



АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
«ИСТОК» ИМЕНИ А.И. ШОКИНА»


АО «НПП «Исток» им. Шокина»

Вокзальная ул., д. 2а, корпус 1, комната 65, этаж 2, г. Фрязино, Московская область, Российская Федерация, 141190 Тел.: +7 (495) 465-86-80;
факс: +7 (495) 465-86-86 E-mail: info@istokmw.ru; http://www.istokmw.ru; ОКПО 07622667; ОГРН 1135050007400; ИНН/КПП 5050 08496/774550001

«19» 09 2022 г. № 230/22/5811

МАИ (Институт №5)

Волоколамское ш., д. 4, корп. 5, ГСП-3, А-80, Москва, 125993

Ученый Совет МАИ

Направляю отзыв официального оппонента, доктора технических наук, профессора Ильчука Анатолия Ростиславовича на диссертацию Белокурова Владимира Александровича на тему «Методы и алгоритмы межобзорной обработки сигналов малоразмерных и сверхманевренных радиолокационных объектов с учетом навигационной информации», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.2.16 – Радиолокация и радионавигация (технические науки).

Приложение:

1. Отзыв официального оппонента....., в 2 экз.

Заместитель генерального директора -
директор по научной работе

С.В. Щербаков

ЗАМ. ДИРЕКТОРА ПО НАУЧНОЙ
РАБОТЕ – ДИРЕКТОР ПО
РАЗВИТИЮ ЭКБ

Воронков О.В.

Отдел документационного
обеспечения МАИ

«22» 09 2022



Щеглов А.С., НПК-20, Начальник НПК-20
+7 (495) 465-86-80 доб. 19-60



**АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«НАУЧНО - ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
«ИСТОК» ИМЕНИ А.И.ШОКИНА»**

Экз. 1

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук, профессора ИЛЬЧУКА Анатолия Ростиславовича на диссертацию Белокурова Владимира Александровича на тему: «Методы и алгоритмы межобзорной обработки сигналов малоразмерных и сверхманевренных радиолокационных объектов с учетом навигационной информации», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.2.16 – Радиолокация и радионавигация (технические науки).

Актуальность темы диссертационных исследований тов. Белокурова В.А. не вызывает сомнения и объясняется следующими факторами.

1.Расширением аэродинамических возможностей современных военных летательных аппаратов (ЛА), особенно самолетов истребительной авиации с изменяемым вектором тяги, что проявляется в возможности совершать высокоманевренный полет с большими перегрузками (8-9 g).

2.Разработкой высокоскоростных (гиперзвуковых) ЛА с возможностью выполнения полетов на скоростях свыше (10-15)М по сложным пространственным траекториям

3.Разработкой ЛА с уменьшенной радиолокационной заметностью, что обеспечивается путем применения специальной геометрии и специального покрытия фюзеляжа.

4.Широким применением беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), обладающих, как правило, малым значением эффективной площади рассеивания (ЭПР).

Указанные обстоятельства затрудняют радиолокационное наблюдение вышеуказанных типов воздушных целей, связанное с уменьшением дальности их обнаружения, снижением точности измерения координат и параметров движения, ухудшением разрешающей способности по скорости, что особенно проявляется в бортовых радиолокационных системах с длительным когерентным накоплением отраженных сигналов

Актуальность темы и направления диссертационных исследований, выявленные при этом несоответствия, обусловили необходимость решения в диссертационной работе тов. Белокурова В.А.Б. актуальной, имеющей важное оборонное значение **научной проблемы**, заключающейся, судя по содержанию диссертации в повышении *эффективности обнаружения сверхманевренных и с пониженной эффективной поверхностью отражения (ЭПО) воздушных целей в бортовых РЛС.*

Отдел документационного
обеспечения МАИ

22 09 2022

Исходя из этого, направление диссертационных исследований БЕЛОКУРОВА В.А., тема работы, научная проблема, решаемая в ней, являются в настоящее время весьма актуальными и имеют важное оборонное значение.

Диссертационная работа выполнена автором в процессе проведения научных исследований, выполненных в ходе следующих научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ на предприятиях и организациях:

-АО «МНИИ «Агат, при разработке алгоритма межобзорного когерентного накопления отражённых сигналов малоотражающего сверхманевренного объекта;

- АО «ГРПЗ», при разработке способа аналитического вычисления порогов обнаружения в алгоритмах межобзорного накопления на фоне негауссовского шума, выполненного в рамках СЧ НИОКР «Разработка радиолокационной станции 3-х миллиметрового диапазона РЛС-3В боевого вертолёта»;

- ПАО «МИЭА», при разработке алгоритма фильтрации выходных сигналов микромеханических гироскопов, позволяющего повысить точность определения угловой ориентации высокоманевренного носителя БРЛС;

- ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина», при разработке алгоритма определения угловой ориентации высокоманевренного носителя БРЛС на основе использования многомодельного фильтра Калмана с перекрёстными связями, для реализации требований учебного плана в рамках учебных дисциплин «Системы локации и навигации», «Средства РЭБ ЛА», «Теоретические основы радиоэлектронной борьбы», «Радиотехнические системы».

Научная новизна диссертации заключается:

В разработке новых способов и алгоритмов обнаружения малоотражающих сверхманевренных объектов, адаптированных под использование в бортовых РЛС и основанных на межобзорной обработке сигналов и использовании навигационной информации. Их практическое применение позволяет повысить характеристики обнаружения лоцируемых бортовыми РЛС объектов.

Полученные научные результаты состоят в следующем:

1. Разработан инвариантный к скорости и многоканальный по ускорению алгоритм 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 алгоритм выбора числа каналов по ускорению в многоканальном обнаружителе маневрирующей цели, который обеспечивает максимизацию средней вероятности правильного обнаружения многоканальной системы обработки.

3. Разработан 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 метод межобзорного накопления отражённых сигналов малоотражающего сверхманевренного объекта, учитывающий навигационную информацию о взаимных эволюциях 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 бортовых РЛС, находящихся на подвижном носителе. Метод позволяет расширить сферу применения межобзорного накопления на более широкий класс РЛС.

5. Разработан алгоритм межобзорного обнаружения 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 эффективный метод вычисления порога обнаружения в алгоритме межобзорного накопления 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 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 алгоритм межобзорного накопления 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 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.

Результаты исследований, указанные в п.п. 1-9 являются новыми.

Теоретическая значимость результатов работы заключается в развитии способов и алгоритмов обнаружения малоотражающих сверхманевренных объектов, учитывающих динамику носителя бортовой РЛС

Обоснованность и достоверность полученных результатов обеспечивается использованием достоверных исходных данных, подтверждается корректным использованием математического аппарата, близостью результатов имитационного моделирования и теоретических расчётов, а также натурных и

полунатурных экспериментов, сопоставлением полученных результатов с результатами независимых источников информации.

Практическая ценность полученных результатов определяется тем, что реализация разработанных методов обеспечивает повышение вероятности правильного обнаружения малоотражающих сверхманевренных целей, что эквивалентно увеличению дальности действия бортовой РЛС до (10 – 12) %

Результаты диссертационного исследования могут быть использованы на предприятиях оборонного комплекса РФ при разработке новых и модернизации существующих бортовых радиолокационных комплексов, в специализированных научно-исследовательских учреждениях при проведении научных исследований, а также в учебном процессе высших учебных заведений России.

Диссертационная работа состоит из введения, семи разделов, заключения, приложения. Содержание разделов изложено в последовательности, обеспечивающей их логическую взаимосвязь. Каждый раздел заканчивается соответствующими выводами. Работа изложена на 338 листах, из них: текст диссертации с графиками и рисунками — 290 листов; оглавление, список литературы и сокращений — 48 листов. В списке литературы 259 наименования.

Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 76 работах. Из них 1 коллективная монография, 31 статья в журналах, рецензируемых ВАК РФ, 15 публикаций в международных базах (Scopus, Web of Science), 26 докладов на всероссийских и международных научнотехнических конференциях, 3 патента на способ, 1 патент на устройство.

Число работ без соавторства 16, из них 7 статей в журналах, рецензируемых ВАК РФ, 8 докладов на всероссийских и международных научно-технических конференциях, 1 доклад, вошедший в базу данных Scopus.

Результаты работы достаточно полно апробированы на научных конференциях:

Международных конференциях: 17th Saint Petersburg International conference on integrated navigation systems: Proceedings (Saint Petersburg, 2010); 18th Saint Petersburg International conference on integrated navigation systems: Proceedings (Saint Petersburg, 2011); 2nd Mediterranean Conference on Embedded Computing MECO-2013 (Budva, Montenegro, 2013); Международная IEEE-сибирская конференция по управлению и связи (Sibcon-2013) (Красноярск, 2013); 19th Saint Petersburg International conference on integrated navigation systems: Proceedings (Saint Petersburg, 2012); 24th International Crimean Conference Microwave and Telecommunication Technology Conference Proceedings. CriMiCo 2014 (Crime, 2014); 12th International conference on actual problems of electronic instrument engineering (APEIE) (Novosibirsk, 2014); 22th Saint Petersburg International conference on integrated navigation systems: Proceedings (Saint Petersburg, 2015); 23th Saint Petersburg International conference on integrated navigation systems: Proceedings (Saint Petersburg, 2016); 6-th Mediterranean Conference on Embedded Computing MECO-2017 (Bar, Montenegro, 2017); 7nd Mediterranean Conference on Embedded Computing MECO-2018 (Budva, Montenegro, 2018); 8nd Mediterranean Conference on Embedded Computing MECO-2019 (Budva, Montenegro, 2019); 9nd Mediterranean Conference on Embedded Computing MECO2020 (Budva, Montenegro, 2020); V Международной научно-технической конференции DSPA-2005 (Москва, 2003); VII Международной

научно-технической конференции DSPA-2005 (Москва, 2005); XII Международной научно-технической конференции DSPA-2010 (Москва, 2010); XVI Международная научно-техническая конференция «Информационные системы и технологии ИСТ-2010» (Нижний Новгород, 2010); XIII Международной научно-технической конференции DSPA-2011 (Москва, 2011); 4-я Международная научно-техническая конференция ARMIMP-2011 (Суздаль, 2011); XIX-я международная научно-техническая конференция «Современные телевидение и радиоэлектроника» (Москва, 2011); XX-я Международная научно-техническая конференция «Современное телевидение и радиоэлектроника» (Москва, 2012); 5-я Международная научно-техническая конференция ARMIMP-2012 (Суздаль, 2012); XV Международной научно-технической конференции DSPA-2013 (Москва, 2013); X-я Международная конференция «Перспективные технологии в средствах передачи информации—ПТСПИ 2013» (Владимир, 2013); XI-я Международная конференция «Перспективные технологии в средствах передачи информации—ПТСПИ 2015» (Владимир, 2015); XIV-я Международная конференция «Перспективные технологии в средствах передачи информации—ПТСПИ 2021» (Владимир, 2021); XVIII Международной научно-технической конференции DSPA-2016 (Москва, 2016); XXV Международная научно-техническая конференция «Радиолокация, навигация, связь» (Воронеж, 2019); XXVII Международная научно-техническая конференция «Радиолокация, навигация, связь» (Воронеж, 2021); 9th Mediterranean Conference on Embedded Computing MECO-2020 (Budva, Montenegro, 2020); 12-я Международной научно-технической конференции «Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций» (Рязань, 2003);

Всероссийских конференциях: II-я Всероссийская НТК «Радиолокационная техника: устройства, станции, системы РЛС-2010» (Муром, 2010); 67-я Всероссийская конференция с международным участием «Научная сессия, посвящённая Дню радио» (Москва, 2012); II-я Всероссийская конференция «Радиоэлектронные средства передачи и приёма сигналов и визуализации информации» (Таганрог, 2012); Всероссийской научно-технической конференции «Актуальные проблемы современной науки и производства» (Рязань, 2017); XII-я Всероссийская научно-техническая конференция «Радиолокация и радиосвязь» (Москва, 2018); Всероссийской конференции «Радиоэлектронные устройства и системы для инфокоммуникационных технологий» (REDS-2019) (Москва, 2019).

Содержание автореферата в достаточной мере соответствует основным результатам и выводам диссертационной работы.

Вместе с тем, по диссертации можно отметить несколько **критических предложений**, к которым можно отнести следующие.

1. 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 навигационной параметров ЛА, что является, в общем случае, проблемой при разработке бортового комплекса навигации и самолетовождения, но не связано с обработкой

информации в БРЛС.

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

2. На стр.94 (рис.40) диссертации 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.

3. 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 отраженных сигналов с реализацией многоканальной по дальности, скорости, ускорению системой обработки сигналов;
- реализация межобзорной обработки отраженных 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.

4. Глава 6, ряд подразделов главы 7 посвящены вопросам фильтрации сигналов бортовых навигационных датчиков различной физической природы (ДУС, лазерный гироскоп и т.д.) 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, приведенных в диссертации.

5. Подраздел 3.5 посвящен 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 использовался 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.

Выводы. Отмеченные критические предложения носят, главным образом дискуссионный характер и в целом не снижают научного уровня и практической ценности работы. Диссертация БЕЛОКУРОВА В.А. «Методы и алгоритмы межобзорной обработки сигналов малоразмерных и сверхманевренных радиолокационных объектов с учетом навигационной информации» является завершённой научно-квалификационной работой, выполненной лично автором. В ней содержатся новое решение научной проблемы имеющей существенное значение для развития обороноспособности страны, которое позволит повысить эффективность обнаружения сверхманевренных, с низкой эффективной отражающей поверхностью, воздушных целей в бортовых РЛС.

По содержанию диссертация соответствует паспорту по специальности 2.2.16 – Радиолокация и радионавигация (технические науки).

По степени новизны, своей научной значимости и практической ценности работа удовлетворяет требованиям п.9 Постановления Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842 «Положение о присуждении ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, и п.6 Постановления Правительства Российской Федерации от 17 марта 2015 г. №235 «Положение о присуждении ученых степеней лицам, использующих в своих работах сведения, составляющие государственную тайну», а ее автор БЕЛОКУРОВ Владимир Александрович заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 2.2.16 – Радиолокация и радионавигация (технические науки).

Официальный оппонент

доктор технических наук, профессор

«05» 09 2022 г.

А. Р. Ильчук

Подпись официального оппонента доктора технических наук, профессора Ильчука Анатолия Ростиславовича заверяю.

Директор по персоналу АО «НИИ «Исток» им. Шокина»



Н.А. Рубцова

С отзвом оппонента
22.09.2022
Бенед