

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Игнаткова Кирилла Александровича
**«Развитие методов анализа, принципов построения и применения
автодинных устройств для систем ближней радиолокации»**, представленной
на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности
2.2.16 – Радиолокация и радионавигация

Актуальность темы

Тема диссертации представляет интерес, прежде всего, для специалистов, связанных с исследованием автодинных режимов работы СВЧ генераторов, разработкой приемопередающих автодинных модулей и применением их в системах ближней радиолокации (СБРЛ), датчиках и измерителях, предназначенных для решения широкого круга задач обнаружения и измерения параметров объектов локации и их кинематических характеристик. Материалы диссертации могут быть полезными также более широкому кругу специалистов, чьи научные интересы связаны с изучением автоколебательных систем с запаздыванием, а также применением автодинов в приборах и устройствах бесконтактного контроля параметров различных сред и технологических процессов.

Данное научное направление радиотехники за прошедшие десятилетия своего становления и развития накопило достаточно богатый опыт в создании различных систем радиолокационного применения автодинов. Актуальность темы диссертации обусловлена необходимостью проведения дальнейших исследований характера формирования сигнальных и шумовых зависимостей в автодинном радиолокаторе в присутствии различных видов модуляции, а также в условиях произвольного соотношения периода автодинного сигнала и времени запаздывания отраженного излучения с учетом инерционности процессов в автодинном генераторе.

Строгое математическое описание процесса взаимодействия автоколебаний генератора с собственным отражённым от цели излучением в указанных условиях необходимо как для проектирования соответствующих устройств и датчиков с целенаправленным применением одного из видов модуляции, так и для осознанного избавления устройства от негативного

(паразитного) влияния другого вида модуляции. Кроме того, проведение таких исследований необходимо для поиска режимов работы, обеспечивающих улучшение характеристик создаваемых СБРЛ, расширения функциональных возможностей и частотного диапазона, а также области применения автодинов.

Существующий на данный момент уровень развития микроэлектроники даёт разработчикам радиоэлектронной аппаратуры широкие возможности по созданию малогабаритных и высокоэффективных изделий, востребованных в различных отраслях хозяйственной деятельности человека. Как отмечено в диссертации, развитие теории автодинных радиолокаторов в сочетании с использованием современной базы электронных компонентов способно решить широкий ряд задач по измерению характеристик и параметров различных явлений, что, несомненно, является подтверждением актуальности проведённых исследований. Кроме того, в диссертации обсуждаются проблемы внедрения нового концептуального подхода в теорию автодинов и расширения функциональных возможностей, а также области практического применения автодинов, поэтому диссертация **актуальна** как в чисто научном, так и прикладном отношении. Следует согласиться также с тем, что тема диссертации является проблемной и соответствует докторскому уровню.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Представленная для анализа диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованных источников и 6 приложений.

Во введении (всего 22 стр.) дана общая характеристика диссертации: обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель и основные задачи исследования, а также основные положения и результаты, выносимые на защиту, определена новизна, достоверность и практическая ценность полученных результатов, представлено краткое содержание диссертационной работы.

В первой главе (всего 37 стр.) диссертации выполнен обзор литературы, посвящённой вопросам применения и анализа условий функционирования СБРЛ. Рассмотрены основные модели представления и методы анализа автодинных устройств, выполнен обзор их основных параметров и характеристик, рассмотрены принципы построения автодинных

приемопередатчиков. На основе выполненного обзора поставлена цель исследования и сформулированы задачи, которые необходимо решить для достижения цели.

Во второй главе (73 стр.) рассмотрены методы нахождения решений системы дифференциальных уравнений автодина, необходимые для наиболее адекватного описания динамики формирования автодинных сигналов в условиях как «низких» и «высоких» скоростей движения объектов локации, так и при произвольном времени запаздывания отражённого излучения. Исследованы особенности формирования шумовых характеристик автодинов с непрерывным излучением. Методом пошагового интегрирования уравнений с запаздыванием выполнен расчет процесса установления автодинного отклика и формирования сигналов автодина с импульсной модуляцией излучения. Основные результаты выполненных в этой главе исследований опубликованы в **19** журнальных статьях, изложены в **23** материалах научно-технических конференций и использованы в **четырёх** отчётах о НИР.

В третьей главе (40 стр.) разработана математическая модель для анализа автодинных СБРЛ с частотной модуляцией (ЧМ). Получено решение основных уравнений автодинных генераторов с ЧМ. Выполнен анализ формирования сигналов при неподвижном объекте локации, рассмотрены особенности формирования сигналов в случае движущегося объекта. Показаны общие свойства сигнальных характеристик таких локаторов. Представлены результаты анализа флуктуационных характеристик и экспериментальных исследований автодинных СБРЛ с ЧМ. Основные результаты настоящей главы опубликованы в **пяти** журнальных статьях и в **десяти** материалах докладов различных научно-технических конференций.

В четвертой главе (57 стр.) дано научное обоснование ряда технических решений автодинных приемопередающих устройств, предназначенных для перспективных СБРЛ. В разделе 4.2 рассмотрены параметры и характеристики автодинов со стабилизацией частоты внешним высокочастотным резонатором. В разделе 4.3 выполнен анализ автодинных приемопередатчиков с интерференционным принципом формирования сигналов. В разделе 4.4 рассмотрены особенности формирования сигнальных характеристик автодинов, выполненных на основе взаимно синхронизированных генераторов при условии сильной связи. Возможности функционирования автодинов в режиме

захвата частоты от внешнего генератора рассмотрены в разделе 4.5. Основные результаты настоящей главы опубликованы в **10** журнальных статьях, в **30** материалах докладов различных научно-технических конференций, представлены в **трех** отчётах о НИР.

В пятой главе (57 стр.) описаны примеры, в которых использованы результаты выполненных диссертационных исследований. В разделе 5.2 представлены результаты сравнительных испытаний обзорных РЛС фирмы «Микран» и лазерных локаторов на сортировочных горках, дано описание предлагаемой системы для определения положения вагонов на путях накопления, а также опытных образцов автодинных датчиков и измерителей для решения задач автоматизации технологических процессов на сортировочных горках. В разделе 5.3 рассмотрены особенности формирования и обработки сигналов автодинов при использовании их в качестве дистанционных датчиков вибраций и малых перемещений. В разделе 5.4 дано описание технических решений при создании автодинных датчиков, предназначенных для бесконтактного контроля внутренних размеров металлических изделий. В разделе 5.5 обсуждаются проблемы применения автодинных датчиков для контроля динамических и быстропротекающих технологических процессов. В разделе 5.6 представлено описание структурной схемы радиолокационного, в том числе автодинного датчика для контроля параметров движения грузовой платформы парашютной системы. Результаты исследований работы автодинного приемопередатчика в качестве бортового аэрологического приемопередатчика и описание его структурной схемы приведено в разделе 5.7. Основные результаты данных исследований опубликованы в **5** журнальных статьях, изложены в **26** материалах научно-технических конференций и описаниях к **5** патентам на изобретения, а также представлены в **трех** отчётах о НИР и НИОКР.

В заключение (15 стр.) изложены итоги выполненных исследований.

В приложение вынесены материалы, дополняющие содержание глав.

Основные **научные положения и результаты**, вынесенные на защиту, достаточно убедительно **обоснованы** автором диссертации. Они основаны на известных достижениях теории нелинейных колебаний в радиотехнике и математических методов теории систем с запаздыванием. В условиях слабого воздействия на генератор отраженного излучения и шумов использовался метод

возмущений, состоящий в линеаризации нелинейных характеристик системы в окрестности стационарного режима. При анализе флуктуационных характеристик использовались методы статистической радиотехники. Решение сложных систем уравнений находилось численными методами с привлечением пакета программ в среде MathCAD. При проведении экспериментальных исследований автодинов использовались методы лабораторного и натурного эксперимента, полунатурного моделирования, методы аналоговой и цифровой обработки сигналов, а также с привлечением компьютерной обработки сигналов с помощью виртуальных приборов, создаваемых в среде программирования LabVIEW.

На базе разработанных положений, а также теоретических и экспериментальных исследований автодинных систем, анализа большого числа результатов вычислений различных характеристик соискателем получен комплекс **новых научных результатов**, наиболее значимые из которых, представлены в выводах по главам и обобщены в Заключение диссертации. Опираясь на защищаемые положения и полученные результаты работы, соискатель сформулировал разработчикам автодинных СБРЛ **рекомендации** по расчёту параметров и выбору режимов работы генераторов. Обоснование этих рекомендаций автором выполнено достаточно убедительно, аргументировано и не вызывает сомнений.

Оценка новизны и достоверности научных положений и результатов диссертации

На мой взгляд, защищаемые положения и связанные с ними результаты работы и вытекающие из них рекомендации вполне оригинальны. Для подтверждения достоверности теоретических положений и результатов вычислений автором выполнено большое число экспериментальных исследований. Многие полученные результаты сопоставляются с результатами, которые получены и опубликованы другими авторами. Новизна большинства технических предложений подтверждается полученными патентами на изобретения.

Оформление диссертации соответствует требованиям, установленным Аттестационным советом УрФУ. Автореферат диссертации полностью

соответствует её содержанию и структуре. Материалы диссертации достаточно **полно опубликованы** в печати. Работа хорошо структурирована, изложение материала последовательное и логичное, употребляемые термины и определения общеприняты в научной и технической литературе. Некорректных ссылок и **заимствований** материалов или отдельных результатов других авторов в диссертации **не обнаружено**.

Вопросы и замечания по работе

1. Не совсем ясен вкладываемый диссертантом смысл в термин «характеристика». Текст диссертации обилует словосочетаниями: «автодинные характеристики», «сигнальная характеристика», «шумовая характеристика», «амплитудная характеристика», «частотная характеристика», «фазовая характеристика». Встречаются они и в названиях разделов диссертации, а также в описании хода исследований. Ведь общепринято употребление этого термина при описании функциональной зависимости одного параметра от другого.

2. В ходе разработки математической модели автодинного генератора автор использует ряд математических приёмов, включая разложение в ряд Тейлора по малому параметру и отбрасывание высших членов ряда. Очевидно, это допущение делает математическую модель приближенной, то есть априори содержащей некоторую методическую погрешность. Однако, в дальнейшем, при выполнении численного моделирования, экспериментальных исследований и сравнении полученных результатов, диссертант не рассматривает влияние методической погрешности математической модели на точность вычислений.

3. Во введении диссертант в ходе доказательства актуальности темы диссертации описывает преимущества в ряде применений использования автодинных радиолокаторов по сравнению с гомодинными. Однако при дальнейшем рассмотрении динамики формирования сигнальных и шумовых характеристик автодинных СБРЛ не приводится количественного сравнения с СБРЛ гомодинного типа, способных выполнять эту же задачу. Стоит отметить, что именно количественная оценка преимуществ может являться решающей на начальных этапах проектирования радиоэлектронных устройств и датчиков.

4. В разделе 5.2 диссертации представлены результаты сравнительных испытаний на сортировочной горке двух образцов **обзорных** РЛС фирмы «Микран» 3-см и 8-мм диапазонов длин волн. Там же приведены результаты

испытаний **не обзорного** автодинного радиолокатора, выполненного на основе двухдиодного автодина, стабилизированного внешним резонатором. В тексте диссертации не раскрыт смысл такого сравнения обзорных и не обзорных радиолокаторов. Требуются пояснения диссертанта.

5. В разделе 5.10 приведено описание автодинного приемоответчика для радиолокационных систем радиозондирования атмосферы, предлагаемого для замены существующего в настоящее время свехрегенеративного приемоответчика. Насколько продвинулись работы в этом направлении?

Данные вопросы и замечания не снижают оценку качества выполненных исследований в целом и не влияют на впечатление от масштаба теоретической и прикладной ценности работы К.А. Игнаткова. Кроме того, из результатов диссертации и сформулированных вопросов виден большой объём перспективных работ в этом направлении.

Заключение о соответствии диссертации требованиям

Положения УрФУ

Исходя из сказанного выше, резюмирую, что диссертация Игнаткова Кирилла Александровича представляет собой самостоятельно выполненную научно-исследовательскую работу на актуальную тему, которая отличается своим внутренним единством структуры и содержания. В ней на основании выполненных автором теоретических и экспериментальных исследований разработаны теоретические положения, позволившие предложить и научно обосновать новый в теории автодинов концептуальный подход. На основе этого подхода разработаны новые методы расчета сигнальных и шумовых характеристик автодинов при непрерывном и модулированном излучении. При этом для ряда приложений в условиях высоких скоростей движения объектов локации учтена внутренняя инерционность процессов в автодинном генераторе. Кроме того, разработан ряд оригинальных технических решений, касающихся реализации ряда перспективных СБРЛ.

Совокупность перечисленных результатов работы можно квалифицировать как решение **крупной научной проблемы, имеющей важное значение** для теории и техники систем ближней радиолокации с автодинным принципом построения приемопередающих устройств.

Севастопольский государственный университет

На основании вышеизложенного считаю, что представленная работа «Развитие методов анализа, принципов построения и применения автодинных устройств для систем ближней радиолокации» отвечает требованиям п. 9 Положения о присуждении учёных степеней в УрФУ, предъявляемым к диссертационным работам на соискание учёной степени доктора наук, а её автор, **Игнатков Кирилл Александрович**, заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 2.2.16 — Радиолокация и радионавигация.

Официальный оппонент: доктор технических наук, доцент, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», профессор кафедры электронной техники

Дата 5.12.2023



Широков Игорь Борисович

Адрес организации: Россия, республика Крым, 299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33. Тел. +7 (8692) 43-50-02, E-mail: info@sevsu.ru
Официальный сайт: sevsu.ru

