

СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ ДИССЕРТАЦИИ

Диссертационный совет: 24.2.327.07

Соискатель: Ермаков Иван Сергеевич

Тема диссертации: Численное моделирование растягиваемых композитных пластин с концентраторами напряжений в виде круговых отверстий

Специальность: 1.1.8. – «Механика деформируемого твердого тела»

Решение диссертационного совета по результатам защиты диссертации: на заседании «06» ноября 2024 года, протокол № 12, диссертационный совет пришел к заключению о том, что диссертационное исследование Ермакова И.С. является законченной научно-квалификационной работой, имеет важное прикладное значение и содержит элементы фундаментального исследования. Достоверность полученных результатов обоснована и сомнений не вызывает.

Диссертация Ермакова И.С. отвечает требованиям п.п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденным постановлением правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842. На заседании «06» ноября 2024 года, протокол № 12, диссертационный совет принял решение присудить Ермакову И.С. учёную степень кандидата технических наук.

Присутствовали: председатель диссертационного совета Тарлаковский Д.В., заместители председателя диссертационного совета Земсков А.В., Фирсанов В.В., учёный секретарь диссертационного совета Сердюк Д.О.

Члены диссертационного совета: Булычев Н.А., Вестяк В.А., Дмитриев В.Г., Медведский А.Л., Миронова Л.И., Солдатенков И.А., Федотенков Г.В.

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 «06» ноября 2024 г. № 12

О присуждении Ермакову Ивану Сергеевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Численное моделирование растягиваемых композитных пластин с концентраторами напряжений в виде круговых отверстий» по специальности 1.1.8. – «Механика деформируемого твердого тела», принята к защите «15» апреля 2024 г., протокол № 11, 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 Ермаков Иван Сергеевич, 29 ноября 1995 года рождения. В 2019 г. окончил магистратуру федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» по направлению 24.04.01 «Ракетные комплексы и космонавтика», в 2023 г. – очную аспирантуру федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский

авиационный институт (национальный исследовательский университет)» по направлению подготовки 01.06.01 «Математика и механика».

Работает младшим научным сотрудником в лаборатории разработки теоретических методов исследования, анализа прочности и ресурса силовых конструкций ракетно-космической техники и народнохозяйственного назначения при комплексном статическом нагружении, Комплекса прочности, Центра прикладных исследований акционерного общества «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения».

Диссертация выполнена на кафедре 602 «Проектирование и прочность авиационно-ракетных и космических изделий» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – **Григорьев Валерий Георгиевич**, доктор технических наук, старший научный сотрудник, профессор кафедры 602 «Проектирование и прочность авиационно-ракетных и космических изделий» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)».

Официальные оппоненты:

Полилов Александр Николаевич, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории «Безопасности и прочности композитных конструкций» федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской Академии наук».

Сергеичев Иван Валерьевич, кандидат физико-математических наук, директор «Центра Технологий и Материалов» автономной некоммерческой образовательной организации высшего образования «Сколковский институт науки и технологий»,

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация: Акционерное общество «**Центральный научно-исследовательский институт специального машиностроения**» в своем положительном отзыве, подписанном кандидатом технических наук, начальником отделения «Центр прочности», заместителем главного конструктора по прочности, акционерного общества «Центральный научно-исследовательский институт специального машиностроения» **Калединым Владимиром Олеговичем** и утверждённом доктором технических наук, генеральным директором и главным конструктором акционерного общества «Центральный научно-исследовательский институт специального машиностроения» **Разиным Александром Федоровичем** указала, что диссертация Ермакова Ивана Сергеевича является законченной научно-квалифицированной работой, выполненной на высоком научном уровне и на актуальную тему, которая содержит практически значимые результаты. В работе представлены результаты численного моделирования напряжённо-деформированного состояния композитных пластин, ослабленных круговыми отверстиями, при одноосном растяжении и их расчеты на прочность. Практическую значимость работы и ее прикладной характер подчеркивает возможность внедрения результатов диссертации в практику проектирования промышленных предприятий и конструкторских бюро (таких, как ПАО «РКК «Энергия», АО «Композит», АО «РКЦ «Прогресс» и др.) и в учебный процесс кафедр технических ВУЗов, связанных с подготовкой специалистов в области механики композитных конструкций. Представленная диссертационная работа соответствует требованиям ВАК РФ, которые предъявляются к диссертационным работам на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.1.8. – «Механика деформируемого твердого тела» и требованиям «Положение о порядке присуждения ученых степеней», а соискатель Ермаков Иван Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.1.8. – «Механика деформируемого твердого тела».

Соискатель имеет 12 опубликованных работ по теме диссертации, в том числе 7 статей в журналах, включённых в Перечень ВАК Министерства

науки и высшего образования Российской Федерации, и 5 тезисов докладов в сборниках конференций.

Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. Ермаков И.С. Численное моделирование растягиваемых плоских элементов композитных конструкций, ослабленных набором круговых отверстий / И.С. Ермаков, Л.Г. Сухомлинов, М.В. Шиврин // Машиностроение и инженерное образование. –2022. – вып. 1(68). – С. 3-12.

2. Ермаков И.С. Численное моделирование одноосно растягиваемой толстой ортотропной композитной пластины с круговым отверстием / И.С. Ермаков // Машиностроение и инженерное образование. –2022. – вып. 2(69). – С. 3-14.

В этих и остальных работах представлена разработанная методика получения достоверных решений по параметрам напряженно-деформированного состояния вблизи отверстий в тонких и толстых композитных пластинах при одноосном растяжении, а также ключевые результаты исследований, касающиеся влияния геометрических и физико-механические факторов на картину напряженно-деформированного состояния. Вклад в публикации, выполненные в соавторстве, состоит в участии в формулировке постановок задач, построении математических моделей, проведении численных и экспериментальных натурных испытаний с последующим анализом результатов.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

от ведущей организации и официальных оппонентов, отзывы положительные,

от доктора технических наук, профессора кафедры «Ракетно-космические композитные конструкции» Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана, Азарова Андрея Валерьевича, отзыв положительный;

от кандидата технических наук, начальника отдела статической прочности, АО «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения» Владимирову Сергея Аркадьевича, отзыв положительный;

от доктора технических наук, заведующего кафедрой «Сопротивление материалов», Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королева, Павлова Валентина Федоровича, отзыв положительный;

от кандидата технических наук, заместителя главного конструктора – заместителя начальника отделения по разработке перспективных инновационных транспортных систем, АО «Ракетно-космический центр «Прогресс», Штанько Евгения Дмитриевича, отзыв положительный;

от кандидата технических наук, заместителя директора по науке и инновациям, АО «Научно-исследовательский институт конструкционных материалов на основе графита «НИИГрафит», Гареева Артура Радиковича, отзыв положительный;

от доктора физико-математических наук, заслуженного деятеля науки РФ, профессора кафедры «Техническая механика и компьютерное моделирование», Московского политехнического университета (Московский политех), Бондаря Валентина Степановича, отзыв положительный;

от кандидата физико-математических наук, первого заместителя генерального директора АО «Композит», Дворецкого Александра Эргардовича, и от кандидата технических наук, начальника отделения углеродных материалов, АО «Композит», Тащилова Сергея Васильевича, отзыв положительный;

от кандидата технических наук, ведущего научного сотрудника отдела прочности конструкций, ПАО «Ракетно-космическая корпорация «Энергия», Муляра Сергея Геннадьевича, 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 АО «Центральный научно-исследовательский институт специального машиностроения» имеются следующие замечания.

1. В таблице 2.1 представлены безразмерные значения модуля упругости E_2 и модуля сдвига G_{12} , отнесенные к модулю упругости E_1 . Представляет интерес абсолютные значения указанных величин, при которых проводили расчёт.

2. Проведенные исследования влияния физико-механических свойств материала на напряженно-деформированное состояние толстой ортотропной пластины с одним отверстием, описанные в разделе 3.2, ограничены конструкциями из стеклопластиков, армированных тканью. Несомненную научную и практическую значимость представляло бы расширение этого исследования на класс конструкций с неоднородной структурой стенки, образованной слоями однонаправленного материала с различной ориентацией армирующих волокон.

3. Математическая модель тонкой круглой ортотропной пластины описана весьма лаконично. Более подробное описание ее реализации представляло бы практический интерес в силу ее более экономичности по сравнению с трехмерной моделью при незначительных отличиях в результатах расчета по обеим моделям.

4. Работа выиграла бы в наглядности от включения в нее иллюстраций сложной сетки конечно-элементных моделей с двумя, тремя и восемью отверстиями.

Замечания в отзыве официального оппонента Полилова А.Н.

1. Проведен большой объём расчетов полей напряжений для оценки влияния различных параметров на коэффициент концентрации напряжений, но нужна ли такая точность вычисления напряжений, если они не имеют прямого отношения к снижению прочности, которое определяется значением напряжения в одной точке, отстоящей от кромки отверстия на некотором характерном, подобранном в эксперименте, расстоянии? Это к вопросу о самоценности уточненных процедур расчета напряжений.

2. Ценность с позиций проектирования таких элементов представлял бы анализ НДС в случаях разных диаметров отверстий. Интерес представляет определение расстояний в продольном и поперечном направлениях, при которых можно пренебречь взаимовлиянием отверстий.

3. Не ясна мотивация исследования толстой композитной круглой пластины. Объект, тип ортотропии и форма нагружения являются довольно специфическими.

4. В подразделах 2.2, 2.3, 3.2, 3.3 стоило бы свести результаты исследований по влиянию на коэффициент концентрации напряжений тех или иных параметров в таблицы, для лучшего понимания и анализа, и уже по ним проводить выводы.

5. В подразделе 1.1 представлен обзор критериев разрушения в условиях концентрации напряжений, тем не менее, он заслуживает дополнения их сравнительным анализом, проведенным сравнительно недавно М.А. Леганом в своей докторской диссертационной работе «Градиентный критерий разрушения в зоне концентрации напряжений».

6. Большое разнообразие расчетных результатов следовало бы обобщить и четко сформулировать выводы по геометрии. Так какие же отверстия более опасные: расположенные в продольном или в поперечном ряду, одинаковых или разных диаметров и т.п.? Короче, не хватает некоторых наглядных геометрических (качественных) выводов.

7. Многочисленные частные результаты, выраженные в процентах, относятся только к конкретной геометрии, а интересно было бы проанализировать тенденции изменения коэффициентов концентрации в более общей постановке.

Замечания в отзыве официального оппонента Сергеичева И.В.

Экспериментальная часть заслуживает большей отчетности. Стоило бы расписать более подробно процессы проведения испытаний:

1. Добавить иллюстрации испытательной машины, оснастки, регистрирующей аппаратуры;

2. Дать описание методу изготовления стеклотекстолитовых образцов, методу введения в них отверстий;

3. Добавить к картограммам распределения деформаций, картограммы с распределением напряжений;

4. Не лишним была бы демонстрация конечно-элементных моделей испытываемых образцов;

В отзывах на автореферат следует отметить такие критические замечания:

1. В автореферате не приведено описание конечно-элементной модели тонких и толстых пластин;

2. В автореферате не приведено описание центрально-разностных схем для случая толстой пластины в трехмерной формулировке;

3. Не дано описание конечно-элементной модели, поэтому не ясны характеристики сетки и тип элемента, при которых имеет сходжение результатов с вариационно-разностной моделью;

4. Интерес представляет дополнение третьей главы сравнительным анализом ситуации напряженно-деформированного состояния прямоугольной толстой ортотропной пластины со случаем круглой пластины;

5. Из автореферата неясно, каким методом изготовлены рассматриваемые композитные пластины;

6. В описании второй главы отсутствует информация о плоских моделях, используемых при получении решения случая круглой пластины, ослабленной круговым отверстием;

7. В описании четвертой главы отсутствует информация о толщине пластин ослабленных двумя продольными и поперечными отверстиями;

8. В качестве замечаний следует указать на отсутствие в автореферате информации об экспериментальном оборудовании, на котором автор проводил испытания композитных образцов;

9. В разделе 4.5. не указан тип изготовления и укладка стеклотекстолитовых образцов;

10. В разделе 4.5. также не указан метод создания отверстий в стеклотекстолитовых образцах;

11. Из автореферата неясно, как непосредственно выглядит процедура расчета на прочность композитных образцов;

12. Также неясно, проводилось ли исследование влияния расположения отверстий на прочность композитных пластин;

13. Автор в своей работе использует три различных численных метода

решения рассматриваемой задачи, при этом в автореферате отсутствует сравнительный анализ эффективности, точности используемых методов, а также рекомендации по выбору наиболее эффективного из них;

14. Расчеты НДС в данной работе проводились для случая однородно ортотропных пластин. Неясно, насколько правомерно использовать трехмерную теорию однородного ортотропного тела для анализа НДС вблизи отверстия, диаметр которого меньше толщины пластины, поскольку в этом случае размеры отверстия сопоставимы с толщинами отдельных слоев пакета;

15. Приведённые в автореферате результаты ограничиваются лишь решением задач одноосного растяжения композитных пластин, интерес также представляют расчёты на прочность при их сжатии и изгибе;

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что официальные оппоненты являются высококвалифицированными специалистами в данной области, а ведущая организация проводит исследования в области конструкций из современных полимерных композитных материалов. Официальные оппоненты и сотрудники ведущей организации имеют значительное количество публикаций, связанных с направлением исследований диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана методика получения достоверных численных решений, описывающих напряжённо-деформированное состояние одноосно растягиваемых тонких и толстых ортотропных пластин, ослабленных круговыми отверстиями, а также методика расчета указанных пластин на предельные растягивающие нагрузки;

предложен новый подход к получению достоверных численных решений, описывающих напряжённо-деформированное состояние одноосно растягиваемых тонких и толстых ортотропных пластин, ослабленных

круговыми отверстиями, который основан на согласовании результатов альтернативных вычислительных моделей;

доказана перспективность идей, изложенных в диссертации, применительно к решению задач механики деформируемого твердого тела.

Новые понятия не вводились.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказаны правомерность и обоснованность предложенных методов решения задач, о напряжённо-деформированном состоянии одноосно растягиваемых тонких и толстых ортотропных пластин, ослабленных круговыми отверстиями, а также расчета указанных пластин на предельные растягивающие нагрузки;

Применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) **использован** комплекс методов, в том числе методы механики деформируемого твердого тела, численные методы, такие как: вариационно-разностный, численного интегрирования и конечно-элементный.

изложены и доказаны утверждения, позволяющие использовать вариационно-разностный метод, процедуру численного интегрирования и метод конечных элементов для получения достоверных решений о напряжённо-деформированном состоянии одноосно растягиваемых тонких и толстых ортотропных пластин, ослабленных круговыми отверстиями;

раскрыта суть проблемы получения достоверных решений по параметрам напряженно-деформированного состояния одноосно растягиваемых тонких и толстых ортотропных пластин, ослабленных круговыми отверстиями, исходя из проведенного обзора литературы;

изучены задачи напряженно-деформированного состояния одноосно растягиваемых тонких и толстых ортотропных пластин, ослабленных круговыми отверстиями, с учетом влияния различных геометрических и физико-механических факторов;

проведена модернизация численных методов и алгоритмов решения задач для определения напряженно-деформированного состояния, одноосно растягиваемых тонких и толстых ортотропных пластин, ослабленных круговыми отверстиями, с учетом влияния различных геометрических и физико-механических факторов;

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

разработаны численные методы получения достоверных решений по параметрам напряженно-деформированного состояния одноосно растягиваемых тонких и толстых ортотропных пластин, ослабленных круговыми отверстиями, по которым дается обоснованный прогноз предельных растягивающих нагрузок указанных пластин;

определены перспективы практического использования разработанных методов и алгоритмов применительно к расчету предельных растягивающих нагрузок одноосно растягиваемых тонких и толстых ортотропных пластин, ослабленных круговыми отверстиями;

созданы новые эффективные алгоритмы моделирования процессов деформирования одноосно растягиваемых тонких и толстых ортотропных пластин, ослабленных круговыми отверстиями, с учетом влияния различных геометрических и физико-механических факторов;

представлены предложения по дальнейшему совершенствованию разработанных методик определения напряженно-деформированного состояния одноосно растягиваемых тонких и толстых ортотропных пластин, ослабленных круговыми отверстиями;

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

теория построена на известных уравнениях механики упругих деформируемых тел, методы решения математически строгие и непротиворечивы, реализованные алгоритмы проверены на сходимость, приведено сравнение полученных автором результатов с известными результатами других авторов;

идея базируется на обобщении передового опыта моделирования напряженно-деформированного состояния одноосно растягиваемых тонких и толстых ортотропных пластин, ослабленных круговыми отверстиями;

использованы сравнения полученных результатов с результатами других авторов, сравнения с результатами, полученными на основе построенных альтернативных моделей, сравнения с экспериментальными данными других исследователей, а также с результатами специально выполненных экспериментов;

установлено качественное и количественное совпадение авторских результатов с результатами, представленными в независимых источниках в частных случаях, и с данными экспериментальных исследований;

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

Личный вклад соискателя состоит в разработке и программной реализации основанного на вариационно-разностном методе, процедуре численного интегрирования и методе конечных элементов алгоритма решения задач о напряжённо-деформированном состоянии одноосно растягиваемых тонких и толстых ортотропных пластин, ослабленных круговыми отверстиями с учетом влияния различных геометрических и физико-механических факторов. Также им разработана методика расчета предельных растягивающих нагрузок указанных пластин и проведены экспериментальные натурные испытания композитных образцов для проверки достоверности предложенной методики.

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 «06» ноября 2024 года диссертационный совет принял решение присудить Ермакову Ивану Сергеевичу ученую степень кандидата технических наук за решение научной задачи посвященной разработке методики получения достоверных численных решений, описывающих напряжённо-деформированное состояние одноосно растягиваемых тонких и толстых ортотропных пластин, ослабленных круговыми отверстиями, теоретические и практические положения которой имеют важное значение для развития современной механики деформируемого твердого тела.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 11 человек, из них 4 докторов 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 11, против 0, недействительных бюллетеней 0.

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

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

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

Тарлаковский Д.В.

Сердюк Д.О.



Иванов А.В.

«06» 11 2024 года