

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.340.03, СОЗДАННОГО НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АВТОНОМНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ "НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. Н.И. ЛОБАЧЕВСКОГО"
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 19.03.2025 г. № 1.

О присуждении Артюхину Игорю Владимировичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Синтез алгоритмов пространственной обработки сигналов в современных системах автомобильных ММО радаров» по специальности 1.3.4. – Радиофизика принята к защите 25 декабря 2024 г., протокол № 81, диссертационным советом 24.2.340.03, созданным на базе Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 603022, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, д. 23, приказом № 105/нк от 11.04.2012 г.

Соискатель, Артюхин Игорь Владимирович, 18 февраля 1978 года рождения, в 2000 году окончил специалитет радиофизического факультета Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского по специальности «радиофизика и электроника». С 2000 по 2003 год обучался в аспирантуре радиофизического факультета (специальность 01.04.03 – Радиофизика).

В период подготовки диссертации Артюхин Игорь Владимирович работал и работает по настоящее время в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского» в должности электроника 1 категории на кафедре статистической радиофизики и мобильных систем связи радиофизического факультета.

Диссертация выполнена на кафедре статистической радиофизики и мобильных систем связи радиофизического факультета ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель доктор физико-математических наук Флакман Александр Григорьевич, профессор кафедры статистической радиофизики и мобильных систем связи радиофизического факультета федерального государственного автономного образовательного

учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского».

Официальные оппоненты:

1. Капин Александр Васильевич, гражданин Российской Федерации, доктор технических наук (специальность 05.12.07 – Антенны, СВЧ устройства и их технологии), профессор, научный руководитель филиала федерального государственного унитарного предприятия «Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики» «Научно-исследовательский институт измерительных систем им. Ю.Е. Седакова» (филиал РФЯЦ-ВНИИЭФ «НИИИС им. Ю.Е. Седакова»),
2. Родионов Александр Алексеевич, гражданин Российской Федерации, кандидат физико-математических наук (специальность 01.04.03 – Радиофизика заведующий лабораторией Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук»

дали **положительные** отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет им. В.И. Ульянова (Ленина)», г. Санкт-Петербург, в своем **положительном** отзыве, утвержденном 03.02.2025 г., подписанном кандидатом технических наук Веремьевым В.И., директором НИИ систем прогнозирования и мониторинга чрезвычайных ситуаций (НИИ "Прогноз") Санкт-Петербургского государственного университета «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)», указала, что диссертация Артюхина Игоря Владимировича удовлетворяет требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Артюхин Игорь Владимирович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4. – Радиофизика.

Соискатель имеет 28 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 10 работ, из них в рецензируемых научных изданиях, индексируемых WoS, Scopus и RSCI, опубликовано 5 работ. Основные результаты диссертации были представлены на международных и всероссийских конференциях.

Авторский вклад соискателя в опубликованные в соавторстве работы заключается в проведении аналитических исследований, численного моделирования, обработке экспериментальных данных, анализе полученных результатов, формулировании выводов и подготовке текстов публикаций.

Проверка текста диссертации не выявила неправомерных заимствований. Исследования являются оригинальными и представляются к защите впервые. В диссертации отсутствуют

недостовверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Ермолаев, В.Т. Метод формирования виртуальных приемных каналов в автомобильном ММО-радаре / В.Т. Ермолаев, В.Ю. Семенов, А.Г. Флакман, **И.В. Артюхин**, О.А. Шмонин // Радиотехника. – 2021. – Т. 85. – № 7. – С. 115-126.
2. **Артюхин, И.В.** Концепция двухэтапного подавления помех в автомобильных радарах / **И.В. Артюхин** [и др.] // Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. – 2022. – №7. – С. 1-21.
3. **Артюхин, И.В.** Алгоритм оценки углов прихода сигналов в системе распределенных некогерентных автомобильных радаров / **И.В. Артюхин** [и др.] // Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. – 2023. – №4. – С. 1-20.
4. **Артюхин, И.В.** Двумерный алгоритм с последовательной оценкой углов прихода сигналов в системе когерентных распределенных автомобильных радаров с несколькими приемными и передающими антеннами / **И.В. Артюхин** // Российский технологический журнал. – 2024. – Т. 12. – №3. – С. 65-77.
5. **Артюхин, И.В.** Исследование эффективности оценки углов прихода сигналов на основе экспериментальных данных и численного моделирования для системы распределенных некогерентных автомобильных радаров / **И.В. Артюхин**, А.Г. Флакман, А.Е. Рубцов // Радиотехника и электроника. – 2024. – Т. 69. – № 4. – С. 357-363.

На диссертацию и автореферат поступило 5 отзывов от:

1. Малеханова Александра Игоревича, кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – Радиофизика, заведующего отделом геофизической акустики федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова Российской академии наук» (ИПФ РАН), г. Нижний Новгород.
2. Мякинкова Александра Валерьевича, доктора технических наук по специальности 05.12.14 – Радиолокация и радионавигация, доцента, директора института радиоэлектроники и информационных технологий федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», г. Нижний Новгород.
3. Агудова Николай Викторовича, кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – Радиофизика, заместителя директора по науке ООО «Инжиниринговый центр Университета Лобачевского», г. Нижний Новгород.
4. Милова Владимира Ростиславовича, доктора технических наук по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации, профессора, главного научного

сотрудника - руководителя проектов по научно-техническому развитию и Скрипника Игоря Владимировича, кандидата технических наук по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации, заместитель генерального директора по научно-техническому развитию, общества с ограниченной ответственностью «Научно-производственное предприятие «ПРИМА», г. Нижний Новгород.

5. Прасолова Виктора Анатольевича, кандидата технических наук по специальности 20.02.25 – Военная электроника, аппаратура комплексов военного назначения, начальника управления специальных систем и средств связи и Карпочкина Константина Валентиновича, кандидата технических наук по специальности 20.02.12 – Военные системы связи и навигации, 20.02.17 – Эксплуатация систем военного назначения, ведущего специалиста по ОНТД, автономной некоммерческой организации «Институт инженерной физики», г. Серпухов.

Все отзывы **положительные**. В отзывах отмечается актуальность темы исследования, новизна полученных результатов и их значимость для науки и практики.

В отзывах на диссертацию и автореферат содержатся следующие замечания.

Замечания из отзыва ведущей организации.

В главе 2 пункт 2.4 на Рис. 2.10а с геометрий реальной антенной решетки используемой в радаре не указано расстояние по вертикали между приемными и передающими антеннами.

В описании эксперимента (Глава 2, пункт 2.4) фигурируют две цели (автомобили), находящиеся в общем секторе обзора. На рис. 2.12 представлены результаты обработки экспериментальных данных, где помимо двух основных целей на дальности 15 – 20 метров можно выделить третью на дальности 25-30 метров, однако в тексте о ней не упоминается.

В главе 3 представлен метод компенсации набега фаз, связанного с ненулевым установочным углом радаров в котором не учитывается набег фаз от ненулевого угла места цели, потенциально влияющий на «горизонтальный» набег фаз. В работе не указана область применимости такой компенсации, и к каким ошибкам ведет выход за её пределы.

Не обсуждается, с чем связан разброс оценок СКО при малых ОСШ (Глава 3, рис. 3.11b).

Замечания из отзыва официального оппонента Кашина А.В.

Замечание по терминологии: в работе встречается термин «система некогерентных распределенных автомобильных радаров». Термин «некогерентность» в диссертационной работе относится к системе (способу объединения сигналов с разных радаров), а не к отдельному радару. Каждый из радаров по отдельности не является распределённым, это прилагательное также

относится к системе. Словосочетание "некогерентный радар" может предполагать, что зондирующий импульс принимается некогерентно. Возможно, лучше писать «некогерентная распределённая система радаров».

В автореферате недостаточно полно представлено описание сценария эксперимента и исходных данных.

В главе 3 при рассмотрении результатов численного моделирования наблюдаются флуктуации оценок СКО при значениях ОСШ 20 – 25 дБ (сценарий 2, рис. 3.11b), однако в диссертации отсутствуют пояснения причины таких флуктуаций.

Замечания из отзыва официального оппонента Родионова А.А.

На странице 15 в конце первого абзаца написано: «когда параметры полезного сигнала и помехи являются одинаковыми (ЛЧМ сигнал с одинаковой длительностью и полосой)». Непонятно, какие именно параметры одинаковые, имеются ли ввиду доплеровский сдвиг частоты, время прихода, азимут? Это стоило бы пояснить подробнее.

На странице 18 в начале пункта 1.1 написано «Укрупненная схема автомобильного радара состоит из антенной системы, радиочастотной (высокочастотной) системы, системы обработки сигнала, системы распознавания и системы управления». Непонятно, что такое система распознавания и система управления. Лучше было бы это пояснить.

На странице 21 во втором абзаце написано: «Такая ситуация является наиболее сложной для ослабления влияния помехи». Кажется, что это не самая сложная ситуация. Нужны пояснения.

На странице 30 во втором абзаце написано «Отметим, что проблема оценки параметров помехового сигнала не рассматривается в данной работе». Возникает вопрос, как повели бы себя алгоритмы, если бы параметры помехи были известны неточно?

На странице 70 в последнем абзаце написано: «Непараметрический двумерный Кейпон выбран в качестве базового. Для него не требуется построения адекватной математической сигнальной модели...». Странная фраза насчет адекватной модели. Требуется пояснение.

В третьей главе диссертации нередко встречаются результаты, когда полный 2D-метод Кейпона оказывается хуже, чем предложенный в работе 2-х шаговый алгоритм. Это не совпадает с теоретическими представлениями. Требуется пояснение, почему так происходит. Может быть, здесь влияет какая-то специфика обработки.

Замечание из отзыва на автореферат Малеханова А.И.

Отсутствует какое-либо сопоставление с работами других авторов, равно как и ссылки на них (при этом указание на большое число таких работ присутствует).

Отсутствуют ссылки на собственные работы - не ясно, где и как опубликованы конкретные результаты, изложенные в кратком обзоре содержания диссертации по главам.

Использованный в названии термин «MIMO радар» используется только при изложении

материала главы 3 и отвечающих ей результатов и положения, выносимого на защиту, что вызывает очевидный вопрос о том, насколько он специфичен для диссертации в целом.

Используемые в главе 3 термины «двумерный алгоритм» и двумерный метод представляются не вполне удачными, поскольку двумерными здесь являются оценки углов прихода, но сами алгоритмы или методы, очевидно, не могут обладать пространственной (угловой) размерностью, и в данном случае они являются последовательно двухэтапными.

Замечание из отзыва на автореферат Мякинкова А.В.

Автор рассматривает возможности разрешения целей по угловым координатам отдельно для случаев некогерентной и когерентной совместной обработки сигналов, принимаемых радарными распределенной системы. Однако эти возможности двух систем не сравниваются при одинаковых условиях (одинаковом сценарии), из-за чего остается неосвещенным вопрос: насколько проигрывает некогерентная система когерентной по разрешающей способности, и может ли она приближаться хотя бы при очень больших значениях отношения сигнал-шум?

Замечание из отзыва на автореферат Агудова Н.В.

По автореферату диссертации возникают следующие вопросы:

В работе разработан новый алгоритм оценки углов прихода сигналов радара. Почему в работе проведено сравнение этого алгоритма только с методом Кейпона? Есть ли другие методы (алгоритмы) оценки углов прихода сигналов?

Существуют ли ограничения на использование предложенных алгоритмов (например, максимальное количество автомобилей, скорость автомобилей, радиус поворота, наличие тоннелей и пр.)?

Кроме того, по автореферату имеются следующие замечания:

К сожалению, в автореферате присутствуют отдельные пунктуационные ошибки (например, в четвертом абзаце на стр. 3 и в пятом абзаце на стр. 21) и опечатки (например, во втором абзаце на стр. 9);

В тексте, на рисунках и в таблицах автореферата целые и дробные части чисел отделяются точками, а не запятыми (как принято в русскоязычной литературе).

Дополнительно в качестве даже не замечания, а пожелания диссертанту на будущее - уделить больше внимания публикациям в зарубежных научных журналах, что, однозначно, способствовало бы лучшей популяризации достижений российских исследователей.

Замечание из отзыва на автореферат Милова В.Р. и Скрипника И.В. (ООО «Научно-производственное предприятие «ПРИМА»)

Различия в условиях проведения моделирования и форме представления результатов (рис. 3 и рис. 6) затрудняют сравнение разработанных алгоритмов оценки угловых направлений на цели в

системе двух некогерентных распределенных автомобильных радаров (задача 2) и бистатических когерентных радаров (задача 4).

Влияние направления на цель относительно центра радара на среднеквадратичную ошибку оценки углов исследовано не в полной мере.

Замечание из отзыва на автореферат Прасолова В.А. и Карпочкина К.В. (АНО «Институт инженерной физики»)

В автореферате недостаточно освещены преимущества и недостатки предлагаемых алгоритмов и методов по сравнению с известными решениями.

В автореферате также не приводятся условия моделирования канала распространения сигнала (одно- или многолучевое), что немного снижает эффект от полученных количественных оценок при моделировании разработанных алгоритмов.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается значительным опытом выполнения ими научно-исследовательских работ по тематике диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований установлено следующее:

Предложен оригинальный алгоритм подавления помех в автомобильных радарх в условиях, когда автомобили являются одновременно источниками как отраженных сигналов, так и помех. Алгоритм основан на комбинации адаптивного проекционного метода формирования «нулей» в диаграмме направленности и метода вычитания помех в частотной области. Показана высокая эффективность предложенного алгоритма подавления помех на основе численного моделирования.

Разработан оригинальный сверхразрешающий алгоритм оценки углов прихода сигналов с малой вычислительной сложностью в некогерентной распределенной системе автомобильных радаров в случае короткой выборки входного процесса. Достигнут существенный выигрыш в использовании вычислительных ресурсов по сравнению с другими существующими алгоритмами. Показана эффективность разработанного алгоритма оценки углов прихода сигналов для некогерентной распределенной системы автомобильных радаров на основе экспериментальных данных и численного моделирования. Предложенный алгоритм корректно распознает положение целей в рассмотренных сценариях эксперимента. Сравнительное численное моделирование демонстрирует эффективность работы предложенного алгоритма по сравнению с одиночным радаром.

Разработан новый вычислительно-эффективный алгоритм последовательной оценки углов прихода сигналов в азимутальной и угломестной плоскостях для распределенной системы бистатических когерентных ММО радаров в случае короткой выборки входного процесса.

Предложенный алгоритм является комбинацией двух оригинальных методов: метода компенсации фаз сигналов и метода последовательной оценки углов прихода сигналов (на первом шаге - в азимутальной плоскости, на втором - в вертикальной). Последовательный метод оценки углов прихода обеспечивает выигрыш в использовании вычислительных ресурсов по сравнению с полным двумерным методом Кейпона. Показана высокая эффективность алгоритма по оценке углов прихода сигналов близкорасположенных целей.

Теоретическая значимость исследования обусловлена тем, что представлены новые алгоритмы подавления помех для одиночного ММО радара и оценки углов прихода сигналов в распределенной системе автомобильных ММО радаров для случая короткой пространственно-временной выборки, что является критически важным при работе устройств в условиях реального времени и нестационарной сигнально-помеховой обстановки. Предложен оригинальный алгоритм подавления помех, комбинирующий адаптивное формирование диаграммы направленности в пространственной области с подавлением помех в частотной области в лучах с помехами. Разработаны алгоритмы оценки углов прихода сигналов в распределенной системе автомобильных радаров с малой вычислительной сложностью для когерентного и некогерентного объединения измерений отдельных радаров. Показана высокая эффективность алгоритмов, в том числе с использованием экспериментальных данных. Полученные результаты диссертации представляют значимый вклад в развитие теории синтеза и анализа новых алгоритмов пространственной обработки сигналов в современных системах радиолокации.

Значение полученных соискателем результатов для практики определяется возможностью использования предложенных алгоритмов в разрабатываемых системах автомобильных радаров миллиметрового диапазона длин волн в частности и современных системах радиолокации в целом.

Оценка достоверности полученных результатов исследования выявила, что изложенные в диссертационной работе результаты подтверждаются согласием с результатами компьютерного моделирования и натурных экспериментов, соответствием с опубликованными ранее результатами в данной области, отсутствием противоречий результатов диссертации с известными теоретическими положениями статистической радиофизики.

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном участии в постановке задач, проведении аналитических исследований и численного моделирования, обработке экспериментальных данных, анализе полученных результатов, подготовке публикаций в научные журналы.

В ходе защиты диссертации было высказано следующее критическое замечание:

В диссертационной работе представлен алгоритм оценки азимута и угла места целей. Возникает вопрос в целесообразности оценки угла места для автомобильных радаров.

Когда требуется угол места целей применительно к автомобильным радарам?

Соискатель Артюхин И.В. ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и замечание и привел собственную аргументацию:

Современные радары оценивает как азимут, так и угол места целей. Угол места требуется, например, для определения высоты объекта, для решения задачи идентификации целей (пешеход, легковой или грузовой автомобиль), а также создания «цифрового 3D двойника» окружающего пространства.

На заседании 19.03.2025 г. диссертационный совет принял решение: за решение научной задачи, имеющей значение для развития радиофизики, присудить Артюхину И.В. ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4. – Радиофизика.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 19 человек из них 9 докторов наук по специальности 1.3.4. – Радиофизика, участвовавших в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за присуждение ученой степени — 19, против присуждения ученой степени — 0, недействительных бюллетеней — 0.

Председатель
диссертационного совета
Ученый секретарь
диссертационного совета



Handwritten signatures of the members of the dissertation council.

Гурбатов Сергей Николаевич

Клюев Алексей Викторович

19.03.2025