, В. К. Железняк // Современные средства связи : материалы XXI Междунар. науч.-техн. конф.,

Минск, 20–21 окт. 2016 г. / Бел. гос. акад. связи ; редкол.: А. О. Зеневич [и др.]. – Минск, 2016. – С. 227–228.

26. Chertkov, V. M. FPGA use for digital signal processing / V. M. Chertkov, A. A. Androshchuk // European and National dimension in research : materials of junior researchers' conference, Novopolotsk, April 27–28, 2016. : 3 p. / Polotsk State University ; ed. D. Lazouski [et al.]. – Novopolotsk, 2016. – P. 3 : Technology. – P. 201–203.

27. Чертков, В. М. Повышение вероятности обнаружения радиоэлектронных средств на основе оценки параметров переотраженного зондирующего сигнала / В. М. Чертков, В. К. Железняк // Комплексная защита информации : материалы XXII науч.-практ. конф., Полоцк, 16–19 мая 2017 г. / Полоц. гос. ун-т ; отв. за вып. С. Н. Касанин. – Новополоцк : ПГУ, 2017. – С. 129–131.

28. Чертков, В. М. Оценка степени подобия идентификационного портрета радиоэлектронных средств с его эталоном / В. М. Чертков, В. К. Железняк // Современные средства связи : материалы XXI Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 19–20 окт. 2017 г. / Бел. гос. акад. связи. ; редкол.: А. О. Зеневич [и др.]. – Минск, 2017. – С. 308–309.

29. Chertkov, V. Comparison of metric functions and correlation when finding a measure of similarity by the coefficients of polynomial / A. Zaleski, V. Chertkov // European and National dimension in research. Technology = Европейский и национальный контексты в научных исследованиях : Electronic collected materials of X Junior Researchers' Conference, Novopolotsk, May 10–11 2018 / Polotsk State University ; ed. D. Lazouski [et al.]. – Novopolotsk, 2018. – P. 233–236.

30. Чертков, В. М. Способ обнаружения электронных закладных устройств: результаты применения / В. М. Чертков, В. К. Железняк // Современные средства связи : материалы XXIII Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 18–19 окт. 2018 г. / Бел. гос. акад. связи ; редкол.: А. О. Зеневич [и др.]. – Минск, 2018. – С. 228–229.

31. Чертков, В. М. Метод определения электронных закладных устройств нелинейным локатором / В. М. Чертков, В. К. Железняк // Комплексная защита информации : материалы XXIII науч.-практ. конф., Суздаль, 22–24 мая 2018 г. / Медиа Группа «Авангард» ; отв. за вып. С. Н. Касанин. – М., 2018. – С. 173–176.

Тезисы докладов на научных конференциях

32. Чертков, В. М. Повышение надежности идентификации нелинейных объектов / В. М. Чертков, С. В. Мальцев, Н. М. Наумович // MILEX-2011 : 5-я Междунар. науч. конф. по военно-техническим проблемам, проблемам обороны и безопасности, использованию технологий двойного применения : тез. докл., Минск, 25–26 мая 2011 г. / БелИСА ; редкол.: В. Е. Кратенок [и др.]. – Минск, 2011. – С. 121–123.

33. Чертков, В. М. Аппаратно-программный комплекс автоматизированного

поиска с возможностью идентификации РЭС скрытого съема информации / В. М. Чертков, В. К. Железняк // Молодежь в науке – 2015 : X Междунар. науч. конф., Минск, 1–4 дек. 2015 г. : тез. докл. / Нац. Акад. наук Респ. Беларусь ; редкол.: В. Г. Гусаков [и др.]. – Минск, 2015. – С. 292.

34. Чертков, В. М. Метод повышения достоверности идентификации закладных устройств с применением DSB-сигнала / В. М. Чертков, В. К. Железняк // Интеллектуальные системы на транспорте (ИнтеллектТранс-2015) : V междунар. науч.-практ. конф. : тез. докл. / Петербург. гос. ун-т путей сообщения ; редкол.: А. А. Корниенко [и др.]. – СПб., 2015. – С. 156.

35. Чертков, В. М. Мера схожести идентификационных портретов при поиске РЭС скрытого съема информации / В. М. Чертков, В. К. Железняк // Молодежь в науке – 2016 : XIII Междунар. науч. конф., Минск, 22–24 нояб. 2016 г. : тез. докл. / Нац. Акад. наук Респ. Беларусь ; редкол.: В. Г. Гусаков [и др.]. – Минск, 2016. – С. 328.

36. Чертков, В. М. Мера схожести нелинейностей вольтамперных характеристик радиоэлектронных закладных устройств съема информации / В. М. Чертков, В. К. Железняк // Технические средства защиты информации : XV Белор.-рос. науч.-техн. конф., Минск, 6 июня 2017 г. : тез. докл. / Бел. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники ; редкол.: Л. Ю. Шилин [и др.]. – Минск, 2017. – С. 26.

37. Чертков, В. М. Способ получения идентификационного портрета радиоэлектронных средств перехвата информации методами нелинейной радиолокации / В. М. Чертков, В. К. Железняк // Теоретические и прикладные аспекты информационной безопасности : Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 18 мая 2017 г. : тез. докл. / Акад. М-ва внутр. дел Респ. Беларусь ; редкол.: А. В. Яскевич (отв. ред.) [и др.]. – Минск, 2018. – С. 131–134.

38. Чертков, В. М. Решающее правило идентификации элементов с нелинейными вольтамперными характеристиками в нелинейной радиолокации / В. М. Чертков, В. К. Железняк // Технические средства защиты информации : материалы XVI Белор.-рос. науч.-техн. конф., Минск, 5 июня 2018 г. : тез. докл. / Бел. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники ; редкол.: Т. В. Борботько [и др.]. – Минск, 2018. – С. 98.

Патенты

39. Способ обнаружения нелинейного объекта с идентификацией типа нелинейности : пат. ВУ 19665 / В. М. Чертков, С. В. Мальцев. – Оpubл. 30.12.2015.

40. Устройство вычисления векторно-матричного произведения : полез. модель ВУ 10748 / В. М. Чертков, С. В. Мальцев, Р. П. Богуш. – Оpubл. 30.08.2015.

Чарткоў Валерыі Міхайлавіч**Апаратна-праграмны комплекс выяўлення электронных закладных прылад па водгуку амплітудна-мадуляванага сігнала з падаўленай апорнай**

Ключавыя словы: перахоп маўленчай інфармацыі, электронная закладная прылада, амплітудна-мадуляваны сігнал з падаўленай апорнай, нелінейнасць вольт-ампернай характарыстыкі, апаратна-праграмны комплекс.

Мэта працы: усталяванне залежнасцей параметраў складнікаў спектру сігнала, перавылучанага нелінейнымі элементамі электронных закладных прылад, ад узроўняў спектральных складнікаў зандуючага сігнала і распрацоўка на аснове гэтых залежнасцей новых метаду і апаратна-праграмнага комплексу выяўлення электронных закладных прылад, якія характарызуюцца ў параўнанні з аналагамі павышанай дакладнасцю і верагоднасцю правільнага выяўлення.

Метады даследавання і апаратура: выкарыстоўваюцца метады навуковага аналізу і сінтэзу, імітацыйнае мадэляванне, матэматычныя тэхналогіі статыстычнага, карэляцыйнага і спектральнага аналізу. Эксперыментальныя даследаванні выкананы з выкарыстаннем апаратуры: генератар сігналаў адвольнай формы В332, генератар сігналаў (сінтэзатар частот) НМ 8135 Rohde & Schwarz, лічбавы асцылограф і аналізатар спектру В423, аналізатар спектру HMS-X Rohde & Schwarz, аналізатар сігналаў і спектру Rohde & Schwarz FSV4, вектарны аналізатар ланцугоў Keysight Technologies N9918A.

Атрыманыя вынікі і іх навізна: прапанаваны метады фарміравання зандуючага АМ-сігнала з падаўленай апорнай, заснаваны на аўтаматычным рэгуляванні ўзроўню сігнала на ніжняй бакавой частаце, што дазволіла павялічыць далёкасць выяўлення электроннай закладной прылады да 2,5 м у рэжыме бесперапыннага выпраменьвання. Распрацаваны метады вызначэння лікавых значэнняў ступенных каэфіцыентаў палінома, які апраксімуе вольт-амперную характарыстыку ЭЗП, са сярэднеквадратовай хібнасцю 10^{-4} . Распрацаваны метады выяўлення ЭЗП з выкарыстаннем спецыяльнага зандуючага АМ-сігнала з падаўленай апорнай, які павышае верагоднасць правільнага выяўлення не ніжэй за 0,83.

Ступень выкарыстання: у навучальным працэсе Установы адукацыі «Полацкі дзяржаўны ўніверсітэт», у Цэнтры 1.6 ўстановы адукацыі «Беларускі ўніверсітэт інфарматыкі і радыёэлектронікі», у ТАА «РадыёЛэб».

Вобласць ужывання: кантроль памяшканняў на наяўнасць электронных закладных прылад; выяўленне электронных прыбораў (дыстанцыйныя выбухоўнікі і да т.п.); выяўленне схаванай зброі, ацэнка параметраў прымаемых сігналаў.

РЕЗЮМЕ

Чертков Валерий Михайлович

Аппаратно-программный комплекс обнаружения электронных закладных устройств по отклику амплитудно-модулированного сигнала с подавленной несущей

Ключевые слова: перехват речевой информации, электронное закладное устройство, амплитудно-модулированный сигнал с подавленной несущей, нелинейность вольт-амперной характеристики, аппаратно-программный комплекс.

Цель работы: установление зависимостей параметров составляющих спектра сигнала, переизлученного нелинейными элементами электронных закладных устройств, от уровней спектральных составляющих зондирующего сигнала и разработка на основе этих зависимостей нового метода и аппаратно-программного комплекса обнаружения электронных закладных устройств, характеризующихся по сравнению с аналогами повышенной точностью и вероятностью правильного обнаружения.

Методы исследования и оборудование: используются методы научного анализа и синтеза, имитационное моделирование, математические технологии временного, статистического, корреляционного и спектрального анализа. Экспериментальные исследования выполнены с использованием оборудования: генератор сигналов произвольной формы B332, генератор сигналов (синтезатор частот) HM 8135 Rohde&Schwarz, цифровой осциллограф и анализатор спектра B423, анализатор спектра HMS-X Rohde&Schwarz, анализатор сигналов и спектра Rohde&Schwarz FSV4, векторный анализатор цепей Keysight Technologies N9918A.

Полученные результаты и их новизна: предложен метод формирования зондирующего АМ-сигнала с подавленной несущей, основанный на автоматическом регулировании уровня сигнала на нижней боковой частоте, что позволило увеличить дальность обнаружения электронного закладного устройства до 2,5 м в режиме непрерывного излучения. Разработан метод определения численных значений степенных коэффициентов полинома, аппроксимирующего вольт-амперную характеристику ЭЗУ, со среднеквадратичной погрешностью 10^{-4} . Разработан метод обнаружения ЭЗУ с использованием специального зондирующего АМ-сигнала с подавленной несущей, повышающий вероятность правильного обнаружения не ниже 0,83.

Степень использования: в учебном процессе учреждения образования «Полоцкий государственный университет, в Центре 1.6 учреждения образования «Белорусский университет информатики и радиоэлектроники», в ООО «РадиоЛэб».

Область применения: контроль помещений на наличие электронных закладных устройств; обнаружение электронных приборов (дистанционные взрыватели и т. п.); обнаружение скрытого оружия, оценка параметров принимаемых сигналов.

SUMMARY

Chertkov Valery Mikhailovich

Hardware-software complex for detecting electronic eavesdropping devices based on the response of the amplitude-modulated signal with suppressed carrier

Keywords: spoken information interception, electronic eavesdropping device, amplitude-modulated signal with suppressed carrier, nonlinearity of the current-voltage characteristic, hardware-software complex.

Aim of the work: determination of the dependencies of the parameters of the components of the spectrum of a signal re-emitted by nonlinear elements of electronic eavesdropping devices, on the levels of the spectral components of the probing signal, and developing of a new method and hardware-software complex for detecting electronic eavesdropping devices characterized by increased accuracy and probability of correct detection, as compared to their counterparts.

Research methods and equipment: methods of scientific analysis and synthesis, simulation modeling, mathematical technologies of time, statistical, correlation and spectral analysis are used. Experimental studies were performed using the following equipment: arbitrary waveform generator B332, signal generator (frequency synthesizer) HM 8135 Rohde & Schwarz, digital oscilloscope and spectrum analyzer B423, spectrum analyzer HMS-X Rohde & Schwarz, signal and spectrum analyzer Rohde & Schwarz FSV4, vector network analyzer Keysight Technologies N9918A.

Achieved results and their novelty: newly developed: a method for generating a probing AM-signal with suppressed carrier, based on automatic control of the signal level at the lower side frequency, which made it possible to increase the detection range of an electronic eavesdropping devices up to 2,5 m in continuous emission mode; a method for determining the numerical values of the power coefficients of a polynomial approximating the current-voltage characteristic of an electronic eavesdropping devices with a rms error of 10^{-4} ; a method for detecting electronic eavesdropping devices using a special probing AM signal with suppressed carrier which increases the probability of correct detection not less than 0,83.

The degree of utilization: The results can be use in the educational process of the Educational Institution «Polotsk State University», in the Center 1.6 of the Educational Institution «Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics», in the LLC «RadioLab».

Application field: monitoring of premises for the presence of electronic eavesdropping devices; detection of electronic devices (remote fuses, etc.); detection of concealed weapons, evaluation of received signals parameters.

Научное издание

Чертков Валерий Михайлович

**АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС
ОБНАРУЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ ЗАКЛАДНЫХ УСТРОЙСТВ
ПО ОТКЛИКУ АМПЛИТУДНО-МОДУЛИРОВАННОГО СИГНАЛА
С ПОДАВЛЕННОЙ НЕСУЩЕЙ**

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

по специальности 05.13.19 – Методы и системы защиты информации,
информационная безопасность

Подписано в печать 12.08.2019. Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».
Отпечатано на ризографе. Усл. печ. л. 1,86. Уч.-изд. л. 1,5. Тираж 60 экз. Заказ 270.

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий №1/238 от 24.03.2014,
№2/113 от 07.04.2014, №3/615 от 07.04.2014.
Ул. П. Бровки, 6, 220013, г. Минск