

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.347.03, СОЗДАННОГО
НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»,
МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ И РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 18.12.2025 г. № 1

О присуждении Тереховой Елене Сергеевне, гражданке Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Рациональное проектирование панелей из слоистого композиционного материала по условиям прочности и устойчивости» **по специальности** 2.5.14 — «Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов» принята к защите 13 октября 2025 г. (протокол заседания № 2) диссертационным советом 24.2.347.03, созданным на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», Минобрнауки России, 630073, г. Новосибирск, пр-кт К. Маркса, 20, приказ об утверждении диссертационного совета № 717/нк от 9 ноября 2012 г.

Соискатель — **Терехова Елена Сергеевна**, «05» февраля 1989 года рождения.

В 2012 году соискатель Терехова Е.С. окончила Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего профессионального образования «Новосибирский государственный технический университет», получена квалификация «Магистр» по направлению 15.04.03 — «Прикладная механика».

С 2019 г. по 2023 г. Терехова Е.С. обучалась в аспирантуре Федерального автономного учреждения «Сибирский научно-исследовательский институт авиации им. С.А. Чаплыгина» по направлению 24.06.01 — «Авиация и ракетно-космическая техника» (профиль: прочность и тепловые режимы летательных аппаратов), период обучения с 01.09.2019 г. по 06.06.2023 г.

С 2012 года Терехова Е.С. работает в Федеральном автономном учреждении «Сибирский научно-исследовательский институт авиации им. С.А. Чаплыгина» в научно-исследовательском отделении усталостной и статической прочности авиационных конструкций (НИО-2) старшим научным сотрудником.

Диссертация выполнена в научно-исследовательском отделении усталостной и статической прочности авиационных конструкций (НИО-2) Федерального автономного учреждения «Сибирский научно-исследовательский институт авиации им. С.А. Чаплыгина».

Научный руководитель — кандидат технических наук, старший научный сотрудник Бадрухин Юрий Иванович, Федеральное автономное учреждение «Сибирский научно-исследовательский институт авиации им. С.А. Чаплыгина», отделение усталостной и статической прочности авиационных конструкций, главный научный сотрудник.

Официальные оппоненты:

Болдырев Андрей Вячеславович, доктор технических наук, доцент, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва», кафедра конструкции и проектирования летательных аппаратов, заведующий кафедрой;

Карпов Евгений Викторович, доктор физико-математических наук, член-корреспондент Российской академии наук, профессор Российской академии наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт гидродинамики имени М.А. Лаврентьева Сибирского отделения Российской академии наук», лаборатория моделирования гетерофазных материалов, главный научный сотрудник

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация — Федеральное автономное учреждение «Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского» (ФАУ «ЦАГИ»), г. Жуковский, **в своем положительном отзыве**, подписанном Дударьковым Юрием Ивановичем, кандидатом технических наук, отделение статической и тепловой прочности ЛА, начальник отдела № 3 и Зайцевым Артемом Михайловичем, отделение статической и тепловой прочности ЛА, научный сотрудник, и утвержденном Зиченковым Михаилом Чеславовичем, кандидатом технических наук, доцентом, и. о. заместителя генерального директора по науке, **указала, что** диссертационная работа Тереховой Елены Сергеевны

«Рациональное проектирование панелей из слоистого композиционного материала по условиям прочности и устойчивости» представляет собой завершённое научное исследование, имеющее научную ценность и практическую значимость. Полученные результаты способствуют развитию методов рационального проектирования тонкостенных авиационных конструкций из композиционных материалов. Выводы по диссертации являются достаточно полными, логичными и обоснованными. Текст диссертации написан корректным научно-техническим языком. Материалы диссертации полностью отражены в статьях, опубликованных в журналах из списка Высшей аттестационной комиссии (ВАК), а также представлены в материалах конференций. Диссертационная работа Тереховой Е.С. по актуальности, объёму выполненных исследований, новизне, достоверности, научной и практической значимости полученных результатов и выводов удовлетворяет требованиям ВАК РФ, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук, соответствует критериям, установленным пунктами 9-14 «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённым постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842. Соискатель Терехова Елена Сергеевна заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.14 — «Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов».

Соискатель имеет 12 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 12, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 4 работы. Другие публикации по теме диссертационной работы представлены в виде трудов и материалов конференций.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах. Общий объём опубликованных работ — 8,02 п.л., авторский вклад — 5,66 п.л.

Наиболее значимые публикации по теме диссертации (Из перечня ВАК РФ):

1. Бадрухин, Ю.И. Выбор рационального пакета для композитных панелей крыла / Ю.И. Бадрухин, Е.С. Терехова // Полёт. Общероссийский научно-технический журнал. — 2022. — № 2. — С. 72–76.

2. Бадрухин, Ю.И. Рациональное проектирование тонкостенных несущих панелей из слоистого композита при комбинированном нагружении / Е.С. Терехова, Ю.И. Бадрухин // Вестник Московского авиационного института. — 2023. — Т. 30, № 4. — С. 130–139.

3. Терехова, Е.С. Влияние некоторых конструктивно-технологических аспектов проектирования изделий из слоистого композита на их несущую способность / Е.С. Терехова // Инженерный журнал: наука и инновации. 2024. № 10 (154). — С. 1–14. — DOI: 10.18698/2308-6033-2024-10-2393.

4. Бадрухин, Ю.И. Влияние углов ориентации слоя на толщину несущих панелей из слоистого композита / Ю.И. Бадрухин, Е.С. Терехова // Космические аппараты и технологии. — 2024. — Т. 8, № 4 (50). — С. 233–242.

На диссертацию и автореферат поступило 10 отзывов, все положительные:

1) Отзыв профессора кафедры «Авиа- и ракетостроение» ФГАОУ ВО «Омский государственный технический университет», доктора технических наук, профессора **Трушлякова В.И.** (замечания об отсутствии валидации аналитического решения и программного обеспечения).

2) Отзыв начальника отдела анализа конструкции космических аппаратов по прочности и динамике АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнёва» **Акимова А.Н.** и ведущего инженера отдела нагрузок и прочности АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнёва», кандидата технических наук **Орлова С.А.** (замечания об отсутствии данных о конечно-элементной сетке для верификации аналитического решения и об измерительном и испытательном оборудовании, рекомендовано распространить решение на криволинейные панели).

3) Отзыв заведующего научно-исследовательской лабораторией математического моделирования Кузбасского гуманитарно-педагогического института ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», доктора технических наук, профессора **Каледина В.О.** (замечания о недостаточности описания используемых моделей и причинах различия результатов аналитического решения и конечно-элементной модели, об отсутствии информации о закритическом поведении и об отсутствии описания объемов экспериментальных выборок и статистических оценок при описании результатов эксперимента).

4) Отзыв главного специалиста департамента статической прочности АО «АэроКомпозит», кандидата технических наук **Чернецова А.А.** (замечание о неприменимости всех рассмотренных укладок на практике).

5) Отзыв доцента кафедры «Прочность конструкций» ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ», кандидата физико-математических наук **Холмогорова С.А.** (замечание о необоснованности выбора критерия прочности и об уточнении понятия «небольшое отклонение» угла армирования при оценке коробления).

6) Отзыв главного конструктора по конструкции планера и прочности Филиала ПАО «Авиационный комплекс имени С.В. Ильюшина» — «Экспериментальный машиностроительный завод имени В.М. Мясищева», кандидата технических наук **Щиринянца В.А.** (замечание об отсутствии оценки степени снижения массы панели, выполненной с использованием предложений, изложенных в работе).

7) Отзыв начальника отдела статической прочности НИО прочности ОКБ ИЦ АО «Уральский завод гражданской авиации», кандидата технических наук **Кравченко Е.Е.** (замечание о неточном изложении шагов алгоритма).

8) Отзыв доцента кафедры № 24 «Авиационная техника и диагностика» ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации имени Главного маршала авиации А.А. Новикова», кандидата технических наук, доцента **Иванова Д.А.** (замечание об избытке иллюстрированного материала).

9) Отзыв главного конструктора по прочности Филиала ПАО «Объединенная авиастроительная корпорация» - Опытно-конструкторское бюро оперативно-тактической авиации Опытно-конструкторского бюро П.О. Сухого **Шкоды А.В.** (замечание о расширении возможностей алгоритма для выбора трехслойных композиционных панелей).

10) Отзыв заместителя начальника НИО прочности – заместителя главного конструктора по прочности Филиала ПАО «Яковлев» «Региональные самолёты», доктора технических наук **Митрофанова О.В.** (замечания отсутствуют).

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается близостью решаемых ими научных задач к тематике диссертационной работы Тереховой Е.С., компетентностью специалистов в области проектирования авиационных конструкций, исследования прочности и устойчивости изделий из полимерных композиционных материалов, наличием публикаций в указанных областях. Официальный оппонент д.т.н., доцент Болдырев А. В. — известный ученый в области оптимизации авиационных конструкций, в том числе из полимерных композиционных материалов, автор более 100 научных публикаций. Официальный оппонент д.ф.-м.н., член-корр. РАН, профессор Карпов Евгений Викторович — специалист в области исследования композиционных материалов, имеет более 70 публикаций. Ведущая организация, Федеральное автономное учреждение «Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского», широко известна своими достижениями в области исследования статической и усталостной прочности авиационных конструкций, проектировании, натурных испытаний и сертификации авиационной техники. Значительная часть исследований по указанной тематике выполняется в отделении статической и

тепловой прочности ЛА, в том числе в отделе № 3, научная деятельность которого связана со статической прочностью авиационных конструкций.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработан новый численно-аналитический алгоритм выбора рациональных параметров неподкрепленных и подкрепленных стрингерами панелей из слоистого композита, позволяющий получить укладку слоев, высоту и количество стрингеров, которые обеспечивают минимальный вес панели при обеспечении прочности и устойчивости;

предложены аналитические решения для оценки устойчивости стрингерных композитных панелей, нагруженных продольным, поперечным и сдвиговым потоками, с учетом взаимного влияния деформирования обшивки и изгибно-крутильного деформирования стрингеров. Рассмотрены случаи шарнирного опирания и защемления панели по контуру;

доказана перспективность использования алгоритма выбора рациональных параметров композитных панелей, подтвержденная актами внедрения и использованием в реальных проектах, включая конструкцию крыльев самолета «Танго»;

введены — новые понятия и термины не вводились.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказана возможность применения разработанного итерационного метода к выбору рационального расположения слоев в укладках слоистых композитных панелей, обеспечивающего их минимальную массу и максимальную мембранную жесткость, при ограничении по условиям прочности и устойчивости;

впервые **получено** аналитическое решение задачи устойчивости стрингерных композитных панелей при граничных условиях шарнирного опирания и защемления, нагруженных продольным, поперечным и сдвиговым потоками, учитывающее локальные особенности совместного деформирования стрингера и обшивки;

получены новые результаты исследования влияния конструктивных параметров на массу и несущую способность панелей из слоистых композиционных материалов;

применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) использован

энергетический принцип определения критических нагрузок прямоугольных панелей; метод конечных элементов; экспериментальные методы;

изложен способ формирования укладок композитных пакетов, обеспечивающий минимальную массу и максимальную мембранную жесткость панелей авиационных конструкций при обеспечении прочности и устойчивости;

раскрыта целесообразность использования разработанного алгоритма для обеспечения минимальной массы тонкостенных композитных конструкций;

изучены связи и взаимодействие конструктивных и технологических факторов, влияющих на поведение композитных панелей, причины коробления и деформации, возникающие вследствие нарушений технологии изготовления;

проведена **модернизация** аналитических решений определения критического состояния подкрепленных композитных панелей при комбинированном нагружении, которая заключается в учете совместного деформирования обшивки и дискретно расположенных стрингеров.

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

разработано программное обеспечение, реализующее алгоритм выбора рациональных параметров композитных панелей летательных аппаратов минимальной массы и максимальной мембранной жесткости при заданных ограничениях по прочности и устойчивости;

определены перспективы практического использования полученных результатов в задачах проектирования рациональных композитных конструкций летательных аппаратов с учетом требований прочности и устойчивости;

создана концепция формирования композитных пакетов при проектировании композитных конструкций;

представлены рекомендации по выбору укладки для предотвращения коробления панелей из полимерных композиционных материалов при отверждении.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

результаты получены с оценкой соответствия опубликованным данным других авторов, а также с результатами расчетов в специальном модуле Siemens NX 12 для оптимизации укладки и с результатами решений методом конечных элементов в сертифицированных программных комплексах Ansys и Femap with NX Nastran;

теория построена на известных принципах механики композитов и классической теории устойчивости пластин и оболочек;

идея работы базируется на анализе практики проектирования элементов авиационных конструкций из полимерных композиционных материалов;

использованы известные численные методы (метод конечных элементов), а также данные из публикаций других исследователей;

установлено качественное совпадение авторских результатов с результатами эксперимента, а также с результатами, представленными в независимых источниках по данной тематике;

результаты **экспериментальных исследований** получены на сервогидравлической испытательной машине *MTS-250*, прошедшей метрологическую аттестацию.

Личный вклад соискателя состоит в реализации решения задачи устойчивости при комбинированной нагрузке стрингерных панелей из слоистого композита, разработке алгоритма выбора рациональных параметров панелей из слоистого композита; верификации аналитических решений; построении расчетных моделей образцов стрингерных панелей совместно с оснасткой для испытаний, обработке и анализе результатов натурных испытаний и численного моделирования. Испытания проведены при участии сотрудников ФАУ «СибНИА им. С.А. Чаплыгина» Беспалова В.А., Бледнова Д.Н. и Золотухина М.А.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие замечания: в работе некорректно использовано понятие верификации, а также при описании результатов экспериментов не приведены объемы экспериментальных выборок и статистические оценки. Соискатель Терехова Елена Сергеевна согласилась с замечаниями, ответила на задаваемые ей в ходе заседания вопросы и привела собственную аргументацию, в соответствии с которой отметила, что под верификацией понимается подтверждение достоверности аналитических решений, т. е. близости аналитических и точных решений задач в заданных границах верификации. Поскольку точного решения задачи в представленной постановке нет, проведено сравнение с методом конечных элементов, который тоже является приближенным методом, и задавать точные границы верификации затруднительно. Путем сравнения с методом конечных элементов были получены пределы достоверности данных решений. Несущая способность панелей с параметрами, полученными с помощью разработанного алгоритма, подтверждена экспериментальными исследованиями. Испытания были проведены для шести образцов (два каждого типа). Поскольку образцы относятся к категории конструктивно-подобных и их изготовление трудоемко, в отрасли не регламентируется их количество для испытаний.

На заседании 18 декабря 2025 г. диссертационный совет принял решение за разработку нового численно-аналитического алгоритма выбора рациональных параметров панелей из полимерных композиционных материалов минимального веса при ограничениях по прочности и устойчивости, присудить Тереховой Елене Сергеевне ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 15 человек, из них 7 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 19 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за — 15, против — 0, недействительных бюллетеней нет.

Председатель
диссертационного совета

Пустовой Николай Васильевич

Ученый секретарь
диссертационного совета

Тюрин Андрей Геннадиевич

«18» декабря 2025 г.