

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Семенова Алексея Александровича «Геометрически нелинейная математическая модель расчета прочности и устойчивости ортотропных оболочечных конструкций», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.17 – строительная механика.

Актуальность работы. В настоящее время тонкостенные пространственные конструкции широко применяются в самых различных отраслях промышленности. Конструкции, относящиеся к различным типам оболочек, используются в строительстве, авиастроении, кораблестроении, космической отрасли. Широкая сфера применения оболочек обуславливает большое разнообразие перечня нагрузок и воздействий, которым могут быть подвергнуты подобные конструкции. Значительный интерес представляют тонкостенные пространственные системы, выполненные из композиционных ортотропных материалов с низкой сдвиговой жесткостью (углепластики, боропластики, стеклопластики), обладающие высокой прочностью и коррозионной стойкостью. Для данного класса конструкций важнейшими являются задачи деформирования и устойчивости в геометрически нелинейной постановке, решение которых связано с существенными математическими и вычислительными трудностями. В связи с этим представляется актуальной разработка эффективных численных методик и программного обеспечения для расчета гибких ортотропных оболочечных конструкций при статических воздействиях с анализом устойчивости форм равновесия, определением предельных и бифуркационных нагрузок.

Краткое содержание диссертации по главам. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложения. Общий ее объем составляет 183 страницы, в том числе 33 рисунка и 20 таблиц. Список литературы содержит 164 наименования.

Во введении приведено обоснование актуальности темы диссертации, сформулированы цели и задачи работы, описаны основные аспекты практической и теоретической ценности, а также научной новизны проведенной работы, приведена краткая характеристика глав диссертации.

В первой главе диссертации представлена математическая модель, описывающая напряженно-деформированное состояние (НДС) упругих ортотропных оболочек с использованием модели Тимошенко-Рейсснера в геометрически нелинейной постановке с учетом деформаций поперечного сдвига. Подкрепление оболочки ребрами жесткости вводится на основе метода конструктивной

анизотропии, при этом учитываются такие важные факторы, как сдвиговая и крутильная жесткость ребер.

Во второй главе приводится алгоритм расчета на прочность и устойчивость ортотропных оболочек с подкрепляющим набором на основе метода Ритца. В этом случае вариационная задача о нахождении минимума функционала сводится к решению системы нелинейных алгебраических уравнений, представляющих собой уравнения Эйлера относительно искомых функций перемещений. Процедура решения нелинейной задачи основана на методе продолжения решения по наилучшему параметру.

В третьей главе проведен анализ критериев прочности для выбора оптимального критерия предельного сопротивления материала и анализ развития областей остаточных деформаций при закритическом деформировании.

В четвертой главе приводятся результаты исследования НДС линейно деформируемых квадратных в плане пологих ортотропных оболочек и панелей цилиндрических оболочек для последующего сравнения результатов с решениями в геометрически нелинейной постановке.

В пятой главе приводятся результаты анализа НДС и устойчивости ортотропных квадратных в плане пологих оболочек, панелей цилиндрических и конических оболочек в геометрически нелинейной постановке. Отмечено, что учет геометрической нелинейности для пологих оболочек приводит к значительному снижению допустимых нагрузок по условию прочности по сравнению с результатами расчета в линейной постановке. Выполнена оценка несущей способности ряда оболочек по критериям потери прочности и потери устойчивости. Показано существенное увеличение критических нагрузок потери устойчивости исходной формы равновесия при подкреплении оболочечных конструкций ребрами жесткости.

Заключение содержит основные выводы по работе.

В приложении представлен алгоритм формирования системы нелинейных алгебраических уравнений метода Ритца, свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ и акты внедрения результатов диссертационной работы.

Научная новизна и научная значимость результатов диссертации состоят в следующем.

1. С применением метода Ритца и метода продолжения решения по параметру разработана математическая модель и численные алгоритмы исследования устойчивости нелинейно-деформируемых гладких и подкрепленных реб-

рами ортотропных оболочек с учетом деформаций поперечного сдвига, реализованные в виде прикладной программы для ЭВМ.

2. Выполнены расчеты ребристых пологих оболочек с учетом сдвиговой и крутильной жесткости ребер с определением верхних и нижних критических нагрузок, точек бифуркации, исследованием закритического поведения конструкций при местной и общей формах потери устойчивости исходной формы равновесия.

3. Установлено, что для тонкостенных пологих оболочек на прямоугольном плане, выполненных из углепластика, при учете геометрической нелинейности предельные нагрузки потери прочности существенно ниже по сравнению с результатами расчетов, выполненных в линейной постановке, что подтверждает необходимость расчета данного класса оболочек с учетом больших перемещений.

4. Проведен анализ закритического поведения ряда ребристых оболочек, который показал, что до момента общей потери устойчивости оболочек имеет место ряд локальных потерь устойчивости.

5. Показано значительное увеличение критических нагрузок потери устойчивости формы равновесия и потери прочности при подкреплении ортотропных оболочек ребрами жесткости, а также проведен анализ зависимости этих величин от числа подкрепляющих конструкцию ребер.

Достоверность результатов. Можно считать основные выводы и положения, представленные в диссертационной работе, достоверными, поскольку они основаны на классических соотношениях теории оболочек, и все необходимые математические выкладки выполнялись достаточно строго. Разработанные алгоритмы, которые базируются на приведенных математических соотношениях, были проверены на тестовых примерах.

Практическая ценность диссертации заключается в разработанном программном обеспечении, с помощью которого можно проводить численный анализ напряженно-деформированного состояния и устойчивости гладких и подкрепленных ребрами пластин и оболочек из изотропного и ортотропного материала, в том числе с низкой сдвиговой жесткостью, в геометрически нелинейной постановке.

Основное содержание диссертации достаточно полно отражено в семнадцати печатных работах автора, из которых пять – опубликованы в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК России для кандидатских диссертаций.

Автореферат, в основном, соответствует содержанию диссертации.

Диссертация в целом соответствует основным требованиям ГОСТа
на научно - исследовательские работы. Представленные в диссертационной работе иллюстративный материал, текст и формулы характеризуются хорошим качеством исполнения.

По диссертации имеются следующие замечания:

1. При решении нелинейной задачи используется несимметричная расширенная матрица Якоби, что не позволяет уменьшить объем информации, хранимой в памяти ЭВМ (в отличие от системы алгебраических уравнений с симметричной ленточной матрицей).
2. В тексте диссертации не приведен анализ сходимости решений по методу Ритца в зависимости от числа членов ряда в разложениях искомых функций перемещений.
3. В диссертации следовало бы привести более подробное описание результатов расчета оболочки при сравнении с экспериментальными данными, приведенными в работе В. И. Климанова и С. А. Тимашева.
4. В работе желательно было бы указать область применения разработанной математической модели ребристой оболочки в зависимости от величины шага ребер.

В заключение отметим, что высказанные замечания не снижают общей положительной оценки рецензируемой диссертации, которая является **законченной научно-квалификационной работой, содержащей новые научные и важные практические результаты. Она удовлетворяет требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор – Семенов Алексей Александрович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.17 - строительная механика.**

Официальный оппонент,
доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры строительной механики
ФГБОУ ВПО «Московский государственный
строительный университет»

С.И.Трушин

129337 г. Москва. Жирновское шоссе, д.26
тел. +7(495)287-49-14 доб. 3141
e-mail: trushin2006@yandex.ru

21.11.2014 г.

*Решение С.И. Трушина
в Московском университете*