

## 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 28 декабря 2016 года публичной защиты диссертации Шатова Александра Владимировича «Моделирование деформативности композитных сетчатых цилиндрических корпусов космических аппаратов» по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук

На заседании присутствовали 19 из 26 членов диссертационного совета, из них 8 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.	Бутов Владимир Григорьевич	д-р физ.-мат. наук	01.04.14
7.	Герасимов Александр Владимирович	д-р физ.-мат. наук	01.02.04
8.	Глазунов Анатолий Алексеевич	д-р физ.-мат. наук	01.02.05
9.	Глазырин Виктор Парфирьевич	д-р физ.-мат. наук	01.02.04
10.	Зелепугин Сергей Алексеевич	д-р физ.-мат. наук	01.02.04
11.	Крайнов Алексей Юрьевич	д-р физ.-мат. наук	01.04.14
12.	Люкшин Борис Александрович	д-р техн. наук	01.02.04
13.	Макаров Павел Васильевич	д-р физ.-мат. наук	01.02.04
14.	Прокофьев Вадим Геннадьевич	д-р физ.-мат. наук	01.04.14
15.	Скрипняк Владимир Альбертович	д-р физ.-мат. наук	01.02.04
16.	Старченко Александр Васильевич	д-р физ.-мат. наук	01.04.14
17.	Тимченко Сергей Викторович	д-р физ.-мат. наук	01.02.05
18.	Черепанов Олег Иванович	д-р физ.-мат. наук	01.02.04
19.	Шрагер Геннадий Рафаилович	д-р физ.-мат. наук	01.02.05

**В связи с невозможностью присутствия на заседании председателя диссертационного совета доктора физико-математических наук, профессора Гришина Анатолия Михайловича по его письменному поручению 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 – 19, против – нет, недействительных бюллетеней – нет) диссертационный совет принял решение присудить А.В. Шатову 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 28.12.2016 г., № 301

О присуждении **Шатову Александру Владимировичу**, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация **«Моделирование деформативности композитных сетчатых цилиндрических корпусов космических аппаратов»** по специальности **01.02.04** – Механика деформируемого твердого тела принята к защите 24.10.2016 г., протокол № 288, 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 № 105/НК от 11.04.2012 г.).

Соискатель **Шатов Александр Владимирович**, 1988 года рождения.

В 2013 году соискатель окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М.Ф. Решетнева».

В 2016 году соискатель очно окончил аспирантуру федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М.Ф. Решетнева».

Работает в должности инженера отдела анализа конструкции КА по прочности и динамике Отраслевого центра крупногабаритных трансформируемых механических систем в Акционерном обществе «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнёва».

Диссертация выполнена на кафедре компьютерного моделирования федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М.Ф. Решетнева» Министерства образования и науки Российской Федерации и в отделе анализа конструкции КА по прочности и динамике Отраслевого центра крупногабаритных трансформируемых механических систем Акционерного общества «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнёва».

Научный руководитель – доктор технических наук, **Лопатин Александр Витальевич**, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М.Ф. Решетнева», кафедра компьютерного моделирования, заведующий кафедрой.

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

**Каледин Валерий Олегович**, доктор технических наук, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кемеровский государственный университет», факультет информационных технологий Новокузнецкого института (филиала) Кем ГУ, декан

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Акционерное общество «**Центральный научно-исследовательский институт специального машиностроения**», г. Хотьково Московской области, в своем положительном заключении, подписанном **Васильевым Валерием Витальевичем** (доктор технических наук, профессор, академик РАН, заместитель главного конструктора), указала, что актуальность темы диссертации обусловлена тем, что проектирование сетчатых цилиндрических корпусов космических аппаратов, при котором учитываются характерные

ограничения по перемещениям и первой частоте собственных колебаний, является важным этапом разработки новых образцов космической техники. Соискателем разработаны модели расчета перемещений композитных сетчатых цилиндрических оболочек для граничных условий и силовых воздействий, характерных для эксплуатации космического аппарата; разработан метод определения первой собственной частоты колебания сетчатых цилиндрических оболочек для граничных условий, соответствующих выведению космического аппарата на орбиту и транспортированию его на полигон запуска; проведен расчет различных вариантов конструкции композитного сетчатого цилиндрического корпуса космического аппарата, позволяющий выбрать его оптимальные параметры; выполнено сравнение континуальной и дискретной расчетных моделей сетчатых цилиндрических оболочек. Разработанные автором модели и формул могут быть использованы при проектировании реальных сетчатых цилиндрических корпусов космических аппаратов в АО ЦНИИСМ и АО ИСС им. ак. М.Ф. Решетнева.

Соискатель имеет 10 работ, в том числе по теме диссертации – 10 работ, опубликованных в рецензируемых научных изданиях – 6 (из них 5 статей в зарубежных научных журналах, индексируемых Web of Science), статья в зарубежном научном журнале, индексируемом Web of Science – 1 (опубликована онлайн), публикаций в сборниках материалов международных научных и научно-практических конференций – 3. Общий объем публикаций – 4,52 п.л., авторский вклад – 1,8 п.л.

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

1. Lopatin A. V. Deformation of a cantilever composite anisogrid lattice cylindrical shell loaded by transverse inertia forces / A. V. Lopatin, **A. V. Shatov**, E. V. Morozov // Composite Structures. – 2015. – Vol. 129. – P. 27–35. – DOI: 10.1016/j.compstruct.2015.03.077. – 0,56 / 0,19 п.л.

2. Lopatin A. V. Fundamental frequency of a cantilever composite lattice cylindrical shell with the end rigid disk / A. V. Lopatin, E. V. Morozov, **A. V. Shatov** //

Composite Structures. – 2015. – Vol. 133. – P. 564–575. – DOI: 10.1016/j.compstruct.2015.07.109. – 0,75 / 0,25 п.л.

3. Lopatin A. V. Bending of the composite lattice cylindrical shell with the midspan rigid disk loaded by transverse inertia forces / A. V. Lopatin, E. V. Morozov, **A. V. Shatov** // Composite Structures. – 2016. – Vol. 150. – P. 181–190. – DOI: 10.1016/j.compstruct.2016.05.015. – 0,63 / 0,21 п.л.

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

На автореферат поступило 7 положительных отзывов. Отзывы представили: 1. **А.А. Смердов**, д-р техн. наук, профессор кафедры «Космические аппараты и ракеты-носители» и **К.П. Баслык**, канд. техн. наук, доцент кафедры «Космические аппараты и ракеты-носители» Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана, *с замечаниями*: какое уточнение деформативных свойств оболочки при осесимметричном нагружении по сравнению с известными решениями дает «учет изменения радиуса кривизны срединной поверхности оболочки в процессе деформирования», то есть составление уравнений равновесия для деформированного элемента оболочки; в работе не рассматривается температурное нагружение оболочки, что представляется актуальным для конструкции корпуса космического аппарата; расчет нескольких численных примеров невозможно повторить из-за недостатка исходных данных. 2. **В.А. Евстафьев**, канд. техн. наук, доц., профессор кафедры АЗ «Космические аппараты и двигатели» Балтийского государственного технического университета «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург, *с замечанием*: не приведено описание конечно-элементных моделей, используемых для подтверждения аналитических решений. 3. **В.Л. Балакин**, д-р техн. наук, проф., советник при ректорате Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королева, *с замечаниями*: на стр. 4 «.. для прогноза поведения ... корпусов космических аппаратов»; на стр. 8 неправомерна ссылка на рис. 2; на стр. 12 «Композитный сетчатого цилиндрического корпуса КА была заменен ...»; некорректное использование деэпричастных оборотов (стр. 9, 11, 17); из-за

перегруженности текста автореферата математическими выражениями в нём не нашли должного отражения такие поставленные задачи, как определение параметров сетчатой структуры, обеспечивающих соответствующую максимальную жёсткость конструкции (стр. 4); разработка конечно-элементных моделей сетчатых цилиндрических оболочек, необходимых для верификации результатов аналитических решений задач деформирования конструкций (стр. 5); для демонстрации использования полученных аналитических соотношений приводятся числа без их связи с проблематикой проектирования цилиндрических корпусов КА, а результаты, приведённые на рис. 11, 13, 19, 20, 23, 26, не комментируются.

4. **В.Н. Егоров**, д-р техн. наук, проф., заместитель генерального директора по науке ОАО «Национальный институт авиационных технологий», г. Москва, и **Н.С. Азинов**, д-р техн. наук, начальник отдела ОАО «Национальный институт авиационных технологий», г. Москва, *с замечанием*: в диссертации рассматривается общее конструктивное решение космического аппарата. Однако каждая глава читается как независимое исследование. Не просматривается общий подход в исследованиях.

5. **В.Н. Лейцин**, д-р физ.-мат. наук, проф., заведующий лабораторией фундаментального и прикладного материаловедения Балтийского федерального университета имени Иммануила Канта, г. Калининград, *с замечанием*: наблюдается некоторое несоответствие между пунктами научной новизны, выносимых на защиту положений и основных результатов работы. Формулировка результата «Развит аналитический метод определения...» является более емкой, чем «Получена формула...». Новый подход к проектированию корпусов космических аппаратов с ограничениями на осевую жесткость и частоту поперечных колебаний формально на защиту не вынесен и, как новый подход, не отражен в результатах работы.

6. **Н.Н. Головин**, канд. техн. наук, ст. науч. сотр., начальник отдела – заместитель начальника отделения, и **А.А. Поспелов**, канд. техн. наук, старший научный сотрудник АО «Корпорация «Московский институт теплотехники», г. Москва, *с замечаниями*: не пояснён введённый термин «методы постановки краевых задач»; из автореферата не ясно, как обосновывался выбор различных моделей деформирования для решения рассмотренных задач. Например, почему для задачи поперечного деформирования использовалась безмоментная теория ортотропных

цилиндрических оболочек, а для определения первой частоты собственных поперечных колебаний – полубезмоментная теория; в автореферате написано, что результаты, полученные аналитически, сравнивались с численными решениями. Однако, в тексте отсутствуют примеры этого сравнения; обосновывая достоверность полученных результатов, автор использует термин «корректная постановка задач». Из автореферата не видно, в чём эта корректность заключается; в автореферате имеется заметное количество опечаток. 7. **С.К. Голушко**, д-р физ.-мат. наук, профессор кафедры математического моделирования Новосибирского национального исследовательского государственного университета, *с замечанием*: В качестве замечания к автореферату диссертации можно отметить отсутствие в нем сформулированных ограничений на область физико-механических и геометрических параметров рассмотренных конструкций, при которых будет возможным применение безмоментной и полубезмоментной теорий оболочек.

В отзывах отмечается, что исследования процессов деформирования композитных сетчатых цилиндрических корпусов космических аппаратов являются сложной задачей, для решения которой обычно применяют численные методы, обладающие чрезвычайной мощностью и универсальностью, но не позволяющие получать оперативные результаты при проведении параметрической проектной оптимизации конструктивных параметров космических аппаратов. Таким образом, рассматриваемая работа представляется актуальной и важной. Научная новизна, как следует из текста автореферата, заключается в получении набора доступных инженерных методик для определения деформативности сетчатых цилиндрических оболочек при различных видах нагружения, а также первой частоты собственных поперечных колебаний для нескольких вариантов граничных условиях. Научная и практическая значимость работы заключается в том, что полученные результаты позволяют оперативно определять параметры композитных сетчатых цилиндрических корпусов космических аппаратов.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что **А.В. Радченко** является известным специалистом в области численного моделирования поведения анизотропных материалов и конструкций при динамических нагрузках; **В.О. Каледин** является известным специалистом в

области численного моделирования статике и динамики оболочечных конструкций из композиционных материалов; АО «**Центральный научно-исследовательский институт специального машиностроения**» (г. Хотьково, Московская обл.), известный своими достижениями в области проектирования и производства конструкций из современных полимерных композитных материалов для ракетно-космической техники, транспортного, нефтехимического машиностроения и других отраслей промышленности.

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

*разработана* модель деформирования композитного сетчатого цилиндрического корпуса космического аппарата под действием поперечной нагрузки, возникающей на этапе его выведения на орбиту. Получена формула, определяющая поперечную жесткость корпуса и пригодная, в силу этого, для оценки зазора между космическим аппаратом и обтекателем ракетного носителя;

*получено* решение задачи об определении осевой жесткости сжатого несущего композитного сетчатого цилиндрического корпуса космического аппарата, в которой учитывается изменение радиуса кривизны срединной поверхности оболочки в процессе деформирования. Результаты вычисления с помощью этой формулы осевой жесткости реального сетчатого отсека, подтверждены результатами эксперимента;

*разработан* способ определения прогиба композитного сетчатого цилиндрического корпуса с установленным в центре пролета топливным баком, при его транспортировании по двухопорной схеме. Получена формула, позволяющая оценить поперечную жесткость конструкции и уровень возникающих перегрузок;

*получено* решение задачи об определении первой частоты поперечных колебаний композитного сетчатого цилиндрического корпуса с прикрепленным грузом, имитирующим установленное оборудование космического аппарата. Эта формула может быть использована для оценки поперечной жесткости сетчатого корпуса при выведении космического аппарата на орбиту;



*разработан* способ определения первой частоты поперечных колебаний композитной сетчатой цилиндрической оболочки при двухопорном транспортировании корпуса космического аппарата. Продемонстрированы способы увеличения частоты колебаний с помощью изменения параметров сетчатой структуры;

*проведен* параметрический анализ влияния параметров сетчатой структуры на величину перемещений и первых частот поперечных колебаний композитных сетчатых цилиндрических корпусов космических аппаратов. Выявлены параметры, обеспечивающие максимальные значения жесткостных характеристик сетчатых корпусов.

**Теоретическая значимость исследований обоснована тем, что:**

проведенные исследования расширяют существующие представления о способах построения аналитических решений задач деформирования сетчатых цилиндрических корпусов космических аппаратов. Полученные результаты позволяют без значительных вычислительных усилий определять оптимальные параметры композитных сетчатых цилиндрических корпусов космических аппаратов при наличии ограничений, накладываемых на продольную и поперечную жесткость этих конструкций.

**Значение полученных соискателем результатов исследований для практики:** разработанные автором методы были применены в АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнева» при проектировании сетчатых силовых конструкций космических аппаратов. Это позволило повысить качество и оперативность проектных работ.

**Рекомендации об использовании результатов диссертационного исследования.** Практическая значимость работы определяется использованием разработанных моделей и формул при проектировании реальных сетчатых цилиндрических корпусов космических аппаратов в АО ЦНИИСМ и АО ИСС им. академика М.Ф. Решетнева. Дальнейшее внедрение полученных результатов рекомендуется осуществить в АО ЦНИИСМ, АО ИСС им. ак. М.Ф. Решетнева, ГКТТЦ им. М.В. Хруничева. Продолжить исследования в области проектирования

композитных сетчатых конструкций целесообразно в перечисленных организациях и СибГАУ им. ак. М.Ф. Решетнева и др.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

*для решения задачи использованы апробированные методы;*

*проведено сравнение полученных аналитических решений с результатами численного моделирования методом конечных элементов. Различие между аналитическими решениями и результатами численного моделирования методом конечных элементов не превышает 5 %.*

**Новизна результатов диссертационного исследования** заключается в получении новых аналитических и численных решений задач моделирования деформативности композитных сетчатых цилиндрических корпусов космических аппаратов. В диссертации впервые:

*Разработана модель поперечного деформирования композитного сетчатого цилиндрического корпуса космического аппарата под действием нагрузки, действующей на этапе выведения.*

*Получено решение задачи об определении осевой жесткости сжимаемого продольным усилием несущего композитного сетчатого цилиндрического корпуса космического аппарата, в которой учитывается изменение радиуса кривизны срединной поверхности оболочки в процессе деформирования.*

*Разработан способ определения прогиба композитного сетчатого цилиндрического корпуса с установленным топливным баком, при его транспортировании с использованием двухопорной схемы.*

*Получено решение задачи об определении первой частоты поперечных колебаний композитного сетчатого цилиндрического корпуса с прикрепленным грузом, имитирующим установленное оборудование космического аппарата.*

*Разработан способ определения первой частоты поперечных колебаний композитной сетчатой цилиндрической оболочки корпуса космического аппарата при его двухопорном транспортировании.*

*Предложен подход к проектированию композитных сетчатых цилиндрических корпусов космических аппаратов, с ограничениями, накладываемыми на осевую жесткость и первую частоту поперечных колебаний.*

**Личный вклад автора заключается в:** получении аналитических решений и результатов численного моделирования поставленных задач, отраженных в работе, в активном участии в подготовке основных публикаций по теме диссертации.

Диссертация отвечает критериям Положения о присуждении ученых степеней, установленным для диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, и, согласно пункту 9, является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится новое решение актуальной научно-технической задачи оценки жесткости и собственных частот композитных сетчатых корпусов космических аппаратов, имеющее значение для развития механики деформируемого твердого тела.

На заседании 28.12.2016 г. диссертационный совет принял решение присудить **Шатову А.В.** ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 19 человек, из них 8 докторов наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела, участвовавших в заседании, из 26 человек, входящих в состав совета, проголосовал: за – 19, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Заместитель председателя  
диссертационного совета

Ученый секретарь  
диссертационного совета



Христенко Юрий Федорович

Пикушак Елизавета Владимировна

28 декабря 2016 г.