

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 представлена диссертационная работа и автореферат. Диссертационная работа Ермаковой Евгении Владимировны посвящена актуальной научно-технической задаче оптимизации формы тонких упругих оболочек по критерию энергии упругой деформации. Работа выполнена в рамках специальности 2.1.9 «Строительная механика» и соответствует направлению, связанному с теорией и методами оптимизации конструкций зданий и сооружений.

Актуальность темы диссертации не вызывает сомнений. В современной строительной механике и проектировании оболочечных конструкций сохраняется потребность в методиках, позволяющих получать рациональные формы покрытий и пространственных конструкций при одновременном обеспечении прочности, жесткости, конструктивной безопасности и экономии материала. Автор справедливо рассматривает энергию упругой деформации как один из интегральных критериев, отражающих работу конструкции под нагрузкой и позволяющих связать форму срединной поверхности оболочки с напряженно-деформированным состоянием.

Оптимизация формы является одной из наиболее важных видов структурной оптимизации, поскольку она используется для создания наиболее эффективной конструкции без изменения ее топологии. Следует отметить, что несмотря на большое количество исследований, касающихся вопросов оптимизации формы, в настоящее время недостаточно изучены вопросы оптимизации строительных конструкций с использованием критерия энергии упругой деформации, а также методики выбора параметров границы формы

для проведения оптимизационного расчета. В связи с этим тема диссертационного исследования представляется актуальной как в научном, так и в практическом отношении.

Содержание диссертации. Диссертационное исследование Ермаковой Евгении Владимировны изложена на 186 страницах машинописного текста состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений. В работе заявлены 55 рисунков, 6 таблиц, 203 источника литературы и 11 приложений.

Во введении соискателем описана проблематика и актуальность темы диссертационной работы. Сформулированы цели и задачи исследования, положения научной новизны, выносимые на защиту, определены теоретическая и практическая значимость исследования, приведены сведения об апробации и публикациях.

В первой главе изложены теоретические основы развития оптимизации и существующих методов для проведения оптимизации формы. Рассмотрены необходимые составляющие процесса оптимизации, виды структурной оптимизации, критерии оптимальности конструкции, а также процесс оптимизации формы в программных комплексах. Положительно следует отметить достаточно широкий обзор отечественных и зарубежных исследований, посвященных оптимальному проектированию и расчету оболочечных конструкций.

Во второй главе представлено исследование процесса оптимизации формы арок и поверхностей вращения, а также приведена методика определения оптимальной формы оболочек по критерию энергии упругой деформации. Особое внимание во второй главе заслуживают разделы, в которых рассматриваются задачи уменьшения собственного веса и повышения коэффициента безопасности конструкции на примере сферической оболочки.

Третья глава посвящена проведению расчетов тонких упругих оболочек: сферы и двух типов геликоидов (прямого и развертывающегося) по

критерию энергии упругой деформации с использованием трех градиентных методов: IPOPT, SNOPT и MMA. Представленное сопоставление методов позволяет оценить не только получаемые формы, но и особенности сходимости рассматриваемых алгоритмов.

В четвертой главе диссертации предлагается методика расчета оптимизации формы тонких упругих оболочек по критерию энергии упругой деформации с использованием параметрического подхода и варьируемых параметров – максимального перемещения и радиуса фильтра. Глава включает рекомендации по выбору значений параметров, описание расчетного процесса с блок-схемой, а также алгоритм реализации расчета на ЭВМ.

Научная новизна диссертационного исследования заключается в получении новых данных об оптимизации формы поверхности вращения (сферы) и линейчатых винтовых поверхностей (прямого и развертывающегося геликоидов) по критерию энергии упругой деформации с применением варьируемых параметров максимального перемещения и радиуса фильтра.

К числу наиболее существенных научных результатов диссертации следует отнести:

1. Проведено исследование оптимального угла раствора, полученного при оптимизации формы оболочек по энергетическому критерию.
2. Разработана методика выбора оптимальной формы оболочек параметрическим методом по критерию энергии упругой деформации с учетом меридиональных и круговых усилий в цилиндрических координатах.
3. Обосновано применение критерия энергии упругой деформации к задачам уменьшения веса и повышения коэффициента безопасности оболочки, а также к оптимизации формы оболочек тремя градиентными методами – IPOPT, SNOPT и MMA.
4. Определен наиболее эффективный по сходимости метод при оптимизации формы из числа исследованных градиентных методов.

5. Разработана методика проведения оптимизации формы градиентными методами в сочетании с параметрическим подходом по критерию энергии упругой деформации с дополнительными параметрами максимального перемещения и радиуса фильтра.

6. Определены границы максимального перемещения и радиуса фильтра при проведении оптимизации формы сферических и геликоидальных оболочек, разработаны рекомендации и формулы для подбора оптимальных параметров максимального перемещения и радиуса фильтра.

7. Разработан алгоритм, основанный на соединении параметрической методики с градиентным подходом, предназначенный для реализации оптимизационного расчета на ЭВМ.

Ценность для науки и практики результатов работы. Результаты, полученные в диссертации, вносят вклад в развитие оптимального проектирования тонких упругих оболочек. Теоретическая значимость работы состоит в развитии подхода к оптимизации формы оболочек по критерию энергии упругой деформации, а также в установлении взаимосвязи между параметрами оптимизационного расчета и получаемой формой оболочки.

Практическая значимость работы заключается в разработке методики и рекомендаций, которые могут быть использованы при расчетном проектировании оболочек покрытий и пространственных конструкций.

К достоинствам работы следует отнести тщательно проработанную методику расчета оптимизации формы оболочек по критерию энергии упругой деформации с использованием параметрического подхода и варьируемых параметров, а также рассмотрение важных задач уменьшения веса и повышения коэффициента безопасности конструкции при оптимизации формы.

Отдельно следует отметить доведение результатов исследования до алгоритма реализации на ЭВМ, что повышает прикладную значимость работы и делает предложенный подход более удобным для практического использования.

Исследование обеспечивает теоретическую основу и количественные рекомендации по выбору параметров максимального перемещения и радиуса фильтра при оптимизации формы оболочек, что имеет важное значение для инженерного применения, способствуя повышению стабильности и технологичности результатов расчета.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации. Результаты, полученные автором, являются достаточно обоснованными. Это обеспечивается корректным использованием положений строительной механики, теории оптимизации, методов численного моделирования, а также анализом значительного числа отечественных и зарубежных источников по теме исследования.

Выводы диссертации в целом соответствуют поставленным задачам и отражают результаты, полученные в основных главах работы. Рекомендации по выбору варьируемых параметров представляют интерес для инженерной практики, поскольку позволяют уменьшить неопределенность при задании параметров оптимизационного расчета.

Подтверждение опубликования основных результатов диссертации в научной печати. Материалы диссертации изложены в 11 научных публикациях, из них 9 за последние пять лет: 6 научных работ опубликованы в изданиях, индексируемых в базах данных Scopus и Web of Science; 1 статья в журнале RSCI, 1 статья из перечня ВАК и 1 работа опубликована в материалах конференции, а также в одном свидетельстве о государственной регистрации программы для ЭВМ. Результаты работы неоднократно представлялись на научных семинарах, всероссийских и международных конференциях.

Соответствие работы паспорту специальности. Содержание диссертации соответствует следующему пункту паспорта специальности 2.1.9. Строительная механика: п.5 «Теория и методы оптимизации конструкций зданий и сооружений».

Соответствие содержания автореферата основным положениям диссертации. Автореферат составлен по общепринятой форме и отражает основные положения, представленные в диссертации. Основные результаты, научная новизна, практическая значимость и выводы диссертационной работы в автореферате представлены достаточно полно.

Замечания по работе.

Несмотря на общую положительную оценку диссертационной работы, необходимо отметить ряд замечаний.

1. В диссертации следовало бы более четко разграничить понятия «оптимальная форма» и «форма, оптимальная в рамках принятых ограничений». Для задач градиентной оптимизации это имеет принципиальное значение, поскольку получаемое решение может соответствовать локальному, а не глобальному минимуму.
2. Вывод о наибольшей эффективности метода IPOPT по сравнению с методами SNOPT и MMA представляет интерес, однако в работе желательно было бы привести более подробное количественное сопоставление методов.
3. В диссертации используется термин «коэффициент безопасности», который не является общепринятым в отечественной строительной терминологии применительно к расчету строительных конструкций. Несмотря на наличие в диссертации отдельного раздела, посвященного коэффициенту безопасности, следовало показать его связь с общепринятыми для современной нормативной документации терминами.
4. В диссертационной работе отмечается, что использование критерия энергии упругой деформации может быть связано с расчетом устойчивости оболочки. Вместе с тем вопрос устойчивости тонких оболочек в работе специально не раскрыт. Для оболочечных конструкций, особенно большепролетных покрытий, устойчивость является одним из определяющих факторов. В связи с этим автору следовало бы более подробно показать, каким образом энергия упругой деформации соотносится с устойчивостью оболочки,

и подтвердить это расчетами критических нагрузок, форм потери устойчивости или иными показателями устойчивости.

5. В ряде разделов работы формулировки имеют преимущественно программно-методический характер. Представляется целесообразным усилить акцент на научной интерпретации результатов: влиянии выбранных ограничений, физическом смысле изменения формы и связи между уменьшением энергии упругой деформации и изменением напряженно-деформированного состояния оболочки.

6. Предложенные диапазоны значений d_{max} и R_{min} получены для сферической поверхности и двух типов геликоидов. В работе следовало бы осторожнее формулировать границы применимости этих рекомендаций для оболочек иной геометрии, иных схем опирания, других типов нагрузок и материалов.

Заключение

Диссертационное исследование Ермаковой Евгении Владимировны «Оптимизация формы тонких упругих оболочек по критерию потенциальной энергии деформации» является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится новое решение научной задачи в области оптимизации формы тонких упругих оболочек, имеющей важное значение для проектирования конструкций подобного типа.

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.

Автор диссертационной работы, Ермакова Евгения Владимировна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.1.9 Строительная механика.

Официальный оппонент:

доцент кафедры «Сопротивление материалов»
федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский Московский
государственный строительный университет», кандидат
технических наук (специальность 01.02.04. Механика
деформируемого твердого тела)



02.05.2026г.

Цыбин Н.Ю.

Подпись к.т.н. Цыбина Н.Ю. заверяю



Начальник Управления
по работе с персоналом

Т.И. ЧЕРЕПОВА

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Национальный исследовательский Московский
государственный строительный университет»

Адрес: 129337, Россия, Москва, Ярославское шоссе, 26

Тел.: +7 (495) 287-49-14

E-mail: kanz@mgsu.ru