

СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ

Диссертационный совет: 24.2.327.01

Соискатель: Каменский Кирилл Владимирович

Тема диссертации: «Компенсация траекторных нестабильностей носителя радиолокатора с синтезированием апертуры антенны при непрерывном излучении»

Специальность: 2.2.16. – «Радиолокация и радионавигация»

Решение диссертационного совета по результатам защиты:

на заседании 29 декабря 2022 года, протокол № 10, диссертационный совет пришёл 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 Каменскому Кириллу Владимировичу учёную степень кандидата 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., Гринев А.Ю., Добычина Е.М., Кириллов В.Ю., Куприянов А.И. Мартиросов В.Е., Назаров А.В., Овчинникова Е.В., Плохих А.П., Сычев М.И., Татарников Д.В., Шевцов В.А., Юдин В.Н.

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

А.А. Горбунова

Начальник отдела УДС МАИ

Т.А. Аникина



ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.327.01 НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВА-
ТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «МОСКОВСКИЙ
АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬ-
СКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)» ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ
СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 29.12.2022, протокол № 10

О присуждении Каменскому Кириллу Владимировичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Компенсация траекторных нестабильностей носителя радиолокатора с синтезированием апертуры антенны при непрерывном излучении» по специальности 2.2.16. – «Радиолокация и радионавигация» (технические науки) принята к защите «26» октября 2022 года (протокол заседания № 7) диссертационным советом 24.2.327.01 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 Каменский Кирилл Владимирович, 11.10.1989 года рождения.

Каменский Кирилл Владимирович, в 2013 году окончил Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский авиационный институт» (нацио-

нальный исследовательский университет) «МАИ» по специальности «Радиотехника». С сентября 2018 года по август 2022 года обучался в очной аспирантуре ФГБОУ ВО «Московского авиационного института» (национальный исследовательский университет) по научной специальности 05.12.14. – «Радиолокация и радионавигация».

Диссертация выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» на кафедре 410 «Радиолокация, радионавигация и бортовое радиоэлектронное оборудование».

Научный руководитель – доктор технических наук, **Гаврилов Константин Юрьевич**, профессор кафедры 410 «Радиолокация, радионавигация и бортовое радиоэлектронное оборудование» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»; заместитель директора НПЦ ПРЛС МАИ (НИУ); профессор кафедры 806 «Вычислительная математика и программирование» МАИ (НИУ); профессор кафедры «Радиолокация, управление и информатика» ФГАОУ ВО МФТИ.

Официальные оппоненты:

1. **Детков Александр Николаевич**, доктор технических наук., профессор, заместитель начальника подразделения 0500 по научно-технической работе ФАУ «ГосНИИАС»;

2. **Цветков Олег Евгеньевич**, кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник ООО «ЗелПром-Телеком».

Ведущая организация – **АО «Концерн радиостроения «Вега»**, г. Москва, в своем положительном отзыве, подписанном Майстренко Евгением Владимировичем, к.т.н., начальником научно-исследовательского отдела научно-образовательного центра АО «Концерн «Вега», Филатовым Александром Александровичем, к.т.н., заместителем директора научно-

образовательного центра АО «Концерн «Вега», и утверждённом Мекекечко Василием Владимировичем, директором по НИОКР, начальником центра научно-технического развития АО «Концерн «Вега», указала, что диссертация Каменского К.В. «Компенсация траекторных нестабильностей носителя радиолокатора с синтезированием апертуры антенны при непрерывном излучении» является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны теоретические положения и решена важная научная задача, также диссертационная работа полностью соответствует Положению о присуждения ученых степеней, утвержденного Правительством РФ от 24 сентября 2013 года №842.

Автореферат отражает основное содержание диссертации. Представленная работа соответствует паспорту специальности 2.2.16. – «Радиолокация и радионавигация».

Сделаны выводы о том, что автор Каменский Кирилл Владимирович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.16. – «Радиолокация и радионавигация».

Отзыв был обсужден и одобрен на заседании секции № 2 Научно-технического совета АО «Концерн «Вега» (протокол № 2 от 8.12.2022г).

Соискатель имеет 11 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 11 работ, из них в рецензируемых научных изданиях 6 работ: 4 научные статьи в журналах, рекомендованных ВАК РФ, и 2 работы в зарубежных изданиях, индексируемых в международных системах цитирования Web of Science и Scopus. Материалы диссертации были доложены на 4 научно-технических конференциях.

Наиболее значимые научные работы соискателя:

в рецензируемых научных изданиях:

1. Гаврилов К.Ю., **Каменский К.В.** Восстановление радиолокационного профиля протяжённой цели при радиолокационном зондировании непрерывным ЛЧМ-сигналом // Радиотехника. 2019. Т.83. №11(17). С.26–42.

2. Гаврилов К.Ю., **Каменский К.В.**, Малютина О.А. Моделирование траекторного сигнала в радаре с синтезированием апертуры на основе оптических изображений земной поверхности // Труды МАИ. 2021. №118.

URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=158252>.

DOI: 10.34759/trd-2021-118-12.

3. **Каменский К.В.** Влияние траекторных нестабильностей и характеристик бортовой навигационной системы на качество радиолокационного изображения при синтезировании апертуры // Труды МАИ. 2022. №125.

URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=168186>.

DOI: 10.34759/trd-2022-125-14.

4. **Каменский К.В.** Компенсация движения и коррекция миграции при обработке траекторного сигнала в радиолокаторе с синтезированием апертуры антенны при непрерывном излучении // Радиотехника. 2022. Т.86. №7. С.113–133. DOI: 10.18127/j00338486-202207-18.

Ключевые моменты диссертационной работы изложены в 4 работах: в рецензируемых научных изданиях. Работы [1-2] написаны в соавторстве: [1-2] – с К.Ю. Гавриловым, [2] – с О.А. Малютиной.

В работе [1] проанализирована проблема сильного искажения амплитудного спектра преобразованного сигнала, соответствующего радиолокационному профилю протяжённой цели при её зондировании непрерывным излучением с линейно-частотной модуляцией. Введён показатель искажения спектра, приведены результаты серий численных экспериментов, направленных на исследование влияния различных параметров математической модели преобразованного сигнала на искажения радиолокационного профиля протяжённой цели. На основе анализа полученных результатов предложены методы восстановления радиолокационного профиля такой цели.

В работе [2] рассмотрены различные подходы, используемые при моделировании траекторного сигнала в радиолокаторах с синтезированием апертуры. Описаны особенности формирования траекторного сигнала, связанные с согласованием числа точечных отражателей, пикселей оптического

изображения и параметров радиолокатора, включающих в себя разрешающие способности по наклонной и курсовой дальности, период повторения зондирующего сигнала и другие. Предложен метод численного моделирования траекторного сигнала путём прямого формирования на основе оптического изображения в оттенках серого. Предложен метод устранения искажений синтезированного радиолокационного изображения, связанных с появлением горизонтальных и вертикальных полос чёрного и белого цвета при обработке траекторного сигнала, полученного путём численного моделирования. Работоспособность предложенных решений проиллюстрирована с помощью примеров моделирования траекторного сигнала и радиолокационных изображений, полученных на основе оптических изображений.

В работе [3] на основе рассмотрения математической модели траекторного сигнала и метода обратного проецирования разработана и предложена методика оценки влияния различных факторов, включая траекторные неустойчивости, на качество радиолокационных изображений. Показано, как разработанная методика может быть применена для оценки характеристик бортовой навигационной системы, используемой в составе комплекса беспилотного носителя. На конкретном примере получены результаты применения этой методики для различных типов движения носителя РСА: прямолинейного движения; движения с постоянным смещением относительно заданной траектории; движения с линейным и нелинейным законами траекторной неустойчивости. Сделан вывод, что частота выдачи данных от бортовой навигационной системы должна быть не ниже частоты дискретизации траекторного сигнала по оси медленного времени, а приемлемая точность измерения координат определяется ожидаемой интенсивностью траекторной неустойчивости.

В работе [4] рассмотрена математическая модель траекторного сигнала, лежащая в основе метода формирования радиолокационного изображения, известного под названием «Дальностно-доплеровский алгоритм». Представлен новый метод компенсации движения, реализующий идею фильтровой

обработки. Проведены численные эксперименты для сравнения разработанного метода с известным методом компенсации движения с усреднением по центру луча. Установлено, что предложенный метод, с одной стороны, уступает ранее известному в достигаемом разрешении по азимуту, а, с другой стороны, имеет качественное преимущество, заключающееся в обеспечении независимости разрешающей способности по азимуту от наклонной дальности. На основе предложенного метода компенсации движения носителя разработан метод коррекции миграции по дальности. Проведено сравнение разработанного метода коррекции миграции с известным методом, использующим аппроксимацию косинуса угла визирования. Выявлено, что новый метод коррекции миграции не уступает в достигаемой разрешающей способности по дальности и азимуту ранее известному методу. Кроме того, установлено, что разработанный метод коррекции миграции обладает качественным преимуществом, выражающимся в устранении причины появления дефекта радиолокационного изображения в виде его сдвинутых по азимуту копий.

Помимо указанных работ у автора диссертации имеются работы, опубликованные в других изданиях и в сборниках трудов научно-технических конференций, в том числе международных.

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

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

Детков Александр Николаевич (официальный оппонент).

Отзыв заверил учёный секретарь ФАУ «ГосНИИАС», д.т.н., профессор Мужичек Сергей Михайлович.

В замечаниях по диссертационной работе указано на: спорность утверждения автора о том, что «размещение РЛС на борту малых и сверхмалых БПЛА предполагает ограничения по массе для радиоэлектронной аппаратуры, поэтому используются радиолокаторы непрерывного излучения»; также отмечено, что в работе не обозначены рамки исследований, и, в частности, не показано, что все разработанные

алгоритмы получены при отношении сигнал-шум на входе приёмника РСА существенно больше единицы; также указано на отсутствие в работе рассмотрения влияния упругих колебаний корпуса носителя РСА и погрешностей измерения радиальной скорости носителя, которые оказывают, по сравнению с траекторными нестабильностями, более существенное влияние на фазовые искажения траекторного сигнала РСА.

При этом подчеркнуто, что отмеченные недостатки не наносят существенного ущерба значимости результатам диссертационной работы и не отражаются на её общей положительной оценке. Указано, что диссертационная работа Каменского К.В. является выполненной автором лично завершённой научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи, имеющей значение для развития радиолокации; диссертация соответствует требованиям Положения ВАК о порядке присуждения ученых степеней, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а её автор – Каменский Кирилл Владимирович заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.2.16. – «Радиолокация и радионавигация».

Цветков Олег Евгеньевич (официальный оппонент).

Отзыв заверен начальником кадровой службы ООО «ЗелПром-Телеком» Меркуловой Ириной Николаевной.

В замечаниях по диссертационной работе указано, что в качестве модели функции отражения рассматривается набор отражателей с одинаковыми начальными фазами переотражения, что является грубым упрощением реального процесса формирования отражённого сигнала земной поверхностью (основная модель – набор отражателей со случайными амплитудами и случайными фазами переотражения, распределёнными равномерно); указано, что при описании алгоритма «Дальность–доплер» метод как таковой не рассмотрен; отмечено, что автор при анализе влияния искажающих факторов излишне представляет результаты моделирования

вместо аналитических расчётов; также отмечено, что в современных РСА оценка реальной траектории (точнее, её параметров) определяется по измерениям БИНС (земные скорости и ускорения, комплексированные с СРНС). Требования по точности измерений этих параметров известны. Тем не менее, автор приходит к выводу о необходимости высокоточных измерений непосредственно координат ФЦА с точностью порядка миллиметров, что является крайне трудно достижимым для реальных условий.

При этом отмечено, что указанные недостатки в целом не снижают научной и практической ценности диссертационной работы. Сделаны выводы о том, что диссертация Каменского К.В. «Компенсация траекторных нестабильностей носителя радиолокатора с синтезированием апертуры антенны при непрерывном излучении» является завершённой научно-квалификационной работой, которая логично выстроена и хорошо оформлена, содержит решение научной задачи, имеющей значения для развития соответствующей отрасли знаний, а также соответствует требованиям Положения о порядке присуждения учёных степеней, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата технических наук, а её автор заслуживает присуждения искомой учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.2.16. – «Радиолокация и радионавигация».

АО «Концерн радиостроения «Вега» (ведущая организация)

Отзыв утверждён директором по НИОКР, начальником центра научно-технического развития АО «Концерн «Вега», Василием Владимировичем Мекекечко.

В замечаниях по диссертационной работе указано на нехватку конкретных практических рекомендаций, относящихся к составным частям РЛС и элементам бортового комплекса беспилотного носителя, которые могли бы парировать возникающие траекторные нестабильности; отмечено, что заданная автором на странице 36 высота цели в 1000 метров не соответствует ти-

повым объектам радионаблюдения и может рассматриваться как частный случай при наблюдении, например, гористой местности при больших перепадах высот; утверждается, что более правильно говорить, что в основе метода обратного проецирования лежит преобразование Радона (теорема обратных проекций), а описываемый цифровой фильтр является способом реализации данного метода; подчёркивается, что п.1.1 диссертации относится к категории учебного материала, а не исследовательского вопроса; указывается на противоречие между непрерывным режимом излучения рассматриваемой РЛС и цитатой со страницы 29, где говорится, что «максимальное значение функции достигается в центральной части длительности зондирующего ЛЧМ-сигнала»; также в замечаниях говорится об отсутствии раскрытия понятия «структура цели» и отмечаются неточности в оформлении диссертации: на странице 30 после выражения (1.17) пропущено слово «цель», а в списке сокращений отсутствует идентификатор «БНС».

Сделан вывод, что перечисленные замечания несколько снижают общее положительное впечатление от диссертационного исследования. При этом отмечено, что основные результаты могут быть использованы в организациях, специализирующихся в разработке бортовых РЛС высокого разрешения для малогабаритных БЛА, для решения задач мониторинга и картографирования земной поверхности. Рекомендовано продолжить дальнейшую работу над развитием возможностей по обработке РЛИ в интересах задач обнаружения, распознавания и сопровождения объектов интереса.

Учитывая объём проделанной работы и полученные результаты, диссертационная работа Каменского Кирилла Владимировича отвечает требованиям Положения о порядке присуждения учёных степеней ВАК, предъявляемых к кандидатским диссертациям, а её автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.2.16. – «Радиолокация и радионавигация».

На автореферат и диссертацию также поступило 8 отзывов из организаций:

1. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «МИРЭА – Российский технологический университет», г. Москва – отзыв подписан профессором кафедры радиоэлектронных систем и комплексов, д.т.н., профессором Куликовым Г.В. и заверен начальником Управления кадров Бухановой М.М.

2. Публичное акционерное общество «Научно-производственное объединение «Алмаз» (ПАО «НПО «Алмаз»), отдельное конструкторское бюро «Лианозовский электромеханический завод» (ОКБ «ЛЭМЗ»), г. Москва – отзыв подписан главным научным сотрудником ПАО «НПО «Алмаз» ОКБ «ЛЭМЗ», д.т.н., с.н.с. Вовшиным Б.М. и заверен заместителем генерального директора, начальником отдельного конструкторского бюро «ЛЭМЗ», Лаврентьевым Е.А.

3. Акционерное общество «Центральный научно-исследовательский радиотехнический институт имени академика А.И. Берга» (ЦНИРТИ им. академика А.И. Берга), г. Москва – отзыв подписан главным конструктором направления РСА, к.т.н. Татаренковым К.В., заверен ученым секретарём, к.т.н. Карев В.В. и утверждён генеральным директором, председателем Учёного совета, д.т.н., профессором Андреевым Г.И.

4. «Муромский институт (филиал) Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых» – отзыв подписан профессором кафедры «Радиотехника» МИВлГУ, д.т.н, профессором Костровым В.В. и заверен ученым секретарем Ученого Совета МИВлГУ Полулях О.Н.

5. Ордена Трудового Красного Знамени федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский технический университет связи и информатики» – отзыв подписан заведующим кафедрой «Радиотехнические системы» МТУСИ, д.т.н., доцентом Чиро-

вым Д.С и заверен главным специалистом отдела кадров МТУСИ Нуралиной С.С.

6. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный технический университет» – отзыв подписан заведующим кафедрой «Радиотехника» ФГБОУ ВО «ТГТУ» д.т.н., профессором Пудовкиным А.П. и заверен ученым секретарем ФГБОУ ВО «ТГТУ», к.т.н., доцентом Мозговой Г.В.

7. Акционерное общество «Корпорация «Фазотрон-научно-исследовательский институт радиостроения» – отзыв подписан начальником отдела 13 АО «Корпорация «Фазотрон-НИИР», к.т.н, с.н.с Форштером А.А. и утвержден Первым заместителем генерального директора – Генеральным конструктором АО «Корпорация «Фазотрон-НИИР», к.т.н. Гуськовым Ю.Н.

8. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина» (ФГБОУ ВО «РГРТУ», РГРТУ) – отзыв подписан д.т.н., профессором Кошелевым В.И. и заверен учёным секретарём учёного совета РГРТУ им. В.Ф. Уткина Бухенским К.В.

Основные замечания по содержанию работы:

В замечаниях на автореферат отмечается, что разработанный симулятор основан на многоточечном представлении протяжённых целей, что является существенным упрощением и обосновывается недостаточно убедительно; в работе рассмотрены методы компенсации движения и коррекции миграции только для дальностно-доплеровского алгоритма, тогда как широко применяются и другие методы формирования РЛИ; указывается на недостаток количественных данных, что затрудняет дать оценку эффективности предложенных методов; предложенные в работе методы борьбы с муаровым узором опираются на результаты численных экспериментов, тогда как более надёжным и обоснованным выглядит аналитическое описание влияния интерфе-

ренционной картины на наблюдаемый муаровый узор; не указано отношение сигнал/шум, заложенное в модель формирования РЛИ; не рассмотрены разрешающие способности РСА по азимуту и наклонной дальности порядка одного метра; не указан динамический диапазон РЛИ; неясна связь между детерминированной моделью, на которую опирается диссертация, и традиционно используемой квазидетерминированной для описания спекл-шума; опора на математическую модель непрерывного сигнала выглядит сомнительным решением, учитывая, что тракторный сигнал обрабатывается цифровым устройством; в диссертации не уделено внимание техническим решениям для операций «Сжатие по азимуту» и «Автофокусировка»; предложенный показатель искажения спектра ограничен применением только в ситуации имитационного моделирования, где заранее известно, каким должен быть радиолокационный профиль протяжённой цели; не раскрыт алгоритм работы блока «Сжатие по дальности» в структуре обработки сигналов РСА с непрерывным излучением; из автореферата не ясно, какие частоты и амплитуды синусоидальных траекторных нестабильностей использовались в модели при определении требований к БНС; в диссертации не рассматривается влияние упругих колебаний корпуса, которые так же относят к траекторным нестабильностям; в автореферате предлагается схема дальностно-доплеровского алгоритма, состоящая из пяти блоков, но не поясняется, почему выбор ограничен только ими; утверждается, что предлагаемый алгоритм компенсации движения устраняет зависимость разрешения по азимуту от наклонной дальности, но по предложенным графикам очевидно, что зависимость есть, хоть её характер и существенно изменился; отсутствуют сведения о технической реализации разработанных автором методов в отечественных радиолокаторах с синтезированием апертуры; нет данных о возможной дальности действия предполагаемой БРЛС, в которой используются наработки автора; разработанный программный комплекс реализован в проприетарной среде Matlab, что ограничивает возможности его свободного использования.

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 радиолокации и радионавигации, соответствующей специальности диссертации; имеют публикации, близкие по теме диссертационной работы, являются сотрудниками разных организаций и не имеют совместных публикаций с соискателем. Ведущая организация известна своими научными достижениями в соответствующей сфере исследования, что подтверждается актуальными публикациями ее сотрудников – Белов С.Г., Верба В.С., Меркулов В.И., Татарский Б.Г. и др. 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:

– **предложено** математическое описание детерминированного траекторного сигнала РСА непрерывного излучения с линейно-частотной модуляцией на основе многоточечной модели целей, позволившее обосновать природу появления дефектов на РЛИ в виде тёмных полос, волнообразных помех и муаровых узоров;

– **предложена** методика исследования влияния детерминированных траекторных нестабильностей движения носителя РСА на качество РЛИ, формируемого с помощью дальностно-доплеровского алгоритма;

– **разработан** алгоритм компенсации движения при обработке траекторных сигналов на основе дальностно-доплеровского алгоритма в РСА непрерывного излучения с линейно-частотной модуляцией, позволяющий добиться независимости разрешения по азимуту от наклонных дальностей;

– **разработан** алгоритм коррекции миграции сигналов по дальности при формировании РЛИ на основе дальностно-доплеровского алгоритма в РСА непрерывного излучения с линейно-частотной модуляцией, позволяющий устранить помеху в виде сдвинутых по азимуту копий РЛИ.

Теоретическая значимость исследований обоснована тем, что:

- **проведён анализ:** влияния различных параметров математической модели преобразованного сигнала на радиолокационный профиль протяжённой цели; методов формирования РЛИ, представляющих собой частные случаи метода обратного проецирования; математической модели траекторного сигнала при его обработке с помощью дальностно-доплеровского алгоритма; методов компенсации движения носителя при формировании РЛИ с помощью дальностно-доплеровского алгоритма; методов моделирования траекторного сигнала РСА непрерывного излучения с линейно-частотной модуляцией; влияния на качество РЛИ параметров математической модели траекторного сигнала;
- **описана** математическая модель траекторного сигнала при его обработке с помощью дальностно-доплеровского алгоритма;
- **раскрыты:** принципы и особенности формирования РЛИ в РСА непрерывного излучения с линейно-частотной модуляцией; процесс обработки траекторного сигнала методом обратного проецирования, позволяющего добиваться наилучшего качества РЛИ; принцип изменения методики исследования влияния различных факторов на качество РЛИ в зависимости от выбора метода обработки траекторного сигнала, а также особенность операции коррекции миграции, позволяющая отказаться от известной аппроксимации косинуса угла визирования;
- **получены:** условия отсутствия искажений радиолокационного профиля протяжённой цели пространственной интерференционной картиной; результаты анализа эффективности предложенных алгоритмов компенсации движения и коррекции миграции.

– **эффективно использованы:** введённый показатель искажения амплитудного спектра преобразованного сигнала; объективные критерии качества РЛИ, измеряемые по функции отклика точечного отражателя; представление времени задержки как суммы составляющих, связанных с кратчайшим расстоянием до цели, с идеальным движением носителя и с наличием траекторной неустойчивости.

Значение полученных соискателем результатов исследований для практики подтверждается тем, что:

- **описаны** закономерности влияния параметров математической модели преобразованного (и, соответственно, траекторного) сигнала РСА непрерывного излучения с линейно-частотной модуляцией на искажения радиолокационного профиля целей, представленных многоточечной моделью;
- **разработаны:** методы восстановления радиолокационного профиля, искажённого пространственно-временной интерференцией радиоволн; метод численного моделирования траекторного сигнала для РСА непрерывного излучения с линейно-частотной модуляцией; алгоритм компенсации движения носителя и алгоритм коррекции миграции сигналов по дальности при формировании РЛИ с помощью дальностно-доплеровского алгоритма; методика количественной оценки влияния различных факторов на качество РЛИ;
- **создан** программный комплекс, позволяющий моделировать траекторный сигнал и поэтапно демонстрировать процесс формирования РЛИ при использовании различных методов обработки;
- **определены** перспективы применения разработанных алгоритмов компенсации движения и коррекции миграции при формировании РЛИ с помощью дальностно-доплеровского алгоритма для РСА непрерывного излучения с линейно-частотной модуляцией;
- результаты диссертационной работы **внедрены** в учебный процесс кафедры № 410 МАИ (НИУ) и используются в материалах лекций, а также при проведении практических занятий и лабораторных работ, проводимых по дисциплине «Моделирование РЛС», «Теоретические основы радиолокации и

радионавигации», «Обработка сигналов в бортовых РЛС», которые преподаются на кафедре 410 «Радиолокация, радионавигация и бортовое радиоэлектронное оборудование» для бакалавров направления подготовки 11.03.01 «Радиотехника», магистров направления подготовки 11.04.01 «Радиотехника» и специалистов специальности 11.05.01 «Радиоэлектронные системы и комплексы».

Оценка достоверности результатов исследований выявила:

– **корректное использование** методов математического анализа, теории вероятности и математической статистики, корректность исходных положений и правильность математических преобразований, используемых при разработке алгоритмов, структур и математических моделей разрабатываемых алгоритмов;

– **использование** апробированного, общепризнанного в профессиональной среде и широко применяемого программного обеспечения фирмы MathWorks® (MATLAB);

– **сопоставимость** результатов теоретического анализа, аналитического расчета, имитационного и натурального моделирования.

Личный вклад соискателя состоит в:

– **постановке и решении** частных задач, определяемых декомпозицией научной задачи, состоящей в разработке алгоритмов и программ исследования компенсации фазовых искажений в траекторном сигнале, вызванных траекторной нестабильностью движения носителя РСА;

– **разработке и исследовании** моделей протяжённых целей и траекторных сигналов; методов компенсации движения носителя радиолокатора; методов коррекции миграции сигналов по дальности; алгоритмов и программ в среде MATLAB; методов исследований и инструментов, необходимых для их проведения;

– **проведении** исследований физических причин дефектов на РЛИ, методов численного моделирования траекторного сигнала, методов формирования РЛИ, методов компенсации влияния траекторных нестабильностей;

- **анализе** результатов, полученных в ходе расчётов и экспериментов;
- **составлении** текстов публикаций по теме работы, а также личном участии в конференциях по тематике исследований.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:

1. В диссертации рассматривается траекторная нестабильность как детерминированная функция, что противоречит распространённой точке зрения о необходимости описывать траекторную нестабильность с использованием вероятностных характеристик.

2. Предъявляемые в диссертации требования к точности измерения координат бортовой навигационной системой носителя РСА крайне трудно реализовать на практике.

Соискатель Каменский Кирилл Владимирович ответил на задаваемые ему в ходе дискуссии вопросы и привёл собственную аргументацию.

На основании вышеизложенного, диссертационный совет заключает, что рассматриваемая диссертация является научно-квалификационной работой, в которой предложено решение актуальной научно-технической задачи, имеющей существенное значение для радиолокации – радиовидения с использованием радиолокаторов непрерывного излучения с синтезированием апертуры при условии наличия траекторных нестабильностей носителя.

Диссертация Каменского К.В. соответствует всем требованиям Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года №842

На заседании 29 декабря 2022 г. диссертационный совет принял решение присудить Каменскому К.В. учёную степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 5 докторов наук по специальности 2.2.16. – «Радиолокация и радионавигация», 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

29.12.2022 г.

Начальник диссертационного совета МАИ
Т.А. Аникина

