

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.125.12**

на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» Министерства образования и науки Российской Федерации (ФГБОУ ВПО МАИ) по диссертации **Кружкова Дмитрия Михайловича** на соискание ученой степени кандидата технических наук

**Диссертация** «Современные и перспективные интегрированные системы высокоточной навигации космических аппаратов на геостационарной и высоких эллиптических орбитах на основе использования ГНСС-технологий» **в виде** рукописи **по специальности** 05.13.01 – «Системный анализ, управление и обработка информации» (авиационная и ракетно-космическая техника) **выполнена в** Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» Министерства образования и науки РФ на кафедре «Информационно управляющие комплексы ЛА» (каф. 704).

**Диссертация принята к защите** 16 октября 2014 года, протокол №1.

**Соискатель** Кружков Дмитрий Михайлович, **гражданство:** Российская Федерация, **основное место работы в период подготовки и на момент защиты диссертации:** в период с 05.2011 по 05.2014 младший научный сотрудник НИС 704, с 05.2014 по 12.2014 ассистент кафедры 704.

В 2011 году **соискатель окончил** «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)».

**Научный руководитель** – кандидат технических наук, доцент, Козорез Дмитрий Александрович, доцент кафедры 704 «Информационно-управляющие комплексы» МАИ.

**Официальные оппоненты:**

- 1) Сошников Валерий Николаевич – гражданин Российской Федерации, доктор технических наук, профессор, заместитель начальника отделения ФГУП «ГосНИИАС»;
- 2) Тычинский Юрий Дмитриевич – гражданин Российской Федерации, кандидат технических наук, начальник бригады ОАО «ГНПП «Регион».

**Дали положительные отзывы о диссертации.**

**Ведущая организация:**

Федеральное государственное унитарное предприятие «Научно-производственное объединение имени С.А. Лавочкина» (ФГУП «НПО им. С.А. Лавочкина»), г.Москва, 141400, г. Химки, Московская область, ул Ленинградская, д. 24.

**дала положительное заключение** (заключение составлено ведущим специалистом ФГУП НПО им. Лавочкина, к.т.н. Таргамадзе Р.Ч., ученым секретарем НТС ОКБ, к.т.н. Шостаковым С.В., подписано Мартыновым М.Б. – Первым заместителем генерального конструктора ФГУП НПО им. Лавочкина).

**На диссертацию и автореферат поступили отзывы:**

**1. Федеральное государственное унитарное предприятие «Научно-производственное объединение имени С.А. Лавочкина» (ФГУП «НПО им. С.А. Лавочкина»)** (ведущая организация). **Отзыв положительный.**

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.
- 3) 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.

**2. Сошников Валерий Николаевич** (официальный оппонент). **Отзыв положительный.**

В качестве недостатка работы можно отметить отсутствие анализа вычислительной эффективности предлагаемых алгоритмов расчета навигационных параметров по составному критерию точность-объем вычислений. Этот анализ имеет большое



значение для реализации прилагаемых алгоритмов в бортовых числительных системах рассматриваемых космических аппаратов.

**3. Тычинский Юрий Дмитриевич (официальный оппонент). Отзыв положительный.**

В качестве недостатков работы можно отметить следующие.

1. Автор не производит сравнение полученных им результатов с решениями подобных задач, полученными другими авторами.

2. В диссертации делается заявление о разработке архитектуры, но в качестве архитектуры приводится только структурная схема конкретной системы. Архитектура затрагивает гораздо более значимые и широкие понятия, чем те, которые рассмотрены в данной работе.

3. Возмущающие факторы моделируются в данной работе только как стохастические. Такая модель дает оптимистические оценки точности системы. В реальности коррелированность возмущающих факторов, их неопределенная природа и пр. могут существенно ухудшить точностные параметры. В результате может так оказаться, что реально достижимая точность не будет соответствовать заявленным характеристикам. Если это выяснится на поздних этапах разработки (когда уже будут затрачены значительные средства), то последствия для проекта могут оказаться катастрофическими. Автору следовало бы использовать оценки точности не в наилучших, а наоборот, в наихудших условиях, чтобы таким образом гарантировать результат.

4. В пояснительной записке не упоминается о важнейшем свойстве наблюдаемости оцениваемых параметров.

**4. ФГУП МОКБ «Марс».**

Отзыв подписан заместителем начальника направления ФГУП МОКБ, к.т.н., доц. М.А. Шатским, начальником отделения ФГУП МОКБ «Маарс» Н.В. Рябогиным и заверен заместителем директора ФГУП МОКБ «Марс» по научной работе, д.т.н., проф. Б.Н. Поповым.

Стоит отметить, что из автореферата недостаточно ясно:

1. Чем обусловлены растущие требования к точности решения навигационных задач рассматриваемых типов КА, и как сформулированы заданные значения по точности решения задачи, остались нераскрытыми, тем самым не до конца раскрыта актуальность работы.

**5. ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет».**

Отзыв подписан профессором кафедры «Техническая кибернетика», заслуженным деятелем науки и техники РФ, д.т.н., проф. Б.Г. Ильясовым.

Представленный автореферат не свободен от недостатков, к которым можно отнести следующие:

1. Недостаточное внимание автора к научному обоснованию адекватности используемой модели тяги двигателя при моделировании процесса выведения КА на ГСО, что делает затруднительным вывод о достоверности полученных оценок тяги.
2. Отсутствие в автореферате постановок решаемых задач.
3. Изложение полученных результатов и их новизны в информативном плане (показано, предложено, разработано и т.п.) без указания научных выводов и их принципиальной новизны.

**6. ФГАОУ ВО «Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева (национальный исследовательский университет)».**

Отзыв подписан заведующим межвузовской кафедрой космических исследований, д.т.н., проф. И.В. Белоконовым и заверен начальником ООДСУ Н.Н. Павловой.

Стоит отметить ряд замечаний, которые возникли в процессе знакомства с авторефератом диссертации.

1. Недостаточно четкое обоснование использования сильно связанной схемы интегрированной бортовой системы.
2. Отсутствие в результатах работы зависимостей ошибок оценок параметров орбит КА на ВЭО и при выведении на ГСО.

**7. ФГБОУ ВПО «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана».**

Отзыв подписан профессором кафедры «Динамика и управление полетом ракет и космических аппаратов», Заслуженным деятелем науки РФ, Лауреатом премии Президента РФ, д.т.н., проф. Л.Н. Лысенко и заверен заместителем руководителя НУК СМ И.А. Сутыриным.

Одно замечание.



1. К числу недостатков работы, на мой взгляд, следует отнести недостаточное внимание, уделенное автором к системе управления угловым движением КА..

#### **8. ФГБОУ ВПО «Тулский государственный университет».**

Отзыв подписан заведующим кафедрой «Системы автоматического управления», д.т.н., проф. О.В. Горячевым и заверен ученым секретарем Л.И. Лосевой.

##### Одно замечание.

1. В качестве недостатка стоит отметить, что в представленном автореферате не приводится сравнительный анализ различных алгоритмов динамической фильтрации, в том числе, различных модификаций ФК.

#### **9. ФГБОУ ВПО «Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова».**

Отзыв подписан заведующим кафедрой «Процессов управления», д.т.н., проф. О.А. Толпегиним и заведующим кафедрой «Ракетостроение» д.т.н., проф. Бородавкин В.А., утвержден проректором по научно работе и инновационно-коммуникационным технологиям к.т.н. С.А. Матевеевым.

##### Вместе с тем, автореферат имеет ряд недостатков, к которым можно отнести:

- 1.Отсутствие описания способов устранения систематических ошибок ГНСС-приемника в процессе обработки измерений фильтром Калмана;
2. Отсутствие обоснования причин возникновения колебаний и расходимости в зависимостях ошибок оценок компонент вектора состояния КА.

#### **В дискуссии приняли участие:**

Фамилия, имя, отчество	Ученая степень, шифр специальности в совете
МАЛЫШЕВ В.В.	д.т.н., 05.07.09
КРАСИЛЬЩИКОВ М.Н.	д.т.н., 05.13.01
БОБРОННИКОВ В.Т.	д.т.н., 05.13.01
БРУСОВ В.С.	д.т.н., 05.07.09
ВОРОНЦОВ В.А.	д.т.н., 05.07.09
ЕВДОКИМЕНКОВ В.Н.	д.т.н., 05.13.01
КОНСТАНТИНОВ М.С.	д.т.н., 05.07.09

ОСИН М.И.

д.т.н., 05.13.18

ПАДАЛКО С.Н.

д.т.н., 05.13.18

РАЙКУНОВ Г.Г.

д.т.н., 05.07.09

**Соискатель имеет 10 опубликованных работ, из них по теме диссертации опубликовано 10 научных работ общим объемом 6.5 печатных листа, в том числе 5 статей в научных журналах и изданиях, которые включены в перечень российских рецензируемых научных журналов и изданий для опубликования основных научных результатов диссертаций. Соискателем опубликовано 5 работ в материалах всероссийских и международных конференций и симпозиумов.**

**Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:**

1. Кружков Д.М. Оценка точности астро-спутниковой интегрированной навигационной системы спутника связи. М., Труды МАИ, 2012, 51, <http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=29146>.
2. Кружков Д.М. Точностные характеристики бортовой интегрированной навигационной системы автономного космического аппарата. М., Труды МАИ, 2012, 57, <http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=30953>.
3. Красильщиков М.Н., Козорез Д.А., Кружков Д.М., Сыпало К.И. Интегрированная навигационная система космического аппарата на геостационарной и высокоэллиптической орбитах, функционирующая в условиях активных помех. Известия РАН. Теория и системы управления, №3, 2013, с.143-154.
4. Ким Р.В., Кружков Д.М. Модификация алгоритмов функционирования бортовой интегрированной навигационной системы автономного космического аппарата. М. Труды МАИ, 2013, №68, <http://mai.ru/science/trudy/published.php?ID=41936>.

**Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается** тем, что официальные оппоненты являются специалистами по теме диссертационной работы Кружкова Дмитрия Михайловича, а ведущая организация проводит исследования в области навигации и управления движением космических аппаратов.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

**разработан** облик интегрированных систем навигации КА с использованием ГНСС-технологий, обеспечивающий высокоточное и автономное решение навигационной задачи при функционировании на ГСО и ВЭО, в том числе оценку компонент координат и вектора скорости центра масс, а также оценку компонент вектора тяги двигателя при выведении КА на ГСО с помощью СПД;



**предложены:** аппаратный состав, архитектура, математические модели, алгоритмы функционирования интегрированных систем навигации КА на ГСО, ВЭО и при выведении на ГСО, в том числе, алгоритм высокоточной оценки параметров движения КА на основе скалярной модификации фильтра Калмана, алгоритм высокоточной оценки компонент вектора тяги СПД на основе квазилинейной модификации ФК;

**доказана** возможность решения навигационной задачи на борту КА на ГСО, ВЭО и при выведении на ГСО с требуемой точностью на основе использования ГНСС-технологий с учетом воздействия помех и сильных изменений условий наблюдаемости НКА;

**введено** понятие облика интегрированных систем, лежащих в основе подхода к решению навигационной задачи КА на ГСО, ВЭО и при довыведении на ГСО.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:**

**разработаны и внедрены:**

– работы в части формирования облика интегрированных систем навигации космических аппаратов на геостационарной и высоких эллиптических орбитах использовались при проведении опытно конструкторских работ по проектированию КА на ГСО и ВЭО в ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнева»;

– разработанные Кружковым Д.М. алгоритмы и программно-математическое обеспечение используются в отделе баллистического и навигационного обеспечения космических аппаратов и си ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнева» при проведении проектно-баллистического анализа перспективных космических аппаратов.

**определены** точностные характеристики интегрированных систем навигации в части решения навигационной задачи КА на ГСО, ВЭО и при выведении на ГСО, в том числе ошибок оценок параметров движения КА, элементов орбит, углов ориентации и компонент вектора тяги СПД;

**создано** программно-математическое обеспечение, реализующее имитационное моделирование процесса функционирования интегрированных систем навигации

КА на ГСО, ВЭО и при выведении на ГСО с учетом широкого спектра неконтролируемых факторов;

**представлены** требования к бортовым аппаратным средствам и устройствам, необходимые для решения навигационной задачи на борту с заданной точностью.

**Другие научные достижения, свидетельствующие о научной новизне и значимости полученных результатов** заключаются в том, что предложенный подход и результаты проведённого моделирования позволили сделать выводы о возможности автономного решения навигационной задачи КА различного назначения на высоких орбитах путем обработки данных измерений ГНСС-преимника в рамках сильно связанной архитектуры системы навигации.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

**для экспериментальных работ** программный комплекс построен на сертифицированных технических средствах с использованием лицензионного проприетарного программного обеспечения; в процессе решения практических задач показана воспроизводимость результатов исследования при различных исходных данных;

**теория построена** на известных, проверяемых фактах: математических моделях движения КА, возмущающих факторов, функционирования информационно-измерительных и управляющих средств, причинно-следственных отношениях, существующих между формируемыми управляющими сигналами и эволюцией траекторного движения; согласуется с опубликованными экспериментальными данными и теоретическими исследованиями по теме диссертации;

**идея базируется** на системном анализе и обобщении различных теоретических подходов и численных методов оптимальной обработки навигационных измерений в рамках сильно-связанной схемы комплексирования навигационной информации;

**использованы** полученные ранее по рассматриваемой тематике данные автора и других исследователей, в том числе зарубежных, в предметной области методов и средств для решения навигационной задачи на борту КА на ГСО, ВЭО и при выведении на ГСО;

**установлено**, что полученные автором результаты укладываются в рамки существующих представлений о процессах приема ГНСС сигналов на борту КА на ГСО и ВЭО, в том числе, представленных в независимых источниках по данной тематике;



**использованы** современные методы сбора, обработки и анализа исходной информации.

**Личный вклад** соискателя состоит в:

Формировании подхода к решению навигационной задачи КА на основе использования ГНСС-технологий, обеспечивающего повышение автономности космических группировок мониторинга, связи, ретрансляции, телевидения и пр. на ГСО и ВЭО на этапах довыведения с использованием СПД и функционирования на орбите, Подход основан на разработке соответствующих интегрированных систем навигации, построенных в рамках сильносвязанной схемы комплексирования навигационной информации данных измерений ГНСС-приемника и оптико-электронных астроприборов.

В рамках подхода автором предложена архитектура, состав аппаратных средств, математические модели и алгоритмы функционирования интегрированной системы навигации КА на ГСО, ВЭО и при выведении на ГСО, в том числе алгоритмы высокоточной оценки вектора состояния КА, включая его координаты и компоненты вектора скорости, алгоритм оценки компонент вектора тяги стационарного плазменного двигателя при довыведении КА на ГСО, обеспечивающий оценку модуля тяги до уровня точности 1% от номинала (3 СКО) и ориентации с ошибкой не более 5 угловых минут (3 СКО).

Диссертация охватывает основные вопросы поставленной научной задачи (проблемы) и соответствует критерию внутреннего единства, что подтверждается наличием последовательного плана исследования, непротиворечивой методологической платформы, концептуальности и взаимосвязи выводов.

Диссертационный совет пришёл к выводу о том, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 30 января 2002 г. № 74 (в редакции постановления Правительства Российской Федерации от 20 июня 2011 г. № 475), и принял решение присудить Кружкову Дмитрию Михайловичу учёную степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 4 доктора и 1 кандидат наук по специальности 05.13.01 – «Сис-

темный анализ, управление и обработка информации» (авиационная и ракетно-космическая техника), участвовавших в заседании, из 25 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за присуждение учёной степени: 18 , против присуждения учёной степени: 0, недействительных бюллетеней: 0 .

Председатель  
диссертационного совета Д 212.125.12

В.В.Малышев

Учёный секретарь  
диссертационного совета Д 212.125.12

В.В.Дарнопых

«18» декабря 2014 года

