

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ОБЪЕДИНЕННОГО ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 999.121.03,  
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «САНКТ-  
ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ  
ИМ. ПРОФ. М.А. БОНЧ-БРУЕВИЧА» ФЕДЕРАЛЬНОГО АГЕНТСТВА СВЯЗИ,  
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АВТОНОМНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО  
УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ АЭРОКОСМИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ»  
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ,  
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО  
УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «БАЛТИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «ВОЕНМЕХ» ИМ. Д.Ф. УСТИНОВА» МИНИСТЕРСТВА  
НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО ДИССЕРТАЦИИ  
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 22 января 2020 г. № 1

О присуждении Митину Фёдору Васильевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Управление системой создания и поддержания формы крупногабаритной трансформируемой конструкции космического базирования» по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (в технике и технологиях) принята к защите 20 ноября 2019 года, протокол № 7 объединенным диссертационным советом Д 999.121.03, созданным на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича» Федерального агентства связи, Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 191186, Санкт-Петербург, наб. реки Мойки, д. 61, приказ № 44/нк от 30 января 2017 года.

Соискатель Митин Фёдор Васильевич, 1990 года рождения, работает ведущим инженером отдела проектирования систем возбуждения энергетических

машин в ПАО "Силовые машины", Министерство промышленности и торговли Российской Федерации.

В 2015 году соискатель окончил Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова».

В 2019 году окончил освоение программы подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова».

Диссертация выполнена на кафедре И9 – «Системы управления и компьютерные технологии» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Кабанов Сергей Александрович, основное место работы: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова», кафедра И9 – «Системы управления и компьютерные технологии», профессор кафедры.

Официальные оппоненты: 1. Шишлаков Владислав Фёдорович, доктор технических наук, профессор, основное место работы: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения», проректор по образовательным технологиям и инновационной деятельности, профессор кафедры управления в технических системах; 2. Савочкин Павел Владимирович, кандидат технических наук, доцент, основное место работы: Федеральное государственное бюджетное военное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского», кафедра передающих, антенно-фидерных устройств и средств СЕВ, заместитель начальника кафедры, дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное учреждение "Федеральный научный центр Научно-исследовательский институт системных исследований Российской академии наук", Москва, в своем положительном заключении, подписанном Рыбакиным Б.П., доктором физико-математических наук, профессором, ведущим научным сотрудником, Никитиным Валерием Фёдоровичем, кандидатом физико-математических наук, доцентом, старшим научным сотрудником, утвержденном Власовым С.В., д.т.н., директором, указала, что представленная диссертация является одной из первых в стране по тематике автоматического оптимального управления развёртыванием крупногабаритной трансформируемой конструкции космического базирования в режиме реального времени. Учитывая уровень развития вычислительной техники, переход на автоматизированную систему выглядит логичным шагом в данном направлении. Использование алгоритмов оптимального управления позволит выполнять поставленную задачу при заданных ограничениях. Основным результатом работы является новая модель поэтапного раскрытия крупногабаритного рефлектора космического базирования с учётом параметров различных видов колебаний, а также реализованный алгоритм управления развёртыванием конструкции в целях минимизации возникающих колебаний. Научная значимость полученных в диссертации результатов заключается в разработке математических моделей подвижных элементов космического аппарата, методов и алгоритмов оптимального управления раскрытием. Основные результаты диссертационной работы рекомендуются к использованию для проведения научно-исследовательских работ в области систем управления развёртыванием и настройкой рефлекторов космического базирования в отраслевых научно-исследовательских институтах НИИ КС им. А.А. Максимова, ФГБУН ИКИ РАН, ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, при проектировании и планировании современных космических аппаратов АО «ИСС» им. академика М.Ф. Решетнёва», а также ведущими компаниями в космической отрасли ПАО «РКК "Энергия" им. С.П. Королёва», АО «РКС», АО «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева». Диссертация Митина Фёдора Васильевича «Управление системой создания и поддержания формы крупногабаритной трансформируемой конструкции космического базирования» полностью соответствует критериям, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата технических наук, установленным п.п. 9–14 «Положения о присуждении учёных степеней»,

утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842 (в ред. от 01.10.2018 г.), является законченной научно-квалификационной работой, в которой решена задача разработки новых методов синтеза алгоритмов управления крупногабаритной трансформируемой конструкцией, имеющая значение для космической отрасли, а её автор, Митин Фёдор Васильевич, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (в технике и технологиях).

Соискатель имеет 37 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации – 16 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 5. Диссертация не содержит недостоверных сведений об опубликованных соискателем ученой степени работах. Помимо 5 работ, опубликованных в рецензируемых научных изданиях, соискатель имеет: 2 работы в изданиях, индексируемых в международных базах цитирования; 4 статьи в других научных журналах, сборниках научных статей, трудов и материалах конференций; 5 отчетов о НИР. Из них 1 работа опубликована соискателем без соавторства. Общий объём авторского вклада в работы (без результатов интеллектуальной собственности) составляет 15,92 печ.л. из общего количества 539,19 печ.л.

Наиболее значительные научные работы по теме диссертации.

Опубликованные в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий:

1. Кабанов С.А., Емельянов В.Ю., Митин Ф.В. Оптимизация динамики системы создания формы крупногабаритных трансформируемых антенн космического базирования // Вопросы радиоэлектроники. 2016. Серия ОТ. Вып. 8. С. 54–58.

2. Митин Ф.В. Разработка и анализ математической модели поступательного движения трансформируемых космических конструкций // Вопросы радиоэлектроники. 2017. Вып. 7. С. 121–125.

3. Кабанов С.А., Кривушов А.И., Митин Ф.В. Моделирование совместного раскрытия элементов крупногабаритного трансформируемого рефлектора космического базирования // Труды СПИИРАН. 2017. Вып. 5 (54). С. 130–151.

4. Кабанов С.А., Зимин Б.А., Митин Ф.В., Леканов А.В. Применение механики гибких нитей для настройки и определения формы радиоотражающего сетеполотна в одной плоскости // Радиопромышленность. 2018. Т. 28, № 3. С. 23–30.

5. Кабанов С.А., Митин Ф.В., Кривушов А.И., Улыбушев Е.А. Управление пьезоактюатором для настройки отражающей поверхности рефлектора космического базирования // Изв. вузов. Авиационная техника. 2018. № 4. С. 111–116.

Опубликованные в изданиях, индексируемых в международных базах данных:

6. Mitin F., Krivushov A. Control deployment of mobile units of large-sized spacecraft, Proceedings of the 28th DAAAM International Symposium, B. Katalinic (Ed.), Published by DAAAM International, 2017, Vienna, Austria. PP. 0773–0779.

7. Mitin F., Krivushov A. Application of Optimal Control Algorithm for DC Motor, Proceedings of the 29th DAAAM International Symposium, B. Katalinic (Ed.), Published by DAAAM International, 2018, Vienna, Austria. PP. 0762–0766.

Опубликованные в других изданиях:

8. Кабанов С.А., Митин Ф.В. Управление системой развёртывания и настройки крупногабаритного трансформируемого рефлектора космического базирования // Восьмые Уткинские чтения: труды общерос. науч.-техн. конф. / Балт. гос. техн. ун-т. СПб. 2019. С. 222–227.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы: Шишлакова В.Ф., официального оппонента; Савочкина П.В., официального оппонента; ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН, ведущей организации; Андриевского Б.Р., д.т.н., доц., ведущего научного сотрудника Института проблем машиноведения РАН; Рубцова Е.А., к.т.н., доцентом кафедры № 12 «Радиоэлектронных систем» Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации; Селиверстова Я.А., к.т.н., старшего научного сотрудника лаборатории интеллектуальных транспортных систем Института проблем транспорта им. Н.С. Соломенко РАН; Филимонова Н.Б., д.т.н., проф., зам. заведующего кафедрой «Физико-математические методы управления» МГУ им. Ломоносова, главного научного сотрудника ИПУ им. В.А. Трапезникова РАН, главного редактора журнала «Мехатроника, автоматизация, управление»; Телякова Р.Ф., к.т.н., заместителя начальника расчетно-исследовательского 35 отдела АО «КБСМ»; Охоткина К.Г., д.ф.-м.н., заместителя генерального директора по науке АО «ИСС».

Все отзывы положительные, но имеются критические замечания. В работе разработаны математические модели и алгоритмы, применение которых показано только на двух этапах развёртывания. Могут ли они быть использованы для

остальных этапов? Критерий (3.7) можно принять в виде (3.3), где функции  $V_f$  и  $f_0$  будут иметь уже другой вид, чем принятые в (3.3) для задачи раскрытия спицы рефлектора. В связи с этим возникает вопрос – почему автор отдал предпочтение формуле (3.7)? На с. 93:  $t_f = 133$  с – минимально возможное время, но автор не решает задачу максимального быстродействия, используя интегро-терминальный критерий. В работе не учтены действующие на исследуемую систему возмущения и шумы датчиков, что приводит к сложным задачам обработки результатов измерений и их планирования. Как это обстоятельство учитывается на практике? В тексте работы отсутствует сравнение реализаций управления на основе применения упруго-деформированных элементов и управления с использованием электрической машины, исходя из чего не ясно, насколько применение оптимального алгоритма является выигрышным по сравнению с используемыми методами раскрытия. Не достаточно подробно обоснован выбор конструктивного решения крупногабаритной конструкции. Была выбрана схема с закреплением радиоотражающего рефлектора к космическому аппарату через штангу, присоединённую к одному из краёв, хотя в ряде работ рассматривается соединение рефлектора со штангой в центре радиоотражающей части. В главах 3 и 4, при настройке формы радиоотражающего сетеполотна, получены результаты при использовании пьезоактюатора и двигателя постоянного тока в разных единицах, в м и в рад соответственно. Остаётся не ясно, как сравнивается использование разнородных исполнительных элементов и как двигатель постоянного тока использовался на макетах (рис. 4.14 и рис. 4.15). Из диссертации не ясно, на основании каких данных должна производиться корректировка радиоотражающего сетеполотна в процессе эксплуатации антенны в соответствии с предложенным алгоритмом оптимального управления. Не ясен выбор исходных данных при проведении моделирования в 4 главе. Требования по необходимому времени раскрытия сетеполотна не определены. В представленной работе все разработанные математические модели не содержат вектор возмущающих воздействий. При решении задачи оптимального управления не учтён стохастический характер возмущений, а также наличие помех датчиков и разброс случайных параметров самой системы. В ряде случаев алгоритм управления может не справляться с поставленной задачей при наличии возмущений, хотя при их отсутствии показывает удовлетворительные результаты. Не объяснено, на основе чего выбирались актюаторы для настройки радиоотражающего

сетеполотна. Причём для выбранных исполнительных устройств по отдельности при моделировании показаны перемещения в микрометры, хотя при определении приложенной силы для задания необходимой формы (п. 4.3.1) оттяжка осуществляется на метры. На с. 109 граничными условиями для двигателя постоянного тока являются град и град/с, а на рис. 4.13 переходные процессы показаны для рад и рад/с соответственно. При проведении исследовании совместного раскрытия элементов конструкции (п. 4.4) сделан вывод, что при использовании центробежной силы для выдвижения промежуточного звена спицы при заданных ограничениях на вектор управления не удастся решить поставленную задачу. Отсутствуют дальнейшие рекомендации по применению данного способа. Как итог получается, что он не имеет практического приложения. Не ясно, для каких параметров спицы приведены результаты моделирования. Сказано, что процесс раскрытия рефлектора можно разбить на 8 этапов, а моделирование представлено только для трёх. В работе не учтены датчики, за счёт которых предполагается обеспечивать обратную связь. Не исследованы задачи фильтрации данных, получаемых с них. В уравнениях (1) и (2) представлена  $k$ -ая собственная частота колебаний, в обозначениях к данным уравнениям указана первая собственная частота колебаний. Не ясно, какая частота выбрана при моделировании (рис. 3, рис. 5)? Исследованы ли разные порядки собственных частот, какие их значения и вклады в колебательность системы? 2. Для пьезоактюатора и ДПТ в третьей главе были выявлены структуры управления. В четвёртой главе при моделировании представлены результаты только для ДПТ. Применялся ли первый тип актюатора? Если да, то какие результаты дало применение разработанных алгоритмов для него? Автор в автореферате на стр. 6 указывает, что «Для создания эффективной математической модели в настоящее время применяются такие пакеты программ как EULER, Adams, Nastran, ANSYS, Cosmos, Abacus, тем не менее, для создание оптимального алгоритма управления необходимо применение другой программной среды, например, MATLAB...», но далее по тексту автореферата упоминания о программных пакетах отсутствует. Поэтому хотелось бы понять, использовался ли автором для моделирования параметров колебаний разработанных уточнённых математических моделей этапов раскрытия КТР какой-либо программный комплекс, например, MATLAB? Если да, то, исходя из каких критериев данный программный пакет был выбран, что в нём

моделировалось и присутствует ли код программы в диссертации? Если нет, то почему не использовался? 2. В соответствии с постановкой задачи необходимо поддерживать фронтальную часть радиоотражающей поверхности с требуемой точностью. Из результатов моделирования не ясно, удалось ли этого добиться. 3. Для совместного раскрытия элементов нет описания выбранного критерия и вида управления. Отсутствует обоснование новизны используемых в работе способов совместного раскрытия элементов КТР. Отсутствует учёт каких-либо возмущающих факторов в алгоритмах управления системой раскрытия и настройки КТР. В тексте автореферата не приведены числовые значения исходных параметров математических моделей, что затрудняет оценку результатов моделирования. При выводе математических моделей не учтены крутильные колебания и не дана оценка их влияния на колебания при развёртывании конструкции. В работе не учтены возмущающие воздействия, не исследованы их характеристики в космическом пространстве. Отмечено, что на весь процесс раскрытия рефлектора накладываются ограничения по точности, времени, управлению, но в автореферате нигде не отражены эти ограничения. Не ясно, в чём заключается недостаток использования ПИД-структуры управления? Отсутствуют численные сравнения работы ПИД и оптимального регуляторов.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается публикациями этих специалистов по проблематике, связанной с темой диссертации (оптимальное управление, крупногабаритные рефлекторы), способностью определить научную и практическую ценность диссертации, отсутствием совместных проектов, печатных работ, их авторитетом в научном сообществе. Ведущая организация ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН занимает лидирующие позиции при проведении фундаментальных, поисковых и прикладных научных исследований в области системных исследований, информационных технологий, вычислительных систем, управления. Заместитель директора института (д.ф.-м.н., проф. Смирнов Н.Н.) является академиком Международной академии астронавтики (International Academy of Astronautics (IAA)). Сотрудники центра Страшнов Е.В., Торгашев М.А., занимаются исследованиями имитационного моделирования в масштабе реального времени движения колесных роботов, проблемами решения задачи управления ориентацией, стабилизации, коррекции орбиты, стыковки и посадки космических



аппаратов, моделирования управления виртуальных объектов на модели поверхности Луны и др.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований: разработаны уточнённые модели алгоритмов коррекции параметров структуры управления для формирования оптимального раскрытия крупногабаритного трансформируемого рефлектора (КТР) с учётом минимизации колебаний конструкции и высокоточного выполнения терминальных условий; предложены уточнённые математические модели процессов раскрытия подвижных частей КТР космического базирования с возможностью их применения для конструкций с различными параметрами, от изменения материала, массы, габаритов до выбора управляющего органа; доказана перспективность использования разработанных алгоритмов, позволяющих добиться необходимой точности и качества регулирования системы при обеспечении высокой сходимости решения задачи в режиме реального времени; введены два новых способа управления одновременного раскрытия элементов рассматриваемого КТР для уменьшения времени выведения аппарата из транспортировочного в рабочее положение.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что: раскрыты зависимости выбора корректируемых параметров от вида структуры управления; изучены параметры, которые необходимо учитывать при построении математических моделей динамики крупногабаритных конструкций, применяемых в космическом пространстве; проведена модернизация существующих математических моделей, алгоритмов управления, обеспечивающих получение необходимой точности и качества регулирования системы с повышением эффективности.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что: разработаны и внедрены математические модели различных этапов раскрытия КТР, алгоритмы управления для формирования и настройки радиотражающей поверхности КТР при создании реальных изделий в АО "Информационные спутниковые системы" имени академика М.Ф. Решетнева; определены перспективы практического использования результатов исследования в космической отрасли; представлены методические рекомендации по разработке и использованию предложенных математических моделей, предложения по дальнейшему совершенствованию алгоритмов управления.

Оценка достоверности результатов исследования выявила: для экспериментальных работ результаты получены на современном сертифицированном оборудовании; теория построена на известных, проверяемых в процессе исследований данных и фактах, полученные результаты согласуются с опубликованными экспериментальными данными других исследователей по теме диссертации; идея базируется на анализе работ авторов, чьи исследования направлены на разработку устойчивых в плане сходимости алгоритмов оптимального управления в режиме реального времени; использовано сравнение авторских данных и данных, полученных ранее по рассматриваемой тематике в части выбора конструкции КТР, алгоритмов управления; установлено сходство результатов моделирования и экспериментальных исследований; использованы современные методы сбора и обработки экспериментальных данных, элементы системного подхода к решению конкретных задач исследования, методы математического моделирования (пакет прикладных программ MATLAB).

Личный вклад соискателя состоит в проведении анализа состояния вопроса, теоретических и экспериментальных исследований; в модификации математических моделей, описывающих динамику развёртывания элементов конструкции КТР; в разработке алгоритмов коррекции параметров структуры управления, позволяющих осуществлять синтез оптимального управления раскрытия при выполнении терминальных и интегральных условий; в разработке алгоритмов поточечной настройки фронтальной части рефлектора, обеспечивающих получение необходимых сил натяжения и длин вант в зависимости от её желаемой формы; в написании и отладке программных кодов, реализующих представленные математические модели и алгоритмы управления; в обобщении, обработке и представлении полученных результатов; в апробации результатов исследований.

Диссертация «Управление системой создания и поддержания формы крупногабаритной трансформируемой конструкции космического базирования» является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи разработки новых методов синтеза алгоритмов управления крупногабаритной трансформируемой конструкцией, имеющее значение для развития космической отрасли, что соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а

также пунктам 1, 3, 4 паспорта научной специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации.

На заседании 22 января 2020 года диссертационный совет принял решение присудить Митину Ф.В. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них – 5 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 25 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 16, против – нет, недействительных бюллетеней – 1.

Председатель диссертационного совета,  
доктор технических наук, профессор



Бачевский Сергей Викторович

Ученый секретарь диссертационного совета,  
кандидат технических наук

Владыко Андрей Геннадьевич

24 января 2020 года