

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию

Ермаковой Евгении Владимировны

«Оптимизация формы тонких оболочек по критерию упругой энергии деформирования»,

представленную к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.1.9. Строительная механика

На рассмотрение представлено диссертационное исследование и автореферат. Диссертационное исследование состоит из 186 страниц печатного текста, в которое включено введение с обоснованием актуальности темы исследования, четыре главы с выводами, заключение и 203 источника литературы.

Актуальность работы

Диссертационное исследование Ермаковой Е.В. посвящено актуальной проблеме оптимального проектирования большепролетных структур по определенному критерию. Необходимо отметить, что среди различных типов оптимизации оптимизация формы является наиболее значимой и перспективной, поскольку предполагает создание конструкции с правильно выбранной кривизной и геометрией, что значительно повышает её жесткость и прочность.

В диссертации представлена методика проведения оптимизации формы, основанная на соединении параметрического и градиентного метода по критерию энергии упругой деформации. Полученная методика позволяет определять оптимальные формы оболочек по параметру формы.

Основное содержание исследования охватывает теоретические и практические аспекты применения критерия энергии упругой деформации к оптимизации формы оболочек с помощью параметрического и градиентного метода.

В качестве научной новизны исследования следует выделить следующие положения:

- разработку методики выбора оптимальной формы оболочек параметрическим методом по критерию энергии упругой деформации;

- обоснование применения критерия энергии упругой деформации к задачам уменьшения веса и повышения коэффициента безопасности оболочки;
- исследование градиентных методов IPOPT, SNOPT и MMA по скорости и качеству решения задачи;
- разработку методики проведения оптимизации формы градиентными методами в сочетании с параметрическим подходом по критерию энергии упругой деформации с внедрением дополнительных варьируемых параметров максимального перемещения и радиуса фильтра;
- разработку практических рекомендаций по проведению оптимизации формы по энергетическому критерию с учетом варьируемых параметров.

Обоснованность научных положений, выводов и результатов диссертационной работы подтверждается корректной постановкой целей и задач исследования, а также использованием проверенных подходов и методов.

Достоверность результатов обеспечивается корректным использованием общепринятых положений строительной механики, теории оптимизации и её методов.

Основные научные положения и результаты работы изложены в 9 научных публикациях за последние 5 лет, а также в одном свидетельстве о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Практическая значимость работы заключается в получении новых данных об оптимизации формы оболочек по критерию энергии упругой деформации и разработке методики, основанной на соединении параметрического подхода с градиентным. Результаты работы были использованы ООО «ИнтерСтрой Проект» при проектировании купола.

Структура и содержание работы

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературных источников.

Введение включает в себя цели и задачи исследования, проблематику, актуальность темы диссертационной работы, а также научную новизну и практическую значимость работы.

Первая глава посвящена теоретическим основам развития оптимизации и существующим методам для проведения оптимизации формы. Рассматривается процесс проведения оптимизации формы и существующие критерии для проведения оптимизации. Также показан обзор программных комплексов для проведения оптимизации формы.

Вторая глава включает в себя исследование процесса оптимизации формы арок и поверхностей вращения, а также методику проведения оптимизации формы оболочек по параметру формы. Помимо этого, автором диссертационной работы были рассмотрены важные задачи уменьшения веса и повышения коэффициента безопасности конструкции при оптимизации формы на примере сферической оболочки.

Третья глава посвящена проведению оптимизации формы тонких упругих оболочек – сферы и двух типов геликоидов – прямого и развертывающегося по критерию энергии упругой деформации с использованием трех градиентных методов.

В четвертой главе предлагается методика и рекомендации по расчету оптимизации формы оболочек градиентными методами – IPOPT, SNOPT и MMA в соединении с параметрическим подходом с использованием варьируемых параметров максимального перемещения и радиуса фильтра. Разработанные рекомендации включают в себя уточненные границы выбора значений максимального перемещения и радиуса фильтра с определением процентного соотношения от ограничивающего параллелепипеда модели для сферы, прямого и развертывающегося геликоида. На основе предложенной методики был разработан алгоритм оптимизационного расчета формы сферической геликоидальной оболочек по критерию энергии упругой деформации с варьируемыми параметрами максимального перемещения и радиуса фильтра.

В заключении представлены выводы и рекомендации, обобщающие ключевые результаты проведенного исследования.

По диссертационной работе имеются следующие **вопросы и замечания:**

1. Формулировка объекта исследования содержит стилистическую и методологическую неточность. В классическом понимании объект – это та область реальности, явление или процесс, на который направлено исследование. Обычно объект – это существительное, например, «тонкие упругие оболочки». В текущей формулировке объект начинается с отглагольного существительного «определение». Это больше похоже на цель, а не на сам объект. Правильнее было бы сказать, что объектом являются сами оболочки, а определение оптимальной формы - это задача, которая решается в отношении них.

2. В обзоре литературы (глава 1) не рассмотрены фундаментальные работы профессора Г.В. Василькова (в частности, «Эволюционная теория жизненного цикла механических систем: Теория сооружений», 2008). В своих работах он развивает подходы, в которых устойчивость и рациональность конструкций обосновываются с энергетических позиций, что перекликается с выбором автором диссертации критерия энергии упругой деформации.

3. Градиентные методы (IPOPT, SNOPT, MMA), использованные в диссертации, позволяют найти локальный экстремум в окрестности начальной точки. Вопрос о существовании нескольких локальных минимумов и о том, является ли найденное решение глобальным минимумом, в работе не исследован. Для повышения достоверности рекомендуется в будущих исследованиях провести серию запусков из разных начальных точек (например, варьируя параметр формы η в параметрическом подходе, либо используя разные исходные геометрии), или применить методы глобальной оптимизации (например, эволюционные алгоритмы).

4. Описание используемых в COMSOL Multiphysics конечных элементов весьма поверхностное. Утверждение на стр. 83 и стр. 92 о том, что вычислительная сетка состоит из треугольных элементов первого порядка с линейным полем перемещений и углов поворота с 6 степенями свободы, вызывает вопросы. Для плоских оболочечных конечных элементов, как правило, только перемещения в срединной плоскости (u , v) аппроксимируются

линейными функциями. А для прогибов w используются полиномы, обеспечивающие непрерывность по углам поворота. Также не лишним было бы привести несколько верификационных примеров, подтверждающих адекватность используемых в программном комплексе конечных элементов.

5. В приложении 9 приведён код на Python, но в основном тексте нет описания его верификации (например, сравнения результатов с теми же задачами, решёнными в COMSOL Multiphysics). Не указано, насколько точно реализованные в коде МКЭ-процедуры соответствуют моделям, использованным в коммерческом пакете.

6. Для вычисления потенциальной энергии деформации автор в своем алгоритме (приложение 8) использует интегрирование по объему всех конечных элементов. Для тонкой упругой оболочки это можно было сделать гораздо проще с использованием формулы $W = \frac{1}{2} \{U\}^T [K] \{U\}$, где $\{U\}$ – вектор узловых перемещений, полученный из решения системы уравнений МКЭ, а $[K]$ – глобальная матрица жесткости конструкции.

7. Из IV главы диссертации не совсем очевидно, как варьируемые параметры – максимальное перемещение и радиус фильтра – влияют на конечный результат оптимизации формы.

Несмотря на вышеуказанные замечания, диссертационная работа Ермаковой Е.В. является завершённым исследованием, выполненным на высоком теоретическом и методическом уровне. Результаты исследования обладают научной и практической значимостью и могут быть использованы в деятельности предприятий строительной индустрии.

Автореферат диссертации представляет собой сжатое изложение основных положений и результатов научного исследования, достаточно полно отражая содержание диссертационной работы.

Представленная работа соответствует следующему пункту паспорта специальности 2.1.9. Строительная механика: п.5 «Теория и методы оптимизации конструкций зданий и сооружений».

Работа соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, согласно п. 2.2 раздела II Положения о присуждении ученых степеней в федеральном

государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы», утвержденного ученым советом РУДН протокол № УС-1 от 22.01.2024 г., а её автор, Ермакова Евгения Владимировна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.1.9. Строительная механика.

Официальный оппонент:

профессор кафедры «Строительная механика и теория сооружений», ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», доктор технических наук (специальность 05.23.17 – Строительная механика), профессор



Чепурненко А.С.

05.05.2026

Подпись д.т.н., проф. Чепурненко А.С. удостоверяю

И.о. ученого секретаря Ученого совета ДГТУ



Масевнина Е.Ю.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донской государственный технический университет»

Адрес: 129337, Россия, Ростов-на-Дону, пл.Гагарина, 1

Тел.: +7 (863) 306-20-00

E-mail: acheburnenko@donstu.ru