

СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ ДИССЕРТАЦИИ

Диссертационный совет: Д212.125.12

Соискатель: Войсковский Андрей Павлович

Тема диссертации: «Автономное управление движением центра масс геостационарного космического аппарата на этапах довыведения, перевода в рабочую позицию и удержания»

Специальность: 05.07.09 – «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов»

Решение диссертационного совета по результатам защиты диссертации:

На заседании 27 декабря 2016 года диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, соответствующую критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, и принял решение присудить Войсковскому Андрею Павловичу ученую степень кандидата технических наук.

Присутствовали: *председатель диссертационного совета В.В. Малышев, заместитель председателя диссертационного совета М.Н. Красильщиков, ученый секретарь диссертационного совета А.В. Старков, члены диссертационного совета: В.Т. Бобронников, В.С. Брусов, В.А. Воронцов, В.Н. Евдокименков, А.И. Кибзун, М.С. Константинов, В.П. Махров, С.Н. Падалко, В.Н. Почукаев, В.В. Родченко, С.И. Рыбников, Г.Г. Себряков, К.И. Сыпало, Г.Ф. Хахулин, М.М. Хрусталеv, А.В. Шаронов.*

Уч. секретарь диссертационного совета
Д 212.125.12, к.т.н.

Старков А.В.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.125.12

на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»,

Министерства образования и науки Российской Федерации (ФГБОУ ВО МАИ)

по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 27.12.2016 г., № 24

О присуждении Войсковскому Андрею Павловичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Автономное управление движением центра масс геостационарного космического аппарата на этапах довыведения, перевода в рабочую позицию и удержания» по специальности 05.07.09 «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов» **принята к защите** 20.10.2016, протокол № 19 диссертационным советом Д 212.125.12 на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», 125993, Москва, А-80, ГСП-3, Волоколамское шоссе, 4, приказ о создании совета № 105/нк. От 11.04.2012 г.

Соискатель Войсковский Андрей Павлович 1985 года рождения, в 2008 г. окончил Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» по специальности «Прицельно-навигационные системы летательных аппаратов» с присвоением квалификации «инженер». В период с 2008 г. по 2011 г. обучался в аспирантуре кафедры 704 Государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский авиационный институт (государственный технический университет)».

В период подготовки диссертации соискатель Войсковский Андрей Павлович работал в научно-исследовательском отделе кафедры

«Информационно-управляющие комплексы летательных аппаратов» и на кафедре «Информационно-управляющие комплексы летательных аппаратов», в должностях ведущего инженера и ассистента соответственно. Удостоверение о сдаче кандидатских экзаменов выдано 01.09.2016 г. федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» (ФГБОУ ВО МАИ).

Диссертация выполнена в ФГБОУ ВО МАИ на кафедре «Информационно-управляющие комплексы летательных аппаратов».

Научный руководитель – к.т.н., доцент, доцент кафедры МАИ «Системный анализ и управление» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» **Федоров Александр Викторович**.

Официальные оппоненты:

Белоконов Игорь Витальевич – гражданин Российской Федерации, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Межвузовская кафедра космических исследований» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева».

Ковков Джордж Владимирович - гражданин Российской Федерации, кандидат технических наук, доцент кафедры «Управления конкурентоспособностью аэрокосмических предприятий» Российского университета дружбы народов.

Дали положительные отзывы о диссертации.

Ведущая организация:

Федеральное государственное унитарное предприятие «Научно-производственное объединение имени С.А. Лавочкина», г. Химки дала **положительное заключение** (заключение рассмотрено и одобрено на заседании секции №1 НТС протокол №10-16 от 8 декабря 2016, подписано заместителем

генерального директора, генеральным конструктором, к.т.н. М.Б. Мартыновым, заместителем начальника отдела, д.т.н. А.Е. Назаровым, ведущим математиком, к.т.н. А.В. Симоновым, заключение утверждено исполняющим обязанности генерального директора, к.э.н. С.А. Лемешевским. В заключении указано, что диссертация Войсковского А.П. является законченной научно-квалификационной работой на актуальную тему, имеет практическое значение, соответствует паспорту специальности 05.07.09 «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов», прошла достаточную апробацию и полностью соответствует требованиям, предъявляемым ВАК при Министерстве образования и науки РФ к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.09 «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов». Также в отзыве отмечается, что результаты диссертационной работы могут быть полезны при проектировании геостационарных КА, разрабатываемых в НПО им. С.А. Лавочкина, а также могут быть рекомендованы к использованию в организациях, занимающихся разработкой геостационарных КА – «Спутниковые информационные системы» им. М.Ф. Решетнева и РКК «Энергия» им. С.П. Королева.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается наличием публикаций в соответствующей сфере исследования, компетентностью в области науки по специальности 05.07.09 «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов» и способностью определить научную и практическую ценность диссертации. **Ведущая организация** занимается разработкой, производством, осуществлением запусков, управлением подвижными космическими объектами и эксплуатацией космических аппаратов и систем научного, гражданского и военного назначения, а также проведением опытно-конструкторских и научно-исследовательских работ, разработкой программ и алгоритмов.

Белоконов Игорь Витальевич является известным специалистом в области проектирования и разработки алгоритмического и программного

обеспечения спутниковых систем связи и навигации, в том числе ГЛОНАСС и систем, использующих КА на ГСО. Широко известны также его исследования в области создания наноспутников и соответствующих кластерных систем.

Ковков Джордж Владимирович является специалистом в области динамики, баллистики и управления движением КА и проектного анализа сложных систем стратегического назначения и перспективного планирования новых разработок с учётом финансово-экономических факторов. Кандидат технических наук (2011), разработчик методики выбора орбит космических аппаратов астрофизических комплексов.

Основные результаты диссертационной работы представлены в двух научных работах в изданиях, входящих в международные реферативные базы данных (МБД) и системы цитирования MathSciNet, Scopus, WoS, zbMATH:

1. А. П. Войсковский, Д. А. Козорез, М. Н. Красильщиков, Д. М. Кружков, К. И. Сыпало. Автономная навигация при довыведении космического аппарата на геостационарную орбиту. 2. Моделирование процессов функционирования интегрированной автономной системы навигации и управления космического аппарата // Изв. РАН. ТиСУ. 2016. № 5. С.106-118 (№549 в списке МБД ВАК по состоянию на 01.09.2016 г.)
2. А.П. Войсковский, М.Н. Красильщиков, В.В.Малышев, А.В. Федоров. Автономная реализация динамических операций на геостационарной орбите. 2. Синтез алгоритмов управления // Изв. РАН. ТиСУ. 2016. № 6. С.107-128 (№549 в списке МБД ВАК по состоянию на 01.09.2016 г.)

На диссертацию и автореферат поступили следующие отзывы:

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

По работе необходимо сделать следующие замечания:

1. Разработанные в диссертации алгоритмы предполагают расчет бортового прогноза, учитывающего сложную и ресурсоемкую модель

детерминированных возмущающих факторов. Его реализация представляется трудноосуществимой. Так, например, никакой из перспективных БКУ не обеспечивает расчет в режиме реального времени используемых в диссертации 70 гармоник гравитационного поля Земли. В связи с этим рекомендуется сократить число возмущаемых факторов до приемлемого уровня и оценить вызванное этим снижение точности прогноза ЦМ КА.

2. В тексте диссертации не указан источник информации для блока навигации. Ни односеансные траекторные измерения наземными станциями, ни блок аппаратуры спутниковой навигации, работающий вне сплошного навигационного поля, не обеспечивают точность определения местоположения КА на уровне порядка 10 метров.

2. **Белоконов Игорь Витальевич** (официальный оппонент), доктор технических наук, профессор. **Отзыв положительный.** Заверен Ученым секретарем «Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королева», профессором В.С. Кузьмичевым.

В качестве недостатков работы можно отметить следующие:

- при формировании алгоритмов управления движением центра масс КА на этапе приведения и удержания автором не рассматриваются особенности их бортовой реализации;

- в диссертации не приведены результаты исследования сходимости метода последовательных приближений;

- отсутствуют предложения по реализации бортового программного обеспечения;

- имеются стилистические погрешности.

3. **Ковков Джордж Владимирович** (официальный оппонент), кандидат технических наук. **Отзыв положительный.**

В качестве недостатков работы можно отметить следующие.

1. В диссертации упоминается архитектура программного комплекса, но в качестве архитектуры приводится только функциональная схема конкретной

системы. Архитектура затрагивает гораздо более значимые и широкие понятия, чем те, которые рассмотрены в данной работе.

2. Возмущающие факторы моделируются в данной работе только как стохастические. Такая модель дает средние по множеству реализаций оценки характеристик точности, обеспечиваемые разработанными алгоритмами. На практике множество возмущающих факторов включает не только стохастические, но и неопределенные, а также нечеткие. Таким образом, следует ожидать, что реально достижимая точность в отдельных реализациях не будет соответствовать заявленным характеристикам. Возможно, автору следовало бы использовать оценки в наихудших условиях, применяя так называемый гарантирующий подход.

4.ГНЦ ФГУП «Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем». Отзыв положительный. Подписан начальником подразделения, д.т.н., профессором, член-корреспондентом РАН Г.Г.Себряковым.

К числу недостатков работы следует отнести тот факт, что в представленном автореферате не приводится список реально существующих или проектируемых аппаратов, для которых применимы разработанные алгоритмы.

5.Федеральное государственное унитарное предприятие «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения» (ФГУП ЦНИИмаш). Отзыв положительный. Подписан начальником отдела 8002 В.М. Овечко и главным научным сотрудником отдела 8002, к.ф.-м.н., с.н.с. А.М. Титовым, утвержден заместителем генерального директора по управлению полетами – начальником ЦУП, д.т.н. М.М. Матюшиным.

К недостаткам работы можно отнести тот факт, что алгоритм управления строит траекторию движения КА, как уже было сказано, без участия наземного контура управления, однако при этом не учитываются траектории движения других космических объектов, что потенциально может привести к опасным сближениям КА с другими объектами.

6.Акционерное общество «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнева. Отзыв положительный. Подписан начальником сектора разработки бортового и специального ПО для измерительных и

координатно-метрических систем, к.т.н, доцент Е.В. Ислентьев, начальником сектора разработки баллистического и навигационного обеспечения КА Ю.Л. Булынином, ученым секретарем НТС секции №1 А.Н.Кульковым, отзыв утвержден Председателем секции №1 НТС предприятия, заместителем генерального конструктора по разработке космических систем, общему проектированию и управлению космическими аппаратами Ю.Г.Выгонским.

В качестве замечаний следует отметить следующее:

Судя по автореферату, автор не уделил достаточного внимания моделированию ошибок бортовых аппаратных средств, а также их вероятных отказов в процессе работы

7.Акционерное общество «Российская корпорация ракетно-космического приборостроения и информационных систем» (АО «Российские космические системы»). **Отзыв положительный.** Подписан заместителем начальника отделения «создания дополнений ГЛОНАСС и специализированных навигационных систем», к.т.н. Кисляковым Михаилом Юрьевичем, ведущим инженером-исследователем отдела «разработки и испытаний аппаратуры специализированных навигационных систем», к.т.н. Вовасовым Валерием Егоровичем, подпись заверена ученым секретарем Федотовым С.А.

В качестве недостатка стоит отметить, что при решении задачи управления приведением КА в рабочую точку автор не учитывает возможность наличия в целевой позиции другого КА (так называемая задача коллокации), что можно объяснить и без того обширным перечнем рассмотренных в данной диссертации задач. Также из автореферата не ясно, была ли учтена возможность автономного управления КА в условиях разрывного поля GPS/ГЛОНАСС.

8.Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский государственный авиационный технический университет» (ФГБОУ ВО «УГАТУ»). **Отзыв положительный.** Подписан заслуженным деятелем науки и техники РФ, профессором кафедры «Техническая кибернетика» ФГБОУ ВО УГАТУ, доктором технических наук,

профессором Б.Г. Ильясовым, заверен начальником отдела документационного обеспечения и архива Гильванова А.М.

В качестве недостатка в автореферате следует отметить:

1) Раздел «научная новизна» написан в повествовательном стиле: «разработан алгоритм...», «получена оценка...», без указания научной новизны и отличительных достоинств полученных результатов других исследователей в данной области.

2) В представленном автореферате не приводятся исходные данные, на основании которых были получены результаты моделирования, подтверждающие как работоспособность принятых решений, так и международные требования по точности реализации рассмотренных этапов жизненного цикла КА на ГСО.

9.Акционерное общество «Концерн «Центральный научно-исследовательский институт «Электроприбор» (АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»». Отзыв положительный. Подписан ведущим научным сотрудником АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», доктором технических наук, В.А. Тупысевым, заверен ученым секретарём, доктором технических наук Ю.А. Литмановичем.

Тем не менее, работа не лишена недостатков. В частности:

- в реферате утверждается (стр. 10), что решение задачи приходится проводить при «существенной нелинейности используемых математических моделей движения и навигационных измерений», при этом не обсуждаются вопросы законов распределения случайных величин, аппроксимации плотностей и соответствия оценок и расчетных апостериорных ковариационных матриц (стр 6);

- по тексту реферата имеется определенная нечеткость в применении «оптимальное управление», «квазиоптимальное управление» и не расшифрован ряд понятий и сокращений, например, понятие «характеристическая скорость» (стр 11).

10.Кафедра «Динамика и управление полетом ракет и космических аппаратов» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Отзыв положительный. Подписан

Профессор кафедры "Динамика и управление полетом ракет и космических аппаратов" МГТУ им. Н.Э. Баумана, заслуженный деятель науки РФ, д.т.н., профессором Лысенко Л.Н., подпись заверена Руководителем Научно-учебного комплекса Специального машиностроения д.т.н, профессором Калугиным В.П.

В качестве недостатка стоит отметить неочевидность принятого допущения об известности при синтезе алгоритмического обеспечения управления КА статистических характеристик расширенного вектора состояния в абсолютной системе координат и, тем более, оскулирующих элементов орбиты.

11. Публичное акционерное общество «научно-производственное объединение «Алмаз» имени академика А.А. Расплетина». Отзыв положительный. Подписан начальником СКБ НТЦ «НИИРП» ПАО «НПО АЛМАЗ», д.т.н., профессором Новиковым Виктором Аркадьевичем, подпись заверена Ученым секретарем диссертационного совета на базе ПАО «НПО Алмаз» д.т.н., доцентом Я.И.Малашко.

К числу недостатков представленной работы следует отнести отсутствие в автореферате описания алгоритма коррекции наклона на этапе удержания. Кроме того, в приведенных результатах работы отсутствуют пояснения поведения наклона орбиты КА на всех этапах, кроме довыведения

12. Акционерное общество «Научно-производственная корпорация «Системы прецизионного приборостроения». Отзыв положительный. Подписан Заместителем генерального конструктора, заместителем генерального директора, д.т.н. В.В. Пасынковым, Ученым секретарем НТС АО «НПК «СПП», к.т.н. Н.М.Союзовым, утвержден Генеральным конструктором, первым заместителем генерального директора АО «НПК «СПП», д.т.н., профессором, заслуженным деятелем науки РФ В.Д. Шаргородским.

К качеству замечаний следует отметить следующее:

1. В автореферате не приведены исходные данные, по которым осуществлялось моделирование автономного управления движением КА:

– для этапа довыведения, в частности, не указаны характеристики ЭРДУ, обеспечивающие изменение наклонение плоскости орбиты с 50 градусов до нуля за 170 суток;

– для этапа приведения и удержания КА на ГСО не указаны ошибки работы автономной системы навигации и системы управления.

2. В автореферате не приведены результаты оценки эффективности разработанных алгоритмов по сравнению с существующими алгоритмами, используемыми в настоящее время в практике НБО КА, в частности, разработки АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнева.

13.ФГУП «Московское опытно-конструкторское бюро «Марс». Отзыв положительный. Подписан Начальником направления ФГУП «Московское опытно-конструкторское бюро «Марс», к.т.н., доцентом Шатским М.А., утвержден Зам. директора ФГУП МОКБ «Марс» по научной работе В.Н. Соколовым.

К числу недостатков работы следует отнести, недостаточное внимание, уделенное автором вопросам реализации предложенной схемы управления, таким как: учет погрешности реально существующих приборов, в т.ч. приемников систем спутниковой навигации на ГСО, особенностей работы ЭРДУ, в т.ч. вопросы расхода рабочего тела, и реализации разработанных алгоритмов в БЦВМ КА с учетом потребных вычислительных ресурсов для работы в реальном времени. Также было бы полезным привести в автореферате пример полученной с помощью предлагаемого алгоритма программы управления ЭРДУ.

В дискуссии приняли участие:

Фамилия И.О.	Ученая степень, шифр специальности в совете
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
КИБЗУН А. И.	д.ф.-м.н., 05.13.18
КОНСТАНТИНОВ М. С.	д.т.н., 05.07.09
КРАСИЛЬЩИКОВ М. Н.	д.т.н., 05.13.01
ПОЧУКАЕВ В. Н.	д.т.н., 05.13.01
РЫБНИКОВ С. И.	д.т.н., 05.13.01

Диссертационный совет отмечает, что **наиболее существенные научные результаты, полученные лично соискателем**, могут быть сформулированы следующим образом:

1. разработан алгоритм автономного управления движением центра масс КА при переводе в рабочую позицию в стохастической постановке по интегрально-терминальному критерию с учетом детерминированных возмущений от гравитационного поля Земли, гравитации Луны и Солнца и случайных ошибок управления и навигации;
2. разработан алгоритм синтеза управления удержанием КА в рабочей позиции на ГСО в стохастической постановке в установившемся режиме;
3. получена оценка достигаемой точности автономного управления движением центра масс КА на этапах довыведения, приведения в рабочую позицию на ГСО и удержания в ней с учетом ошибок решения навигационной задачи, что существенно отличает настоящую работу от предыдущих аналогов.

Новизна полученных результатов заключается в автономности разработанных алгоритмов управления движением центра масс, а также в учете влияния ошибок решения навигационной задачи на характеристики терминальной точности и затрат рабочего тела ЭРДУ, что отличает работу от аналогичных решений в этой предметной области.

Значение полученных соискателем результатов исследования для **практики** подтверждается тем, что они могут найти дальнейшее применение как для действующих, так и для перспективных КА и систем, а именно:

1. разработанные алгоритмы и программно-моделирующий комплекс могут быть использованы при отработке автономных систем управления динамическими операциями КА на околокруговых орбитах, отличных от ГСО;
2. все предложенные в работе методы и алгоритмы реализованы в виде программно-моделирующего обеспечения, имеющего открытую архитектуру и позволяющего решать задачи отработки средств автономного проведения динамических операций КА с исключением нештатных ситуаций из-за ошибок операторов.

Результаты диссертационной работы были **использованы** в деятельности АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф.Решетнева при выполнении работ по теме «Разработка систем автономной навигации и управления движением на этапах выведения удержания в рабочей точке и коррекции орбиты космических аппаратов на геостационарной орбите с использованием перспективных методов и аппаратных средств». Разработанные Войсковским А.П. методики и программно-математическое обеспечение используются в отделе баллистического и навигационного обеспечения КА и космических систем АО «ИСС» при проведении проектно-баллистического анализа перспективных космических аппаратов.

Помимо этого, разработанное программно-математическое обеспечение процесса автономного управления движением космического аппарата на геостационарной орбите было использовано при проведении занятий для студентов, проходящих подготовку по специальности 24.05.05 «Интегрированные системы летательных аппаратов», в рамках дисциплины «Учебно-исследовательская работа студентов», при проведении практических занятий по дисциплине «Основы статистической динамики интегрированных информационных систем летательных аппаратов» и лабораторных работ по

дисциплине «Оптимизация систем оснащения ЛА». А также при проведении занятий для студентов проходящих подготовку по специальности 22.04.02 «Специальные организационно-технические системы» в рамках дисциплин «Учебно-исследовательская работа студентов», при проведении практических занятий по дисциплинам «Оптимизация организационно-технических систем», «Программирование и основы алгоритмизации», а так же в рамках дисциплины «Синтез программ управления движением ЛА» для аспирантов, проходящих подготовку по направлению 24.06.01, специальность 05.07.09.

Все результаты использования диссертационной работы подтверждаются соответствующими актами о внедрении, которые имеются в деле.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

- **методическая база работы** – методы теории оптимального управления, методы теории вероятностей, математической статистики, методы математического моделирования, объектно-ориентированного программирования.

- **установлено**, что эффективность, подтверждается использованием апробированного математического аппарата, обоснованием полученных результатов математическими расчетами и сравнительным анализом полученных результатов моделирования, проведенного в работе, с опубликованными результатами работ по данной тематике.

В диссертационной работе охвачены и основные вопросы рассматриваемой актуальной научной-технической задачи. Полученные результаты изложены логично и последовательно, а сама работа представляет единый, целостный научный труд. Идеи, положенные в основу, а также используемый инженерно-математический аппарат соответствуют современному представлению об автономных бортовых информационно-управляющих комплексах.

Изложенные в диссертационной работе **результаты являются новыми научно обоснованными техническими решениями, полученными автором лично** и имеющими существенное значения для развития автономных систем управления КА на ГСО.

В диссертационной работе отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, в которых изложены основные научные результаты, представленные в диссертации.

На заседании 27 декабря 2016 г. диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года №842, и принял решение присудить Войсковскому Андрею Павловичу ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 19 человек, из них 4 докторов наук по специальности 05.07.09 - «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов», участвовавших в заседании, из 27 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 19, против – нет, недействительных бюллетеней - нет.

Председатель диссертационного совета, д.т.н., проф.

 В.В. Малышев

Ученый секретарь диссертационного совета, к.т.н.

 В.А. Старков

Дата оформления Заключения