

СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ ДИССЕРТАЦИИ

Диссертационный совет: 24.2.327.07

Соискатель: Попова Анастасия Руслановна

Тема диссертации: «Моделирование нелинейных процессов деформирования неоднородных оболочек вращения при произвольных обобщенных перемещениях и деформациях»

Специальность: 1.1.8. – «Механика деформируемого твердого тела»

Решение диссертационного совета по результатам защиты диссертации: на заседании 24 декабря 2025 года, протокол 15, диссертационный совет пришел к заключению о том, что диссертационное исследование Поповой Анастасии Руслановны является законченной научно-квалификационной работой, имеет важное прикладное значение и содержит элементы фундаментального исследования. Достоверность полученных результатов обоснована и сомнений не вызывает.

Диссертация Поповой Анастасии Руслановны отвечает требованиям п.п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденным постановлением правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842. На заседании 24 декабря 2025 года, протокол 15, диссертационный совет принял решение присудить Поповой Анастасии Руслановне ученую степень кандидата технических наук.

Присутствовали: председатель диссертационного совета Тарлаковский Д.В., заместитель председателя диссертационного совета Земсков А.В., ученый секретарь диссертационного совета Сердюк Д.О.

Члены диссертационного совета: Булычев Н.А., Вестяк В.А., Дмитриев В.Г., Кузнецова Е.Л., Медведский А.Л., Меркурьев И.В., Миронова Л.И., Рабинский Л.Н., Солдатенков И.А.

Председатель
диссертационного совета 24.2.327.07
д.ф.-м.н., профессор

Тарлаковский Д.В.

Ученый секретарь
диссертационного совета 24.2.327.07
к.т.н., доцент

Сердюк Д.О.

Проректор по научной работе
д.т.н., доцент



Иванов А.В.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.327.07,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ «МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от «24» декабря 2025 г. № 15

О присуждении Поповой Анастасии Руслановне, гражданке Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Моделирование нелинейных процессов деформирования неоднородных оболочек вращения при произвольных обобщенных перемещениях и деформациях» по специальности 1.1.8. – «Механика деформируемого твердого тела», принята к защите «15» октября 2025 г., протокол № 14, диссертационным советом 24.2.327.07, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования РФ, 125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4, приказ о создании диссертационного совета 24.2.327.07 – № 1184/нк от «12» октября 2022 г.

Соискатель Попова Анастасия Руслановна, 02 января 1995 года рождения. В 2018 году Попова Анастасия Руслановна с отличием окончила специалитет федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный

технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)) (МГТУ им. Н.Э. Баумана) по специальности 15.05.01 «Проектирование технологических машин и комплексов». Диплом специалиста с отличием серия 107718, номер 0771038, выдан 02 июля 2018 года.

С сентября 2020 по август 2024 года Попова Анастасия Руслановна обучалась в очной аспирантуре федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» по направлению подготовки 01.06.01 «Математика и механика». Диплом об окончании аспирантуры 107733 0004419 регистрационный номер 2024/9О-0111Д, выдан 16 июля 2024 года.

В 2023 году Попова Анастасия Руслановна сдала кандидатский экзамен по научной дисциплине 1.1.8. «Механика деформируемого твердого тела». Справка о сдаче кандидатских экзаменов № 110 выдана «17» декабря 2024 г. федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)».

В настоящее время Попова Анастасия Руслановна работает в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» на кафедре «Проектирование сложных технических систем» в должности ассистента. По совместительству работает в государственном бюджетном общеобразовательном учреждении города Москвы «Марьинская школа № 1566 памяти Героев Сталинградской битвы» в должности учителя.

Диссертация «Моделирование нелинейных процессов деформирования неоднородных оболочек вращения при произвольных обобщенных перемещениях и деформациях» выполнена на кафедре «Проектирование

сложных технических систем» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», Министерства науки и высшего образования РФ.

Научный руководитель – **Дмитриев Владимир Георгиевич**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Проектирование сложных технических систем» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)».

Официальные оппоненты:

Гаврюшин Сергей Сергеевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Компьютерные системы автоматизации производства» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»,

Хомченко Антон Васильевич, кандидат технических наук, до 1 ноября 2025 года – ведущий инженер-конструктор отдела динамической прочности ООО «АУРУС-АЭРО», с 1 ноября 2025 года – начальник отдела нагрузок и аэроупругости управления прочностью инженерного центра ООО «АУРУС-АЭРО»,

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация: федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «**Российский университет транспорта**» в своем положительном отзыве, подписанном доктором физико-математических наук, профессором, заведующим кафедрой «Транспортное строительство» **Локтевым Алексеем Алексеевичем**, и кандидатом технических наук, доцентом, доцентом кафедры «Транспортное строительство» **Королевым Вадимом Вадимовичем**, и утверждённом

кандидатом философских наук, первым проректором РУТ (МИИТ), **Тимониным Владимиром Сергеевичем**, указала, что диссертация Поповой Анастасии Руслановны на тему «Моделирование нелинейных процессов деформирования неоднородных оболочек вращения при произвольных обобщенных перемещениях и деформациях» на соискание ученой степени кандидата технических наук является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи исследования нелинейных процессов деформирования неоднородных оболочек вращения при произвольных обобщенных перемещениях и деформациях, имеющей научное значения для развития отрасли знаний — механика, что отвечает требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, а ее автор Попова А.Р. заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела (технические науки).

Основные положения диссертационного исследования соискателя достаточно полно отражены в 9 научных работах, из них 2 работы в изданиях, включенных в перечень ВАК Минобрнауки РФ, 1 работа в издании, входящем в мировую базу данных научного цитирования Scopus, остальные 6 – в прочих изданиях.

Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. Дмитриев В.Г., Попова А.Р. Математическое моделирование напряженно-деформированного состояния панелей и арок в области больших перемещений и деформаций при проектировании тонкостенных конструкций летательных аппаратов из гиперупругих материалов // Электронный журнал «Труды МАИ». – 2023. - №. 131. К1.

Личный вклад автора заключается в том, что разработана методика процедуры дискретизации исходной континуальной краевой задачи и

аппроксимации производных в исходных дифференциальных соотношениях с применением разностных операторов второго порядка точности.

2. Дмитриев В.Г., Коровайцева Е.А., Попова А.Р. Особенности построения математических моделей для исследования процессов деформирования оболочек вращения из нелинейно упругих материалов // Электронный журнал «Труды МАИ». – 2024. - №. 137. К1.

Личный вклад автора заключается в том, что дано теоретическое обоснование построения математических моделей и изложена структура приведенных вычислительных алгоритмов для исследования особенностей процессов деформирования тонкостенных оболочек вращения из гиперупругих материалов при произвольных обобщенных перемещениях и деформациях.

В этих и остальных работах представлены вычислительные алгоритмы для исследования особенностей процессов деформирования тонкостенных конструкций типа арок и оболочек вращения из изотропных, композиционных и гиперупругих материалов при произвольных обобщенных перемещениях и деформациях. В материалах совместных публикаций личный вклад автора является определяющим.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

от ведущей организации и официальных оппонентов, отзывы положительные,

от доктора физико-математических наук, старшего научного сотрудника лаборатории динамических испытаний Научно-исследовательского института механики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», Коровайцевой Екатерины Анатольевны, **отзыв положительный;**

от доктора технических наук, старшего научного сотрудника, старшего научного сотрудника лаборатории холодной обработки металлов и сборки

ИМиМ АО «НПО ЦНИИТМАШ», Кондратенко Леонида Анатольевича,
отзыв положительный;

от заместителя главного конструктора по прочности и ресурсу
ПАО «Ил», Калиша Александра Георгиевича и кандидата технических наук,
заместителя начальника отделения по расчетам ПАО «Ил», Говоруна
Максима Валерьевича, **отзыв положительный;**

В поступивших отзывах отмечена актуальность темы
диссертационного исследования, дан краткий обзор работы по главам,
отмечены: новизна, достоверность полученных автором результатов и их
практическая значимость.

В поступивших отзывах имеются замечания.

В отзыве ведущей организации федерального государственного
автономного образовательного учреждения высшего образования
«**Российский университет транспорта**» имеются следующие вопросы и
замечания.

1. Приведенный обзор литературных источников по заявленной
тематике, в том числе и список литературы, не включает научные работы
других авторов за период с 2010 по 2024 годы, что приводит к неполному
анализу современного состояния научной проблемы и возможных путей ее
решения в настоящий момент стремительного развития электронно-
вычислительных средств и программно-аппаратных комплексов.

2. Раскрывая сущность численного решения сеточных аналогов
нелинейных уравнений равновесия тонкостенных конструкций методом
установления, автор использует следующий подход (диссертация, стр. 59): —

«При переходе к эволюционной задаче уравнения (2.15) заменяются на
нестационарные уравнения, совпадающие по форме с уравнениями движения
оболочки в вязкой среде [38,39,80,108]. В построении вычислительного
алгоритма при расчете составных оболочечных конструкций автор при
определении оптимальных значений параметров итерационного процесса

делает следующее заключение (диссертация, стр. 68): «Для первоначального приближения полагается, что вязкость ε_m равна величине искусственной вязкости для оболочки в направлении координаты x : $\varepsilon_m = \varepsilon_1$. Результаты проведенных исследований показали достаточную эффективность такой оценки.». Результаты этих исследований в диссертации не приведены, отсутствует ссылка на другие источники.

3. В параграфе «§ 3.5. Верификация разработанных математических моделей и вычислительных алгоритмов» (стр. 68—69) сказано, что: —

«Для модели «МВ» для определения усилий и моментов в предположении линейного распределения деформаций по толщине оболочки были получены аналитические выражения, связывающие усилия и изгибающие моменты с компонентами деформаций и изменениями кривизны.». При этом сами выражения не приведены.

4. Замечания по оформлению. В тексте диссертации и автореферата имеются орфографические и стилистические ошибки.

Замечания в отзыве официального оппонента Гаврюшина С.С.:

1. Задача анализа конечных прогибов осесимметрично нагруженных оболочек вращения достаточно подробно исследована рядом автором с использованием различных численных методов и алгоритмов расчета, поэтому следовало бы более четко сформулировать: Какие преимущества представляет методика, разработанная автором? По мнению рецензента одномерные задачи рациональнее решать, как нелинейные краевые задачи для системы дифференциальных уравнений в форме Коши.

2. В работе нечетко прописана сама формулировка краевой задачи и отсутствует в явном виде запись системы разрешающих уравнений как таковой. Разъяснение, приведенное на стр. 40 «...разрешающая система нелинейных дифференциальных уравнений (1.4)-(1.63)...» вызывает определенное недоумение, поскольку в этом интервале встречаются как основные, так и промежуточные (вспомогательные) соотношения. Следовало

бы более четко сформулировать краевую задачу и выделить основные переменные.

3. При переходе к конечно-разностной аппроксимации отсутствует запись системы уравнений равновесия в узловых точках в терминах сеточных функций узловых перемещений. Вместо этого дается конечно-разностная аппроксимация геометрии оболочки при различных сочетаниях знаков приращений для координат, а также приводится конечно-разностная аппроксимация уравнений равновесия в терминах силовых факторов. Рецензент считает, что разрешающую систему конечно-разностных уравнений равновесия было бы рациональнее представлять в терминах узловых перемещений.

4. При анализе многослойных оболочек использование автором предположение о жесткой связи слоев и, одновременно, гипотезы о линейном распределении деформации по толщине существенно ограничивает пределы применимости модели, поскольку в модели Кирхгофа-Лява не учитывается наличие сдвиговых межслойных деформаций. В качестве актуальной задачи, с которой приведенный алгоритм не справится следует привести трехслойные оболочки, при расчете которых средний слой работает на сдвиг, и оболочки, изготовленные из композиционных слоистых материалов.

5. Из рассмотрения выполненной не по ГОСТу блок-схемы программной реализации метода установления (стр.63) остается неясным как изменяется параметр нагружения и, по какому критерию завершается цикл пошагового интегрирования эволюционных уравнений.

6. В системе уравнений (3.1) отсутствуют расшифровка, что именно автор подразумевает под впервые появившимися в тексте обозначениями A и U и не приводит их вид и структуру. Остается неясным каким образом проводится линеаризация этой системы при описании метода установления. Чуть ниже со ссылкой на работу [11] даются рекомендации по весьма

трудоемкому выбору величин Δt и ε , посредством нахождения минимального и максимального значений собственных чисел матрицы A .

7. Предложенный авторами подход в отличии от подходов, использующих метод продолжения по параметру не позволяет исследовать закритическое поведение оболочек.

Замечания в отзыве официального оппонента Хомченко А.В.:

1. В разделе 2.2.4 предложен метод введения фиктивной узловой точки для обработки сингулярности в полюсе. Однако не приведён анализ чувствительности решения к выбору положения этой точки или шага сетки.

2. В разделе 4.1 диссертации приведено сравнение результатов для неогуковской модели и модели Муни-Ривлина, однако отсутствует сравнение с экспериментальными данными или численными решениями (например, МКЭ) для конического амортизатора.

3. В разделе 3.2 приведены формулы для оптимального шага Δt , но нет анализа устойчивости явной схемы при больших деформациях или для материалов с сильной нелинейностью.

4. В разделе 3.3 предлагается использовать значение интенсивности деформаций с предыдущего шага итерационного процесса для вычисления деформации обжатия в пластической в пластической зоне. Может ли это приводить к накоплению погрешности при больших деформациях?

В отзывах на автореферат имеются такие замечания:

1. Из текста автореферата не ясно, по каким критериям автор назначает число точек дискретизации N при проведении численных исследований: $N=53$ на стр. 16, $N=57$ на стр. 17, $N=71$ на стр. 18, $N=91$ на стр. 19.

2. На стр. 12 автор, поясняя аппроксимацию параметров геометрии исследуемой оболочки в исходном и деформированном состояниях, не указал число слоев по толщине, которое было принято при расчетах.

3. Из текста автореферата неясно, исходя из каких соображений

выбиралось число слоев по толщине, на которое разбивались оболочки из физически нелинейных материалов в рамках реализации предложенного в работе вычислительного алгоритма.

4. Судя по автореферату, модельные задачи решались для случая докритического деформирования рассматриваемых оболочечных конструкций. Было бы интересно знать, исследовались ли особенности реализации разработанных вычислительных алгоритмов при расчете закритического деформирования конструкций.

5. В тексте автореферата имеются опечатки.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что официальные оппоненты являются высококвалифицированными специалистами в данной области, а ведущая организация проводит исследования в области деформирования слоистых тонкостенных элементов конструкций применительно к машиностроительным конструкциям и объектам транспортной инфраструктуры. Официальные оппоненты и сотрудники ведущей организации имеют значительное количество публикаций, связанных с направлением исследований диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработаны адекватные математические модели для исследования параметров осесимметричного статического напряженно-деформированного состояния неоднородных оболочек вращения при термомеханических воздействиях общего и локального характера в области произвольных значений обобщенных перемещений и углов поворота;

предложен единый вычислительный алгоритм для численного решения геометрически и физически нелинейных краевых задач статики оболочек при произвольных значениях обобщенных перемещений и деформаций, а также

рассмотрены особенности построения итерационного процесса при действии консервативной и «следящей» нагрузки.

доказана перспективность разработанных математических моделей и вычислительных алгоритмов при исследовании особенностей процессов деформирования неоднородных оболочек вращения при произвольных значениях обобщенных перемещений и деформаций.

Новые понятия не вводились.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказана эффективность построения однотипного вычислительного алгоритма для численного решения геометрически и физически нелинейных краевых задач статики оболочек при произвольных значениях обобщенных перемещений и деформаций;

применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, с получением обладающих новизной результатов) **использован** комплекс методов, в том числе методы механики деформируемого твердого тела, метод конечных разностей, квазидинамическая форма метода установления, методы оптимизации и численные методы;

изложены этапы вычислительного эксперимента при разработке адекватных математических моделей для исследования процессов нелинейного деформирования при термомеханических воздействиях, позволившие установить диапазон значений параметров внутреннего давления в оболочке, повышающий порог предельной температуры в оболочке ТВЭЛа на 5,9% при совместном действии температурного поля и внутреннего давления;

раскрыты особенности построения итерационного процесса при действии консервативной и «следящей» нагрузки, а также построения дискретных конечно-разностных моделей при расчете оболочек с полюсными точками;

изучено влияние параметров гиперупругого материала на жесткостные характеристики конического амортизатора сжатия и определены характерные точки диаграммы «осадка-сжимающая сила», значения которых могут быть использованы на стадии эскизного проектирования амортизатора;

проведена модернизация квазидинамической формы метода установления для случаев действия консервативной и «следящей» нагрузки.

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

разработана методика построения корректных математических моделей и их дискретных конечно-разностных аналогов, позволяющих методами вычислительного эксперимента исследовать особенности процессов деформирования неоднородных оболочек вращения при произвольных значениях обобщенных перемещений и деформаций для различных случаев воздействия термомеханических нагрузок общего или локального характера.

определены перспективы практического использования созданного пакета прикладных для расчета нелинейного НДС неоднородных оболочек вращения, в том числе – из композиционных материалов, при разных видах нагрузки. Полученные на их основе результаты решения практических задач внедрены в расчетную практику заинтересованных организаций и используются при создании изделий новой техники, что подтверждено актом внедрения с предприятия АО «Машиностроительный завод «ЗиО-Подольск»»;

создана новая эффективная вычислительная процедура численного решения нелинейных краевых задач механики тонкостенных конструкций при произвольных значениях обобщенных перемещений и деформаций;

представлены предложения по дальнейшему совершенствованию математических моделей и вычислительных алгоритмов при расчете геометрически и физически нелинейного НДС составных оболочечных

конструкций из традиционных изотропных и многослойных композиционных материалов.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

теория построена на известных уравнениях теории тонкостенных оболочек вращения, методы решения математически строгие и непротиворечивы, предложенные алгоритмы построения итерационной процедуры исследованы на сходимость, приведено сравнение полученных численных решений с численными решениями нелинейных краевых задач, полученными другими авторами;

идея базируется на построении алгоритма численного решения геометрически и физически нелинейных краевых задач статики неоднородных оболочек вращения путем адаптации квазидинамической формы метода установления для решения нелинейных сеточных уравнений в форме МКР, позволившей существенно расширить класс исследуемых задач статики оболочек при произвольных значениях обобщенных перемещений и деформаций;

использованы сравнения полученных численных решений с численными решениями нелинейных краевых задач, полученных с помощью других методов;

установлено качественное и количественное совпадение авторских результатов с результатами решения нелинейных краевых задач механики оболочек вращения методом продолжения по параметру;

использованы современные методы вычислительного эксперимента и методы математического моделирования, информационные и компьютерные методы визуализации полученных результатов.

Личный вклад соискателя состоит во всех полученных результатах данной диссертации. Автор принимал активное участие в постановке научных задач, в разработке нового оригинального подхода к построению адекватных математических моделей для исследования особенностей

параметров осесимметричного статического напряженно-деформированного состояния неоднородных оболочек вращения при термомеханических воздействиях общего и локального характера в области произвольных значений обобщенных перемещений и углов поворота. Соискателем разработана и реализована оригинальная конечно-разностная процедура дискретизации параметров НДС купольных оболочек вращения, содержащих полюсные точки, а также построены однотипные дискретные модели для вычисления силовых факторов при решении физически нелинейных задач, а также при расчете оболочек из нелинейно упругих материалов. На основе квазидинамической формы метода установления построен единый вычислительный алгоритм для численного решения геометрически и физически нелинейных краевых задач статики неоднородных оболочек вращения при произвольных значениях обобщенных перемещений и деформаций. Соискателем проведен большой объем вычислительных работ с последующим анализом полученных результатов и их визуализацией. Соискатель докладывал и обсуждал основные положения и результаты работы на международных конференциях и семинарах.

В ходе защиты диссертации не было высказано критических замечаний. Диссертация соответствует требованиям п.п. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г. «О порядке присуждения учёных степеней».

На заседании «24» декабря 2025 года диссертационный совет принял решение присудить Поповой Анастасии Руслановне ученую степень кандидата технических наук за решение научной задачи о моделировании нелинейных процессов деформирования неоднородных оболочек вращения при произвольных обобщенных перемещениях и деформациях. Данная научная задача имеет большое теоретическое и практическое значение для развития современной механики деформируемого твердого тела и разработки

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 12 человек, из них 4 доктора технических наук по специальности 1.1.8. – «Механика деформируемого твердого тела», участвовавших в заседании, из 14 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 12, против 0, недействительных бюллетеней 0.



Ива

15