

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Штейнбрехер Ольги Александровны «Разработка метода, алгоритма и программного обеспечения для оптимизации анизотридных конструкций из композиционных материалов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 – математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Диссертация посвящена решению задачи оптимального проектирования сетчатых анизотридных конструкций.

**Актуальность темы исследований** обусловлена тем, что в настоящее время существуют проблемы решения задач оптимального проектирования сетчатых анизотридных конструкций, связанные с 1) большим числом используемых ограничений и неизвестных в постановке задачи; 2) особенностями области ограничений задачи оптимизации.

Цель проектирования конструкций заключается в построении такой конструкции, которая будет соответствовать определенным установленным экономическим и техническим критериям для эксплуатации, производства и транспортировки изделия. Для уменьшения времени разработки и уменьшения временных и экономических затрат проектирование конструкций включает в себя этапы оптимизации.

Одним из видов аэрокосмических конструкций являются сетчатые анизотридные конструкции, которые представляют собой регулярную структуру спиральных и кольцевых ребер, подкрепленных или неподкрепленных обшивкой. Сетчатые конструкции имеют меньшую массу по сравнению с цельнометаллическими при той же проектной нагрузке, но практика эксплуатации таких конструкций показывает, что они могут иметь чрезмерный запас прочности.

Известные методы топологической (структурной) оптимизации не могут быть применены для решения задачи оптимального проектирования таких конструкций, так как при этом нарушается регулярность реберной структуры. Применение известных методов параметрической оптимизации затруднено. В системах с графическим способом моделирования затруднено и порой невозможно параметрическое задание топологических параметров, таких как угол наклона и количество ребер.

Известные методы и способы оптимизации силовых конструкций рассчитаны на конкретные классы конструкций и базируются на континуальной модели. Для анизотридных конструкций с вырезами, усилениями и другими нарушениями регулярности континуальный подход показывает достаточно высокое расхождение с данными натурных экспериментов. Также наличие большого числа ограничений и неизвестных, особенности области ограничений затрудняют применение методов нелинейного программирования и других методов оптимизации.

Таким образом, задача оптимального проектирования сетчатых анизотридных конструкций нерегулярной структуры из условия минимума массы с учетом ограничения структурных параметров и параметров состояния является актуальной. Для её решения необходимо разработать метод, алгоритм и инструмент.

**Структура диссертации и общая характеристика работы.** Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, списка используемой литературы из 127 наименований и 3 приложений. Общий объем основной части составляет 151 страница и включает 49 рисунков и 9 таблиц.

Первая глава диссертационной работы содержит описание особенностей оптимизации сетчатых конструкций из композиционных материалов по массе. Приведены типовые характеристики, критерии оптимизации и ограничения при проектировании сетчатых конструкций аэрокосмического назначения. Описаны разработанные методы оптимизации сетчатых конструкций, в том числе реализованных в известных пакетах прикладных программ.

Во второй главе представлена постановка задачи оптимального проектирования сетчатых конструкций и геометрическая структура области факторного пространства. Предложена математическая модель задания границы области допустимых решений задачи оптимизации проектных параметров сетчатых анизотридных конструкций из условия минимума массы на основе задания множества ограничений в виде обобщенной границы.

В третьей главе предложена модификация симплексного метода оптимизации с использованием теории R-функций для приведения задачи на области с кусочно-гладкой границей, имеющей большое число участков, к задаче с меньшим числом ограничений. Показана оценка расстояния от текущего численного решения до границы области допустимых решений с помощью математического аппарата теории R-функций. Представлены основные этапы алгоритма решения задачи оптимизации с большим числом ограничений. Показано применение разработанного алгоритма на контрольных примерах, в том числе на задаче определения оптимальных геометрических параметров консольной балки.

В четвертой главе представлена и описана схема комплекса программ «Композит НК» с учетом разработанного и внедренного модуля оптимизационного расчета. Приведена функциональная схема нового модуля, описаны основные взаимосвязи.

В пятой главе представлены описание, этапы и результаты оптимизационного расчета сетчатых анизотридных конструкций регулярной и нерегулярной структуры, реализованные с помощью модифицированного метода, разработанных алгоритма и программного комплекса.

**Научная новизна** диссертационной работы заключается в следующем:

1. Разработана математическая модель объекта оптимизации посредством представления множества ограничений в виде аппроксимации кусочно-гладкой границы аппаратом  $R$ -функций.

2. Разработан численный метод расчета минимума целевой функции на основе симплексного поиска, в котором множество кусочно-гладких границ области допустимых решений заменяется единым выпуклым  $R$ -предикатом, а симплекс считается связанным с ближайшими границами посредством упругих связей, реакции которых влияют на направление поиска.

3. Разработан новый алгоритм решения задачи оптимизации проектных параметров сетчатых анизотридных конструкций по массе с ограничениями на структурные параметры и переменные состояния.

Положения, выносимые на защиту, дают ясное представление о проведенном исследовании.

**Теоретическая и практическая значимость работы** заключается в следующем:

– разработаны метод и алгоритм минимизации нелинейной целевой функции с учетом большого числа ограничений по модели упругого симплекса;

– разработано программное обеспечение, реализующее алгоритм минимизации нелинейной целевой функции с учетом большого числа ограничений по модели упругого симплекса;

– в возможности применения разработанных метода, алгоритма и программного обеспечения для оптимизации проектных параметров силовых анизотридных композиционных конструкций нерегулярной структуры по массе с учетом множества ограничений.

**Обоснованность и достоверность полученных результатов** обеспечивается корректным применением апробированных теоретических положений, использованием проверенных численных математических методов и алгоритмов, и подтверждается качественным согласием результатов расчета по методу и алгоритму, предложенным в диссертационной работе, с результатами расчетов других исследователей.

**Оценка изложения материалов диссертации и автореферата.** Материал, изложенный в диссертации, понятен, логичен, хорошо структурирован. Проведенные исследования можно считать завершенными. По теме диссертации автором опубликовано 19 работ, в которых основные научные результаты диссертации отражены достаточно полно. Из них 3 статьи – в рецензируемых журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий ВАК. Автореферат достаточно полно отражает содержание диссертации.

По содержанию диссертации имеются следующие **замечания**:

1. Введение, стр. 11. Из 5 статей по теме диссертации, опубликованных в рецензируемых журналах, можно считать входящими в перечень ВАК только 3 публикации, поскольку список групп научных специальностей журнала «Инженерный журнал: наука и инновации» не содержит группу специальностей 05.13.00.

2. Не ясно, что такое нагрузки  $q$  в (2.3), объемные силы?

3. Используются разные единицы измерения: упругие модули и пределы прочности даны в МПа, а результаты расчетов, приведенные в табл. 5.1, в кгс/мм<sup>2</sup>.

4. Не проведено исследование скорости сходимости разработанного алгоритма. Отсутствуют данные о времени работы алгоритма и требуемого объема памяти на тех или иных наборах входных параметров.

5. Не приведено сравнение результатов численного моделирования анизотридной конструкции с результатами натурных экспериментов.

6. На титульной странице автореферата должно стоять Новосибирск – 2018, автореферат рассылает диссовет, а не соискатель.

Отмеченные недостатки не снижают научную и практическую значимость проведенного исследования.

**Оценивая работу в целом**, следует отметить ее высокий научный уровень, строгую обоснованность решений при изложении их в тексте диссертации, актуальность и ценность результатов, как с теоретической, так и с практической точек зрения.

Диссертация охватывает основные вопросы поставленной научной задачи и соответствует критерию внутреннего единства, что подтверждается наличием последовательного плана исследования и взаимосвязью выводов. Предложенные автором решения аргументированы и оценены по сравнению с другими известными решениями.

Диссертация соответствует специальности 05.13.18 – математическое моделирование, численные методы и комплексы программ (по отраслям: технические науки) и является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных лично автором исследований построена математическая модель объекта оптимизации, модифицирован численный метод симплексного поиска, в котором целевая функция включает в себя R-предикат ближайших к симплексу границ, а движение симплекса корректируется за счет реакции упругих связей симплекса с ближайшими границами, разработан программный модуль, реализующий данный алгоритм, в котором для каждого нового набора проектных параметров (узла симплекса) значения ограничений и целевой функции рассчитываются методом конечных элементов.

Диссертация соответствует требованиям пп. 9, 10 «Положения о присуждении ученых степеней» (постановление Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842) в части, касающейся ученой степени кандидата наук, а ее автор, Штейнбрехер Ольга Александровна, достойна присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 – математические модели, численные методы и комплексы программ.

Оппонент согласен на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и дальнейшую их обработку.

Ведущий научный сотрудник лаборатории механики разрушения материалов и конструкций Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН, д.ф.-м.н. по специальности 05.13.18 – математическое моделирование, численные методы и комплексы программ



Кургузов Владимир Дмитриевич

630090 Новосибирск, пр-т Лаврентьева, 15  
ИГиЛ СО РАН  
тел.: +7(383)333-17-46, 333-21-79  
e-mail: kurguzov@hydro.nsc.ru

Подпись Кургузов В.  
Ученый секретарь И  
к.ф.-м.н.



Любашевская И.В.

*Оригинал поступил в  
каблет 14.05.2018*

*с отметкой о выполнении 14.05.18*