

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук, профессора
Козлова Сергея Вячеславовича
на диссертационную работу
Толмачёва Алексея Владимировича
«Формирование изображений винтов летательных аппаратов в
многопозиционной РЛС посредством синтеза апертуры антенны»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 05.12.14 – Радиолокация и радионавигация

1. Соответствие содержания диссертации специальности и отрасли науки

Радикальное повышение информационных возможностей радиолокационных станций различного назначения достигается при реализации режима синтеза апертуры антенны (САА), что приводит к повышению разрешающей способности по радиальной скорости (доплеровскому сдвигу частоты) и дает возможность раздельного наблюдения блестящих точек радиолокационных целей при наличии их разноса по углу и, следовательно, по радиальной скорости относительно радиолокационной станции. При этом не имеет принципиального значения причина появления радиальной скорости в виде движения РЛС при неподвижной цели (прямой синтез апертуры), движения цели относительно неподвижной РЛС (обращенный синтез апертуры) или одновременного движения и цели и РЛС.

Существенное увеличение сложности решения задачи синтеза апертуры наблюдается в случаях, когда имеет место не только взаимное перемещение фазового центра антенны РЛС и радиолокационной цели как единого целого, но и движение отдельных элементов отражения цели относительно центра масс цели или любой другой точки (оси вращения). Применительно к типовым воздушным радиолокационным целям (самолетам, вертолетам, беспилотным летательным аппаратам) к таким движениям относятся вращения винтов летательного аппарата и лопаток турбин. При этом, зная закон поступательного движения цели и закон вращения заданного отражателя по нему может быть реализован процесс когерентного накопления отраженного сигнала. Это определяет возможность радиолокационного наблюдения вращающихся элементов конструкции радиолокационных целей и связанное с этим повышение информационных возможностей РЛС по селекции целей на фоне мешающих отражений и распознавания класса и типа наблюдаемых радиолокационных целей.

Реализация такого режима требует разработки математических моделей отраженного от вращающихся элементов цели сигнала, обоснования алгоритмов синтеза апертуры, исследования их эффективности и разработки на основе полученных результатов способов и алгоритмов распознавания типов радиолокационных целей применительно к многопозиционной РЛС.

Целью исследования является разработка алгоритмов обработки принятого сигнала с построением изображений винтов летательных аппаратов для их селекции на фоне колесно-гусеничной техники в радиолокационной станции с разнесенными в пространстве приемными и передающими пунктами.

Поставленная цель достигалась путем теоретических исследований и подтверждения полученных результатов в ходе экспериментов.

Исходя из перечисленного можно утверждать, что содержание диссертационной работы Толмачёва Алексея Владимировича «Формирование изображений винтов летательных аппаратов в многопозиционной РЛС посредством синтеза апертуры антенны» соответствует пункту 1 - синтез, анализ и оптимизация процессов обнаружения, распознавания (различения, классификации), разрешения сигналов (помех), измерения их параметров в одно- и многопозиционных активно-пассивных радиолокационных и радионавигационных системах, обеспечивающих решение задач радиолокации и радионавигации в различных диапазонах электромагнитных волн, и пункту 3 - создание новых и усовершенствование существующих радиолокационных, радионавигационных и комбинированных радиоэлектронных устройств, средств и систем различного назначения, в том числе для радиомониторинга и разрушения информации паспорта специальности 05.12.14 – Радиолокация и радионавигация и отрасли науки – технические.

2. Актуальность темы диссертации

Обнаружение таких воздушных объектов, как беспилотные летательные аппараты мультикоптерного и самолетного типов и легких вертолетов, в радиолокационных станциях небольшой (до 10...15 км) дальности будет происходить на фоне отражений от колесно-гусеничной техники, передвигающейся в районе расположения РЛС. Обнаруживаемые воздушные объекты и колесно-гусеничная техника имеют соизмеримые скорости движения и габариты, поэтому их распознавание по сигнальным признакам и по траекторным признакам на основе анализа геометрических размеров затруднено. Для решения задачи распознавания необходимо использовать более «тонкие» сигнальные признаки, связанные с числом и скоростью вращения винтов летательных аппаратов. Эти признаки могут быть получены при увеличении времени наблюдения цели и реализации режима синтеза апертуры антенны. Построение изображений винтов летательных аппаратов для однопозиционных РЛС с монохроматическим зондирующим сигналом рассмотрено ранее в диссертации Нгуена Т.Т., выполненной при научном руководстве Гейстера С.Р. Для современных условий актуальным является создание бистатических и многопозиционных РЛС, имеющих гораздо более высокую защищенность от самонаводящихся по радиоизлучениям средств огневого поражения. Задача построения изображений винтов летательных аппаратов и разработка на этой основе алгоритма селекции винтовых летательных аппаратов на фоне колесно-гусеничной техники ранее не рассматривались. В этой связи диссертация Толмачёва А.В., является актуальной и представляет несомненный

практический интерес.

3. Степень новизны результатов, полученных в диссертации и научных положений, которые выносятся на защиту

Полученные в диссертационной работе Толмачёва А.В. результаты обладают несомненной научной новизной, которая состоит в следующем:

- в математической модели сигнала, отраженного от винтов летательного аппарата для бистатического радиолокационного модуля использовано представление кромок лопастей винтов множеством отражателей, переизлучающих сигнал в полусфере и расположенных на прямых линиях, учетом углов видимости и расстояний, которые проходит электромагнитная волна от передатчика бистатического модуля до кромки и далее до приемника, что позволяет получить опорный сигнал для алгоритма построения радиолокационного изображения винта и увеличить отношение «сигнал/шум» на радиолокационном изображении винта по сравнению с алгоритмом, в котором не учитывается пространственный разнос приемной и передающей позиции;

- в алгоритме селекции малоскоростных летательных аппаратов на фоне движущейся колесно-гусеничной техники использованы новые признаки распознавания в виде факта наличия (обнаружения) винтов и частоты их вращения, что позволяет обеспечить вероятность правильной селекции не менее 0,7.

4. Обоснованность и достоверность выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Обоснованность и достоверность выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, основывается на использовании классических методов теорий радиолокации, статистической радиотехники, распознавания образов и математической статистики и радиолокации. Для численного моделирования диаграмм вторичного излучения винта для бистатического случая использован пакет электродинамического моделирования CST Studio.

Достоверность модели отраженного сигнала для бистатического модуля обеспечена экспериментальной проверкой в лабораторных условиях с использованием специально разработанного экспериментального исследовательского комплекса в составе винта, вращающегося с переменной скоростью от электродвигателя, приемного и передающего СВЧ-модулей, цифрового осциллографа и компьютера как регистратора принятого сигнала, и подтверждена сопоставлением результатов математического моделирования с лабораторными исследованиями.

5. Научная, практическая, экономическая и социальная значимость результатов с указанием рекомендаций по их использованию

Научная значимость результатов диссертации состоит в обосновании алгоритма формирования изображений винтов летательных аппаратов в многопози-

ционной РЛС посредством синтеза апертуры антенны.

Практическая значимость результатов диссертации состоит в том, что предложенный на базе предлагаемого способа формирования радиолокационных изображений винтов алгоритм селекции малоскоростных винтовых летательных аппаратов на фоне движущейся колесно-гусеничной техники позволит расширить функциональные возможности многопозиционной РЛС в части решения задач селекции и распознавания, что может быть использовано при модернизации существующих и разработке новых радиолокационных средств обнаружения воздушных объектов.

Экономическая и социальная значимость результатов состоит в снижении затрат на разработку и производство перспективных радиолокационных средств.

Практическая значимость результатов подтверждается: актом о практическом использовании результатов диссертационных исследований в мероприятия оперативной подготовки командования Военно-воздушных сил и войск противовоздушной обороны; актом использования результатов диссертации при оценке возможностей зенитных ракетных войск и войсковой противовоздушной обороны по борьбе с ударными беспилотными летательными аппаратами; актом об использовании в учебном процессе на кафедре автоматики радиолокации и приемно-передающих устройств учреждения образования «Военная академия Республики Беларусь».

Разработанные алгоритмы формирования радиолокационных изображений винтов летательных аппаратов и селекции винтовых летательных аппаратов на фоне движущейся колесно-гусеничной техники могут использоваться предприятиями Республики Беларусь (ОАО «КБ РАДАР» – управляющая компания холдинга «Системы радиолокации», ОАО «Алевкурп», НПООО «ОКБ ТСП» и др.) при модернизации существующих и разработке перспективных радиолокационных станций.

6. Полнота опубликования основных положений, результатов диссертации в научной печати

Основные положения и результаты диссертационных исследований в достаточной степени опубликованы в научной печати. По результатам диссертационных исследований опубликовано 15 печатных работ, в том числе 7 статей в научном журнале, входящем в перечень ВАК РБ (из которых 6 – единолично), 8 статей в сборниках материалах конференций и 3 тезиса докладов научных семинаров.

7. Соответствие оформления диссертации требованиям ВАК

Оформление диссертации и автореферата соответствует требованиям Инструкции о порядке оформления диссертации, диссертации в виде научного доклада, автореферата диссертации и публикаций по теме диссертаций, утвержденной Постановлением ВАК Республики Беларусь от 28.02.20214 № 3 (в редакции

от 22.08.2022 № 5). Разделы «Общая характеристика работы» и «Заключение» автореферата дословно воспроизводят соответствующие разделы диссертации без изъятий и дополнений. Содержание автореферата полностью соответствует положениям и выводам, изложенным в диссертации.

8. Недостатки диссертации

Несмотря на достаточный научный уровень, несомненную новизну и практическую полезность, работа не лишена недостатков. К наиболее существенным из них следует отнести следующие.

1. Автор ограничился разработкой математической модели отраженного сигнала для бистатического радиолокационного модуля, которая фактически предполагает воспроизведение множества сигналов, отраженных от переизлучателей на кромках лопастей винтов летательных аппаратов для заданной геометрии наблюдения. Эта модель занимает промежуточное положение между аналитическими моделями отраженного сигнала и моделями на основе детального электродинамического моделирования, а ее использование позволило воспроизвести временную структуру отраженного сигнала и реализовать построение изображений винтов. В то же время, значительный интерес представляла бы попытка именно аналитического описания отраженного сигнала как детерминированного процесса на основе выявленных закономерностей, что, к сожалению, не нашло отражения в диссертации.

2. Как известно, на качество «классических» алгоритмов синтеза апертуры оказывают существенное влияние траекторные нестабильности движения РЛС при прямом синтезе апертуры или цели при обратном синтезе. Не ясно, как повлияют указанные траекторные нестабильности движения винтовых летательных аппаратов на качество формируемых радиолокационных изображений винтов и каково максимально возможное время синтезирования для типовых летальных аппаратов и параметров атмосферной турбулентности.

3. В ряде случаев автор при проведении иллюстративных расчетов использует значения параметров без ссылок на их обоснование. К таким случаям относятся, например, важные для отношения сигнал/шум и интерпретации полученных результатов значения эффективной отражающей поверхности переотражателей на кромке лопасти (стр. 38, 43 и др.).

4. На стр. 27-28 приведено обоснование структуры многопозиционной РЛС исходя из выражения (1.3) для разрешающей способности по азимуту. При этом, на основе формального анализа (1.3) утверждается, что задача построения РЛИ неразрешима, когда сумма скоростей цели относительно передающей и приемной позиции принимает нулевое значение. Это утверждение не вполне корректно – когерентное накопление сигнала, отраженного от некоторой блестящей точки, возможно при любой комбинации скоростей.

Вместе с тем, общий вывод о необходимости устранения нулевых доплеровских частот в многопозиционной РЛС является верным, но его обоснование

следовало бы проводить исходя из необходимости разрешения мощного сигнала, отраженного от местных предметов и подстилающей поверхности, и сигнала от цели.

Вместе с тем приведенные недостатки не снижают общее положительное впечатление о работе, и не влияют на суть положений, выносимых на защиту, а также на научную и практическую ценность полученных результатов. Часть из приведенных замечаний может рассматриваться как направление дальнейших исследований.

9. Соответствие научной квалификации соискателя ученой степени, на которую он претендует

Диссертация Толмачёва А.В. является самостоятельной завершённой научно-квалификационной работой, в которой решена важная научно-техническая задача. Диссертация выполнена на высоком научно-техническом уровне и полностью отвечает требованиям Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Содержательная часть диссертации Толмачёва А.В., сформулированные выводы, положения, выносимые на защиту, и рекомендации по практическому использованию результатов исследования показывают, что соискатель владеет всеми требуемыми навыками, предъявляемыми по специальности 05.12.14 – Радиолокация и радионавигация. Работа соответствует всем требованиям, установленным к научно-квалификационным работам.

10. Заключение

Диссертационная работа Толмачёва А.В., выполненная под научным руководством доктора технических наук, профессора Гейстера С.Р., является законченной научной квалификационной работой.

Исследования автора лежат в области совершенствования методов обработки сигналов в многопозиционной РЛС, имеют четкую практическую направленность и полностью соответствуют отрасли наук и специальности 05.12.14, по которой диссертация представлена к защите.

Текст диссертации и автореферат оформлены в соответствии с требованиями ВАК Республики Беларусь к диссертационным работам. Научные конференции и семинары, на которых докладывались и обсуждались результаты исследований, достаточны для объективной оценки этих результатов.

Таким образом, диссертационная работа Толмачёва Алексея Владимировича «Формирование изображений винтов летательных аппаратов в многопозиционной РЛС посредством синтеза апертуры антенны» соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Диссертация обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и свидетельствует о личном вкладе автора в науку.

Автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.14 за новые научно обоснованные результаты теоретических и прикладных исследований, обеспечивающих решение задачи повышения эффективности функционирования многопозиционных РЛС обнаружения и измерения параметров воздушных объектов, включающие:

- математическую модель сигнала, отраженного от винтов летательных аппаратов, для бистатической радиолокационной станции, отличающуюся представлением передних и задних кромок лопастей множеством отражателей, излучающих в полусфере и расположенных на прямых линиях, и учетом расстояний, которые проходят излученная и отраженные волны, что позволяет получить опорный сигнал для построения радиолокационных изображений винтов;

- алгоритм построения радиолокационных изображений винтов путем обращенного синтеза апертуры антенны, отличающийся учетом взаимного положения летательного аппарата, передающего и приемного пунктов, что обеспечивает увеличение отношения сигнал/шум в изображении лопастей на величину до 11,9 дБ по сравнению с алгоритмом построения изображений для однопозиционной РЛС;

- алгоритм селекции малоскоростных летательных аппаратов на фоне движущейся колесно-гусеничной техники, отличающийся учетом факта обнаружения вращающихся винтов, и позволяющий при времени синтеза апертуры 1 с и отношении сигнал/шум в изображении лопасти винта 10 дБ обеспечить селекцию винтовых летательных аппаратов класса «легкий вертолет», «легкомоторный самолет», «квадрокоптер», на дальности от 700...13700 метров при вероятности правильной селекции не ниже 0,7.

Официальный оппонент
профессор кафедры информационных
радиотехнологий учреждения образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»,
доктор технических наук, профессор

С.В.Козлов

