

СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ

Диссертационный совет: 24.2.327.01

Соискатель: Белокуров Владимир Александрович

Тема диссертации: «Методы и алгоритмы межобзорной обработки сигналов малоразмерных и сверхманевренных радиолокационных объектов с учётом бортовой навигационной информации»

Специальность: 2.2.16. – «Радиолокация и радионавигация»

Решение диссертационного совета по результатам защиты:

на заседании 11 октября 2022 года, протокол № 5, диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным положением «О присуждении ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года №842, и принял решение присудить Белокурову Владимиру Александровичу ученую степень доктора технических наук.

Присутствовали:

Кузнецов Ю.В. – председатель диссертационного совета;

Горбунова А.А. – ученый секретарь диссертационного совета;

Члены диссертационного совета:

Ушкар М.Н., Важенин Н.А., Гаврилов К.Ю., Добычина Е.М., Кириллов В.Ю., Комаров В.В., Куприянов А.И., Мартиросов В.Е., Овчинникова Е.В., Плохих А.П., Сычев М.И., Татарников Д.В., Татарский Б.Г., Шевцов В.А., Юдин В.Н.

Ученый секретарь
диссертационного совета
24.2.327.01, к.т.н.



А.А. Горбунова

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.327.01,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ «МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»,
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 11.10.2022 № 5

О присуждении Белокурову Владимиру Александровичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени доктора технических наук.

Диссертация «Методы и алгоритмы межобзорной обработки сигналов малоразмерных и сверхманевренных радиолокационных объектов с учётом бортовой навигационной информации» по специальности 2.2.16. – «Радиолокация и радионавигация» (технические науки) принята к защите «22» июня 2022 года (протокол заседания № 3) диссертационным советом 24.2.327.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 125993, Москва, А-80, ГСП-3, Волоколамское шоссе, 4, приказ о создании совета №105/нк от 11.04.2012.

Приказом Минобрнауки России от 3 июня 2021 г. №561/нк установлены полномочия совета на срок действия номенклатуры научных специальностей.

Соискатель Белокуров Владимир Александрович, 01.06.1981 года рождения.

В 2002 году окончил ГОУВПО «Рязанский государственный радиотехнический университет» по специальности «Радиотехника».

Диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук «Методы повышения эффективности обнаружения и измерения параметров эхо-сигналов сверхманевренных объектов» защитил в 2006 году в диссертационном совете, созданном на базе ГОУВПО «Рязанский государственный радиотехнический университет», работает доцентом кафедры «Радиотехнических систем» ФГБОУВО «Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина».

Диссертация выполнена на кафедре «Радиотехнических систем» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф.Уткина», Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный консультант – доктор технических наук, Кошелев Виталий Иванович, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина», кафедра «Радиотехнических систем», профессор.

Официальные оппоненты:

1. Меркулов Владимир Иванович, доктор технических наук, профессор, заместитель генерального конструктора АО «Концерн радиостроения «Вега»;

2. Ильчук Анатолий Ростиславович, доктор технических наук, профессор, заместитель директора по научной работе АО «НПП «Исток» имени А.И. Шокина»;

3. Костров Виктор Васильевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Радиотехника» Муромского института (филиала) ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Акционерное общество «Корпорация Фазотрон-НИИР» (АО «Корпорация Фазотрон-НИИР»), г. Москва в своем положительном отзыве, подписанном Аркадием Абрамовичем Форштером, кандидатом технических наук,

начальником 13 отдела, старшим научным сотрудником, утвержденным Первым заместителем Генерального директора - Генеральным конструктором, к.т.н. Юрием Николаевичем Гуськовым указала, что диссертация является законченной самостоятельной научной работой, посвященной решению актуальной научно-технической задачи расширения возможностей современных и перспективных БРЛС при обнаружении малоотражающих и сверхманевренных объектов.

Сделаны выводы о том, что диссертация «Методы и алгоритмы межобзорной обработки сигналов малоразмерных и сверхманевренных радиолокационных объектов с учётом бортовой навигационной информации» полностью соответствует требованиям положения «О порядке присуждения учёных степеней» ВАК РФ, предъявляемым к докторским диссертациям, а её автор Белокуров Владимир Александрович заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 2.2.16. - «Радиолокация и радионавигация» (технические науки).

Отзыв составлен на основании заключения НИО-1, структурного подразделения АО «Корпорация «Фазотрон - Научно-исследовательский институт радиостроения», разрабатывающего авиационные БРЛС, в результате обсуждения диссертационной работы Белокурова В.А. «16» августа 2022 года, протокол № 2.

Соискатель имеет 76 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 76 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликована 31 работа, также издана 1 коллективная монография. Результаты диссертации обсуждались на 26 всероссийских и международных научно-технических конференциях. Получено 3 патента на способ и 1 патент на устройство.

Наиболее значимые публикации соискателя:

- Монография

Кошелев В.И., Андреев В.Г., Белокуров В.А. Современные методы повышения эффективности обнаружения радиолокационных сигналов. М.: Горячая линия — Телеком. 2016. — 154 с. (ISBN 978-5-9912-0571-9)

- в рецензируемых научных изданиях:

1. Кошелев В.И., Белокуров В.А. Выбор числа каналов обнаружителя маневрирующих целей // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. — Выпуск 18. — 2006.— С. 26-29.

2. Кошелев В.И., Белокуров В.А. Использование фильтра Калмана с перекрёстными связями в системе ориентации высокоманевренного объекта // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. — №1 — 2011. — С. 3 -7.

3. Кошелев В.И., Белокуров В.А. Вычисление порога при межпериодном обнаружении малоразмерной цели // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. — №4. —2011. — С. 31-34.

4. Кошелев В.И., Белокуров В.А. Синтез алгоритма обнаружения цели, совмещённого с устранением неоднозначности по дальности // Известия вузов России. Сер. Радиоэлектроника. — №3. — 2012. — С. 36-41.

5. Кошелев В.И., Белокуров В.А. Синтез и анализ адаптивного межпачечного алгоритма обнаружения малоразмерной цели // Цифровая обработка сигналов. — № 2. — 2012. — С. 49-54.

6. Кошелев В.И., Андреев В.Г., Белокуров В.А. Когерентно-некогерентное накопление слабых радиотехнических сигналов // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета.— № 4.— 2012.— С. 18-21.

7. Белокуров В.А. Рекуррентное обнаружение маневрирующего объекта // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета.— № 4. Ч.2 — 2013.— С. 6-10.

8. Белокуров В.А. Обнаружение объекта при низком отношении сигнал-шум // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета.— № 2. — 2014.— С. 146-149.

9. Белокуров В.А., Козлов Д.Н. Обнаружение-сопровождение маневрирующей цели при низком отношении сигнал-шум // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета.— № 3.— 2014.— С. 46-50.

10. Белокуров В.А. Оценка амплитуды и координат движущегося объекта гауссовским парциальным фильтром с разделением вектора состояний // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета.— № 5.—2015.— С. 50-55.

11. Бакулев П.А., Кошелев В.И., Белокуров В.А. Синтез последовательного алгоритма сопровождения траекторий с адаптивным порогом при первичном обнаружении сигнала // Радиотехника. — № 8. — 2016.— С. 67-74.

12. Белокуров В.А. Стабилизация уровня ложной тревоги при обнаружении объекта на фоне негауссовского шума // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета.— № 4.—2018.— С. 22-27.

13. Кошелев В.И., Белокуров В.А. Алгоритм стабилизации уровня ложных тревог при межобзорном накоплении отражённых сигналов // Цифровая обработка сигналов. — № 4. — 2018. — С. 50-54.

14. Белокуров В.А. Когерентное межобзорное накопление флуктуирующих пачек импульсов // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета.— № 1.— 2019.— С. 15-19.

15. Кошелев В.И., Белокуров В.А. Обнаружение флуктуирующей цели на фоне негауссовского шума при межобзорном накоплении // Радиотехника. — №5 — 2019. — С. 161-167.

16. Кошелев В.И., Белокуров В.А. Анализ плотности распределения вероятностей радиолокационного сигнала на выходе первичного порогового устройства межобзорного обнаружителя // Радиотехника. — №11. — 2019 — С. 41-46.

- в **IEEE Xplore Digital Library** и **Scopus**:

17. Кошелев В.И., Белокуров В.А. Межобзорное накопление отражённых радиолокационных сигналов на фоне негауссовских коррелированных помех // Радиотехника и электроника. — №4. — 2022. — С. 1-8.

18. Кошелев В.И., Белокуров В.А. Синтез и анализ обнаружителей радиолокационных сигналов, отражённых от маневрирующей цели //

Известия вузов. Радиоэлектроника.— № 3. —2005. — С. 56-62.

19. Андреев В.Г., Галкин В.И., Кошелев В.И., Белокуров В.А., Молчанов А.В. Цифровая фильтрация сигналов инерциального модуля с целью повышения точности угловой ориентации // 18th Saint Petersburg International conference on integrated navigation systems: Proceedings // Saint Petersburg: Concern CSRI Electropribor, 2011.— Р. 52-53.

20. Кошелев В.И., Белокуров В.А., Козлов Д.Н. Оптимизация каналов по скорости и ускорению в многоканальном доплеровском фильтре // 2nd Mediterranean Conference on Embedded Computing MECO-2013, Budva, Montenegro, June 15th-20th 2013.—Р.180-183.

21. Кошелев В.И., Белокуров В.А., Козлов Д.Н. Алгоритм парциальной фильтрации для обнаружения маневрирующей цели // Международная IEEE-Сибирская конференция по управлению и связи (Sibcon-2013), 12-13 сентября 2013 г., Красноярск. (SCOPUS ID: 2-s2.0-84893331734).

22. Кошелев В.И., Андреев В.Г., Белокуров В.А. Начальная выставка бесплатформенных навигационных систем с компенсацией вибраций носителя // XIX Санкт-Петербургская международная конференция по интегрированным навигационным системам, 28-30 мая 2012 г, Санкт-Петербург. – С. 101-104.

23. Кошелев В.И., Белокуров В.А. Подпороговое обнаружение-сопровождение малоразмерной маневрирующей цели // CriMiCo 2014 - 2014 24th International Crimean Conference Microwave and Telecommunication Technology: Conference Proceedings. 2014. – С. 1131-1132.

24. Белокуров В.А., Козлов Д.Н. Использование парциальной фильтрации для обнаружения высокоманевренных объектов // 12th International conference on actual problems of electronic instrument engineering (APEIE), 2014, Novosibirsk, Russia, October 2nd-4nd 2014.— Vol. 1.— Р. 335-338 (SCOPUS ID: 2-s2.0-84924386445).

25. Белокуров В.А. Реализация аффинного преобразования на языке HLS // 7th Mediterranean Conference on Embedded Computing MECO-2018, Budva, Montenegro, June 10th-14th 2018. – Р.355-358.

26. Кошелев В.И. Белокуров В.А., Кагаленко М.В. Применение характеристических функций при межобзорном накоплении // 8th Mediterranean Conference on Embedded Computing MECO-2019, Budva, Montenegro, June 10th-14th 2019. – P.256-261.

27. Koshelev V.I., Belokurov V.A. Multi-Frame Detection on Board Platform //9th Mediterranean Conference on Embedded Computing MECO-2020, Budva, Montenegro.

В работе [1] проанализировано влияние радиального ускорения на энергетические характеристики многоканального доплеровского фильтра. Предложена процедура оптимального, по критерию максимума средней вероятности правильного обнаружения, выбора числа каналов по ускорению многоканального алгоритма обнаружения. В работе [2] синтезирован алгоритм определения угловой ориентации маневрирующего объекта с использованием многомодельного фильтра. Показано, что использование данного подхода позволяет снизить погрешности определения крена, курса и тангажа при маневре носителя. В работе [3] синтезирован алгоритм межобзорного обнаружения сигналов, отражённых от малотражающей цели, а также адаптивный алгоритм вычисления порога обнаружения. В работе [4] приведён статистический синтез алгоритма обнаружения цели, совмещённый с устранением неоднозначности по дальности БРЛС, работающей в режиме высокой частоты повторения импульсов. В работе [5] синтезирован адаптивный алгоритм вычисления порога обнаружения при межобзорном накоплении в условиях изменения дисперсии шума наблюдения от обзора к обзору. В работе [6] синтезирован двухэтапный последовательный когерентно-некогерентный алгоритм обнаружения малоотражающей цели с одновременным раскрытием неоднозначности по дальности и скорости. Показано, что пороговое отношение сигнал-шум для синтезированной процедуры всего на 0,5 дБ больше, чем для оптимальной системы обнаружения, однако полученный алгоритм можно реализовать в реальном масштабе времени. В работах [7-9] рассмотрены вопросы пороговой обработки при реализации межобзорного накопления на основе аппроксимации апостериорной плотности распределения вероятностей

вектора состояния цели с использованием математического аппарата парциальной фильтрации. В работе [10] синтезирован алгоритм межобзорного накопления на основе парциальной фильтрации с разделением вектора состояния с целью исключения амплитуды отражённого сигнала, что позволяет сократить вычислительные затраты, требуемые для реализации. В работе [11] рассмотрен синтез последовательного алгоритма обнаружения траектории малоразмерной цели с учётом амплитудной и координатной информации отметок, попавших в строб сопровождения. Вычисление первичного порога обнаружения в стробе основано на определении максимума информационного понижающего фактора. В работе [12] приведены результаты аналитического вычисления порога обнаружения при межобзорном накоплении. Предложено использовать аппарат характеристических функций для вычисления плотности распределения вероятностей достаточной статистики на входе порогового устройства. Для оценки эффективности проводилось сравнение порогов обнаружения, вычисленных предлагаемым алгоритмом, и порогов, вычисленных с помощью имитационного моделирования при различных законах распределения негауссовского шума и значениях вероятности ложной тревоги. В работе [13] рассмотрен синтез алгоритма стабилизации уровня ложных тревог при межобзорном накоплении отражённых радиолокационных сигналов, который позволяет аналитически вычислять порог обнаружения. Эффективность предлагаемого алгоритма оценивается путём сравнения результатов аналитического вычисления порогов обнаружения и порогов, получаемых методом экстремальных статистик. При помощи имитационного моделирования показано, что использование линейной интерполяции при вычислении значения порога обнаружения позволяет обеспечить выигрыш в пороговом отношении сигнал-шум около 0,2 дБ. В работе [14] приведён синтез и анализ эффективности межобзорного когерентного обнаружителя отражённых радиолокационных сигналов. Суть алгоритма заключается в формировании составной пачки импульсов с K обзоров и формировании отношения правдоподобия для этой пачки. Априорная неопределённость относительно начальной фазы каждой из пачек

импульсов решается введением многоканальности по данному параметру. В работе [15] синтезирован алгоритм межобзорного обнаружения флуктуирующей цели на фоне помех с гамма-распределением. В работе [16] проведён вывод плотности распределения вероятностей статистики решающего правила соответствующего межобзорному обнаружению с использованием первичного порога обнаружения. В работе [17] изложены результаты синтеза алгоритма межобзорного накопления отраженных радиолокационных сигналов на фоне негауссовских коррелированных помех инвариантного к закону распределения помехи. Предложен алгоритм аналитического расчета порога обнаружения синтезированного алгоритма. Проведено тестирование и сравнение синтезированного алгоритма с известным на основе обработки реальных данных РЛС ИРХ. В работе [18] приведён статистический синтез и анализ алгоритмов обработки сигналов, отражённых от маневрирующей цели, приводящий к различным вариантам построения обнаружителей: многоканальному (без оценки априорно неизвестных параметров движения) и комбинированному с оценкой скорости движения цели. Показано, что пороговый сигнал в предложенном алгоритме незначительно возрастает по сравнению с оптимальным алгоритмом (в практически важных случаях до 2 дБ), но при этом вычислительные затраты значительно (в 6,9 раз) уменьшаются. В работе [19] рассмотрены результаты применения многомодельного фильтра в задаче определения угловой ориентации высокоманевренного носителя БРЛС.

Работы [1-5, 15-23, 26-27] написаны в соавторстве с научным консультантом В.И. Кошелевым. Работы [6, 19, 22] написаны в соавторстве с В.Г. Андреевым. Работы [9, 20-21, 24] написаны в соавторстве с Д.Н.Козловым. Работа [11] написана в соавторстве с П.А. Бакулевым.

В работах соискателя по теме диссертации в полном объеме отражены представленные в диссертации материалы и положения, выносимые на защиту.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

Меркулов Владимир Иванович (официальный оппонент).

Отзыв заверила исполняющая обязанности начальника управления по

работе с персоналом Акционерного общества «Концерн Радиостроения «Вега» Л.А. Титова.

Были получены замечания по диссертационной работе:

а) Не ясно, как будет работать вся цепочка межобзорного и межпачечного накопления сигналов в режиме многоцелевого сопровождения.

б) Использование в качестве основного показателя эффективности вероятности правильного обнаружения приводит к мысли о незавершенности исследования, поскольку для потребителя наиболее важными являются показатели точности измерений (оценивания) дальности, скорости сближения и угловых координат.

в) Не ясно, как стремление снижения первоначального отношения сигнал/шум, при котором принимается решение о наличии цели, сказывается на потенциальной точности формирования первичных измерений дальности, скорости и угловых координат в виду несомненного возрастания флюктуационной составляющей сигналов при многоэтапном накоплении.

г) Предложенный автором вариант многомодельной фильтрации действительно позволяет повысить точность сопровождение интенсивно маневрирующих целей, однако для работы в условиях сверхманевренности требует использования достаточно большого числа исходных моделей, что приводит к не адекватному возрастанию вычислительных затрат. На мой взгляд, более целесообразным является использование алгоритмов адаптивной аналого-дискретной фильтрации с коррекцией прогноза по результатам измерений, которые не зависят от выбранных моделей.

д) Необходимо отметить, что при сопровождении высокоскоростных целей чрезмерное увеличение времени накопления становится одним из ограничений, накладываемых на период повторения и, соответственно, на тактические показатели РЛС. В связи с этим, было бы целесообразно провести исследование по установлению влияния этого фактора на показатели эффективности РЛС.

Ильчук Анатолий Ростиславович (официальный оппонент).

Отзыв заверен директором по персоналу АО «НПП «Исток» им. А.И.Шокина» Н.А. Рубцовой.

Были получены замечания по диссертационной работе:

а) Анализ представленной работы показывает, что непосредственно разработке алгоритмов межобзорной информации посвящены разделы и подразделы - 2.3, 2.4, 3,4,5. В главе 1, пп. 2.1 - 2.2 рассматриваются алгоритмы обнаружения сигналов от маневрирующих целей в пределах одного такта обзора. В тоже время, глава 6 посвящена повышению точности измерения навигационных параметров ЛА, что является, в общем случае, проблемой при разработке бортового комплекса навигации и самолётовождения, но не связано с обработкой информации в БРЛС.

Исходя из этого, было бы более целесообразно сформулировать направление исследований (название диссертации) заключающееся в повышении эффективности обнаружения (дальности обнаружения) сверхманевренных целей и целей с пониженной поверхностью отражения.

б) На стр. 94 (рис. 40) представлен ряд характеристик обнаружения:

- при реализации межпачечного алгоритма когерентного накопления, синтезированного автором;
- при реализации алгоритма некогерентного межобзорного накопления;
- при реализации алгоритма некогерентного межобзорного накопления с использованием первичного порога обнаружения.

К сожалению, автор не указал при каких исходных данных, например, для каких вероятностях ложной тревоги, схемного построения устройства обработки сигналов (обнаружителей), с использованием какого метода (например, статистическое моделирование с заданным количеством реализаций) проведено моделирование. Указанное обстоятельство не позволяет в полной мере оценить преимущества алгоритма, синтезированного автором.

Следует отметить, что при представлении результатов моделирования в последующих главах работы имеют место аналогичные замечания.

в) Анализ результатов исследований, представленных автором, показывает, что им рассмотрены два подхода к увеличению дальности обнаружения сверхманевренных целей и целей с пониженной эффективной поверхностью отражения:

- увеличение времени когерентного накопления отражённых сигналов с реализацией многоканальной по дальности, скорости, ускорению системой обработки сигналов;

- реализация межобзорной обработки отражённых сигналов с принятием окончательного решения о наличии цели после нескольких периодов обзора (фактически сопровождение до обнаружения).

Целесообразно было бы провести сравнение указанных подходов с точки зрения - каким образом применение того или иного метода влияет на тактические параметры БРЛС.

г) Глава 6, ряд подразделов главы 7 посвящены вопросам фильтрации сигналов бортовых навигационных датчиков различной физической природы (ДУС, лазерные гироскопы и т.п.) с целью уменьшения погрешности измерения навигационных параметров. Представляется, что эта задача должна решаться разработчиками указанных устройств и бортовых навигационных систем при задании требований со стороны разработчиков БРЛС. Отметим, что в настоящее время имеются устройства обеспечивающие требования по измерению навигационных параметров, приведённых в диссертации.

д) Подраздел 3.5 посвящён синтезу алгоритма межобзорного накопления на фоне негауссовских коррелированных помех. При этом указывается, что данное распределение помехового сигнала характерно для отражений от морской поверхности.

Синтезированный алгоритм тестируется на реальных данных, полученных с помощью РЛС ИРХ, где в качестве цели используется буй, расположенный на морской поверхности. В тоже время, в цели диссертации в качестве объекта исследования указана БРЛС, функционирующая по воздушным объектам. Исходя из этого, в диссертации не обоснована ситуация, когда при наблюдении воздушных целей будет осуществляться

наблюдение воздушных целей на фоне рассматриваемых типов помеховых воздействий.

При этом подчеркнуто, что «отмеченные критические предложения носят, главным образом дискуссионный характер и в целом не снижают научного уровня и практической ценности работы».

Костров Виктор Васильевич (официальный оппонент)

Отзыв заверен Ученым секретарём Ученого Совета Муромского института (филиала) Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых О.Н. Полулях.

Были получены замечания по диссертационной работе:

а) Отсутствие требования к стабильности генераторов сигналов передатчика и гетеродина приёмника, к фазовой стабильности радиочастотного тракта РЛС, которые влияют на эффективность когерентного накопления. Не учитывается конечное время когерентности отражений от маневрирующей цели.

б) Ставится невыполнимая задача "синтеза квазиоптимальных алгоритмов обнаружения..., которые обеспечивают выигрыш в пороговом отношении сигнал-шум при приемлемом числе вычислительных операций" (с.3 автореферат, с.14 диссертации).

в) Отсутствуют рекомендации по выбору "числа каналов по скорости, в которых находится спектр отражённого сигнала" (с. 11а, 65, 102д.). При неопределенности относительно параметров режима работы и движения БПЛА выбор максимальной частоты доплеровских фильтров также остаётся открытым (с.151-154д).

г) При синтезе алгоритма обнаружения сигнала с дискретной ЛЧМ используются оценки начальной фазы (гл. 2). Не ясна состоятельность и эффективность этих оценок в условиях неоднозначности измерения дальности и неизвестной скорости цели (с. 13а, 92 д.). Не проведено исследование влияния времени переходного процесса оценивая фазы на характеристики обнаружения.

д) По тексту автореферата и диссертации имеются орфографические и синтаксические ошибки, одинаковые подписи к различным рисункам и таблицам, стилистические погрешности (с.1, 6, 28а; с.10,20,33,58-60,200, 207, 208, 241, 243, 278д. и др.)

В отзыве отмечено, что «указанные недостатки диссертационной работы не наносят существенного ущерба значимости результатам диссертационной работы и не отражаются на её общей положительной оценке».

АО «Корпорация - «Фазотрон-НИИР» (ведущая организация)

Отзыв утвержден первым заместителем Генерального директора - Генеральным конструктором, к.т.н. Юрием Николаевичем Гуськовым.

Были получены замечания по диссертационной работе:

а) Автор предлагает использовать метод экстремальных статистик для оценки порога обнаружения в скользящем окне. При этом рассматривается только случай двумерного окна.

б) При использовании подхода, основанного инвариантных сферических случайных процессах, автор ограничился рассмотрением случая фактически однокоординатной РЛС. Непонятно, применим ли данный подход в двух- или трёх- координатных РЛС.

в) Из работы не ясно, зависит ли эффективность разработанного алгоритма обнаружения зависшего летательного аппарата от ракурса наблюдения.

г) Из текста диссертации не ясно, проводил ли автор сравнительный анализ предлагаемых алгоритмов и алгоритмов сверхдлинного когерентного накопления (длительность пачки 150 мс и более).

При этом подчеркнуто, что «диссертационная работа представляет собой законченное научное исследование, направленное на решение крупной научно-технической проблемы».

На автореферат и диссертацию также поступило 18 отзывов из организаций:

1. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых» (ВлГУ) - отзыв подписан заместителем директора по научной работе Института информационных технологий и радиоэлектроники ФГБОУ ВО ВлГУ, д.т.н., профессором Самойловым А.Г. и утверждён Учёным секретарём Ученого совета ВлГУ Конновой Т.Г.

2. Научно-исследовательский институт радиоэлектронной техники МГТУ им. Н.Э. Баумана (НИИ РЭТ МГТУ им. Н.Э.Баумана) - отзыв подписан Главным научным сотрудником НИИ РЭТ МГТУ им. Н.Э. Баумана, д.т.н., с.н.с. Чапурским В. В. и утверждён Директором НИИ РЭТ МГТУ им. Н.Э. Баумана, к.т.н. Нониашвили М.И.

3. Публичное акционерное общество «Центральное научно-производственное объединение «Ленинец» (ПАО «ЦНПО «Ленинец») - отзыв подписан начальником научно-исследовательского отделения, д.т.н., доцентом, Поляковым В. Б. и утвержден Генеральным директором ПАО «ЦНПО «Ленинец» к.т.н. Сидоренко К.А.

4. Военный учебно-научный центр военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е.Жуковского и Ю.А. Гагарина» (ВУНЦ ВВС «ВВА») - отзыв подписан профессором кафедры автоматизации управления летательными аппаратами (и вычислительных систем), д.т.н., профессор Усом Н. А., доцентом кафедры автоматизации управления летательными аппаратами (и вычислительных систем), д.ф.-м.н., доцент Разиньковым С. Н. и утвержден Заместителем начальника ВУНЦ ВВС «ВВА» по учебной и научной работе, к.т.н. Казаковым В.

5. Публичное акционерное общество «Научно-производственное объединение «Алмаз» имени академика А.А. Расплетина» (ПАО «НПО «Алмаз») - отзыв подписан научным руководителем Департамента научно-образовательной деятельности ПАО «НПО «Алмаз», д.т.н., профессором Алдошиным В. М. и заверен начальником Департамента научно-

образовательной деятельности ПАО «НПО «Алмаз», к.т.н., доцентом Леманским Д. А.

6. Акционерное общество «Конструкторское бюро приборостроения им. академика А.Г. Шипунова» (**АО «КБП им. академика А.Г. Шипунова»**) - отзыв подписан заместителем Директора направления противовоздушной обороны и начальник отделения АО «КБП», к.т.н. Шевцовым О. Ю. и заверен Учёным секретарём НТС АО «КБП», д.т.н., профессором Семашкиным Е.Н.

7. Акционерное общество «Научно-производственный комплекс «Научно-исследовательский институт дальней радиосвязи» (**АО «НПК «НИИДАР»**) - отзыв подписан начальником организационно-научного бюро АО «НПК «НИИДАР», д.т.н., профессором Козловым В. Н. и утвержден Генеральным директором АО «НПК «НИИДАР», д.в.н., профессором Аношко Ю.Г.

8. Акционерное общество «Научно-исследовательский институт приборостроения имени В.В. Тихомирова» (**АО «НИИП им. В.В. Тихомирова»**) - отзыв подписан ведущим научным сотрудником АО «НИИП им. В.В. Тихомирова», д.ф.-м.н. Захаровым А. И. и утверждён Учёным секретарём АО «НИИП им. В.В. Тихомирова», д.т.н. Кауфманом Г.В.

9. Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Военная академия войсковой ПВО вооружённых сил РФ имени маршала Советского Союза А.М. Василевского» (**ВА ВПВО ВС РФ**) - отзыв подписан старшим научным сотрудником 5 отдела научно-исследовательского (развития радиолокационного вооружения войск ПВО СВ), д.т.н., профессором Абраменковым В., заместителем начальника 10 кафедры радиолокационного вооружения, д.т.н., доцентом Чижовым А., профессором 11 кафедры (специальных радиотехнических систем), д.т.н., профессором Скачковым С. и утвержден Заместителем начальника Военной академии войсковой противовоздушной обороны

Вооруженных Сил Российской Федерации по учебной и научной работе, д.в.н., доцентом, полковником Душкиным А.

10. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тульский государственный университет» (ТулГУ) - отзыв подписан профессором кафедры «Радиоэлектроника» ФГБОУ ВО ТГУ, д.т.н., профессором Минаковым Е.И. и заверен начальником УАК Луневым М.В.

11. Акционерное общество «Центральный научно-исследовательский радиотехнический институт имени академика А.И. Берга» (АО «**ЦНИРТИ им. академика А.И. Берга**») - отзыв подписан Советником главного конструктора по космическим и авиационным системам - заместителя генерального директора, д.т.н., доцентом Хлоповым Б. В. и заверен Учёным секретарём, к.т.н. Каревым В.В.

12. Акционерное общество «Центральное конструкторское бюро аппаратостроения» (АО **ЦКБА**) - отзыв подписан начальником отдела перспективных разработок, Заслуженным деятелем науки РФ, д.т.н., профессором Акиншиным Н.С., Главным специалистом отдела перспективных разработок, д.т.н., профессором Есиковым О.В. и утверждён Главным инженером АО ЦКБА Логвиновым С.С.

13. Акционерное общество «Концерн воздушно-космической обороны «Алмаз-Антей» (АО «**Концерн ВКО «Алмаз-Антей**») - отзыв подписан Директором департамента научно-технического развития, к.т.н., с.н.с Добридень В. И., Начальником отдела департамента научно-технического развития, Стародымовым П. В. и утверждён Генеральным конструктором - заместителем генерального директора АО «Концерн ВКО «Алмаз-Антей», д.т.н., профессором, член-корреспондентом РАН Созиновым П.А.

14. Акционерное общество «Муромский завод радиоизмерительных приборов» (АО «**МЗ РИП**») - отзыв подписан инженер-конструктором 1 категории, д.т.н., доцентом Росточкиным И. Н., ведущим инженер-конструктором, к.т.н. Богатовым А. Д. и утверждён Врио генерального директора АО «Муромский завод радиоизмерительных приборов» Малышевым О.В.

15. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет гражданской авиации» (МГТУ ГА) - отзыв подписан заведующим кафедрой «Техническая эксплуатация радиоэлектронного оборудования воздушного транспорта», д.т.н., доцентом Болеловым Э. А. и заверен Проректором по НР и Н МГТУ ГА, д.т.н., профессором Воробьёвым В.В.

16. Военный учебно-научный центр военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е.Жуковского и Ю.А.Гагарина» (ВУНЦ ВВС «ВВА») - отзыв подписан профессором 102 кафедры авиационных систем и комплексов радионавигации и радиосвязи, д.т.н., профессором Мироновым В.А., и утвержден Заместителем начальника ВУНЦ ВВС «ВВА» по учебной и научной работе, к.т.н. Казаковым В.

17. Акционерное общество «Ижевский электромеханический завод «Купол» (АО «ИЭМЗ «Купол») - отзыв подписан Начальником отдела специального конструкторского бюро АО «ИЭМЗ «Купол») Хворых Ю.В. и утверждён Заместителем генерального директора - Главный конструктор ЗРК Мурафетов А.

18. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО ВГТУ) - отзыв составлен доцентом кафедры радиоэлектронных устройств и систем ФГБОУ ВО ВГТУ, к.т.н. Володько А.В., заведующим кафедрой радиоэлектронных устройств и систем ФГБОУ ВО ВГТУ, к.т.н., доцентом Журавлёвым Д.В. и утверждён начальником отдела по работе с персоналом Козловой О.В.

Основные замечания по содержанию работы.

В отзывах на автореферат, полученных из ВУНЦ ВВС «ВВА» указываются замечания, связанные с сохранением работоспособности предлагаемых алгоритмов в многоцелевой и сложной помеховой обстановке, в условиях воздействия преднамеренных помех, а также со способом оптимизации числа обзоров при обнаружении малоотражающей цели. Также указаны замечания о целесообразности конкретизации тактико-технических

характеристик аппаратуры, в которой предполагается использовать синтезированные алгоритмы. В отзыве из АО ИЭМЗ «Купол» замечания не указаны. В отзыве на автореферат, полученном из НИИ РЭТ МГТУ им. Н.Э.Баумана, указаны замечания, касающиеся возможности суммирования парциальных выигрышей, а также возможности (трудности) сквозной статистической постановки задачи за все время сопровождения цели. В отзыве на автореферат, полученном из ВГУ указываются замечания, связанные с вычислительной сложностью синтезированных алгоритмов, а также условиями проведения натуральных экспериментов. В отзыве на автореферат, полученном из ПАО «ЦНПО «Ленинец» указаны вопросы, связанные с выбором числа моделей в многомодельном фильтре Калмана, который используется в системе угловой ориентации. В отзыве на автореферат, полученном из ПАО «НПО «Алмаз», указаны замечания связанные с краткостью изложения разработанного метода стабилизации уровня ложных тревог при межобзорном накоплении. В отзыве на автореферат, полученном из АО «НПК «НИИДАР», указаны замечания связанные с возможностью совместной работы алгоритмов обнаружения маневрирующей цели, синтезированных в первой главе диссертации и алгоритмами межобзорного накопления. В отзыве на автореферат, полученном из АО «КБП им. академика А.Г.Шипунова», указаны замечания связанные со сравнением синтезированных алгоритмов с алгоритмом вероятностного объединения данных, в котором порог обнаружения выбирается исходя из высокой вероятности ложной тревоги. В отзыве на автореферат, полученном из АО «НИИП им. В.В. Тихомирова», указаны замечания связанные с выбором порогов в алгоритме межобзорного накопления, а также выбора количества анализируемого импульсного объема. В отзыве на автореферат, полученном из ВА ВПВО ВС РФ, указаны замечания связанные с оптимальным числом каналов по ускорению в многоканальном по скорости и ускорению обнаружителе отражённых сигналов. В отзыве на автореферат, полученном из ТулГУ, указаны замечания связанные со способом формирования «гипотезных трасс», а также влиянием точности оценки начальных фаз в пачке отражённых

импульсов на вероятность правильного обнаружения межобзорного обнаружителя. В отзыве на автореферат, полученном из АО «ЦНИРТИ им. академика А.И. Берга», указаны замечания, связанные с выбором моделей движения цели в алгоритмах межобзорного накопления; алгоритмом вычисления корреляционной матрицы помехи при межобзорном накоплении на фоне негауссовских коррелированных помех, а так же, эффективности синтезированного алгоритма при работе на фоне помех с логнормальным распределением. В отзыве на автореферат, полученном из АО ЦКБА, указаны замечания, связанные с вопросами применения синтезированных алгоритмов в многопозиционных системах. В отзыве на автореферат, полученном из АО «Концерн ВКО «Алмаз-Антей», указаны замечания, связанные с вопросами возможности работы синтезированных алгоритмов межобзорного накопления в условиях устранения неоднозначности измерения по дальности, по скорости, по дальности и скорости, а также эффективности работы данных алгоритмов в условиях нестационарного шума. В отзыве на автореферат, полученном из АО «МЗ РИП», указаны замечания, связанные с необходимостью приведения ЭПР целей по которым предполагается работа. В отзыве на автореферат, полученном из МГТУ ГА, указаны вопросы о применимости различных бортовых навигационных систем при межобзорном накоплении. В отзыве на автореферат, полученном из ФГБОУ ВО ВГТУ, указаны вопросы, связанные с конкретным типом шумовых процессов, на фоне которых происходит обнаружение, а также определением нормировочной константы при аппроксимации плотности распределения вероятностей.

Все отзывы, поступившие на диссертацию и автореферат, положительные и содержат заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается следующими соображениями. Официальные оппоненты являются признанными специалистами в области первичной и вторичной обработки радиолокационной информации; имеют публикации, близкие по

теме диссертационной работы, являются сотрудниками разных организаций и не имеют совместных публикаций с соискателем. Ведущая организация широко известна своими научными достижениями и разработками в соответствующей сфере исследования; составивший и подписавший отзыв ведущей организации Начальник отдела 13 Форштер А.А., является ведущим специалистом по теории обработки радиолокационных сигналов и имеет актуальные публикации и монографию по тематике диссертационной работы соискателя. Соискатель и научный руководитель соискателя не работают в данной организации и не являются участниками научно-исследовательских работ, ведущихся в этой организации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

1. Исследовано влияние радиального ускорения на усреднённое по каналам обнаружения значение коэффициента улучшения отношения сигнал/помеха+шум и усреднённую вероятность правильного обнаружения многоканального обнаружителя доплеровских сигналов.

2. Определено оптимальное количество каналов по ускорению по критерию максимума усреднённой вероятности правильного обнаружения.

3. Получен и запатентован алгоритм обнаружения маневрирующего объекта инвариантный к радиальной скорости и многоканальный по ускорению, который обеспечивает выигрыш в пороговом отношении сигнал-шум до 4..5 дБ по сравнению с алгоритмами обнаружения, основанными на сегментировании входной выборки при количестве сегментов больше двух.

4. На основе критерия отношения правдоподобия синтезирован алгоритм межпачечного накопления, совмещённый с устранением неоднозначности по дальности в режиме высокой частоты повторения импульсов, который обеспечивает выигрыш в пороговом отношении сигнал-шум до 4 дБ по сравнению с известным, не учитывающим ускорение цели.

5. Синтезирован алгоритм межобзорной обработки эхо-сигнала зависшего БПЛА с борта подвижного носителя малогабаритной РЛС, который обеспечивает выигрыш в пороговом отношении сигнал-шум до 2 дБ

по сравнению с алгоритмом, не учитывающим движение носителя РЛС, при накоплении данных нескольких обзоров.

6. Исследовано влияние движения носителя БРЛС на эффективность межобзорного накопления, показано, что при маневрировании носителя БРЛС эффективность межобзорного накопления снижается, что было учтено при разработке требований к бортовой навигационной системе.

7. Показано, что учет смещения сектора обзора между двумя соседними обзорами носителя БРЛС делает возможным эффективную реализацию межобзорного накопления. Доказано, что определение координат центра связанной системы координат не оказывает существенного влияния на эффективность накопления, если размер элемента разрешения по дальности существенно больше погрешности определения координат.

8. На основе использования теории экстремальных статистик и оценки параметров обобщённого распределения Парето методом моментов синтезирован инвариантный к закону распределения вероятностей отсчетов на входе порогового устройства алгоритм стабилизации уровня ложных тревог при межобзорном накоплении.

9. Синтезирован алгоритм сопровождения малоотражающего маневрирующего объекта, основанный на использовании многомодельного гауссовского парциального фильтра, что обеспечивает уменьшение среднего квадрата ошибки оценки координат объекта до 2...3 раз по сравнению с наиболее эффективными из известных алгоритмов при равном количестве парциальных фильтров.

10. Синтезирован алгоритм определения угловой ориентации высокоманевренного носителя БРЛС, обеспечивающий снижение погрешности определения углов ориентации при маневре носителя БРЛС, что уменьшает потери в пороговом отношении сигнал-шум на 2 дБ при межобзорном накоплении.

Теоретическая значимость исследований обоснована тем, что:

- получены новые более эффективные решающие правила на основе отношения правдоподобия для случаев межобзорного накопления на фоне некоррелированного шума;

- получено новое решающее правило на основе использования математического аппарата сферических инвариантных процессов, позволяющее реализовать возможности межобзорного накопления на фоне негауссовских коррелированных помех, инвариантное к закону распределения помехи;

- получены новые аналитические алгоритмы вычисления порога обнаружения для случаев межобзорного накопления отражённых сигналов;

- получено новое решающее правило, позволяющее реализовать межобзорное накопление в бортовой РЛС в пределах сохранения когерентности отраженного сигнала.

Значение полученных соискателем результатов исследований для практики подтверждается внедрением:

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

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

- алгоритма фильтрации выходных сигналов микромеханических гироскопов, позволяющий 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»;

- 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».

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

- корректность использования математического аппарата;

- близость результатов имитационного моделирования и теоретических расчётов, а также натуральных и полунатурных экспериментов;

- сопоставимость полученных результатов с результатами независимых источников информации.

Личный вклад соискателя состоит в:

- синтезе новых решающих правил для случая межобзорного накопления с учётом движения носителя РЛС на фоне некоррелированного шума;

- синтезе нового решающего правила на основе использования математического аппарата сферических инвариантных процессов, которое позволяет реализовать межобзорное накопление на фоне негауссовских коррелированных помех;

- аналитическом выводе плотностей и функций распределения вероятностей статистик, соответствующих решающим правилам, которые используются межобзорными алгоритмами при наличии и отсутствии первичного порога обнаружения;

- синтезе алгоритма межобзорного накопления, учитывающего движение носителя бортовой РЛС при межобзорном накоплении;

– обработке результатов натуральных и полунатурных экспериментов;

– подготовке научных публикаций и апробации полученных результатов на международных конференциях по тематике исследований.

В ходе защиты диссертации критических замечаний высказано не было.

Соискатель Белокуров В.А. ответил на задаваемые ему в ходе дискуссии вопросы и привел собственную аргументацию.

На основании вышеизложенного, диссертационный совет заключает, что рассматриваемая диссертация является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных исследований разработаны новые научно обоснованные технические решения, внедрение которых позволит повысить качественные показатели обнаружения малоотражающих сверхманевренных объектов в современных и перспективных БРЛС.

Диссертация Белокурова В.А. соответствует всем требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней, утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года №842.

На заседании 11 октября 2022 г. диссертационный совет принял решение присудить Белокурову В.А. ученую степень доктора технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 6 докторов наук по специальности 2.2.16. – «Радиолокация и радионавигация» (технические науки), участвующих в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: «за» 17, «против» 0, недействительных бюллетеней нет.

Председатель
диссертационного совета 24.2.327.01
д.т.н., профессор

Кузнецов Юрий
Владимирович

Ученый секретарь
диссертационного совета 24.2.327.01
к.т.н.

Горбунова
Анастасия
Александровна

11.10.2022 г.

Начальник
Т.А. А

