

**Акционерное общество**  
**«Российская корпорация ракетно-космического**  
**приборостроения и информационных систем»**  
**(АО «Российские космические системы»)**

Авиамоторная ул., д. 53, Москва, 111250  
Тел.: (495) 673-95-19, факс: (495) 509-12-00, e-mail: [contact@spacecorp.ru](mailto:contact@spacecorp.ru)  
ОКПО 11477389, ОГРН 1097746649681, ИНН 7722698789, КПП 774850001

*от 23.03.16 № 2-109/12*

На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

**ОТЗЫВ**

официального оппонента доктора технических наук, профессора **Бетанова Владимира Вадимовича** на диссертационную работу **Кишко Дмитрия Владимировича** на тему «Повышение точности определения навигационных параметров вертолета при посадке на корабль», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.14 – «Радиолокация и радионавигация»

**Актуальность темы исследования**

В настоящее время наблюдается интенсивное развитие локальных радионавигационных систем (ЛРНС), обеспечивающих определение навигационных параметров потребителя в тех районах, где широко применяемые на практике приемники сигналов глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) не способны выполнять свою целевую задачу. Это в первую очередь связано с недостаточной энергетикой принимаемого сигнала на фоне воздействия естественных и преднамеренных помех. Технологии и принципы функционирования, заложенные при проектировании ЛРНС, позволяют в сложной гидрометеорологической и помеховой обстановке достичь точности определения собственных навигационных параметров потребителя сравнимой с точностью, получаемой приемниками ГНСС в высокоточных режимах. Для достижения требуемой точности необходимо обеспечить равномерное покрытие передающими устройствами зоны обслуживания системы, что при размещении на корабле является затруднительным ввиду ограниченных размеров последнего. При

ОБЩИЙ ОТДЕЛ МАИ  
Вх. № \_\_\_\_\_  
" 25 " 03 2016

этом возникает проблема увеличения погрешности определения навигационных параметров по мере удаления от корабля. Решению этой проблемы и посвящена тема диссертационной работы Кишко Д.В., что подтверждает её актуальность.

### **Общая характеристика диссертации**

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка сокращений, списка литературы из 69 наименований и приложения А. Работа изложена на 160 страницах машинописного текста, содержит 37 рисунков, 5 таблиц и 164 формулы.

Во введении обосновывается актуальность темы исследования и степень ее разработанности, определяются объект и предмет работы, формируются цели и задачи исследования. Конкретизируется научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы. Формулируются положения, выносимые на защиту, и предьявляется апробация результатов работы.

В главе 1 проведен анализ методов и средств захода и посадки вертолета на палубу корабля, продемонстрированы достоинства и недостатки перспективных и действующих систем. Произведена постановка задачи повышения точности определения навигационных параметров вертолета при посадке на корабль и представлены основные пути ее решения..

Во главе 2 рассмотрены принципы функционирования ЛРНС корабельного базирования. Приведена структура перспективных радиосигналов ЛРНС, обеспечивающих автоматизированную посадку вертолета в условиях воздействия помех. приведены математические модели измерений параметров радиосигналов ЛРНС. Предложены методы синхронизации передающих устройств радионавигационных модулей корабельного сегмента.

В главе 3 проведен анализ алгоритмов вторичной обработки результатов измерений параметров радиосигналов (псевдодальности,



псевдодоплера и псевдофазы). Предложена модификация алгоритма многомодальной фильтрации с использованием процедуры разрешения неоднозначности псевдофазовых измерений.

В главе 4 проведено исследование характеристик работы ЛРНС посадки вертолета на палубу корабля. Поставлена и решена задача оптимизации размещения навигационных модулей на корабле. Представлена методика исследования точности определения навигационных параметров вертолета, в соответствии с которой проведен сравнительный анализ алгоритмов определения навигационных параметров вертолета.

В заключение представлены основные результаты диссертационной работы.

В приложении А продемонстрированы преобразование произведения многомодальной функции с гауссовской функцией.

### **Новые научные результаты**

К наиболее важным с точки зрения научной новизны достигнутым результатам исследований следует отнести следующие.

1. Разработаны методы синхронизации радионавигационных модулей ЛРНС, позволяющие обеспечить когерентность излучения передающих устройств модулей со среднеквадратической погрешностью не хуже 0,6 рад. Предложенный подход обеспечивает синхронизацию по полезному сигналу в фоновом режиме при одновременном выполнении целевой функции системы и не требует применения дополнительных процедур калибровки, использования дополнительной аппаратуры и имеет погрешность сравнимую с погрешностью дорогостоящих процедур синхронизации.
2. Разработан алгоритм многомодальной фильтрации на основе адаптации теории линейного рекуррентного оценивания на класс нелинейных задач с применением процедуры разрешения целочисленной неоднозначности псевдофазовых измерений. Анализ показал, что предлагаемый алгоритм

позволяет снизить вероятность появления аномальной ошибки разрешения целочисленной неоднозначности в 20 раз, что позволяет уменьшить среднеквадратическую погрешность определения координат вертолета в 10 и более раз по сравнению с линейным подходом.

3. Разработана имитационная модель определения навигационных параметров летательного аппарата с использованием измерений параметров радиосигналов локальной радионавигационной корабельной системы посадки, позволяющая проводить анализ различных алгоритмов вторичной обработки и показавшая, что разработанный алгоритм многомодальной фильтрации по сравнению с известными аналогами (в условиях высокого коэффициента геометрии  $K_r \gg 2$ ) обеспечивает уменьшение среднеквадратической погрешности определения координат в 10 и более раз.

### **Апробация и достоверность научных результатов**

Достоверность полученных соискателем результатов сомнений не вызывает и обуславливается использованием адекватного статистического и математического аппарата, представленной методикой проведения вычислительных экспериментов и многократной повторяемостью результатов, а также подтверждается соответствием полученных результатов с результатами, представленными в общедоступной литературе.

Результаты диссертационной работы прошли апробацию на Всероссийских и региональных конференциях и опубликованы в 8 печатных изданиях.

### **Практическая значимость результатов**

Результаты, полученные в диссертационной работе, могут быть использованы при проектировании радионавигационных систем автоматизированного захода и посадки пилотируемых и беспилотных летательных аппаратов на вертолетные площадки морских буровых платформ, стационарные аэродромы и наземные неподготовленные



площадки. Представленные методы синхронизации могут быть применены для обеспечения когерентного излучения сигналов многопозиционных радиолокационных систем, а разработанный алгоритм многомодальной фильтрации использован в ГНСС, многошкальных фазовых пеленгаторах, когерентно-импульсных радиовизорах целей. Практическая значимость результатов подтверждается актом внедрения в ОАО РТИ.

Оформление и содержание диссертации соответствует требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

Автореферат достаточно полно и правильно отражает основное содержание диссертации и личный научный вклад автора, стиль изложения способствует пониманию работы.

### **Замечания по диссертационной работе**

1. В главе 1 приводится классификация качки корабля и рассмотрены методы её учета, однако отсутствует исследование влияния ошибки определения навигационных параметров вертолета, возникающей из-за не полностью скомпенсированной качки.
2. В диссертационной работе рассмотрен вариант построения системы с кодовым разделением сигналов навигационных модулей и отсутствует сравнение с системой, использующей частотно-кодовое разделение.
3. В главе 4, при проведении анализа функционирования алгоритмов вторичной обработки данных, не рассматривается контрастное отношение, позволяющее судить о достоверности разрешения целочисленной неоднозначности псевдофазовых измерений.

Вместе с тем отмеченные недостатки не являются определяющими при общей положительной оценке проделанной автором работы.

Диссертация Кишко Дмитрия Владимировича соответствует специальности 05.12.14, представляет собой законченную научно-квалификационную работу, **соответствует требованиям ВАК** при Министерстве образования и науки Российской Федерации, предъявляемым

к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.14 «Радиолокация и радионавигация».

Начальник центра  
АО «Российские космические системы»,  
Россия, 111250, г.Москва, ул. Авиамоторная, д.53,  
Эл.почта: [vlavab@mail.ru](mailto:vlavab@mail.ru)  
Телефон: 8(495)673-94-76  
член-корреспондент РАН  
доктор технических наук, профессор

В.В. Бетанов

Подпись начальника центра Бетанова В.В. заверяю.

Ученый секретарь  
АО «Российские космические системы»,  
кандидат технических наук,  
старший научный сотрудник



С.А. Федотов

«23» марта 2016 г.