



МИНИСТЕРСТВО ОБОРОНЫ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
(МИНОБОРОНЫ РОССИИ)

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ КАЗЕННОЕ
ВОЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«ВОЕННАЯ АКАДЕМИЯ
ВОЙСКОВОЙ ПРОТИВОВОЗДУШНОЙ
ОБОРОНЫ ВООРУЖЕННЫХ СИЛ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ИМЕНИ МАРШАЛА СОВЕТСКОГО СОЮЗА

А.М.ВАСИЛЕВСКОГО»
МИНИСТЕРСТВА ОБОРОНЫ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

214027, г. Смоленск, ул. Котовского, 2

« 18 » 07 2022 г. № 2/859

На № _____

Проректору Московского авиационного
института (национального
исследовательского университета)
по научной работе
Ю.А.РАВИКОВИЧУ
Волоколамское ш., д. 4, А-80, ГСП-3,
г. Москва, 125993

Уважаемый Юрий Александрович!

Направляю Вам отзыв на автореферат Белокурова Владимира Александровича на тему «Методы и алгоритмы межобзорной обработки сигналов малоразмерных и сверхманевренных радиолокационных объектов с учетом бортовой навигационной информации», представленный на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.2.16 – «Радиолокация и радионавигация».

- Приложения: 1. Отзыв на автореферат в 2 экз. на 5 (пяти) листах каждый, несекретно.
2. Автореферат диссертации, к н/вх. № 2/2708 от 4 июля 2022 г. б/н, несекретно.
Все приложения – только адресату.

С уважением,

Заместитель начальника Военной академии
войсковой противовоздушной обороны
Вооруженных Сил Российской Федерации
по учебной и научной работе
полковник

А.Душкин

Отдел документационного
обеспечения МАИ

26 07 2022

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель начальника Военной академии
войсковой противовоздушной обороны
Вооруженных Сил Российской Федерации
по учебной и научной работе
доктор военных наук (6.1.1), доцент

ПОЛКОВНИК

« 26 » июля 2022 г.

А. Душкин

ОТЗЫВ

на автореферат Белокурова Владимира Александровича на тему «Методы и алгоритмы межобзорной обработки сигналов малоразмерных и сверхманевренных радиолокационных объектов с учетом бортовой навигационной информации», представленный на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.2.16 – «Радиолокация и радионавигация»

Тема диссертационного исследования связана с повышением эффективности обнаружения малоотражающих сверхманевренных объектов в бортовых РЛС (БРЛС) как в системах первичной обработки, так и с учетом их совмещения с системами вторичной обработки. При этом учитывается межобзорное накопление отражённых сигналов и навигационная информация носителя БРЛС.

Актуальность темы исследования обусловлена:

возрастанием маневренных возможностей современных летательных аппаратов, снижением их радиолокационной заметности, в частности, за счёт применения специальной геометрии и покрытия фюзеляжа и, как следствие, недостаточной эффективностью обнаружения малоотражающих сверхманевренных объектов бортовыми РЛС в системах первичной и вторичной обработки радиолокационной информации с учётом навигационной информации носителя БРЛС;

широким распространением беспилотных летательных аппаратов (БпЛА) военного назначения и других средств воздушного нападения, имеющих малое значение эффективной площади рассеивания (ЭПР).

Повысить эффективность обнаружения малоотражающих сверхманевренных объектов возможно проводя одновременную обработку первичной и вторичной радиолокационной информации. Этот подход имеет отличительные особенности, связанные с движением носителя РЛС, а также существенным влиянием ошибок определения его угловой ориентации на характеристики обнаружения алгоритмов межобзорного накопления.

Отдел документационного
обеспечения МАИ

26» 07 20 22

Научная новизна результатов исследования заключается в разработке новых способов и комплекса алгоритмов обнаружения малоотражающих сверхманевренных объектов, отличающихся от известных тем, что они основаны на комплексировании результатов межпачечного и межобзорного накопления радиолокационной информации и информации, поступающей от навигационной системы БРЛС.

Концептуально разработан класс методов, отличающихся от известных тем, что они позволяют интегрировать алгоритмы первичной и часть алгоритмов вторичной обработки радиолокационных сигналов без традиционного жесткого их разделения на этапы первичной и вторичной обработки, что является важным обобщением известных методов.

Теоретическая значимость исследования заключается в следующем:

1. Разработан новый способ обнаружения маневрирующей цели. В отличие от известных алгоритмов с сегментированием входной выборки он обеспечивает заметный выигрыш в пороговом отношении сигнал-шум, а по сравнению с многоканальным по скорости цели алгоритмом обеспечивает существенный выигрыш в числе вычислительных операций;
2. Разработан новый алгоритм выбора числа каналов по ускорению в многоканальном обнаружителе маневрирующей цели, который обеспечивает максимизацию средней вероятности правильного обнаружения многоканальной системы обработки;
3. Разработан новый алгоритм межпачечного накопления отражённых сигналов, в режиме работы бортовой РЛС с высокой частотой повторения импульсов при обнаружении малоотражающего сверхманевренного объекта с раскрытием неоднозначности при измерении дальности. В отличие от известных алгоритмов предлагаемый алгоритм обеспечивает коррекцию ошибок измерения дальности, вызванных ускорением цели, а также отличается более высоким отношением сигнал-шум, достигаемым межпачечным накоплением сигналов целей;
4. Разработан новый метод межобзорной обработки отражённых сигналов малоотражающего сверхманевренного объекта, учитывающий навигационную информацию о взаимных перемещениях носителя бортовой РЛС и объекта. Этот метод основан на определении смещения сектора сканирования между соседними обзорами с использованием навигационной информации, что позволяет эффективно реализовать межобзорное накопление сигналов в бортовых РЛС, находящихся на подвижном носителе. Метод позволяет расширить сферу применения межобзорного накопления на более широкий класс РЛС;
5. Разработан новый алгоритм межобзорной обработки зависшего БПЛА, планерная составляющая отраженного сигнала которого не имеет доплеровского смещения частоты. В отличие от известного алгоритма

обнаружения на основе анализа микродоплеровской сигнатуры, дополнительно введено межобзорное накопление с целью повышения порогового отношения сигнал-шум и, как следствие, дальности действия;

6. Разработан новый метод вычисления порога обнаружения в алгоритме межобзорной обработки на фоне негауссовского шума. В отличие от существующего алгоритма, основанного на моделировании, данный метод использует свойства характеристических функций и их численного интегрирования, что обеспечивает временной выигрыш для вычисления порога, что имеет важное практическое значение;

7. Разработан новый алгоритм стабилизации уровня ложной тревоги при межобзорном обнаружении, основанный на использовании метода моментов. В отличие от известных алгоритмов стабилизации уровня ложных тревог данный алгоритм обеспечивает заданный уровень ложных тревог при различных характерных для задач радиолокации законах распределения шума на входе порогового устройства;

8. Разработан новый алгоритм межобзорной обработки на фоне негауссовских коррелированных помех, который обеспечивает эффективное обнаружение сигналов на фоне широкого класса помех с различными законами распределения на основе использования математического аппарата сферических инвариантных процессов;

9. Разработан новый алгоритм определения угловой ориентации высокоманевренного носителя бортовой РЛС. В отличие от известных алгоритмов предложено использовать в системе угловой ориентации летательного аппарата многомодельный фильтр Калмана с перекрёстными связями. Это позволяет уменьшить ошибки угловой ориентации носителя бортовой РЛС при интенсивных маневрах и, как следствие, повысить вероятность правильного обнаружения малоразмерных малоотражающих целей.

Практическая значимость результатов исследования заключается:

во внедрении алгоритма межобзорного когерентного накопления отражённых сигналов малоотражающего сверхманевренного объекта в разработки АО «МНИИ «Агат»;

во внедрении способа аналитического вычисления порогов обнаружения в алгоритмах межобзорного накопления на фоне негауссовского шума, основанного на использовании математического аппарата характеристических функций в инициативные разработки АО «ГРПЗ», в рамках СЧ НИОКР «Разработка радиолокационной станции 3-х миллиметрового диапазона РЛС-ЗВ боевого вертолёт»;

во внедрении алгоритм фильтрации выходных сигналов микромеханических гироскопов, позволяющего повысить точность определения угловой ориентации высокоманевренного носителя БРЛС

в программное обеспечение контроллера обработки выходных сигналов трёхосного микромеханического измерителя параметров движения ИПД-ММ разработки ПАО «МИЭА»;

во внедрении алгоритма определения угловой ориентации высокоманевренного носителя БРЛС на основе использования многомодельного фильтра Калмана с перекрёстными связями в учебный процесс ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина».

Обоснованность научных результатов, выводов и рекомендаций работы обеспечена корректным выбором основных допущений и ограничений при решении частных задач исследования, использованием исходных методик и данных, адекватность которых уже доказана.

Достоверность научных положений диссертационной работы, основных её результатов и выводов подтверждается корректным использованием математического аппарата, близостью результатов имитационного моделирования и теоретических расчётов, а также натуральных и полунатурных экспериментов, сопоставлением полученных результатов с результатами независимых источников информации.

Вместе с тем в представленном на отзыв автореферате можно отметить следующие **недостатки**:

1. На стр. 3 автореферата ставится задача «Разработать метод межобзорного накопления отраженных сигналов...». Эта же задача является вторым положением, выносимым на защиту. Однако в тексте автореферата в явном виде не представлено содержание (структура) указанного метода.

2. На стр. 9 автореферата сказано, что оптимальное число каналов по ускорению составляет 20% от числа импульсов в пачке (десятки и сотни каналов). Однако обоснованность этого значения в автореферате не приводится. Кроме этого, на стр. 10 автореферата утверждается, что вероятность правильного обнаружения повышается при уменьшении числа каналов по рациональному ускорению до 3-4. Таким образом непонятно, как находится компромисс между оптимальным числом каналов в десятки и сотни и числом каналов, при котором достигается повышение вероятности правильного обнаружения.

Указанные недостатки не снижают общего научного уровня и практической значимости выводов и рекомендаций выполненной диссертационной работы. Иллюстрированный материал в автореферате представлен в достаточном объеме, каждый этап диссертационного исследования и возможность практического внедрения представленных разработок в автореферате раскрыты полностью.

Вывод: исходя из содержания автореферата, диссертация является полноценной, самостоятельно выполненной и завершенной научно-квалификационной работой, содержащей новое решение актуальной научной проблемы, имеющей существенное значение для развития методов и алгоритмов обработки сигналов радиолокационных объектов.

Отзыв подготовили:

старший научный сотрудник 5 отдела научно-исследовательского (развития радиолокационного вооружения войск ПВО СВ) доктор технических наук (6.0.11), профессор



В.Абраменков

заместитель начальника 10 кафедры радиолокационного вооружения доктор технических наук (6.2.11), доцент



А.Чижов

профессор 11 кафедры (специальных радиотехнических систем) доктор технических наук (6.2.4), профессор



С.Скачков

Отзыв обсужден и одобрен на научно-техническом совете научно-исследовательского центра, протокол № 22 от 12 июля 2022 г.

Врио начальника научно-исследовательского центра кандидат технических наук (6.2.4) подполковник



Д.Здиорук

«14» июля 2022 г.