

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по науке ФГАОУ ВО «УрФУ
имени первого Президента России Б.Н.
Ельцина» Германенко А.В.

«18»

2025 г.



ОТЗЫВ

Ведущей организации на диссертационную работу **Нгуен Ван Дыка** «Алгоритмы оценки параметров сигнала разностной частоты ЧМ дальномера при наличии помех», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.13 – «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения».

Актуальность темы диссертационной работы.

В системах автоматического контроля и управления технологическими процессами при измерении расстояния нашли широкое применение дальномеры с частотной модуляцией излучаемого сигнала (ЧМ-дальномеры). Такие дальномеры позволяют производить измерение расстояния с высокой точностью, вплоть до долей мм. Однако влияние помех, вызываемых мешающими отражениями приводит к существенному увеличению погрешности измерения расстояния – вплоть до десятков сантиметров, в зависимости от соотношения сигнал – помеха и диапазона перестройки частоты несущего колебания.

Ввиду указанного выше актуальной является задача разработки алгоритмов оценки разностной частоты, соответствующей расстоянию до целевого отражающего объекта или его поверхности, позволяющих минимизировать влияние мешающих отражений на точность измерений, а выбранная тема диссертационной работы Нгуен Ван Дыка представляется актуальной.

Содержание диссертации.

Во введении обоснована актуальность темы исследования, определен уровень ее проработанности, сформулированы цель и задачи диссертационного исследования, отмечена научная новизна. Также отмечен личный вклад автора и приведена информация о внедрении и апробации результатов работы.

В первом разделе кратко рассмотрен принцип работы ЧМ-дальномера, представлена модель сигнала разностной частоты с учетом влияния мешающих отражений и паразитной амплитудной модуляции, приведена связь между расстоянием, разностной частотой и задержкой зондирующего сигнала. Проведен анализ алгоритмов оценки разностной частоты при воздействии помех в виде белого нормального шума и мешающих отражений. Отмечено, что алгоритм, основанный на поиске максимальной спектральной составляющей, имеет дисперсию оценки, величина которой совпадает с нижней границей Рао-Крамера. Также проведен анализ алгоритма оценки фазовой характеристики ЧМ-дальномера при наличии мешающего отражения. Сделан вывод, что погрешность ее оценки можно снизить при уменьшении ошибки оценки расстояния.

Во втором разделе описаны особенности логарифма функции отношения правдоподобия сигнала разностной частоты. Проведены разработка и исследование алгоритма оценки фазовой характеристики ЧМ-дальномера, основанного на логарифме функции отношения правдоподобия. Получены соотношения, позволяющие определить смещения, дисперсии отдельных и совместных оценок параметров гармонического сигнала, принимаемого на фоне белого шума, по его короткой выборке. Проведено статистическое моделирование, результаты которого совпали с результатами аналитического исследования. Установлена взаимосвязь между оценками параметров сигнала разностной частоты и такими характеристиками сигнала, как несущая частота, диапазон перестройки и период модуляции при измерении малых расстояний при использовании ЧМ-дальномера.

В третьем разделе проведено исследование алгоритма оценки фазовой характеристики ЧМ-дальномера на основе логарифма функции отношения правдоподобия сигнала разностной частоты при воздействии мешающего отражения. Разработан алгоритм измерения разностной частоты, основанный на комбинации компенсации помехи и следающего алгоритма, позволяющий осуществлять измерения при отношении сигнал-помеха менее единицы. Алгоритм предусматривает оценку амплитуды, частоты и фазы мешающего отражения при каждом измерении с последующей его компенсацией. Предложен алгоритм оценки разностной частоты сигнала, основанный на варьировании его начальной фазы. Проведено моделирование всех упомянутых алгоритмов.

В четвертом разделе приведены результаты проверки разработанных алгоритмов оценки разностной частоты и фазовой характеристики ЧМ-дальномера на серийных образцах дальномеров. Тестирование разработанных алгоритмов проведено с помощью сигналов, полученных на сертифицированном измерительном стенде. Показано что разработанные алгоритмы позволяют существенно уменьшить погрешность измерения из-

за влияния мешающего отражения. Полученные результаты в целом совпадают с результатами компьютерного моделирования.

В заключении приведены выводы, в которых содержатся основные результаты диссертационного исследования.

Научная новизна полученных автором результатов, выводов и рекомендаций.

1.Автором получены соотношения, позволяющие рассчитать смещения, дисперсии и коэффициенты корреляции раздельных и совместных оценок параметров гармонического сигнала по его короткой выборке на фоне белого шума. Установлена связь между оценками параметров сигнала разностной частоты и значениями частоты несущего колебания, диапазоном перестройки несущей частоты и периодом модуляции при измерении малых расстояний.

2.Для уменьшения погрешности оценки фазовой характеристики ЧМ-дальномера, обусловленной воздействием мешающего отражения, предложен алгоритм на основе логарифма функции отношения правдоподобия сигнала разностной частоты. Автором показано, что предлагаемый алгоритм обеспечивает дисперсию оценки, определяемую нижней границей Рао-Крамера. Погрешность измерения из-за влияния мешающего отражения уменьшается в 2-3 раза.

3. Для уменьшения влияния помех в работе предложен алгоритм оценки разностной частоты, основанный на поиске того значения начальной фазы сигнала разностной частоты, при котором взаимная энергия полезного сигнала и помехи минимальна. Показано, что погрешность измерения малых расстояний уменьшается в 2-3 раза.

4.В случаях наличия мешающего отражения с отношением сигнал-помеха меньше единицы для измерения разностной частоты предложен алгоритм, основанный на использовании компенсатора помех и слеящего измерителя. Для каждого измерения алгоритм предусматривает оценивать параметры мешающего отражения (амплитуду, частоту и фазу). После компенсации помехи оценка разностной частоты производится с помощью слеящего измерителя. По сравнению с использованием слеящего алгоритма без компенсации помехи зона повышенной погрешности снижается в 2-3 раза.

Значимость результатов диссертации для науки и производства

Результаты, полученные в ходе подготовки диссертационной работы ориентированы на решение прикладных задач и обладают практической значимостью. К значимым результатам можно отнести следующие:

1. Алгоритм оценки разностной частоты на основе варьирования начальной фазы сигнала на выходе смесителя ЧМ-дальномера.

2. Алгоритм оценки разностной частоты, основанный на комбинации компенсации помехи и слеящего алгоритма, предусматривающий оценку параметров помехи (амплитуды, местоположения, фазы) при каждом измерении и позволяющий проводить измерения при отношении сигнал-помеха меньше единицы.

3. Результаты анализа статистических характеристик оценок амплитуды, частоты и фазы сигнала на выходе смесителя ЧМ-дальномера при измерении малых расстояний.

Значимость данных результатов работы подтверждается тем, что рассмотренные алгоритмы были проверены на сертифицированном измерительном стенде и использованы при создании новых образцов ЧМ-дальномеров на ООО предприятие «КОНТАКТ-1». Это подтверждается актом об использовании результатов диссертационной работы.

Рекомендации по использованию результатов диссертации

Анализ результатов диссертационного исследования свидетельствует о целесообразности использования, дальнейшего исследования и внедрения предложенных алгоритмов оценки фазы и разностной частоты, обеспечивающих уменьшение погрешности измерения расстояния из-за влияния мешающих отражений, в производственный процесс предприятий, занимающихся разработкой и промышленным выпуском устройств ближней частотной радиолокации.

Достоверность и обоснованность результатов.

Достоверность изложенных положений обусловлена применением адекватных математических моделей в ходе исследований, корректным использованием математического аппарата, подтверждением теоретических результатов имитационным моделированием, а также совпадением ряда частных выводов с данными, полученными как другими авторами, так и в результате экспериментальных исследований.

Апробация результатов работы и публикации.

Диссертационная работа Нгуен Ван Дыка прошла достаточную апробацию, основные теоретические и практические результаты диссертации опубликованы в 16 работах, из которых: 3 – статьи в рецензируемых изданиях, входящих в перечень ВАК, 13 – публикации в сборниках всероссийских и Международных конференций.

Замечания по работе.

В ходе обсуждения работы выявлены следующие недостатки:

1. В первой главе диссертации целесообразным было бы провести анализ методов параметрического спектрального анализа (метода Прони, EV метода), позволяющих увеличить разрешающую способность спектрального анализа.
2. Изложенное во второй главе исследование статистических характеристик оценок частоты, фазы и амплитуды сигнала разностной частоты при измерении малых расстояний не подкреплено результатами компьютерного моделирования.
3. При изменении расстояний и условий распространения радиоволн происходит изменение амплитуды и фазы всех сигналов, при этом в работе не дано пояснение каким образом в реальном ЧМ-дальномере при отношении сигнал/помеха близком к 1 предполагается отличать полезный сигнал от помехи.
4. Заявленное улучшение точности в 2-3 раза автор подтверждает «анализом рисунков» 3.15, 3.20, 4.2, 4.18 и 4.19. Не описан явно принцип анализа, не приведены расчеты значений СКО, максимальных флуктуационных и аномальных ошибок.
5. К недостаткам работы следует отнести отсутствие результатов моделирования распределения электромагнитных полей для оценки вклада мешающих отражений в формирование низкочастотного информационного отклика дальномера.
6. В работе не представлены данные о динамике оценки расстояния, являющиеся необходимыми для определения возможности применения предложенных алгоритмов в системах, в которых время оценки ограничено, например, радиовысотомерах или системах наведения летательных аппаратов.
7. По тексту диссертации встречаются опечатки и пунктуационные неточности.

Заключение.

Перечисленные замечания не снижают положительной оценки диссертационной работы. Представленная диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой представлено научно обоснованное техническое решение актуальной задачи.

Результаты диссертации обладают научной новизной, теоретической и практической значимостью, в достаточной степени представлены в опубликованных научных трудах автора.

Представленная работа соответствует паспорту специальности 2.2.13 – «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения» в части п.3: разработка и исследование радиотехнических устройств и систем, обеспечивающих улучшение характеристик точности, быстродействия и помехоустойчивости; п.5: разработка и

исследование алгоритмов, включая цифровые, обработки сигналов и информации в радиотехнических устройствах и системах различного назначения, в том числе синтез и оптимизация алгоритмов обработки; п.6: разработка и исследование методов и алгоритмов обработки сигналов и информации в радиотехнических устройствах и системах различного назначения, включая системы телевидения и передачи информации, при наличии помех с целью повышения помехоустойчивости.

Автореферат диссертации достаточно полно отражает ее основное содержание.

Использование результатов работ других авторов сопровождается корректными ссылками на их публикации.

Диссертация Нгуен Ван Дыка отвечает требованиям пунктам 9-14 «Положения» о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года №842 (ред. От 28.08.2017 №1024), а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.13 – «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения».

В качестве экспертов по диссертации выступили профессор департамента радиоэлектроники и связи, к.т.н., доцент, Калмыков А.А., директор научно-исследовательского центра радиоэлектронных систем летательных аппаратов, к.т.н., Боков А.С., доцент департамента радиоэлектроники и связи, к.т.н., Сосновский А.В., доцент кафедры радиоэлектроники и телекоммуникаций, к.т.н., Игнатков К.А.

Диссертационная работа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры радиоэлектроники и телекоммуникаций, протокол № 6 от 15.08.2025 г.

Заведующий кафедрой Радиоэлектроники и телекоммуникаций,
Доктор технических наук, профессор
Шабунин Сергей Николаевич



e-mail: s.n.shabunin@urfu.ru

Телефон: (343) 375-48-86

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», 620062, Свердловская область, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 19, e-mail rector@urfu.ru, тел.+7 (343) 375-44-44, сайт www.urfu.ru

С отзывом ознакомил
25.08.2025

