

## ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора технических наук Бородулина Романа Юрьевича на диссертацию Ищенко Евгения Алексеевича «Разработка и исследование антенн с частотным сканированием для обнаружения малых высококомобильных роботизированных комплексов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.14. Антенны, СВЧ-устройства и их технологии

### **Сведения о рукописи**

На отзыв официального оппонента были представлены:

- диссертация на 166 страницах, включая 71 рисунок и список литературы (117 наименований);
- автореферат – брошюра, 1.25 усл.печ.лист.

**Цель диссертационной работы:** исследование и разработка антенн с частотным сканированием для реализации радиолокационных систем, позволяющих повысить надежность и технологичность антенных систем, предназначенных для обнаружения малых БПЛА.

**Актуальность темы исследования** представляется достаточно обоснованной и связана с существующей на сегодняшний день практической востребованностью в дальнейшем развитии конструкции и возможности использования антенн с частотным сканированием для радиолокационных систем.

Современные антенны, применяемые в радиолокаторах для обнаружения малых беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), применяют систему фазирования для отклонения лепестка в пространстве, что значительно повышает сложность конструкций и их стоимость, поэтому применение антенн с частотным сканированием актуально и востребовано в современных задачах. Данные антенны позволяют упростить повысить надежность конструкции радиолокатора, при этом обеспечить отклонение лепестка путем выполнения частотного сканирования.

Сегодня, БПЛА используются во все больших областях нашей жизни. Они выполняют различные военные и гражданские задачи, такие как наблюдение и разведка, распознавание целей, поисково-спасательные работы, мониторинг дорожного движения и т.д. Поэтому возникает задача отслеживания БПЛА в пространстве, что требует использования большого числа радиолокаторов, а следовательно, и повышения требований к антеннам, которые в них применяются. Особое внимание также стоит уделить возможности применения БПЛА в роли носителей радиолокационных комплексов, что не позволяет использовать большие фазированные антенные решетки ввиду их веса, а также энергопотребления.

Таким образом, тема диссертационной работы по разработке антенн с частотным сканированием в достаточной степени актуальна.

## **Структура, содержание и оформление диссертации**

Структура диссертационной работы возражений не вызывает. Диссертация состоит из введения, четырех разделов, заключения, и списка литературы.

**Раздел 1** посвящен анализу существующих решений антенн, обеспечивающих пространственное сканирование главным лепестком.

Проведен анализ существующих технических решений сканирующих антенн. Рассмотрены все основные методы отклонения главных лепестков антенны в пространстве. Обоснованы перспективы создания антенн с возможностью частотного отклонения главного лепестка. Выполнен анализ существующих конструкций антенн с частотным сканированием, рассмотрены сильные и слабые стороны существующих конструкций.

**В разделе 2** представлены результаты теоретических исследований антенных систем с частотным сканированием на основе амплитудных и рельефно-фазовых дифракционных решеток отражательного типа.

Исследованы основные математические принципы формирования антенн с частотным сканированием на основе дифракционных решеток амплитудного и рельефно-фазового типов (эшелетт). Исследованы зависимости характеристик антенн на основе амплитудной дифракционной решетки (гофра) от характеристик периода дифракционной решетки, а также угла наклона возбуждающих линий над отражающей поверхностью (названного автором «углом атаки» антенны). Для конструкции на основе решетки эшелетт рассмотрены зависимости характеристик от типов возбуждающих линий, расстояния между возбуждающей линией и дифракционной решеткой. Был выявлен эффект замедления волн в области между линией возбуждения и дифракционной решеткой, после чего на основе результатов моделирования были получены их величины.

**В разделе 3** выполнены разработка и исследование антенн с двухкоординатным сканированием на основе частотного – антенной и коммутационного (электронного) – на основе использования систем диаграммообразования.

Выполнены исследования и разработка конструкции антенн на основе спиральных волноводов и системы диаграммообразования на основе апланатической линзы; антенны на основе дифракционной решетки типа эшелетт и системы диаграммообразования на основе линзы Люнеберга. Приведены основные методики построения антенн на основе гибридного сканирования. Приведены основные результаты моделирования конструкций антенн с возможностью двухкоординатного сканирования.

**В разделе 4** представлено исследование макета антенны с частотным сканированием на основе гофрированной дифракционной решетки отражательного типа.

В разделе приводится процесс изготовления макета антенны с последующим изменением характеристик макета. Для изготовления широко

применяются методы трехмерной печати, что показывает технологичность предложенного решения. Полученные результаты показывают высокую корреляцию результатов моделирования и измеренных характеристик.

**В заключении** сформулированы основные результаты диссертационной работы и перспективы дальнейших исследований.

Рукопись диссертации оформлена в соответствии с действующими требованиями, включая требования ГОСТ.

**Обоснованность и достоверность** результатов работы в достаточной степени подтверждены и обеспечиваются адекватностью использованных методов и построенных на их основе расчетных моделей. Достоверность результатов работы подтверждается хорошей корреляцией результатов моделирования и экспериментальных измерений макета антенны.

**Научная новизна** работы определяется следующими основными результатами:

1. Разработана методика реализации антенной системы на основе амплитудной дифракционной решетки отражательного типа и возбуждением однопроводными линиями.

2. Показано возникновение области замедления электромагнитных волн между отражающей поверхностью и однопроводными линиями. Получено аналитическое выражение расчета углов сканирования в зависимости от параметров антенны.

3. Разработана методика построения антенных систем с частотным сканированием на основе отражательных дифракционных решеток рельефно-фазовых типов (эшелетт). Определены оптимальные характеристики антенн такого типа. Выявлено возникновение эффекта замедления в линиях и его влияние на расчет угла частотного сканирования при использовании решеток типа эшелетт.

4. Разработана методика построения антенн с комбинированным сканированием, сочетающего частотное и коммутационное сканирование для отклонения главного лепестка. Рассмотрены конструкции систем диаграммообразования на основе апланатической линзы и линзы Люнеберга на основе двухслойной структуры, разделенной перфорированным экраном.

**Теоретическая значимость** работы определяется упомянутыми новыми научными результатами, которые способствуют развитию базы по проектированию и разработке антенн с частотным сканированием для обнаружения малых объектов и расширяют знания в области антенной техники.

**Практическая значимость** работы определяется тем, что разработанные методики, а также технические решения и полученные результаты их исследований могут быть непосредственно использованы разработчиками радиоэлектронных устройств для улучшения эффективности антенн с возможностью отклонения главного лепестка в пространстве.

**Личный вклад автора** четко определен и сомнений не вызывает. По результатам рассмотрения диссертации не обнаружены какие-либо факты использования заимствованных материалов без ссылки на источники.

#### **Соответствие диссертации заявленной специальности**

Работа соответствует п.п. 2, 3 и 9 паспорта специальности 2.2.14. Антенны, СВЧ-устройства и их технологии.

#### **Апробация и публикации**

Уровень апробации и опубликования результатов работы соответствует действующим требованиям. Автором лично и в соавторстве опубликованы 29 печатных трудов, в том числе 13 статей в ведущих рецензируемых научных журналах, входящих в Перечень ВАК; 7 публикаций в изданиях, индексируемых в Web of Science и Scopus; и 5 публикаций в форме текстов и тезисов докладов на Международных и Российских конференциях.

#### **Замечания по диссертационной работе**

1. В тексте работы приводятся зависимости уровней коэффициента направленного действия антенн от частоты и направления излучения (рис. 2.22, 2.32, 2.37), при этом наблюдается явный эффект ослепления антенны при нормальном излучении, при этом не приводятся рекомендации по снижению этого эффекта.

2. В п. 2.3.3 и разделе 4 для антенны используется делитель на основе схемы Уилкинсона, однако не приводится сего сравнение с простым трансформатором и оценки преимущества использования такого решения.

3. В большинстве конструкций антенн, систем диаграммообразования используется полистирол, при этом отсутствует обоснование выбора именно полистирола и его сравнения с другими диэлектрическими материалами.

4. Результаты, полученные для антенны в п. 3.2 (рис. 3.11) показывают большую нелинейность значений уровня КНД, а также угла частотного сканирования, при этом не приводятся объяснения проявления такого эффекта.

Отмеченные недостатки не являются критическими и не препятствуют положительной оценке работы в целом.

#### **Заключение**

Диссертационная работа Ищенко Е.А. представляет собой законченное научное исследование, в котором содержится решение важной научно-технической задачи, связанной с разработкой методик проектирования и исследования антенн с возможностью частотного отклонения главного лепестка для реализации пространственного сканирования.

Диссертация по содержанию и оформлению удовлетворяет действующим требованиям, включая требования п.п. 9, 10 Положения.

В диссертации, в соответствии с п.14 Положения, имеются все необходимые ссылки на авторов и источники заимствованных материалов, в

том числе – на научные работы соискателя. Каких-либо признаков плагиата или недобросовестного цитирования не обнаружено.

Автореферат диссертации в достаточной мере отражает ее содержание и удовлетворяет требованиям п. 25 Положения.

Автор диссертации, Ищенко Евгений Алексеевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.14. Антенны, СВЧ-устройства и их технологии.

Согласен на включение моих персональных данных в аттестационное дело Ищенко Е.А. и их дальнейшую обработку.

Доктор технических наук  
доцент



Бородулин Роман Юрьевич

17.02.2016 г.

Сведения об авторе отзыва: Бородулин Роман Юрьевич, профессор 11 кафедры (радиосвязи) федерального государственного казенного военного образовательного учреждения высшего образования «Военная орденов Жукова и Ленина Краснознаменная академия связи имени Маршала Советского Союза С.М.Буденного», г. Санкт-Петербург, доктор технических наук, доцент.

Адрес организации: 194064, г. Санкт-Петербург, К-64, Тихорецкий проспект, д.3

Телефон: 247-98-25

Эл.почта: borodulroman@yandex.ru