ОТЗЫВ

официального оппонента Хроматова Василия Ефимовича
на диссертационную работу Фам Винь Тхиен
«**Напряженно-деформированное состояние сферических и конических оболочек на основе уточненной теории**»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.02.06 – Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры

Сферические и конические оболочки в качестве элементов конструкций часто применяются в объектах машиностроения, в том числе, авиационной и ракетно-космической техники. Инженерные расчеты их напряженно-деформированного состояния базируются на результатах классической теории типа Кирхгофа-Лява и Тимошенко-Рейсснера, основанной на допущении отсутствия поперечных деформаций и напряжений. На основе гипотез этой теории нормальные сдвиговые деформации обнуляются, а касательными сдвиговыми деформациями пренебрегают из-за их малости. Эти гипотезы приводят к погрешностям при определении напряженно-деформированного состояния пластин, особенно в зонах его искажения (области вблизи крепления элементов конструкций, стыков, скачкообразного изменения жесткостных характеристик, в том числе действия локальных и быстро изменяющихся нагрузок), а также элементов конструкций, выполненных из неоднородных материалов. Как показывает опыт эксплуатации летательных аппаратов, в зонах крепления элементов конструкций наиболее часто происходят разрушения элементов конструкций. В этих зонах возникают дополнительные по отношению к классической теории напряженно-деформированные состояния типа «погранслой» - самоуравновешенные, быстро затухающие от зон искажения напряженного состояния, которые могут вносить значительный вклад в общее НДС оболочек. В связи с этим проблема определения напряженно-деформированного состояния сферических и конических оболочек по уточненной теории остается **актуальной**.

Отдел документационного
обеспечения МАИ
«29» 04 2021 г.

Научная новизна диссертационной работы заключается в том, что перемещения оболочки аппроксимируются полиномами по нормальной к срединной плоскости координате на два порядка выше, чем в классической теории типа Кирхгофа-Лява. На основании трехмерных уравнений теории упругости с применением вариационного принципа Лагранжа, построены двумерные уравнения и граничные условия для определения напряженно-деформированного состояния сферических и конических оболочек. Результаты расчетов показали, что вблизи зон защемленного края и локальной нагрузки оболочки имеет место самоуравновешенное быстро затухающие при удалении от указанных зон напряжения типа «погранслой», которые вносят значительный вклад в общее напряженное состояние.

Достоверность полученных результатов подтверждается использованием проверенных методов механики деформируемого твердого тела, классических положений математического аппарата, проверкой построенных моделей на большом числе примеров, а также сравнениями результатов расчета с данными других вариантов уточненной теории, опубликованными в журналах, цитируемых международными базами Web of Science и Scopus.

Практическая значимость диссертационной работы заключается в следующем: результаты, полученные в работе на основе теоретических и численных исследований, могут быть использованы на этапе проектирования при оценке на прочность и долговечность элементов конструкций в различных отраслях машиностроения, в том числе для объектов авиационной техники на этапах их проектирования.

Содержание работы полно характеризует проведенные исследования, а также полученные при их выполнении научные результаты. Диссертационная работа состоит из введения, 4-х глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы, 2-х приложений. Работа содержит

155 страниц, 37 рисунков, 12 таблиц. Список литературы содержит 132 наименования, в том числе 45 наименований зарубежных изданий.

Во введении обосновывается актуальность темы диссертации, представлены объект и предмет научных исследований, формулируются цели и задачи исследования, изложены методы исследования, обоснованы научная новизна и практическая значимость работы, приведены положения, выносимые на защиту, дано краткое содержание работы по главам.

В первой главе представлен обзор литературы по основным направлениям развития теории пластин и оболочек, в частности, сферических и конических оболочек. Дана постановка задачи исследования. На основе трехмерных уравнений теории упругости и вариационного принципа Лагранжа построена математическая модель для определения уточненного НДС оболочек вращения. Разработан алгоритм определения их напряженно-деформированного состояния.

Во второй и третьей главах построены основные двумерные уравнения и граничные условия для изотропной сферической и конический оболочек. Полученные дифференциальные уравнения в частных производных приведены к обыкновенным дифференциальным уравнениям с использованием тригонометрических рядов. Решение сформулированной краевой задачи осуществляется аналитически с помощью методов конечных разностей и матричной прогонки. Разработан алгоритм определения их напряженно-деформированного состояния при действии механических нагрузок различного характера. Приведены результаты расчетов и параметрического анализа напряженно-деформированного состояния оболочек. Установлено, что вблизи зон искажения НДС (жестко защемленный край, локальное нагружение) компоненты напряженного состояния, полученные по предлагаемой модели, существенно отличаются от аналогов, соответствующих классической теории, не только в в части поперечных нормальных (до 48%) и касательных (до 25%) напряжений, но и в частности нормальных тангенциальных напряжений (до

50%) от наибольшего напряжения, соответствующего классической теории. На удалении от зон «погранслоя» поперечные нормальные напряжения имеют один порядок с максимальными величинами основных изгибных напряжений, определяемых по классической теории.

В четвертой главе разработана уточненная математическая модель НДС многослойных ортотропных композитных оболочек и построена система дифференциальных уравнений с соответствующими граничными условиями. Разработан алгоритм определения НДС оболочки. Проведено сравнение результатов, полученных в данной работе, с точными решениями, основанными на уравнениях трехмерной теории упругости и результатами ряда других известных уточненных теорий, опубликованными в международных журналах Scopus и Web of Science. Даны примеры расчета НДС многослойной композитной оболочки и графики непрерывного распределения напряжений по толщине оболочки.

В заключении перечислены основные результаты диссертационной работы.

Содержание глав диссертации подтверждает научно-обоснованный подход автора к решению поставленных задач. Работа обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения. Содержание данной работы приведено в логически последовательной форме.

Содержание диссертации соответствует специальности 01.02.06 – «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры».

Автореферат диссертации достаточно правильно и полно отражает основное содержание диссертационной работы.

Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 12-ти научных работах, 4 статьи в журналах из Перечня ВАК РФ; 2 статьи в журналах, цитируемых МБД SCOPUS и 6 тезисов докладов в материалах

Международных конференций, в том числе и на Международном симпозиуме «Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред» им. А.Г.Горшкова 2019, 2020 гг.

По диссертационной работе имеются следующие **замечания**:

1. Построенная система дифференциальных уравнений трехмерной теории упругости для сферических и конических оболочек решается методом конечных разностей и матричной прогонки. Громоздкий математический аппарат, математические формулы и соответствующие уравнения равновесия можно было бы решать с использованием современных математических пакетов, существенно упрощающих решение поставленных задач.

2. В работе не рассмотрено сравнение результатов при удержании различного числа членов аппроксимации перемещения по нормальной к срединной поверхности координате.

3. В приведенных примерах расчетов напряжений в основном используется международная система единиц СИ, но во 2-й главе в пункте 2.4.1 модуль упругости, внешняя нагрузка имеют внесистемную размерность, что нежелательно.

4. Полученные в диссертации значения напряжений, уточняющие значения напряжений, полученные по классическим теориям до 50%, позволяют рекомендовать проектным организациям увеличивать нормативные коэффициенты запаса прочности соответствующих изделий, о чем и следовало бы указать в окончательных выводах по работе и в заключении.

Отметим, что сделанные замечания не снижают общей положительной оценки диссертационной работы Фам Винь Тхиен.

В целом, считаю, что диссертация является законченной научно-квалификационной работой, посвященной актуальной проблеме. Работа отвечает требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук, а ее автор Фам Винь Тхиен заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.02.06 – Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры.

профессор ФГБОУ ВО Национальный
исследовательский университет
"Московский Энергетический институт",
профессор кафедры "Робототехника,
мехатроника, динамика и прочность
машин", канд. техн. наук

Хроматов Василий Ефимович

28.04.212.

Подпись
удостоверяю
начальник управления по
работе с персоналом
Н.Г. Савин

Специальность 01.02.06 – Динамика,
прочность машин, приборов и аппаратуры
Адрес места работы: 111250, г. Москва, улица Красноказарменная, д. 14;
тел. 8 (495) 362-77-00;e-mail: KhromatovVY@mpei.ru

Подпись профессора Хроматова Василия Ефимовича заверяю

(должность)	*(подпись)*	*(Фамилия И.О.)*