

СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ ДИССЕРТАЦИИ

Диссертационный совет: 24.2.327.07

Соискатель: Чжо Йе Ко

Тема диссертации: Топологическая оптимизация плоских оребренных панелей на основе моделей пластин переменной толщины

Специальность: 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела

Решение диссертационного совета по результатам защиты диссертации: на заседании 20 декабря 2023 года, протокол 27, диссертационный совет пришел к заключению о том, что диссертационное исследование Чжо Йе Ко является законченной научно-квалификационной работой, имеет важное прикладное значение и содержит элементы фундаментального исследования. Достоверность полученных результатов обоснована и сомнений не вызывает. Диссертация Чжо Йе Ко отвечает требованиям п.п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденным постановлением правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842. На заседании 20 декабря 2023 года, протокол 27, диссертационный совет принял решение присудить Чжо Йе Ко 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., Миронова Л.И., Рабинский Л.Н., 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.



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 «20» декабря 2023 г. № 27

О присуждении Чжо Йе Ко, гражданину Республики Союз Мьянма, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Топологическая оптимизация плоских орбренных панелей на основе моделей пластин переменной толщины» по специальности 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела принята к защите «19» октября 2023 г., протокол заседания № 26 диссертационным советом 24.2.327.07 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4, А-80, ГСП-3, приказ о создании диссертационного совета 24.2.327.07 – № 1184/нк от «12» октября 2022 г.

Соискатель Чжо Йе Ко, 23 марта 1992 года рождения, в 2017 г. году окончил магистратуру федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» по направлению «Авиастроение». Диплом об окончании магистратуры серия 107718, номер 0961848, выдан 30 июня 2017 г. В период подготовки диссертации соискатель Чжо Йе Ко обучался 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» по специальности 01.02.06 «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры». Диплом об окончании аспирантуры серия 107718, номер 1121322, выдан 07 июля 2022 г.

Диссертация выполнена на кафедре 903 «Перспективные материалы и технологии аэрокосмического назначения» Института инженерной подготовки (Институт №9) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель - доктор физико-математических наук, профессор **Рабинский Лев Наумович**, заместитель директора Дирекции института № 9 «Общеинженерной подготовки», Заведующий кафедрой «Перспективные материалы и технологии аэрокосмического назначения», профессор кафедры «Сопротивление материалов, динамика и прочность машин» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)».

Официальные оппоненты:

Кондратов Дмитрий Вячеславович, доктор физико-математических наук, доцент, заведующий кафедрой «Информационная безопасность автоматизированных систем» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», г. Саратов.

Королев Вадим Вадимович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Транспортное строительство» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет транспорта», г. Москва.

Ведущая организация **Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт прикладной механики Российской академии**

наук (ИПРИМ РАН), г. Москва, в своем положительном отзыве, подписанном доктором технических наук, заместителем директора ИПРИМ РАН **Данилиным Александром Николаевичем**, заверенном ученым секретарем ИПРИМ РАН **Карнет Юлией Николаевной** и утвержденным доктором технических наук, директором ИПРИМ РАН **Власовым Александром Николаевичем**, указала, что диссертация Чжо Йе Ко представляет собой завершённую квалификационную работу, в которой содержится развитие подходов для создания эффективных металлических и металло-композитных конструкций на основе методов топологической оптимизации с учетом ограничений по жесткости и прочности, имеющих важное значение для развития механики деформируемого твердого тела. Диссертация соответствует всем требованиям п.п.9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. №842, а её автор Чжо Йе Ко заслуживает присуждения ему искомой ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.1.8 Механика деформируемого твердого тела.

Соискатель имеет 12 опубликованных печатных работ по теме диссертации, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 4 работы. Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Чжо Йе Ко, Соляев Ю.О. Топологическая оптимизация подкрепленных панелей, нагруженных сосредоточенными силами // Труды МАИ. ISSN: 1727-6942. 2021. № 120, DOI: [10.34759/trd-2021-120-07](https://doi.org/10.34759/trd-2021-120-07)

2. Чжо Йе Ко, Рабинский Л.Н. Оценка эффективности метода топологической оптимизации подкрепленных панелей на основе аналитических решений тестовых задач // Труды МАИ. ISSN: 1727-6942. 2023. № 129. DOI: [10.34759/trd-2023-129-07](https://doi.org/10.34759/trd-2023-129-07)

3. Kyaw Ye Ko, Yury Solyaev., Arseniy Babaytsev., Sergey Lurie., Lev Rabinskiy., Ivan Kondakov. Theoretical and experimental validation of the variable-thickness topology optimization approach for the rib-stiffened panels. Continuum Mech. Thermodyn. 2023. Vol. 35. Issue. 4. Pp. 1787–1806. DOI: [10.1007/s00161-023-01224-w](https://doi.org/10.1007/s00161-023-01224-w)

4. Kyaw Ye Ko, Yury Solyaev. Explicit benchmark solution for the topology optimization of the variable-thickness plates. Mech. Complex Syst. 2023. Vol. 11. No. 3. Pp. 381–392. DOI: [10.2140/memocs.2023.11.381](https://doi.org/10.2140/memocs.2023.11.381)

В этих и остальных работах изложены и обоснованы основные результаты автора по топологической оптимизации плоских ребренных панелей на основе моделей пластин переменной толщины с учетом ограничений по жесткости и прочности.

На диссертацию и автореферат поступили **отзывы:**

от научного руководителя, ведущей организации и официальных оппонентов, отзывы положительные;

от Темнова Александра Николаевича, кандидата физико-математических наук, доцента, доцента кафедры «Космические аппараты и ракеты-носители», федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», заверенный деканом факультета «Специальное машиностроение» МГТУ им. Н.Э. Баумана, доктором технических наук, профессором Калугиным Владимиром Тимофеевичем, отзыв положительный;

от Мартиросовой Елены Ивановны, кандидата технических наук, генерального директора ООО «ВСТ-Спецтехника», отзыв положительный;

от Шеметовой Елены Владиславовны, кандидата технических наук, ведущего инженера по испытаниям АО «НПО Лавочкина», заверенный заместителем генерального директора по персоналу и общим вопросам, Шолоховой И.В., отзыв положительный;

от Быкова Александра Андреевича, кандидата технических наук, доцента кафедры «Прикладная механика», федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский

университет)», утвержденный ученым секретарем Ученого совета МФТИ Евсеевым Е.Г., отзыв положительный;

от **Угланова Дмитрия Александровича**, доктора технических наук, доцента, профессора кафедры «Теплотехника и тепловые двигатели», федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева», утвержденный ученым секретарем университета Васильевой И.П., отзыв положительный;

от **Насонова Федора Андреевича**, кандидата технических наук, ведущего технолога 3 класса отдела Научно-исследовательского отделения технологии КБ, заместителя ученого секретаря Отделения НТС в ОКБ ОТА, руководителя Научно-технического сектора Совета МС ОКБ Сухого, заверенный начальником управления по работе с персоналом структурных подразделений А.С. Вишневской, отзыв положительный;

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

В поступивших отзывах имеются замечания.

В отзыве **ведущей организации** - федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт прикладной механики Российской академии наук - имеются следующие замечания:

1. В первой главе упоминается, что рассматриваемый класс задач оптимизации требует регуляризации, так как приводит к сеточно-зависимым решениям, однако, далее в обзоре существующие методы регуляризации и оценка их эффективности обсуждаются очень кратко;

2. В постановках задачи оптимизации 2.35, 2.36 следовало бы указать, что энергия деформаций и решение задачи должно соответствовать теории пластин (аналогично постановке 2.10-2.20);

3. В соотношениях 3.2 и 3.3 используются разные обозначения для перерезывающей погонной силы (Q и V);

4. Из автореферата не ясно, какие физико-механические характеристики материала использовались для анализа моделей пластин, описанных в третьей главе диссертации, не даны данные по физико-механическим характеристикам материала;

5. В работе имеется ряд орфографических ошибок, подписи к графикам имеют разный стиль оформления.

Замечания в отзыве **официального оппонента Кондратова Д.В.**

1. Формулировка метода и результаты конечно-элементных расчетов, полученных во второй главе диссертации представлены в автореферате тезисно и не сопровождаются графическими результатами проведенных расчетов по оптимизации элементов авиационных конструкций;

2. Некоторая терминология в диссертации не является общепринятой, например, "ребристо-утолщенные структуры";

3. В работе имеются стилистические и орфографические ошибки, а также опечатки.

Замечания в отзыве **официального оппонента Королева В.В.**

1. Представляется, что в предлагаемом подходе можно было бы использовать толщину пластин непосредственно в качестве переменной задачи оптимизации, что могло бы позволить снизить размерность задачи, однако в работе вводится отдельная переменная (фиктивная плотность), через которую пересчитывается толщина;

2. В разделе, связанном с оптимизацией металло-композитных конструкций, не представлен анализ весовой эффективности полученных оптимальных вариантов конструкции в сопоставлении со стандартным регулярным оребрением;

3. При описании расчета с использованием программы COMSOL Multiphysics следовало бы более подробно описать тип выбранных конечных элементов и представить их свойства в виде таблицы;

4. В тексте автореферата автору необходимо обозначить ось Y графиков, представленных на рис. 2 (аналогично рисунок 3.8 в диссертации);

5. В диссертации и автореферате имеется незначительное число опечаток.

В отзывах на автореферат следует отметить такие критические замечания:

1. В работе имеется некоторое количество опечаток и описок, связанных с тем, что соискатель не является носителем русского языка. Также необходимо отметить, что отчеты, статьи и другие документы пишутся в безличной форме.

2. На рисунках 4 и 5 представлены результаты моделирования ребренных пластин с помощью разработанного автором диссертации математического аппарата и моделирования с помощью программного обеспечения, реализующего решение трехмерной задачи методом конечных элементов, и который можно признать эталонным. Если проанализировать представленные величины максимальных прогибов пластин, полученных различным образом, то отличие результатов составляет в ряде случаев 18 %, притом разработанный автором метод занижает величину прогиба. Отсюда возникает вопрос, на сколько занижаются значения максимальных напряжений? Данный вопрос важен с точки зрения определения расчетных запасов прочности конструкции, недооценка которого при проектировании при заданном техническом задании или нормах 1,4 при ошибке 18 % может оказаться критической. И не связано ли улучшение характеристик проектируемых пластин с данной недооценкой прочности элемента конструкции?

3. В автореферате нет описания параметров расчетной сетки при моделировании, каковы соотношения между размерами элементов конструкции и шагом сетки, а также не приведено исследования сходимости по размеру расчетной сетки и порядка сходимости численной схемы.

4. На рисунке 13 показаны изображения ребренной пластины и результаты её испытаний. Данная пластина была изготовлена с помощью аддитивных технологий, однако материал, полученный таким образом, может

быть пористым (заполнение меньше 100 % при печати) и обладать анизотропными свойствами. В автореферате не указано, определялась ли степень анизотропии материала полученной пластины, её наполненность, или оценка влияния на результат анизотропности.

5. Из текста автореферата в явном виде не следует, для какого типа конструкций наиболее эффективно было бы применение предлагаемых методов оптимизации: в том числе, если для композитных деталей и сборок, то могут ли быть учтены вариации их изготовления из однонаправленных и тканых армирующих наполнителей (ленты и ткани), гибридных наполнителей, совместного или отдельного формования, методов формования (вакуумное, вакуум-автоклавное, инфузионные методы, клеесборка и пр.).

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что официальные оппоненты являются высокопрофессиональными специалистами в данной области и имеют публикации, связанные с направлением исследований диссертации, а в ведущей организации работают специалисты, достижения которых широко известны, в том числе и в области науки, соответствующей тематике диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана метод топологической оптимизации подкрепленных металлических и металло-композитных элементов авиационных конструкций, работающих в условиях сложного напряженного состояния.

предложен метод топологической оптимизации тонкостенных элементов конструкций, основанный на численном конечно-элементном моделировании и методах оптимизации, в частности, на методе движущихся асимптот;

доказана перспективность использования разработанных численных и аналитических методов для оценки оптимального расположения ребер жесткости;

новые понятия не вводились.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

предложена и реализована методика топологической оптимизации подкрепленных плоских панелей, в том числе, композитных, работающих в условиях сложного напряженного состояния;

доказана эффективность предложенной методики топологической оптимизации, а именно, на основе сопоставления с аналитическими решениями и экспериментальными данными;

Применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, с получением обладающих новизной результатов) **использован** комплекс методов, среди которых методы механики деформируемого твердого тела, теории упругости, теории пластин, теории дифференциальных уравнений, а также современные программные комплексы математического моделирования;

разработана методика оптимизации вариантов металло-композитных конструкций, позволяющая одновременно определять оптимальный угол армирования в области топологической оптимизации;

получены рекомендации по выбору наилучших настроек задачи оптимизации, связанных с выбором размера сетки, типа конечных элементов, начальных условий для толщины пластины и типа аппроксимирующей функции для дополнительных переменных модели;

показана достаточная точность решений, получаемых для пластин переменной толщины, по сравнению с соответствующими моделями с прорисовкой ребер жесткости пластинчатыми элементами;

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

разработаны новые подходы, применимые для выбора оптимальной геометрии силового набора подкрепленных панелей, работающих в условиях действия поперечных сосредоточенных и распределенных нагрузок;

определены перспективы дальнейшего использования разработанных численно-аналитических и конечно-элементных моделей, связанные с возможностью обобщения предложенных методов на модели оболочек переменной толщины и подкрепленные оболочечные конструкции;

созданы новые эффективные численно-аналитические и конечно-элементные модели, позволяющие выбирать траектории и ориентацию ребер жесткости в плоских панелях, работающих в условиях статических поперечных нагрузок;

представлены результаты численно-аналитических и конечно-элементных расчетов для ряда валидационных и тестовых задач, в том числе, сопоставленных с данными аналитических оптимизационных решений и экспериментальными данными.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

Достоверность определяется применяемым математическим аппаратом, оптимизирующим компоновку материала, строгой формулировкой моделей в рамках теории упругости, теории пластин, теории дифференциальных уравнений;

Проведено сравнение результатов численного и аналитического моделирования. Показано надлежащее согласие и валидация предложенной численной методики;

Экспериментальные исследования подтвердили эффективность предложенной методики оптимизации.

Численное моделирование проводилось в пакете программ COMSOL Multiphysics с использованием детальных моделей изделий, сетки высокой плотности. Надежность численных расчетов оценивалась путем изменения размера конечно-элементной сетки, а также путем сравнения полученных решений в рамках упрощенных аналитических моделей;

Использованы современные программные комплексы математического и численного моделирования, а именно: программный пакет, система компьютерной алгебры, универсальная программная система конечно-элементного (МКЭ) анализа ANSYS и COMSOL Multiphysics.

Личный вклад соискателя состоит в постановке задачи и получении новых аналитических, численных решений и экспериментов для оценки эффективности топологической оптимизации плоских ребреных панелей на

основе моделей пластин переменной толщины. В подготовке статей по теме диссертации.

В ходе защиты диссертации не было высказано критических замечаний. Приведенные положения позволяют заключить, что представленная диссертация является законченным научно-квалификационным исследованием, содержащим элементы научной новизны, имеющим важное прикладное и фундаментальное значение для развития теоретических и экспериментальных методов топологической оптимизации облегченных металлических и металлокомпозитных элементов авиационных конструкций, работающих в условиях сложного напряженного состояния. В ней представлены новые, обоснованные результаты, что соответствует требованиям п.п. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842.

На заседании 20 декабря 2023 года диссертационный совет принял решение присудить Чжо Йе Ко ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 11 человек, из них 3 доктора технических наук по специальности рассматриваемой диссертации, 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

Тарлаковский Д.В.

Сердюк Д.О.

20.12.2023 г.

Начальник отдела
Т.А. Аникина

