

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.379.03,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АВТОНОМНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА»
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЁНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 29 июня 2023 года, № 5
о присуждении Чэнь Шумин, гражданину Китайской Народной Республики,
учёной степени кандидата технических наук.

Диссертация «Разработка программ управления для развёртывания
вращающихся тросовых группировок космических аппаратов», представленная
на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности
2.5.16. Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов
принята к защите 21 апреля 2023 г. (протокол заседания № 4) диссертационным
советом 24.2.379.03, созданным на базе федерального государственного
автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский
национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева»
Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (443086, г.
Самара, Московское шоссе, 34), приказом Минобрнауки России от 20 декабря
2018 г. № 365/нк с изменениями, внесёнными приказом от 07.07.2021г. №670/нк.

Соискатель Чэнь Шумин, 02 декабря 1993 года рождения, в 2019 году
окончила с отличием Северо-западный политехнический университет (КНР) по
специальности «Теория управления и техника управления», в соответствии с
положением, принятом в КНР («Устав для учёных степеней КНР»), присуждена
учёная степень магистра техники. С 2019 г. по настоящее время обучается в
очной аспирантуре федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный
исследовательский университет имени академика С.П. Королева» Министерства
науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена на кафедре программных систем федерального
государственного автономного образовательного учреждения высшего
образования «Самарский национальный исследовательский университет имени
академика С.П. Королева» Министерства науки и высшего образования
Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор
Заболотнов Юрий Михайлович, профессор кафедры программных систем
федерального государственного автономного образовательного учреждения

высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева».

Официальные оппоненты: Трушляков Валерий Иванович, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Омский государственный технический университет», кафедра «Авиа- и ракетостроение», профессор; Притыкин Дмитрий Аркадьевич, кандидат физико-математических наук, доцент, математик отдела моделирования космических систем ООО «Бюро 1440»; – **дали положительные отзывы** на диссертацию.

Ведущая организация – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» (МАИ), г. Москва, **в своем положительном заключении**, подписанном сотрудниками кафедры 301 «Системы автоматического и интеллектуального управления» доктором технических наук, профессором Бусурином В. И., кандидатом технических наук, доцентом Макаренко Н.А., заведующим кафедрой академиком РАН Желтовым С. Ю., и утверждённом и.о. проректора по научной работе, доктором технических наук, профессором Равиковичем Ю. А. указала, что диссертационная работа Чэнь Шумин является научно-квалификационной работой и в полной мере соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Чэнь Шумин, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.16. Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов.

Соискатель имеет 11 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 11 работ; из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 9 работ (из них 3 статьи – в научных изданиях, рекомендованных ВАК; 6 статьи – в базах Scopus и Web of Science). Общий объем публикаций составляет 9,54 п.л., авторский вклад 6,8 п.л. (71%). Из публикаций лично соискателю принадлежат: математические модели движения вращающихся тросовых группировок; номинальная программа управления для формирования тросовой группировки космических аппаратов в виде правильного треугольника; аналитическая оценка необходимой величины скорости вращения треугольной тросовой группировки в её конечном состоянии; программа управления для формирования треугольной тросовой группировки, построенная на основе скользящего режима управления с учётом ограничений на управляющие воздействия; программа развёртывания тросовой группировки «ступица-спицы», построенная с использованием режима скольжения по поверхности и принципа робастного управления. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой

степени работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации. Наиболее значимые работы:

1. Заболотнов, Ю.М. Метод формирования тросовой группировки микроспутников в виде правильного треугольника с учетом их движения относительно центров масс / Ю.М. Заболотнов, Ш. Чэнь // Известия РАН. Теория системы и управления. – 2023. – № 2. – С. 44-59. (статья 1,59 / 0,65 п.л.)

2. Чэнь, Ш. Формирование вращающейся кольцеобразной тросовой группировки из трёх наноспутников с ограничением на управление / Ш. Чэнь, Ю.М. Заболотнов // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. – 2022. – Т. 21. – № 3. – С. 69-84. (статья 1,16 / 0,88 п.л.)

3. Чэнь, Ш. Робастное управление при формировании вращающейся тросовой группировки микроспутников конфигурации «ступица-спицы» с использованием неравенства Гамильтона-Якоби / Ш. Чэнь, Ю.М. Заболотнов // Космические аппараты и технологии. – 2022. – Т. 6. – № 4. – С. 235-245. (статья 1,02 / 0,85 п.л.)

4. Chen, S. Adaptive sliding mode control for deployment of electrodynamic tether via limited tension and current / S. Chen, A. Li, C. Wang, C. Liu // Acta Astronautica. – 2020. – Vol. 177. – PP. 842-852. (статья 1,47 / 0,69 п.л.)

На диссертацию и автореферат поступило 6 отзывов.

1. Акционерное общество «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения», г. Королёв, Московская обл. (АО «ЦНИИмаш»), подписан ведущим научным сотрудником, к.т.н. Ёлкиным К.С., и главным учёным секретарём АО «ЦНИИмаш», д.т.н., с.н.с. Ключниковым В.Ю. Замечание: Небольшим недостатком автореферата диссертации являются несколько орфографических опечаток, но этот недостаток не влияет на правильность понимания текста.

2. Акционерное общество «Российская корпорация ракетно-космического приборостроения и информационных систем» (АО «РКС»), г. Москва, подписан главным научным сотрудником-заместителем начальника экспертно-аналитического центра АО «Российские космические системы», заслуженным деятелем науки РФ, чл.-корр. РАН, д.т.н., профессором Бетановым В.В., и учёным секретарём АО «РКС», к.т.н., с.н.с. Федотовым С.А. Замечания: 1) В работе, на наш взгляд, целесообразно было бы рассмотреть более глубоко одну-две космические миссии, реализующие рассматриваемые вращающиеся тросовые группировки космических аппаратов («треугольник» и/или «ступица-спицы»). Такое рассмотрение позволило бы детально отметить эффективное их применение на отдельных участках полета, в том числе, на начальном и конечном этапах экспериментов. 2) В автореферате положения,

выносимые на защиту, сформулированы как новые научные результаты, в то время как ВАК рекомендует их представлять как основные выводы и рекомендации. Одновременно представленные положения, на наш взгляд, не рационально «дробить» на более мелкие позиции, как это сделано соискателем.

3. Акционерное общество «Государственный ракетный центр имени академика В.П. Макеева», г. Миасс, Челябинская обл., подписан заместителем генерального конструктора по проектированию изделий и комплексов Голуновым М.С., начальником отдела баллистики, к.т.н. Степановым В.В., ведущим математиком-руководителем группы Ульяновым А.П. и главным учёным секретарём АО «ГРЦ Макеева», к.т.н. Калашниковым С.Т. Замечание: В качестве замечания необходимо отменить опечатки, такие как, например, «угловая скорость центра масс системы». Кроме того, по нашему мнению, в автореферате диссертации следовало бы более строго записать математическую модель углового движения космических аппаратов ТГКА треугольной конфигурации для более ясного понимания связи величин T_k и L_k .

4. Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)» (МФТИ), г. Долгопрудный, Московская обл., подписан заведующим кафедрой теоретической механики, д.ф.-м.н. Соколовым С.В. Замечание: В автореферате приводятся несколько программ развёртывания рассматриваемых орбитальных конфигураций ТГКА, причём каждая программа зависит от нескольких параметров. Стоило бы кратко указать значения основных параметров, а также прокомментировать рациональность их выбора.

5. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Самарский федеральный исследовательский центр Российской академии наук (г. Самара), подписан заместителем директора по научной работе СамНЦ РАН, к.т.н. Соколовым В.О. Замечание: Автором предложены программы управления движением рассматриваемых ТГКА для развёртывания и перевода их во вращение с заданной угловой скоростью. Однако, ничего не сказано о возможности оптимизации процессов развёртывания ТГКА по каким-либо критериям.

6. Акционерное общество «Ракетно-космический центр «Прогресс» (г. Самара), подписан начальником центра АО «Ракетно-космический центр «Прогресс» Воеводиным П.С. Замечание: 1) Из автореферата не ясна область применения аналитических оценок для необходимой угловой скорости вращения треугольной ТГКА. Зависят ли эти оценки от размеров ТГКА, от массы КА, входящих в их состав. В автореферате эта информация не приводится, хотя в

перечень основных научных результатов полученные аналитические оценки входят.

Во всех отзывах отмечено, что указанные недостатки не снижают научную и практическую значимость работы и не влияют на общую положительную оценку диссертации. Во всех отзывах отмечено, что диссертация соответствует требованиям ВАК Минобрнауки России, предъявляемым к кандидатским диссертациям, и сделано заключение о возможности присуждения Чэнь Шумин учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.16. Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов.

Выбор Трушлякова Валерия Ивановича в качестве официального оппонента по диссертации связан с тем, что он является крупным специалистом в области ракетно-космических систем, динамики и управления движением космических аппаратов.

Выбор Притыкина Дмитрия Аркадьевича в качестве официального оппонента по диссертации связан с тем, что он является опытным специалистом в области динамики и управления движением космических тросовых систем, методов моделирования их движения.

Выбор ведущей организации связан с широко известными достижениями её специалистов в областях: управление движением космических аппаратов, динамика движения летательных аппаратов, автоматическое и оптимальное управление движением космических аппаратов и космических систем со сложной конфигурацией.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработаны математические модели движения тросовых группировок космических аппаратов (ТГКА) конфигураций «треугольник» и «ступица–спица», построенные с помощью уравнений Лагранжа и предназначенные для построения предлагаемых номинальных программ развертывания рассматриваемых космических систем, а также для получения аналитических решений уравнений движения ТГКА в частных случаях;

разработан метод формирования вращающейся ТГКА в виде треугольника, заключающийся в использовании двигателей малой тяги, расположенных на КА, и в регулировании сил натяжения тросов по измерениям длины и скорости их выпуска;

предложена номинальная программа развёртывания треугольной ТГКА, приводящая систему в желаемое конечное состояние вращения с заданной угловой скоростью;

получено аналитическое решение уравнений движения треугольной ТГКА в номинальном случае при отсутствии возмущений и показано, что после

выключения реактивных двигателей угловая скорость стремится к некоторому предельному значению, аналитическая оценка для которого найдена;

получена аналитическая оценка необходимой величины скорости вращения треугольной ТГКА в её конечном состоянии;

доказана эффективность использования предложенной номинальной программы развёртывания треугольной ТГКА с использованием модели движения ТГКА с учётом действующих возмущений и движений КА относительно своих центров масс;

предложена номинальная программа развёртывания треугольной ТГКА, построенная с использованием скользящего режима управления, которая позволяет учесть ограничения на управляющие воздействия;

предложена программа развёртывания ТГКА «ступица–спицы», построенная с использованием режима скольжения по поверхности и принципа робастного управления, и основанная на управлении движением центрального КА, рассматриваемого как твёрдое тело конечных размеров;

введены параметры регуляторов для реализации предложенных программ управления развёртываем ТГКА конфигураций «треугольник» и «ступица–спицы».

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

обоснована возможность применения предложенных способов формирования вращающихся ТГКА конфигураций «треугольник» и «ступица–спицы»;

применительно к проблематике диссертации результативно использован принцип управления, основанный на формировании управляющих воздействий в соответствии с возникающими отклонениями от номинальной траектории движения системы;

доказана асимптотическая устойчивость номинальных программ развёртывания ТГКА «треугольник» и «ступица–спицы» с точки зрения приведения систем в заданное конечное состояние;

изучено влияние колебаний КА относительно своих центров масс на точность приведения вращающейся треугольной ТГКА в заданное конечное состояние;

изучено взаимное влияние движений центрального КА и тросов при формировании ТГКА «ступица–спицы».

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

разработаны модели движения ТГКА «треугольник» и «ступица – спицы», которые могут быть использованы при проектировании будущих космических миссий, связанных с применением ТГКА;

разработаны алгоритмы управления движением ТГКА конфигураций «треугольник» и «ступица–спицы», обеспечивающие приведение систем в заданное конечное состояние;

получена аналитическая оценка необходимой угловой скорости вращения треугольной ТГКА в её конечном состоянии;

сформулированы выводы и практические рекомендации по использованию разработанных алгоритмов управления движением вращающихся ТГКА;

разработано программное обеспечение, которое может быть использовано при проектировании систем управления ТГКА «треугольник» и «ступица–спицы».

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ, связанных с применением численного эксперимента, подтверждена эффективность предложенных алгоритмов управления движением рассматриваемых ТГКА с использованием моделей движения, учитывающих вращение КА относительно своих центров масс;

теория построена на известных классических методах: методах аналитической механики, теории управления, теории устойчивости Ляпунова, вычислительной математики;

полученные результаты не противоречат и согласуются с известными результатами по исследованию динамики ТГКА.

Личный вклад соискателя состоит в:

разработке методов и алгоритмов управления, в аналитических преобразованиях при построении математических моделей движения ТГКА и при получении аналитических оценок, в написании исходного кода программ моделирования управляемого движения ТГКА, в проведении численных расчётов, в анализе результатов моделирования, в обработке и интерпретации результатов численных экспериментов, в апробации результатов исследования, в подготовке основных публикаций по выполненной работе. Все результаты, выносимые на защиту, получены автором либо лично, либо при её определяющем личном участии.

Разработанные математические модели движения ТГКА и программы управления внедрены в учебный процесс в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» при подготовке бакалавров и магистров по направлению фундаментальная информатика и информационные технологии (имеется акт внедрения).

В ходе защиты диссертации критические замечания высказаны не были. Соискатель Чэнь Шумин ответила на все задаваемые ей в ходе заседания вопросы.

Диссертационным советом сделан вывод о том, что диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, отвечает критериям, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук. Работа выполнена на высоком научном уровне, содержит решение актуальной задачи разработки методов анализа динамики и управления движением тросовых группировок космических аппаратов, имеющей существенное значение для космических исследований.

В диссертации отсутствует заимствованный материал без ссылки на автора и (или) источник заимствования, результаты научных работ, выполненных соискателем ученой степени в соавторстве, без ссылок на соавторов.

На заседании 29 июня 2023 г. диссертационный совет принял решение присудить Чэнь Шумин учёную степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 8 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 16, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель
диссертационного совета 24.2.379.03



Е. В. Шахматов

Учёный секретарь
диссертационного совета 24.2.379.03

А. В. Крамлих

29.06.2023