

СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ ДИССЕРТАЦИИ

Диссертационный совет Д 212.267.13, созданный на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет», извещает о результатах состоявшейся 24 декабря 2015 года публичной защиты диссертации Пономарёва Виктора Сергеевича «Напряженно-деформированное состояние антенных рефлекторов космических аппаратов при нестационарных тепловых воздействиях» по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук

Время начала заседания: 14.30

Время окончания заседания: 16.10

На заседании присутствовали 25 из 26 членов диссертационного совета, из них 9 докторов наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела:

1.	Христенко Юрий Федорович, заместитель председателя диссертационного совета	д-р техн. наук	01.02.04
2.	Васенин Игорь Михайлович, заместитель председателя диссертационного совета	д-р физ.-мат. наук	01.02.05
3.	Пикушак Елизавета Владимировна, ученый секретарь диссертационного совета	канд. физ.-мат. наук	01.02.05
4.	Архипов Владимир Афанасьевич	д-р физ.-мат. наук	01.02.05
5.	Биматов Владимир Исмагилович	д-р физ.-мат. наук	01.02.05
6.	Бубенчиков Алексей Михайлович	д-р физ.-мат. наук	01.04.14
7.	Бутов Владимир Григорьевич	д-р физ.-мат. наук	01.04.14
8.	Ворожцов Александр Борисович	д-р физ.-мат. наук	01.02.05
9.	Герасимов Александр Владимирович	д-р физ.-мат. наук	01.02.04
10.	Глазунов Анатолий Алексеевич	д-р физ.-мат. наук	01.02.05
11.	Глазырин Виктор Парфирьевич	д-р физ.-мат. наук	01.02.04
12.	Зелепугин Сергей Алексеевич	д-р физ.-мат. наук	01.02.04
13.	Крайнов Алексей Юрьевич	д-р физ.-мат. наук	01.04.14
14.	Кульков Сергей Николаевич	д-р физ.-мат. наук	01.02.04
15.	Люкшин Борис Александрович	д-р техн. наук	01.02.04
16.	Макаров Павел Васильевич	д-р физ.-мат. наук	01.02.04
17.	Прокофьев Вадим Геннадьевич	д-р физ.-мат. наук	01.04.14
18.	Скрипняк Владимир Альбертович	д-р физ.-мат. наук	01.02.04
19.	Смоляков Виктор Кузьмич	д-р физ.-мат. наук	01.04.14
20.	Старченко Александр Васильевич	д-р физ.-мат. наук	01.04.14
21.	Тимченко Сергей Викторович	д-р физ.-мат. наук	01.02.05
22.	Черепанов Олег Иванович	д-р физ.-мат. наук	01.02.04
23.	Шрагер Геннадий Рафаилович	д-р физ.-мат. наук	01.02.05
24.	Шрагер Эрнст Рафаилович	д-р физ.-мат. наук	01.04.14
25.	Якутенко Владимир Альбертович	д-р физ.-мат. наук	01.02.05

Заседание провёл заместитель председателя диссертационного совета доктор технических наук, старший научный сотрудник Христенко Юрий Федорович.

По результатам защиты диссертации тайным голосованием (результаты голосования: за присуждение ученой степени – 25, против – нет, недействительных бюллетеней – нет) диссертационный совет принял решение присудить В.С. Пономарёву учёную степень кандидата физико-математических наук.

Заключение диссертационного совета Д 212.267.13

**на базе федерального государственного автономного образовательного
учреждения высшего образования**

«Национальный исследовательский Томский государственный университет»

Министерства образования и науки Российской Федерации

по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 24.12.2015 г., № 245

О присуждении **Пономарёву Виктору Сергеевичу**, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация **«Напряженно-деформированное состояние антенных рефлекторов космических аппаратов при нестационарных тепловых воздействиях»** по специальности **01.02.04** – Механика деформируемого твердого тела принята к защите 19.10.2015 г., протокол № 236, диссертационным советом Д 212.267.13 на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет» Министерства образования и науки Российской Федерации (634050, г. Томск, пр. Ленина, 36, приказ о создании диссертационного совета № 203-161 от 08.02.2008 г.).

Соискатель **Пономарёв Виктор Сергеевич**, 1989 года рождения.

В 2013 г. соискатель окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет».

В 2015 г. соискатель очно окончил аспирантуру федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

Работает в должности младшего научного сотрудника лаборатории проектирования рабочих элементов ракетно-космической техники Научно-исследовательского института прикладной математики и механики в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования

«Национальный исследовательский Томский государственный университет» Министерства образования и науки Российской Федерации.

Диссертация выполнена на кафедре теоретической и промышленной теплотехники федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» Министерства образования и науки Российской Федерации и в лаборатории проектирования рабочих элементов ракетно-космической техники Научно-исследовательского института прикладной математики и механики федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет» Министерства образования и науки Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, **Герасимов Александр Владимирович**, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет», отдел № 20 Научно-исследовательского института прикладной математики и механики, заведующий отделом; по совместительству – федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», кафедра теоретической и промышленной теплотехники, профессор.

Официальные оппоненты:

Радченко Андрей Васильевич, доктор физико-математических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Томский государственный архитектурно-строительный университет», институт кадастра, экономики и инженерных систем в строительстве, директор института

Лопатин Александр Витальевич, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный аэрокосмический университет имени

академика М.Ф. Решетнева», кафедра компьютерного моделирования, заведующий кафедрой

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «**Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана**», г. Москва, в своем положительном заключении, подписанном **Борзовым Андреем Борисовичем** (доктор технических наук, профессор, Научно-исследовательский институт специального машиностроения, заместитель директора), **Смирновым Алексеем Владимировичем** (кандидат технических наук, Научно-исследовательский институт специального машиностроения, ученый секретарь), указала, что актуальность темы диссертации обусловлена необходимостью анализа температурных деформаций, изучения применимости существующих подходов и разработки новых моделей для описания термоупругого поведения конструкций космических рефлекторов в связи с жесткими требованиями к характеристикам рефлекторов, а также для возможности моделирования композиционных структур в составе антенных рефлекторов. Новыми являются разработанный подход к определению эффективных параметров композиционных сетчатых структур, результаты и выводы относительно влияния температурных деформаций на напряженно-деформированное состояние и точность формы отражающей поверхности рефлекторов. Полученные результаты диссертационной работы могут использоваться при проектировании современных систем спутниковой связи, а разработанные модели для изучения тепловых режимов и прогноза напряженно-деформированного состояния перспективных космических конструкций, находящихся в условиях воздействия тепловых потоков.

Соискатель имеет 23 опубликованных работы, в том числе по теме диссертации – 20 работ, опубликованных в рецензируемых научных изданиях – 5, публикаций в сборниках материалов всероссийских и международных научных конференций – 14 (из них 3 статьи в зарубежных изданиях, индексируемых Web of Science). Общий объем публикаций – 3.96 п.л., личный вклад автора – 1.88 п.л.

Наиболее значительные работы по теме диссертации, опубликованные в журналах, включенных в Перечень российских рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук:

1. Ponomarev S. Stress–strain state simulation of large–sized cable–stayed shell structures / S. Ponomarev, A. Zhukov, A. Belkov, **V. Ponomarev**, S. Belov, M. Pavlov // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2015. – Vol. 71, conference 1. – Article Number: 012070. – 0.37 / 0.11 п.л. – DOI: 10.1088/1757-899X/71/1/012070

2. Павлов М. С. Исследование температурного деформирования прецизионного рефлектора в условиях орбитальной эксплуатации / М. С. Павлов, **В. С. Пономарёв**, С. В. Пономарёв, Д. Б. Усманов, В. Н. Барашков // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2014. – Т. 57, № 8/2. – С. 190–195. – 0.37 / 0.18 п.л.

3. **Ponomarev V. S.** Thermomechanical analysis of large deployable space reflector antenna / V. S. Ponomarev, A. V. Gerasimov, S. V. Ponomarev // MATEC Web of Conferences. – 2015. – Vol. 23: Heat and Mass Transfer in the Thermal Control System of Technical and Technological Energy Equipment. – Article Number: 01059. – 0.37 / 0.22 п.л. – DOI: 10.1051/mateconf/20152301059

На автореферат поступило 9 положительных отзывов. Отзывы представили: 1. **А.А. Иванков**, д-р техн. наук, начальник отдела Центра аэродинамического и теплового проектирования космических аппаратов Научно-производственного объединения им. С.А. Лавочкина, г. Химки, и **Д.Б. Добрица** канд. техн. наук, начальник отдела Центра аэродинамического и теплового проектирования космических аппаратов Научно-производственного объединения им. С.А. Лавочкина, г. Химки, *с замечаниями*: в автореферате отсутствует информация о сравнении полученных результатов анализа напряженно-деформированного состояния конструкций рефлекторов с аналогичными результатами других работ, полученных с применением других современных программных пакетов, а также с существующими в этой области исследований экспериментальными данными; ничего не сказано о программной реализации разработанной математической модели на ЭВМ; не отмечены особенности вычислительного алгоритма, его эффективности, затратах машинного времени.

2. **К.А. Матвеев**, д-р техн. наук, профессор кафедры прочности летательных аппаратов Новосибирского государственного технического университета, *с замечаниями*: для заключения о возможности использования конкретной конструкции рефлектора необходимо проведение анализа на начало и конец срока активной службы с учетом соответствующего изменения свойств материалов; из автореферата неясно, каковы границы применимости подхода, предлагаемого автором при определении эффективных термомеханических характеристик сетчатых структур. 3. **А.В. Вахрушев**, д-р физ.-мат. наук, проф., заведующий базовой кафедрой «Нанотехнологии и микросистемная техника», главный научный сотрудник лаборатории информационно-измерительных систем Института механики УрО РАН, г. Ижевск, *с вопросами*: каким образом учитывалась плетеная структура сетеполотна в разработанных конечноэлементных моделях, и учтена ли зависимость угла падающего излучения на её оптические свойства? 4. **Е.И. Краус**, канд. физ.-мат. наук, заместитель директора по научной работе Института теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН, г. Новосибирск, *с замечаниями*: в автореферате нет сравнения полученных результатов с экспериментальными данными и результатами расчетов других авторов; из автореферата не ясно, как определяется параболоид наилучшего приближения, относительно которого вычисляется среднеквадратическое отклонение; из автореферата не понятно, учитывается ли при расчете температурных полей переизлучение с внешних поверхностей конструкции. 5. **С.В. Денисихин**, канд. техн. наук, доцент кафедры плазмогазодинамики и теплотехники Балтийского государственного технического университета «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург, и **И.В. Тетерина**, канд. техн. наук, доцент кафедры плазмогазодинамики и теплотехники Балтийского государственного технического университета «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург, *с замечанием*: нет информации о размерности результирующей расчетной сетки (при этом есть упоминание о проведенном анализе сеточной сходимости). 6. **В.Н. Лейцин**, д-р физ.-мат. наук, проф., начальник управления НИР Балтийского федерального университета имени Иммануила Канта, г. Калининград, *с замечаниями*: отсутствует исчерпывающая

информация о том, как и какое программное обеспечение применено для проведения численного анализа рассматриваемых существенно нелинейных задач; не приведены условия выбора эффективных характеристик, адекватно отражающих свойства материалов в широком диапазоне температур.

7. **А.В. Кочетков**, д-р физ-мат. наук, проф., заведующий лабораторией динамики конструкций НИИ механики при Нижегородском государственном университете им. Н.И. Лобачевского, *с замечаниями*: из автореферата неясно, какая модель применялась при расчетах сотовых элементов конструкций; каким образом оценена способность к саморазвертыванию и устойчивость этого процесса для рефлектора с гибкими спицами (третья глава), в принципе, это динамический процесс; отсутствует описание программных разработок, использованных в работе. 8. **К.К. Маевский**, канд. физ.-мат. наук, научный сотрудник лаборатории механики многофазных сред и кумуляции Института гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН, г. Новосибирск, **С.А. Кинеловский**, д-р физ-мат. наук, проф., главный научный сотрудник лаборатории механики многофазных сред и кумуляции Института гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН, г. Новосибирск, *и с замечаниями*: из автореферата неясно, проводится ли учет нелинейных составляющих в выражениях деформации при расчете НДС; в автореферате не обосновано допущение того, что механические и теплофизические свойства материалов постоянны и не зависят от температуры, хотя колебания температур могут достигать почти двухсот градусов; в автореферате не указано, на каком аналитическом или экспериментальном материале основано доказательство адекватности разработанных моделей. 9. **Ю.П. Зезин**, д-р техн. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории ползучести и длительной прочности НИИ механики Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, *с замечанием*: на стр. 12 автореферата указано, что в таблице 1 представлены результаты анализа напряженно-деформированного состояния рефлекторов с различными диаметрами апертуры. Тем не менее, в указанной таблице не представлены сведения ни о напряжениях, ни о деформациях рефлекторов. В таблице представлены динамические характеристики рефлекторов (собственная

частота и эффективная масса). Методы определения этих характеристик в автореферате не описаны.

В отзывах отмечается, что исследования, посвященные разработке методов и моделей анализа напряженно-деформированного состояния конструкций космических антенн, являются крайне важными для достоверного прогноза поведения деформируемых конструкций перспективных рефлекторов. Автором развиты методы и подходы термомеханического анализа деформируемых конструкций, содержащих тонкостенные сетчатые элементы, что обуславливает возможность использования полученных результатов для анализа состояния конструкций в условиях нестационарного теплового воздействия.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что в сферу интересов **А.В. Радченко** входят вопросы моделирования композиционных конструкций при механическом взаимодействии методом конечных элементов; в сферу интересов **А.В. Лопатина** входят анализ крупногабаритных трансформируемых космических конструкций из композиционных материалов с использованием численных и аналитических методов, разработка математических и численных моделей, позволяющих описывать широкий круг сложных композиционных структур, выявление закономерностей при их деформировании с учетом различных факторов; **Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана** – ведущий российский университет в области исследований и разработки космической техники, в том числе современных композиционных материалов, конструкций на их основе и методов анализа поведения таких конструкций при механических и тепловых воздействиях.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана вычислительная модель, позволяющая описывать термомеханическое поведение деформируемых конструкций антенных рефлекторов в орбитальных условиях;

предложена методика определения эффективных термомеханических характеристик для моделирования теплового поведения тонкостенных сетчатых структур;

доказана применимость оболочечных конечных элементов с набором эффективных параметров для получения результата качественно и количественно адекватного более точному решению при проведении нестационарного теплового анализа тонкостенных сетчатых структур;

показано, что зависимость жесткости гибких ребер в тангенциальном направлении от натяжения сетеполотна отражающей поверхности, определяющая границу устойчивого развертывания рефлекторов, имеет вид близкий к линейному, и может быть аппроксимирована линейной функцией.

Теоретическая значимость исследований обоснована тем, что:

в работе получены результаты фундаментального характера, которые вносят вклад в расширение существующих представлений о закономерностях термомеханического поведения деформируемых конструкций антенных рефлекторов в орбитальных условиях, а именно

численно исследован процесс термоупругой деформации конструкции крупногабаритного рефлектора с явным рассмотрением сетчатых тонкостенных элементов в условиях орбитальной эксплуатации;

изучено влияние нестационарных тепловых воздействий, реализующихся при движении крупногабаритной конструкции рефлектора по орбите, на стабильность формы радиоотражающей поверхности;

выявлены границы устойчивого раскрытия крупногабаритных конструкций рефлекторов с гибкими ребрами в зависимости от натяжения сетеполотна.

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

разработаны и внедрены модели и методика, которые могут быть использованы для прогноза термомеханического поведения конструкций на основе вновь разрабатываемых композитных сетчатых структур в условиях радиационно-кондуктивного теплообмена;

получены закономерности деформирования конструкций рефлекторов на орбите, которые могут применяться при разработке рекомендаций для повышения точности систем космической связи;

разработан ряд требований к элементам конструкций, которые могут быть использованы при проектировании рефлекторов с гибкими ребрами.

Результаты диссертации получены при выполнении ряда Федеральных целевых программ.

Рекомендации об использовании результатов диссертационного исследования. Результаты, полученные в диссертации, могут быть использованы при проведении ПНИР и НИОКР в учреждениях РАН и высших учебных заведениях, таких как Конструкторско-технологический институт научного приборостроения СО РАН (г. Новосибирск), Специальное конструкторско-технологическое бюро «Наука» КНЦ СО РАН (г. Красноярск), Институт механики УрО РАН (г. Ижевск), Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана (г. Москва), Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова (г. Санкт-Петербург), Сибирский государственный аэрокосмический университет им. академика М.Ф. Решетнёва (г. Красноярск) и др.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

использованы корректные математическая и физическая постановки задачи деформирования структурно-неоднородной среды;

для решения задачи использованы апробированные численные методы;

проведены тестовые расчеты, на основании которых выбраны параметры численной схемы, необходимые для корректного описания деформационного поведения конструкций рефлекторов и расчеты, показывающие адекватность предложенного подхода;

проведено сравнение используемых при численном моделировании характеристик с экспериментальными данными и данными расчета эффективных характеристик, полученными с применением подходов других авторов.

Новизна результатов диссертационного исследования заключается в том, что развиты методы и подходы анализа напряженно-деформированного состояния конструкций рефлекторных антенн, включающих тонкостенные сетчатые структуры, и функционирующих в условиях нестационарных тепловых

воздействий; получены оценки изменения точности крупногабаритного рефлектора от неравномерного нагрева в процессе движения по орбите.

Личный вклад автора заключается в непосредственном участии в выполнении, обработке и анализе всех расчетов, проведенных в работе. Постановка задач кандидатской диссертации и обсуждение результатов проводились совместно с научным руководителем. Автор принимал личное участие в апробации результатов исследования. При активном участии автора подготовлены основные публикации по теме диссертации.

На заседании 24.12.2015 г. диссертационный совет принял решение присудить **Пономарёву В.С.** ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 25 человек, из них 9 докторов наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела, участвовавших в заседании, из 26 человек, входящих в состав совета, проголосовал: за – 25, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Заместитель председателя
диссертационного совета
Ученый секретарь
диссертационного совета
24 декабря 2015 г.



Христенко Юрий Федорович

Пикущак Елизавета Владимировна