

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

главного научного сотрудника АО «Навигатор», д.т.н., профессора Синицына Евгения Александровича на диссертационную работу Тарасенкова Андрея Александровича на тему «Оценка высоты воздушного судна методом фазовой автоподстройки опорного сигнала в радиовысотомере непрерывного излучения», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.16 - «Радиолокация и радионавигация»

Актуальность темы диссертации

Развитие авиационной техники, непрерывное увеличение количества используемых в хозяйственной деятельности летательных аппаратов (ЛА), появление новых типов ЛА не только аэродинамической схемы, но и различных мультиторторных схем, а также их всевозможных комбинаций, неизбежно увеличивает нагрузку на используемое воздушное пространство и, следовательно, ведет к повышению требований к точности оценок пространственных координат ЛА. Важнейшей из этих координат является высота полета.

Высота полета ЛА традиционно измеряется либо аэрометрическими, либо радиотехническими методами. К группе, реализующей радиотехнические методы, следует отнести как измерители, использующие спутниковую навигацию, так и бортовые радиовысотомеры.

Именно перспективные бортовые радиовысотомеры малых высот рассмотрены в ходе научных исследований и разработки новых технических решений, выполненных в рамках представленной А. А. Тарасенковым диссертационной работы. Современные бортовые радиовысотомеры представляют собой малогабаритные радиолокаторы непрерывного излучения. Их достоинством является потенциально высокая точность, надежность и автономность.

Таким образом, цель диссертации - повышение качества измерений высоты летательного аппарата бортовым радиовысотомером непрерывного излучения – является безусловно актуальной.

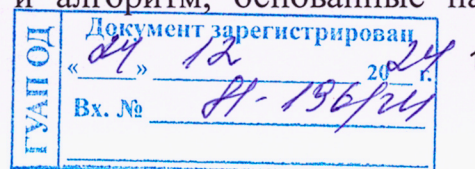
Степень обоснованности, достоверность и новизна научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертационной работе, четко и аргументированно обоснованы.

Достоверность результатов работы подтверждается теоретическим обоснованием, корректным применением математического аппарата, результатами имитационного моделирования, результатами выполненных полунатурных и натуральных экспериментов, публикациями в рекомендованных ВАК отечественных и зарубежных изданиях, докладами на российских и международных научных конференциях.

Научная новизна полученных автором результатов состоит в следующих представленных новых научно обоснованных технических решениях:

1. Для обработки сигнала биений и оценки высоты в радиовысотомере непрерывного излучения предложены устройство и алгоритм, основанные на



использовании контура фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) опорного сигнала.

2. Предложен способ повышения точности радиовысотомера с измерительным контуром ФАПЧ путем реализации специального фазового фильтра, синтезированного методом наименьших квадратов.

3. Предложен способ увеличения быстродействия измерительного контура ФАПЧ за счет применения фильтра Калмана в качестве петлевого сглаживающего фильтра.

4. Теоретически обоснованы и экспериментально подтверждены результаты по выбору типа частотной модуляции излучаемого сигнала для радиовысотомера с контуром ФАПЧ.

Теоретическая и практическая значимость работы

Теоретическая значимость диссертационной работы заключается в следующем:

1. В работе предложен оригинальный метод обработки сигнала биений в радиовысотомере непрерывного излучения с использованием контура ФАПЧ.

2. Показано, что оценки высоты, формируемые таким измерителем, стремятся к оптимальным по критерию максимума правдоподобия.

3. Получены нижние границы Крамера-Рао для дисперсии оценки высоты при использовании разных типов частотной модуляции, доказывающие, что гармонический тип частотной модуляции обеспечивает более высокую точность по сравнению с традиционно используемыми линейными типами.

Практическая значимость диссертационной работы в следующих прикладных результатах:

1. В процессе исследований были синтезированы математические модели радиовысотомеров непрерывного излучения следящего типа, в том числе модель радиовысотомера с измерительным контуром ФАПЧ, обеспечивающие необходимый инструментарий для практических исследований и отладки алгоритмов обработки сигнала биений.

2. Разработаны алгоритмы и синтезирован петлевой сглаживающий фильтр для измерительного контура ФАПЧ на основе фильтра Калмана, позволяющие повысить точность и быстродействие РВ.

3. Определен тип частотной модуляции зондирующего сигнала, обеспечивающий увеличение точности оценки высоты.

4. Исследовано влияние эффекта расширения спектра сигнала биений, вызванного шероховатостью отражающей поверхности и эффектом Доплера, на точность оценивания высоты.

5. Разработан и построен макет приемопередающего устройства радиовысотомера непрерывного излучения для лабораторных и натурных испытаний и проведены экспериментальные исследования.

Публикации по теме диссертации

Содержание диссертации изложено в 18 работах, в числе которых: 5 статей в рецензируемых научных журналах, включенных в перечень ВАК; 1 патент на полезную модель; 2 работы опубликованы в изданиях РИНЦ; 1 работа в материалах конференции, индексируемой базой данных Scopus; 9 работ опубликованы в материалах конференций, индексируемых РИНЦ.

Содержание диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения и списка использованной литературы. Работа содержит 72 рисунка и 5 таблиц. Список использованной литературы включает 134 наименования. Объем работы составляет 5 страницу.

Первая глава посвящена обзору существующих и перспективных радиовысотомеров непрерывного излучения. В главе приведена классификация алгоритмов обработки радиолокационной информации в современных радиовысотомерах.

Вторая глава работы посвящена синтезу математических моделей и анализу флюктуационных ошибок при оценке высоты в радиовысотомерах непрерывного излучения следящего типа, в том числе предложена математическая модель радиовысотомера с контуром ФАПЧ.

Третья глава посвящена сравнительному анализу точности радиовысотомера непрерывного излучения с контуром ФАПЧ с точностью следящих радиовысотомеров других типов в условиях отражения зондирующего сигнала от протяженной шероховатой поверхности и влияния эффекта Доплера.

В четвертой главе представлен выбор типа частотной модуляции зондирующего сигнала, обеспечивающего более высокую потенциальную точность оценки при фиксированной ширине спектра, а также выбор петлевого фильтра для контура ФАПЧ.

В пятой главе представлены результаты полунатурного и натурного эксперимента по определению точности радиовысотомера непрерывного излучения с контуром ФАПЧ.

В заключении автор приводит перечень полученных результатов и делает основные выводы по диссертационному исследованию.

В приложении представлены документы, подтверждающие внедрение основных результатов диссертационной работы.

Текст диссертации отличается подробным изложением предметной области и доходчивым описанием методов и результатов исследования. Материал изложен в логической последовательности, отвечающей всем необходимым требованиям, имеет целостность и внутреннее единство содержания. Выводы обоснованы и четко отражают результаты проведенной работы.

Замечания по диссертационной работе

1. Первый раздел диссертации выглядит громоздким и, возможно, содержит избыточное количество исторической информации о развитии направления радиовысотометрии.

Вполне достаточно было бы ограничиться рассмотрением только ближайших современных аналогов, не вдаваясь в детали устройства радиовысотомеров, описанных патентами 30-х и 40-х годов.

2. При разработке фазового фильтра наименьших квадратов не приведено обоснование выбора именно такого типа фильтра.

Следовало бы показать, почему выбирается именно метод наименьших квадратов, выполнив сравнение с другими типами фильтров.

3. Исследование влияния доплеровского смещения в сигнале биений рассмотрено на очень упрощенной модели сигнала, основанной на теоретических разработках 60-х годов.

Используемый подход не учитывает всей сложности процесса доплеровского расширения спектра, который требует использования численных методов решения электродинамических уравнений при моделировании.

4. Структура контура фазовой автоподстройки имеет обыкновенный классический вид, в то время как этот контур можно было бы реализовать и другими способами.

Диссертационная работа могла бы стать полнее, если бы в ней присутствовал сравнительный анализ нескольких реализаций таких структур.

Выводы и заключение

В диссертационной работе Тарасенкова Андрея Александровича решена научно-техническая задача, имеющая важное значение, а именно – разработан принцип обработки сигнала биений в радиовысотомере непрерывного излучения, позволяющий повысить точность измерений в условиях сложного характера отражения зондирующего сигнала от протяженной шероховатой поверхности.

Данный принцип обработки основан на особым образом организованном следящем контуре фазовой автоподстройки частоты, где в качестве опорного сигнала используется математическая модель обрабатываемых биений.

Полагаю, что важным достижением рассматриваемой работы является теоретическое обоснование, моделирование и экспериментальная проверка нового принципа оценки высоты летательного аппарата.

Аппаратная реализация предложенного принципа обеспечивает выигрыш в точности оценивания по сравнению с классическими схемами радиовысотомеров, в которых обработка сигнала биений сводится к его спектральному анализу и определению положения максимума спектра.

Настоящая работа соответствует паспорту научной специальности 2.2.16 – «Радиолокация и радионавигация» по пунктам:

– п. 3 «Разработка и исследование новых методов и принципов радиолокации и радионавигации, позволяющих повысить эффективность радиолокационных и радионавигационных систем»;

– п. 5 «Синтез и анализ алгоритмов обработки сигналов и информации в радиолокационных и радионавигационных системах и устройствах».

Считаю, что по актуальности темы, научной новизны, практической значимости и достоверности результатов, личному вкладу автора и полноте опубликования результатов в ведущих рецензируемых изданиях диссертационная работа А. А. Тарасенкова соответствует требованиям к кандидатским диссертациям, содержащимся в п. п. 9, 10, 11, 13, 14 Положения о присуждении ученых степеней №842, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013.

Автор диссертационной работы, Тарасенков Андрей Александрович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.16 – «Радиолокация и радионавигация».

Официальный оппонент
Главный научный сотрудник
АО «Навигатор», д.т.н., профессор



Е.А. Сеницын

Подпись Е.А. Сеницына заверяю

ГЛАВНЫЙ СПЕЦИАЛИСТ
ОТДЕЛА КАДРОВ
ХАРЛАМОВА Е.С.



18.12.2024