



# ФЕДЕРАЛЬНОЕ КОСМИЧЕСКОЕ АГЕНТСТВО

Федеральное государственное унитарное предприятие  
«Научно-производственное объединение им. С.А. Лавочкина»



Ленинградская ул., д. 24, г. Химки, Московская область, Российская Федерация, 141400  
тел. (495) 629-67-55, факс (495) 573-3595,  
e-mail: npol@laspace.ru, http://www.laspace.ru

03.12.2014 № 71/88

на № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

Ученому секретарю Ученого совета Московского авиационного института (национального исследовательского университета), доценту, к.т.н. Уляшиной А.Н.

125993, г. Москва, А-80, ГСП-3, Волоколамское шоссе, дом 4

«УТВЕРЖДАЮ»

Первый заместитель Генерального конструктора, кандидат технических наук

М.Б. Мартынов

" " 2014г.

## ОТЗЫВ

ведущей организации Федеральное государственное унитарное предприятие «Научно-производственное объединение имени С.А. Лавочкина» на диссертационную работу

### **Кружкова Дмитрия Михайловича**

на тему: «Современные и перспективные интегрированные системы высокоточной навигации космических аппаратов на геостационарной и высоких эллиптических орбитах на основе использования ГНСС-технологий», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01.

«Системный анализ, управление и обработка информации (авиационная и ракетно-космическая техника)»

### **Актуальность темы диссертационного исследования**

Диссертационная работа Д.М. Кружкова посвящена актуальной задаче повышения точности определения положения КА на геостационарной (ГСО) и высоких эллиптических орбитах (ВЭО) при повышении автономности выполнения этих процессов без поддержки со стороны наземной инфраструктуры путем использования глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС).. Эта цель достигается благодаря проведенным автором исследования совокупности факторов, определяющих точность оценки параметров положения КА на основе разработанных моделей и алгоритмов, предложенному автором облику интегриро-



ванных систем навигации космических аппаратов на базе доступных средств астро- и геопозиционирования.

### **Структура и содержание работы**

Рецензируемая диссертационная работа содержит введение, четыре главы, заключение, и список литературы. Работа изложена на 133 страницах, содержит 42 рисунка, 73 формулы и 30 наименований литературных источников.

Во введении автором изложено текущее состояние работ в области совершенствования спутниковых систем мониторинга, связи, навигации, телекоммуникаций и телевидения, мультимедиа и ретрансляции на геостационарной и высоких эллиптических орбитах. Автором обоснована целесообразность обеспечения высокоточного решения навигационной задачи рассматриваемых типов КА на основе использования ГНСС-технологий. Показана необходимость использования сильно связанной архитектуры интеграции навигационных данных для решения навигационной задачи с точностью, удовлетворяющей современным требованиям к подобного рода системам. Приведен минимально необходимый аппаратный состав интегрированных систем навигации рассматриваемых типов КА для выполнения поставленных требований.

В первой главе сформулирована постановка задачи, формализованы требования к точности решения навигационной задачи на борту КА на ГСО, ВЭО и при выведении на ГСО.

Во второй главе автором описан облик интегрированных систем навигации для решения задач оценки положения КА на ГСО, ВЭО и при выведении на ГСО с использованием двигателя малой тяги. Также здесь описаны реализованные алгоритмы интеграции навигационных данных в рамках сильно связанной схемы, основанные на различных модификациях фильтра Калмана (ФК). Приводятся математические модели, используемые для моделирования процесса функционирования интегрированных систем навигации КА на ГСО, ВЭО и при выведении на ГСО, включающие модели «истинного» движения КА и опорного движения, генерируемого на борту с учетом широкого спектра неконтролируемых факторов.

В третьей главе диссертации приводится описание архитектуры и состава разработанного специализированного программно-математического обеспечения для проведения имитационного моделирования процесса функционирования интегрированных систем навигации КА на ГСО, ВЭО и при выведении на ГСО. Стоит отметить отдельный интерес к разработанному ПМО как к инструменту исследования потенциальных количественных характеристик точности решения поставленной задачи разработанными интегрированными системами при различных исходных данных состояния целевых КА, навигационных КА (НКА) и разном составе и уровне влияния неконтролируемых факторов.



В четвертой главе описаны основные результаты проведенного имитационного моделирования процесса функционирования интегрированных систем навигации КА на ГСО, ВЭО и при выведении на ГСО, демонстрирующие возможности и преимущества сильно связанной архитектуры и настраиваемого алгоритма интеграции данных. Приведенные автором зависимости доказывают возможность решения поставленной навигационной задачи с требуемой точностью на основе использования разработанных интегрированных астро-спутниковых систем навигации.

### **Научная и практическая значимость результатов**

Новизна работы состоит в проведении исследований и разработке облика интегрированных системы навигации, основанных на использовании комбинации астро- и спутниковых систем позиционирования.

В силу сложности поставленной задачи наиболее конструктивным подходом к формированию облика бортовой интегрированной системы навигации КА на ГСО и ВЭО является разработка специализированного инструмента, обеспечивающего имитационное математическое моделирование процесса функционирования разработанной системы навигации в различных условиях. Реализация такого подхода требует создания соответствующего программно-математического обеспечения (ПМО), реализующего имитационную модель процесса функционирования интегрированных систем навигации КА с учетом широкого спектра неконтролируемых факторов. Автором было создано ПМО, включающее в общем смысле модель «внешней среды» - неконтролируемых факторов различной природы и модель «борта» рассматриваемого КА, в том числе модели измерений аппаратных средств. Автор успешно справился с поставленной задачей и предложил набор моделей и алгоритмов, который обеспечивает адекватное, с учетом реальных ограничений, имитационное моделирование процесса функционирования бортовой интегрированной системы навигации КА на ГСО и ВЭО, а также при выведении на ГСО, в том числе в условиях действия активных помех.

К числу наиболее важных научных результатов, полученных автором, обладающих существенной новизной, следует отнести:

- архитектура, состав аппаратных средств, математические модели и алгоритмы интегрированных систем навигации КА на ГСО, ВЭО, а также при выведении на ГСО с помощью двигателя малой тяги;

- имитационные модели процесса функционирования интегрированных систем навигации для КА на ГСО, ВЭО и при выведении на ГСО, основанных на использовании ГНСС-технологий;

- алгоритмы высокоточного решения навигационной задачи КА на ГСО, ВЭО;



- алгоритм высокоточной оценки компонент вектора тяги стационарного плазменного двигателя без использования инерциальных элементов на основе обработки квазилинейным ФК «невязок» между опорной и истинной – измеряемой траекториями при выведении КА на ГСО;

- специализированное программно-математическое обеспечение для моделирования процессов функционирования интегрированных систем навигации КА на ГСО, ВЭО и при выведении на ГСО с учетом неконтролируемых факторов различной физической природы.

**Практическая ценность** полученных автором научных результатов заключается в проведении исследований и положительный вывод о возможности повышения точности оценки положения КА на высоких орбитах путем использования комбинированных астропутниковых систем навигации, создании программно-математического обеспечения с открытой архитектурой, обеспечивающих имитационное моделирование процесса функционирования интегрированных систем навигации и позволяющих сформировать требования к аппаратному и алгоритмическому составу бортового КА в рассматриваемых условиях.

В работе приведены также обширные результаты математического моделирования, на основании которых можно сделать вывод, что предлагаемый автором состав программных и аппаратных средств с предлагаемыми автором характеристиками способен обеспечить выполнение поставленных требований к точности решения навигационной задачи на борту КА.

Достоверность основных положений и выводов диссертационной работы подтверждается корректностью и достаточной строгостью обоснований принятых допущений, теоретическим обоснованием применяемого методического и алгоритмического обеспечения, результатами имитационного моделирования.

Результаты диссертации опубликованы в 10 печатных работах.

#### **Рекомендации по использованию результатов диссертации**

Результаты диссертации могут быть рекомендованы к использованию на предприятиях, работающих в области создания КА мониторинга, связи, навигации, телекоммуникаций и телевидения, мультимедиа и ретрансляции на геостационарной и высоких эллиптических орбитах.

#### **Замечания по диссертации**

1. Приведенная в работе информация по оценке адекватности разработанных моделей недостаточно полная и не отражает накопленные в последнее время практические данные по возможности использования ГНСС для повышения точности позиционирования КА на высоких Земных орбитах.

2. В работе диссертантом не рассматривалось моделирование реально существующих аппаратных средств, производимых в настоящее время предприятиями аэрокосмической отрасли - изготовителями КА. Такое моделирование могло бы наглядно продемонстрировать



возможности разрабатываемых интегрированных систем навигации, предлагаемых в данной работе.

2. В целом работа изложена лаконичным и ясным стилем, аккуратно оформлена. Однако в тексте встречаются обороты с личными местоимениями множественного числа, которые в такой авторской работе, как диссертация, следует избегать. Кроме того, в работе на стр. 10 есть ссылка на несуществующее Приложение.

### Заключение

Считаем, что по совокупности полученных результатов диссертационная работа Д.М. Кружкова «Современные и перспективные интегрированные системы высокоточной навигации космических аппаратов на геостационарной и высоких эллиптических орбитах на основе использования ГНСС-технологий», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01. «Системный анализ, управление и обработка информации (авиационная и ракетно-космическая техника)» соответствует критериям, изложенным в пунктах 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, а ее автор заслуживает присвоения ученой степени кандидата технических наук по названной специальности.

Отзыв обсужден и согласован на заседании секции НТС ОКБ 13 ноября 2014 года, протокол №.11

Ведущий специалист,  
к.т.н.

TARGAMADZEB LASPACE.RU  
тел. 8 (495) 573-57-21



Таргамадзе Реваз Чолаевич

Ученый секретарь НТС ОКБ,  
к.т.н.

С.В.Шостак