

## ОТЗЫВ

оппонента доктора физико-математических наук, профессора РАЗИНЬКОВА Сергея Николаевича на диссертацию ИЩЕНКО Евгения Алексеевича «Разработка и исследование антенн с частотным сканированием для обнаружения малых высокоомобильных роботизированных комплексов» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.14. Антенны, СВЧ-устройства и их технологии

Диссертация Ищенко Е.А. «Разработка и исследование антенн с частотным сканированием для обнаружения малых высокоомобильных роботизированных комплексов» выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Воронежский государственный технический университет». Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент Федоров С.М.

Для подготовки отзыва оппоненту представлены:

- диссертация, основное содержание которой изложено на 166 страницах с 71 рисунком; список использованной литературы содержит 117 наименований;
- автореферат диссертации объемом 1,25 печатных листа.

*Актуальность темы диссертационного исследования.* Потребности повышения эффективности контроля пространства определяют необходимость совершенствования радиолокационных станций обнаружения малоразмерных высокоомобильных роботизированных комплексов. Маневренные свойства, обуславливающие возможности быстрой смены траекторий и параметров движения, низкий уровень фоновой контрастности, малые технологические риски и стоимость производства создают предпосылки масштабного применения таких комплексов для решения задач мониторинга обстановки с добыванием сведений о защищаемых объектах и создания избирательных преднамеренных деструктивных воздействий по определенным целям.

Для обнаружения малых высокоомобильных объектов в настоящее время эффективно применяются средства радиолокации с многолучевыми антенными системами и высоконаправленными приемопередающими структурами с пространственным сканированием. Типовыми представителями сканирующих систем являются фазированные антенные решетки и антенны, выполняющие обзор пространства при механическом повороте или изменении положения элементов конструкции.

Однако многолучевые антенные системы при потенциально наилучших показателях пространственной избирательности передачи-приема и предельно низких значениях вероятности пропуска сигналов характеризуются громоздкими конструкциями и сложными в техническом исполнении диаграммообразующих схем (ДОС). Фазированные антенные решетки и антенны с опорно-поворотными устройствами обладают высокой стоимостью, сложностью реализации и малой эксплуатационной надежностью ввиду высоких технико-технологических рисков нарушения работоспособности управляющих полупроводниковых компонентов.

В этой связи наиболее перспективные пути построения антенн для оперативного обзора пространства при обнаружении малых высокоомобильных робо-

тизированных комплексов ориентированы на использование технологий частотного сканирования. Антеннам с частотным сканированием, в которых смена угловых положений главных лучей диаграмм направленности осуществляется за счет перестройки частоты управляющих воздействий, присущи более высокие коэффициенты полезного действия и усиления при повышенной надежности и простоте конструктивно-технических решений.

Методические основы построения сканирующих антенных систем заложены в трудах докторов технических наук Бахраха Л.Д., Воскресенского Д.И., Мануилова Б.Д. Модели и методы анализа структур с высокими показателями пространственной избирательности передачи-приема сигналов представлены в работах докторов технических наук Мищенко С.Е., Овчинниковой Е.В., Чеботаря И.В. Синтез алгоритмов управления перестройкой частоты сигнала управления при частотном сканировании пространства выполнен в публикациях докторов технических наук Климова К.Н., Махова Д.С., Новикова А.Н. Способы миниатюризации приемопередающих систем на базе трансформационной оптики обоснованы в работах докторов технических наук Братчикова А.Н., Дементьева А.Н.; конструкции акустооптических и цифровых управляющих устройств приведены в трудах докторов технических наук Абраменкова В.В., Васильченко О.В., Пастернака Ю.Г., Савина Ю.И.

Вместе с тем, в настоящее время остается открытым ряд вопросов создания антенных систем с частотным сканированием пространства, к числу наиболее важных из которых относятся следующие:

- разработка и исследование антенных систем с частотным сканированием при высоком коэффициенте направленного действия на основе отражательных дифракционных решеток амплитудного типа;
- разработка и исследование антенных систем с широкоугольным частотным сканированием и узким главным лучом диаграммы направленности на основе отражательных дифракционных решеток рельефно-фазового типа;
- разработка и исследование ДОС и систем питания антенных решеток для комбинированного частотно-коммутационного сканирования пространства;
- разработка и исследование антенны с круговым обзором пространства в плоскости азимута и широкоугольным комбинированным сканированием в вертикальной и горизонтальной плоскостях.

Эффективным средством автоматизированного проектирования антенн является специализированное программное обеспечение Antenna Magus, осуществляющее оперативный выбор топологии приемопередающих структур из базы типовых конструкций с требуемыми характеристиками. Однако при этом технический облик создаваемой антенной системы устанавливается при наиболее полном соответствии реализуемых и заданных диапазонных и направленных свойств по критерию пригодности. В результате исключаются реализация потенциальных функций структурного синтеза и нахождение оптимального конструктивного исполнения антенной системы.

Для исследования антенн с применением программ электродинамического моделирования типа CST MWS – Computer Simulation Technology Microwave Studio требуются значительные вычислительно-временные ресурсы, затрудняю-

щие исследование альтернативных конструктивно-технических решений с многократно изменяемыми параметрами приемопередающих структур.

Таким образом, тема диссертационного исследования Ищенко Е.А. «Разработка и исследование антенн с частотным сканированием для обнаружения малых высококомобильных роботизированных комплексов», посвященной разработке и анализу антенных систем с частотным сканированием в вертикальной и горизонтальной плоскостях с приемопередающими структурами типа дифракционных отражательных решеток и спиральных волноводов с ДОС на основе линованных систем, является актуальной.

*Степень обоснованности научных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.* В диссертации на основании выполненных автором исследования решена научная задача разработки методик построения антенных систем с частотным сканированием на основе дифракционных решеток отражательного типа, имеющая значение для создания высокоэффективной технологии разработки образцов антенной техники с существенно улучшенными параметрами конструкций и характеристиками.

Содержание работы, раскрывающее суть полученных автором научных результатов, сформулированных на их основе выводов и рекомендаций, изложено в четырех разделах.

В первом разделе диссертации проведен анализ современного состояния и тенденций совершенствования, а также выполнена оценка перспектив построения антенных систем для радиолокационных станций с функциями сканирования пространства при обнаружении малых высококомобильных роботизированных комплексов. На основе анализа альтернативных вариантов обзора секторов углов наблюдения обоснованы перспективы применения антенн с частотным сканированием главными лучами диаграмм направленности.

Во втором разделе диссертации представлена методика проектирования и исследования антенн с частотным сканированием на основе дифракционных решеток амплитудного (гофра) и рельефно-фазового (эшелетт) типов при работе в отражательном режиме. Представлены модели и результаты анализа характеристик антенн с частотным сканированием пространства. Найдены значения углов отклонения главных лучей диаграмм направленности антенн при проявлении в линиях эффекта замедления волн с учетом размеров отражающих структур.

В третьем разделе диссертации разработан методика и приведены результаты реализации антенн с комбинированным частотным и электронным сканированием. Исследованы направленные свойства антенны на основе спиральных волноводов и ДОС с апланатической линзой, а также антенны на базе линии эшелетт с однопроводной возбуждающей линией и ДОС с двухслойной линзой Люнеберга.

В четвертом разделе диссертации разработан и исследован путем получения экспериментальных оценок характеристик макет антенны с частотным сканированием на основе амплитудной дифракционной отражательной решетки. Из анализа представленных результатов установлены возможности частотного сканирования пространства при отклонении положения главного луча диаграммы направленности антенны от установленной линии в пределах, допусти-

мых требованиями к радиолокационным станциям, применяемым для обнаружения малых высокомобильных роботизированных комплексов.

К числу наиболее значимых научных результатов, полученных автором на основании выполненных исследований и использованных для формулировки положений, выдвигаемых для публичной защиты, относятся:

- методика построения антенной системы на основе амплитудной дифракционной решетки;
- методика построения антенной системы на основе рельефно-фазовых дифракционных решеток;
- разработана методика построения антенны с комбинированным сканированием при сочетании частотного и коммутационного способов управления диаграммой направленности с ДОС на основе апланатической линзы и линзы Люнеберга.

Указанные результаты и тематика диссертации Ищенко Е.А. в целом соответствуют направлениям исследований, определенным паспортом специальности 2.2.14. Антенны, СВЧ-устройства и их технологии:

- по пункту 2 (в части исследования характеристик антенн для их оптимизации и модернизации, что позволяет создавать высокоэффективную технологию);
- по пункту 3 (в части исследования и разработки новых антенных систем с существенно улучшенными параметрами);
- по пункту 9 (в части разработки методов оптимизации антенных систем широкого применения).

Высокая степень обоснованности научных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных автором, определяется тем, что они получены с использованием современных методов теории волновых процессов, антенн, электродинамики и вычислительных методов, а также статистической обработки радиоизмерений и теории эксперимента.

*Достоверность и новизна научных результатов, выводов и рекомендаций.* Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, обеспечивается:

- применением теоретически обоснованных и прошедших апробацию методов исследования, сертифицированных средств для проведения вычислительных и натуральных экспериментов;
- корректным выбором ограничений, допущений и исходных данных из практики разработки антенных систем и изыскания технических решений по повышению помехоустойчивости радиоэлектронной аппаратуры.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается ясной физической трактовкой выявленных эффектов, их соответствием общим физическим закономерностям, совпадением результатов теоретических исследований с данными, полученными в ходе натуральных экспериментов с макетом антенны. Частные результаты исследования, использованные для выполнения контрольных расчетов по разработанным методикам, согласуются с результатами, полученными альтернативными методами и содержащимися в работах других авторов.

Теоретическое обоснование полученных результатов проводилось на основе фундаментальных положений электродинамики и теории антенн. Эксперимен-

тальные данные получены с использованием стандартных методик измерения характеристик и параметров антенных решеток, сертифицированных измерительных устройств и программных средств обработки измерительной информации.

*Теоретическая значимость работы* заключается в развитии методик проектирования и анализа антенн с частотным сканированием пространства на основе гофрированных и рельефно-фазовых отражательных решеток, а также организации комбинированного частотного и электронного управления положением главных лучей диаграмм направленности с ДОС на базе апланатической линзы и линзы Лüneберга.

*Практическая значимость работы* состоит в разработке предложений по построению антенн с частотным сканированием для радиолокационных станций обнаружения малых высокоомобильных роботизированных комплексов. Представленные в диссертации методики построения и исследования антенн обеспечивают высокую точность определения показателей эффективности передачи-приема сигналов, что, в свою очередь, позволяет сократить ресурсные и временные затраты на изготовление, настройку, экспериментальные исследования и испытания опытных образцов радиоэлектронной аппаратуры.

Предложенные автором решения строго аргументированы и критически оценены по сравнению с другими известными результатами разработки сканирующих антенн.

Основные результаты диссертации прошли широкую апробацию на международных и всероссийских научных форумах по тематике исследования и в полной мере опубликованы в научных изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией. Автором лично и в соавторстве опубликованы 29 научных трудов, в том числе 13 статей в ведущих рецензируемых научных журналах, входящих в Перечень Высшей аттестационной комиссии и 7 работ в изданиях, индексируемых в международных базах научного цитирования Web of Science и Scopus. Предложения по конструктивному исполнению компактной широкополосной антенны защищены патентом Российской Федерации на полезную модель, а методики анализа характеристик антенн с частотным сканированием – 3 свидетельствами о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Практическая значимость результатов, полученных автором, подтверждается по их реализацией в организациях оборонно-промышленного комплекса Российской Федерации:

- при обосновании конструктивно-технических решений по построению антенн с частотным сканированием;
- при разработке технологий радиолокационного контроля пространства и обнаружения объектов с низкой фоновой контрастностью за счет улучшения пространственно-частотной избирательности передачи-приема волновых процессов.

*Замечания и недостатки диссертационной работы.* К числу основных замечаний и недостатков работы, на наш взгляд, относятся следующие.

1. В диссертации при обосновании актуальности темы исследования не приведены количественные показатели несоответствия достигнутых в настоящее время характеристик сканирующих антенн требованиям к пространственно-частотной избирательности передачи-приема сигналов в радиолокационных

станциях для обнаружения малых высококомобильных роботизированных комплексов. При доказательстве факта достижения цели работы не оценена мера ответственности полученных результатов установленному уровню.

2. Степень разработанности темы исследования определена достаточно схематично. Автор ограничился перечислением фамилий ведущих специалистов, деятельность которых связана с разработкой и исследованием сканирующих антенн, не раскрывая суть вопросов, препятствующих непосредственной реализации обоснованных конструктивно-технических решений при обнаружении малых высококомобильных роботизированных комплексов.

3. В работе приведены выражения для определения зависимости угла сканирования от частоты с учетом коэффициента замедления, возникающего между линией возбуждения и отражающей поверхностью. Однако отсутствуют результаты аналитического расчета коэффициента замедления, его численные значения получены на основе математического моделирования антенной системы.

4. При построении ДОС на базе апланатической линзы не приводится обоснование выбора диэлектрического материала для ее изготовления. При использовании линзы Люнеберга в ДОС не обоснован выбор трехслойной структуры, а также разъяснены причины выбора листа разделения с перфорированием в виде равностороннего шестиугольника.

5. В диссертации рассматривается комбинированное частотное и электронное сканирование пространства с коммутацией входов ДОС. При этом не предъявляются технические требования к коммутирующим устройствам.

Вместе с тем, указанные недостатки, непосредственно не охватывающие положения, выдвигаемые для публичной защиты, и не связанные с достижением цели исследования, существенно не снижают качества выполненной работы и не ставят под сомнение ее положительную оценку.

Содержание и оформление диссертации удовлетворяют требованиям, указанным в пункте 9 (абзац 2) и пункте 10 Положения о присуждении ученых степеней.

Заимствование материалов, содержащихся в работах других авторов, выполнено в объеме, минимально необходимом для раскрытия сути и установления научной новизны полученных результатов. В соответствии с пунктом 14 Положения о присуждении ученых степеней в работе имеются все необходимые ссылки на авторов и источники заимствованных материалов, в полной мере отражающие суть выполненного заимствования.

Автореферат правильно отражает содержание диссертации и удовлетворяет требованиям пункта 25 Положения о присуждении ученых степеней. В нем в лаконичной форме ясно изложены основные идеи и выводы по работе, показаны определяющий вклад соискателя в выполненные исследования, степень новизны и практическая значимость результатов, приведены сведения об их практическом использовании.

*Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней.* На основе анализа диссертации Ищенко Е.А. «Разработка и исследование антенн с частотным сканированием для

обнаружения малых высококомобильных роботизированных комплексов» сделаны следующие выводы.

1. Диссертация является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований решена научная задача разработки и анализа антенных систем с частотным сканированием в вертикальной и горизонтальной плоскостях с приемопередающими структурами типа дифракционных отражательных решеток и спиральных волноводов с ДОС на основе линзованных систем. Ее решение имеет значение для исследования характеристик и совершенствования методов и технологий создания приемопередающих структур, а также разработки новых антенных систем с существенно улучшенными параметрами конструкций в соответствии с пунктами 2, 3 и 9 паспорта специальности 2.2.14. Антенны, СВЧ-устройства и их технологии.

2. Диссертация является завершенной научной работой, обладающей внутренним единством, содержит новые научные результаты, нашедшие практическое использование при исследовании и создании новых антенных систем с существенно улучшенными параметрами, развитии методов оптимизации и исследования характеристик антенн для их модернизации и создания высокоэффективной технологии построения, свидетельствующие о личном вкладе автора в науку. В работе приведены сведения о практическом использовании полученных автором научных результатов, подтверждающие ее прикладной характер.

3. Работа удовлетворяет требованиям Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Ищенко Е.А., достоин присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.14. Антенны, СВЧ-устройства и их технологии.

Согласен с включением моих персональных данных в аттестационное дело соискателя ученой степени Ищенко Е.А. и их дальнейшей обработкой.

Оппонент:

доктор физико-математических наук, профессор, профессор  
кафедры электрооборудования (и оптико-электронных систем)  
Военного учебно-научного центра Военно-воздушных сил  
«Военно-воздушная академия имени профессора  
Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)

Разиньков Сергей Николаевич

« 30 » января 2026 года

Подпись Разинькова С.Н. заверяю.

Старший помощник начальника ст  
Военного учебно-научного центра  
«Военно-воздушная академия име  
Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина

« 30 » января 2026 года

И. Антонов

**Сведения об оппоненте:**

**Разиньков Сергей Николаевич**, гражданин Российской Федерации, доктор физико-математических наук по специальностям 01.04.03 – Радиофизика, 05.12.07 – Антенны, СВЧ-устройства и их технологии, профессор, профессор кафедры электрооборудования (и оптико-электронных систем) федерального государственного казенного военного образовательного учреждения высшего образования «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж) Министерства обороны Российской Федерации.

Адрес: 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54а

Телефон: 8-(473)-244-78-29; E-mail: vva@mil.ru