

Отзыв официального оппонента
Каюмова Рашита Абдулхаковича
на диссертационную работу Семенова Алексея Александровича
**«ПРОЧНОСТЬ И УСТОЙЧИВОСТЬ ПОДКРЕПЛЕННЫХ
ОРТОТРОПНЫХ ОБОЛОЧЕЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ В ЗАДАЧАХ
СТАТИКИ И ДИНАМИКИ»**

на соискание ученой степени доктора технических наук
по специальности 2.1.9. Строительная механика

Актуальность. Работа посвящена актуальной и сложной проблеме, а именно, исследованию проблем прочности, устойчивости и закритического поведения подкрепленных ребрами оболочек из ортотропных материалов на основе уточненных математических моделей их деформирования, эффективных алгоритмов расчета и специально разработанного программного обеспечения.

Диссертационная работа представляет собой ясно написанный и хорошо структурированный текст, состоящий из введения, шести глав с выводами по каждой из них, заключения и списка литературы, включающего в себя 298 наименований, отражающих современное состояние науки в рассматриваемой области исследований.

Диссертация содержит 383 страницы машинописного текста, 61 таблицу, 109 рисунков, 5 приложений и список использованной литературы из 298 наименований работ отечественных и зарубежных авторов. В работе обоснована актуальность работы и следующие из нее четко поставленные цель и задачи, автор формулирует научную новизну и выносимые положения. Во введении приведены необходимые сведения о личном вкладе автора, апробации и публикации результатов.

В первой главе предложена математическая модель, описывающая процесс деформирования тонкостенных оболочечных конструкций при действии статических нагрузок. Модель основывается на гипотезах Тимошенко – Рейсснера, для сравнения приводятся соотношения модели на основе гипотез Кирхгофа – Лява. Автором подробно описаны геометрические соотношения с учетом геометрической нелинейности, физические соотношения с учетом ортотропии материала, выражения для усилий и моментов, краевые условия и функционал полной потенциальной энергии деформации, введены безразмерные параметры.

Материал **второй главы** является детальным анализом математических моделей деформирования оболочек, имеющих усиление ребрами жесткости. Рассмотрены и приведены к единым обозначениям несколько известных подходов к учету ребер жесткости (учет контакта ребра с обшивкой «по линии», «по полосе», метод конструктивной анизотропии), выявлены их недостатки и предложен уточненный дискретный метод, позволяющий этих

недостатков избежать. Также предложен метод конструктивной анизотропии для конструкций из ортотропных материалов. Для использования всех указанных выше методов автором приведены математические модели на основе функционалов полной потенциальной энергии деформации.

Третья глава посвящена разработке расчетных алгоритмов, программного обеспечения и методик исследования прочности, жесткости и устойчивости оболочек, находящихся под действием статических нагрузок. Автором предложено использовать метод Ритца и метод продолжения решения по наилучшему параметру с адаптивным выбором сетки для решения сформулированных задач. Разработано программное обеспечение в среде Maple, на которое получено Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Четвертая глава посвящена исследованию прочности, жесткости и устойчивости оболочечных конструкций при статическом нагружении на основе разработанных в третьей главе методов. В том числе, рассмотрены пологие оболочечные конструкции двоякой кривизны, цилиндрические и конические панели, сферические купола. Выполнено значительное количество вычислительных экспериментов, проанализированы разные варианты расположения ребер жесткости и выбор их количества, разные методы их учета, разные теории прочности и выбор различных ортотропных и изотропных материалов. Найдены значения критических нагрузок. Выполнена верификация предложенных автором математических моделей, алгоритмов и методик путем сравнения тестовых задач с решениями других авторов, результатами натурных экспериментов других авторов, а также сравнением с ПК ANSYS. Сделаны выводы о возможностях предложенных методик, например, о том, что метод конструктивной анизотропии позволяет значительно сократить время расчета и требуемую вычислительную мощность, но только для конструкций, имеющих большое число подкрепляющих элементов.

В пятой главе предложены три математические модели деформирования оболочек при действии нагрузки, которая зависит от времени. В моделях учтены геометрическая нелинейность, инерция вращения, поперечные сдвиги, ортотропия материала. Расчетный алгоритм предложено формировать на основе метода Л. В. Канторовича и метода Розенброка для жестких систем ОДУ. Для решения задач динамики автором разработано программное обеспечение в среде Maple, на которое получено Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ.

В шестой главе исследован процесс деформирования пологих оболочек двоякой кривизны, цилиндрических и конических панелей при действии динамической нагрузки, выявлены ее критические значения. Вычислительные эксперименты выполнены как для гладких, так и для подкрепленных ребрами жесткости конструкций. Выявлены локальные (местные) виды потери устойчивости. Показаны графические зависимости, описывающие процесс деформирования рассматриваемых конструкций.

Научная новизна исследований и полученных результатов. Автором проделан большой объем научных исследований. Ключевым достоинством диссертации является то, что рассмотрен большой спектр моделей деформирования, причем, как в статической, так и динамической постановках, решено много задач о потере прочности и устойчивости оболочек, учитывающих — геометрическую нелинейность, ортотропию материала, поперечные сдвиги, наличие ребер жесткости, когда их контакт с обшивкой происходит по полосе, при этом также учитывается сдвиговая и крутильная жесткости ребер. Кроме того, разработаны методы решения нелинейных задач, программное обеспечение на основе современных технологий программирования. Еще одним достоинством диссертационной работы является разработка методологии получения достоверных результатов.

Диссертация имеет четкую структуру, снабжена качественными иллюстрациями, написана ясным и понятным языком.

Основные положения диссертации, выводы и рекомендации, выносимые на защиту, отличаются существенной научной новизной, значимостью.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации. Достоверность и обоснованность результатов диссертации обеспечивается тем, что предложенные методы и численные алгоритмы базируются на известных в научной литературе подходах и концепциях и не противоречат опубликованным результатам. Полученные в диссертации численные результаты верифицированы на основании сопоставления их с известными в литературе.

Автореферат содержит всю необходимую информацию и адекватно отражает содержание диссертации.

Замечания

1. Автор использует различные критерии предельного состояния изотропных и анизотропных материалов. Однако достижение показателями напряженности своих предельных значений в какой-либо точке (или в малом элементе) не означает потерю несущей способности всей конструкции. Поэтому полученные предельные нагрузки могут быть значительно меньше реальных и приводить к слишком большим коэффициентам запаса прочности.

2. Критерием потери устойчивости оболочки при динамическом нагружении является нагрузка точки перегиба графика «нагрузка – прогиб», как было предложено А. С. Вольмиром. Но не рассмотрен другой критерий, также предложенный А. С. Вольмиром. Кроме того, при использовании динамических методов часто критерием потери устойчивости является уменьшение до нуля частоты колебаний. Этот подход позволяет решать задачи устойчивости и в тех случаях, в которых не удаётся получить критическую нагрузку в статической постановке (например, в задачах со следящей силой). Желательно было рассмотреть и этот подход.

3. При использовании теорий пластин и оболочек (в отличие от теории балок и арок) не применимы варианты нагрузок в виде сосредоточенных сил и моментов, а также сил и моментов, распределенных по линии, поскольку это приводит к неограниченно большим напряжениям в точках приложения этих нагрузок. Это показывают решения простых задач о нагружении сосредоточенной силой круглой пластины, а также шарнирно-опертой пластины, если использовать при решении уравнения Софи Жермен достаточно большое количество членов двойного ряда Фурье. Учет ребер, контактирующих только по одной линии контакта, приводит именно к этому случаю, поскольку в диссертации для этого используется функция Дирака (стр. 64, 83, 84).

4. Можно отметить, что в работе не очень много анализов результатов численных расчетов с точки зрения механических эффектов, выявления механических закономерностей. Например, были бы интересны результаты анализа влияния деформаций поперечного сдвига в задачах устойчивости оболочек с ребрами, т.к. обычно это влияние несущественное. Также интересно было бы рассмотреть задачу о сферической оболочке со сферической ортотропией, поскольку в этом случае в вершине появляется особенность решения. Это замечание скорее можно считать пожеланием в дальнейших исследованиях.

Вместе с тем, указанные замечания носят частный характер и не снижают общего весьма положительного впечатления от диссертационного исследования, которое в целом представляет собой законченную научно-исследовательскую работу в области развития моделирования, численных методов и комплексов программ для анализа прочности, устойчивости пластин и оболочек. При этом учтены геометрическая нелинейность, ортотропия материала, поперечные сдвиги, наличие ребер жесткости.

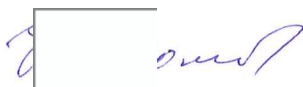
Совокупность полученных в диссертации результатов можно квалифицировать как научное достижение, а их практическая часть может быть рекомендована к использованию в исследованиях прикладного и фундаментального характера. Теоретическая значимость и новизна полученных результатов подтверждается их публикацией в российских журналах, входящих в Перечень ведущих рецензируемых журналов ВАК Минобрнауки России, в ведущих иностранных журналах из перечня Scopus, Web of Science, а также пленарными, секционными и стендовыми докладами на конференциях различного уровня. Из анализа диссертации видно, что автор обладает высокой квалификацией в области расчета тонкостенных конструкций.

Заключение

Таким образом, можно заключить, что диссертационная работа Семенова Алексея Александровича содержит всю необходимую совокупность оригинальных научных результатов, обобщений и выводов и удовлетворяет всем требованиям пп. 9–11, 13, 14 действующего «Положения о присуждении

ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842 (в редакции от 01.10.2018, с изменениями от 26.05.2020), предъявляемым ВАК РФ к докторским диссертациям, а Семенов Алексей Александрович заслуживает присуждения учёной степени доктора технических наук по специальности 2.1.9. Строительная механика.

Официальный оппонент,
доктор физико-математических наук,
специальность 01.02.04 – механика деформируемого твердого тела,
профессор, Федеральное государственное
бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Казанский государственный
архитектурно-строительный университет»,
Институт строительства,
профессор кафедры «Механика»,
Email: kayumov@rambler.ru,
тел. +7 (843)510-47-23



Каюмов Рашит Абдулхакович

15.03.2024

Контактная информация:

- 420043, г. Казань, ул. Зеленая, 1, КГАСУ
- <https://www.kgasu.ru>
- Тел.
- +7 (843) 510-46-01
- +7 (843) 238-79-72
- Email: info@kgasu.ru



Собственноручную подпись <i>Р. А. Каюмова</i>
удостоверяю
Директор Отдела кадров <i>Р. Р. Закиев</i>
«15» 03 2024 г. Р. Р.

Подпись Р.А. Каюмова заверяю

