

Отзыв официального оппонента

на диссертационную работу Петровского Константина Александровича
«Математическая модель треугольного оболочечного спектрального
конечного элемента высокого порядка и ее реализация в системе
инженерного прочностного анализа», представленную на соискание ученой
степени кандидата физико-математических наук по специальности
05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы
программ»

Актуальность темы исследования

Диссертационная работа посвящена построению математической модели треугольного оболочечного спектрального элемента высокого порядка и реализации этой модели в системе инженерного прочностного анализа Fydesis. Оболочечные конструкции широко применяются в современной технике: в авиа- и кораблестроении, промышленном и гражданском строительстве и многих других областях. Использование оболочек позволяет минимизировать вес и стоимость конструкции при соблюдении всех необходимых требований по прочности. Метод конечных элементов в последние десятилетия стал наиболее распространенным средством прочностного анализа и расчет оболочек здесь не исключение. Для расчета прочности оболочек часто используется оболочечная теория типа Кирхгофа-Лява или Рейсснера-Миндлина. Первая из теорий является 3-параметрической (два перемещения в плоскости и поперечное отклонение), а вторая – 5-параметрической (два дополнительных независимых вращения). Однако в последнее время все большее распространение получают оболочки, выполненные из композитных и функционально-градиентных материалов. В этом случае вышеуказанные теории механического поведения оболочек оказываются недостаточными, поскольку предположение о том, что направляющий вектор остается прямым, не выполняется. Поэтому разработка и реализация более точных математических моделей оболочечных элементов является актуальной научной проблемой и ее

решение будет востребовано при проведении прочностного анализа оболочек из современных материалов.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, и их достоверность

В диссертационной работе проведен широкий обзор подходов к математическому моделированию напряженно-деформированного состояния оболочечных конструкций, а также обзор использования метода конечных элементов и метода спектральных элементов в вычислительной механике. Для проведения обзоров использовались, как российские, так и зарубежные публикации. Все утверждения подтверждены ссылками на источники. В общей сложности в диссертации использовано более двухсот литературных источников. Достоверность сформулированных в диссертации научных положений, выводов и рекомендаций основана на использовании фундаментальных уравнений и вариационных принципов нелинейной теории упругости и современных методов вычислительной механики. Достоверность полученных в диссертации результатов подтверждается согласованием найденных решений с известными аналитическими решениями и решениями, полученными с помощью альтернативных подходов.

Апробация результатов исследования

Основные результаты диссертации опубликованы в 13 научных работах, из них 4 работы являются статьями в профильных журналах из списка ВАК. Основные положения диссертации обсуждались на десяти научных конференциях и симпозиумах, в т.ч. на всероссийском съезде по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики в 2011 и 2015 годах.

Научная новизна

В диссертации были получены следующие оригинальные результаты:

- 1) Построена математическая модель напряженно-деформированного состояния оболочки в условиях конечных деформаций, учитывающая изменение толщины оболочечного элемента.

2) Разработан спектральный оболочечный элемент высокого порядка, не допускающий заклинивания.

3) Предложена модифицированная модель описания направляющего вектора оболочечного элемента, подходящая для использования со спектральными интерполяционными функциями.

4) Разработан численный алгоритм определения напряженно-деформированного состояния конструкций в рамках нелинейной теории упругости с использованием спектральных треугольных элементов. Алгоритм реализован в виде программного модуля на языке C++.

Соответствие содержания диссертации указанной специальности

В диссертации разработаны новые математические модели оболочечного элемента высокого порядка с геометрически точным описанием направляющего вектора, использующие полностью трехмерные определяющие соотношения, предложены и реализованы на языке программирования C++ новые алгоритмы расчета напряженно-деформированного состояния нелинейно упругих оболочек с учетом конечных деформаций. Также в диссертации с использованием предложенных моделей и алгоритмов решена задача об изгибе свободно опертой круглой оболочки, динамическая задача об определении НДС оболочки и задача о деформировании цилиндра с открытым контуром. Таким образом, исследования, полученные в диссертации, соответствуют паспорту специальности 05.13.18 – «математическое моделирование, численные методы и комплексы программ», в частности следующим пункту 4 (реализация эффективных численных методов и алгоритмов в виде комплексов проблемно-ориентированных программ для проведения вычислительного эксперимента), пункту 5 (комплексное исследование научных и технических, фундаментальных и прикладных проблем с применением современной технологии математического моделирования и вычислительного эксперимента) и пункту 6 (разработка новых математических методов и алгоритмов проверки адекватности

математических моделей объектов на основе данных натурального эксперимента).

Замечания по работе

1) В главе 4 диссертации с помощью разработанного численного алгоритма решен ряд задач, в частности задача об изгибе свободно опертой круглой оболочки с круглым отверстием в центре перерезывающими силами. Полученные результаты сравниваются с известными аналитическими и численными решениями. Задачи решаются в линейной постановке. Но в нелинейной теории упругости также известны точные решения. В известной монографии А.И. Лурье «Нелинейная теория упругости» приведены универсальные решения задачи Ляме для сферы и цилиндра, задачи об изгибании полосы в цилиндрическую панель и ряда других. Сравнение численных и точных решений нелинейных задач также представляет значительный интерес.

2) В таблице 4.2 диссертации приведена разница между численным и аналитическим решением задачи об изгибе круглой оболочки с отверстием. Почему разница определяется в отдельно взятой точке (0.7, 0.0), а не во всей расчетной области в целом с помощью нормы?

3) Одним из основных результатов диссертации является программная реализация разработанных алгоритмов на языке программирования C++. Фрагменты программного кода приведены в приложениях 2 и 3. Однако свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ не получено.

Заключение

Диссертация Петровского К.А. «Математическая модель треугольного оболочечного спектрального конечного элемента высокого порядка и ее реализация в системе инженерного прочностного анализа» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на высоком научном уровне и на актуальную тему. Представленная диссертационная

работа соответствует паспорту специальности и требованиям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 «О порядке присуждения ученых степеней» от 24.09.2013 (ред. от 30.07.2014), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Петровский Константин Александрович, заслуживает присуждения степени кандидата физико-математических наук.

Официальный оппонент:

Зав. лабораторией Механики деформирования

ФГБУН ИМиМ ДВО РАН

кандидат технических наук

Прокудин Александр Николаевич

« 7 » декабря 2017г.



А.Н. Прокудин

Личную подпись официального оппонента

Прокудина А.Н. удостоверяю

Директор ФГБУН ИМиМ ДВО РАН

чл.-корр. РАН

« 4 » декабря 2017г.



А.А. Буренин

