

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Нгуен Ле Хунг

«Напряженно-деформированное состояние цилиндрических оболочек с учетом пьезоэлектрического эффекта на основе уточненной теории»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 01.02.06 –

Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры

Тонкостенные конструкции типа оболочек из изотропных и композиционных материалов находят широкое применение в объектах машиностроения, в том числе, авиационной и ракетно-космической техники. Инженерные расчеты напряженно-деформированного состояния оболочек, как правило, базируются на результатах классических теорий типа Кирхгофа-Лява и Тимошенко-Рейсснера, использующих допущение об отсутствии поперечных деформаций и напряжений. Такое допущение в некоторых задачах может приводить к погрешностям при определении напряженно-деформированного состояния оболочек, например вблизи соединений, стыков элементов конструкций и локального нагружения, а также в элементах конструкций, выполненных из неоднородных материалов. В настоящее время пьезоэлементы активно используют в различных областях техники для эффективного управления деформациями и преобразования электромеханической энергии. Поэтому проблема определения напряженно-деформированного состояния цилиндрических оболочек с учетом пьезоэффекта по уточненной математической модели является актуальной.

Научная новизна диссертационной работы заключается в том, что в работе применен метод решения трехмерной связанной задачи теории пьезоупругости для тонкостенных оболочек, основанный на разложении перемещений и электрического потенциала в полиномиальные ряды по нормальной к срединной поверхности координате, на два порядка выше, чем в классической теории типа Кирхгофа-Лява. На основании этого построены двумерные уравнения и граничные условия для определения напряженно-

деформированного состояния оболочек с учетом пьезоэффекта. Результаты расчетов на некоторых примерах показали, что вблизи зон защемленного края оболочки имеет место решение типа «погранслои», которое быстро затухает при удалении от указанных зон. Показано, что напряжение решения типа «погранслои» вносят значительный вклад в общее напряженное состояние в окрестности указанных особых зон.

Достоверность полученных результатов подтверждается использованием проверенных методов механики деформируемого твердого тела, классических положений математического аппарата, проверкой построенных моделей на различных примерах, а также сравнением и соответствием полученных результатов с данными классической теории при определении внутреннего напряженно-деформированного состояния оболочки.

Практическая значимость полученных результатов подтверждается тем, что методы расчета напряженно-деформированного состояния пьезоупругих оболочек, в том числе те, которые предложены в настоящей диссертационной работе, играют важную роль при проектировании управляемых элементов конструкций авиационной, ракетно-космической техники и других отраслей промышленности.

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 таблиц, списка рисунков и списка литературы. Работа содержит 148 страниц, 44 рисунков, 12 таблиц. Список литературы содержит 142 наименования.

Во введении обосновывается актуальность темы диссертации, формулируются цели и задачи исследования, изложены методы исследования, обосновывается 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, цилиндрических оболочек с учетом пьезоэффекта. Приведенный обзор

литературы показывает, что, несмотря на известные достижения в теории и методах расчета оболочек, имеется еще ряд нерешенных задач в уточненной теории цилиндрических оболочек с учетом пьезоэффекта. Дана постановка задачи исследования. На основе трехмерных уравнений теории электроупругости и вариационного принципа Лагранжа построена математическая модель по определению уточненного напряженно-деформированного состояния произвольных оболочек. Разработан алгоритм определения их электромеханического состояния.

Во второй главе построены основные двумерные уравнения теории цилиндрических оболочек с учетом пьезоэффекта. Полученные дифференциальные уравнения в частных производных приведены к обыкновенным дифференциальным уравнениям с помощью тригонометрических рядов. Решение сформулированной системы уравнений строится аналитическим методом с помощью преобразования Лапласа. Приведены результаты расчетов и параметрического анализа напряженно-деформированного состояния оболочек, находящихся под действием различных вариантов внешних электромеханических нагрузок. На основании полученных результатов установлено наличие напряжений типа “погранслои” в зонах заземления оболочки, поперечные нормальные напряжения могут иметь один порядок с величинами максимальных основных напряжений, которыми в классической теории пренебрегают.

В третьей главе дана уточненная математическая модель напряженно-деформированного состояния многослойных композиционных цилиндрических оболочек с учетом пьезоэффекта. Сформулированная краевая задача электроупругости, состоящая из системы дифференциальных уравнений в частных производных и соответствующих граничных условий, приводится к обыкновенным дифференциальным уравнениям методом разложения внешних электромеханических нагрузок, искомых перемещений и потенциалов в тригонометрические ряды Фурье по окружной координате и решается с помощью преобразования Лапласа. Проведено сравнения результатов расчетов НДС цилиндрических оболочек без и с учетом пьезоэффекта, с результатами, полученными с помощью других уточненных теорий, опубликованных в

международных журналах Scopus и WoS. Получено хорошее согласование результатов для ряда конкретных задач, показано, что предлагаемая математическая модель уточненной теории электроупругости в ряде случаев оказывается более точной при определении поперечных нормальных и касательных напряжений, которые необходимо учитывать для повышения достоверности расчетов на прочность и долговечность конструкций, содержащих непрерывные соединения.

В четвертой главе проведено исследование НДС композиционных цилиндрических оболочек при действии механических нагрузок, внешнего электрического поля и температурных воздействий. На основании вариационного принципа Лагранжа построена математическая модель и сформулирована уточненная теория композиционных цилиндрических оболочек в условиях совместного термоэлектромеханического нагружения. Проведено сравнение некоторых результатов расчета НДС композиционных цилиндрических оболочек при использовании математической уточненной модели для нескольких вариантов температуры.

Показано, что предложенная уточненная теория оболочек позволяет получить более точные величины напряжений при воздействии температуры и с учетом пьезоэффекта в композиционных цилиндрических оболочках, в том числе дополнительные быстро затухающие краевые напряженные состояния типа «погранслои».

В заключении перечислены основные результаты и сформулированы выводы по диссертационной работе.

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

Автореферат диссертации достаточно полно отражает основное содержание диссертационной работы.

Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 15-ти научных работах, с том числе: 3 статьи - в журналах из Перечня ВАК РФ; 3 статьи - в журналах, цитируемых в МБД SCOPUS и 9 - тезисы докладов в материалах Международных конференций.

По диссертационной работе имеются следующие замечания:

1. В работе имеются не очень удачные, по мнению оппонента, обозначения:

стр. 24 – граничные условия на торцевых поверхностях представлены как 5 компонент тензора напряжений, вместо 3-х, желательно было бы указать, что эти условия заданы отдельно для каждой пары торцевых поверхностей, а пределы изменения индексов i и j – следовало бы поменять;

нестандартные двухбуквенные обозначения ND_{11} , $MD_{11}^{(k)}$ и др. для осредненных электрических потенциалов и их моментов в формулах (1.16).

2. Имеются некоторые неточности в записи формул:

в формулах (1.7), (1.14) у компонент векторов напряженности и индукции электрического поля указано по 2 индекса: E_{11} , E_{22} , и т.п., хотя должен быть один;

выражение для элементарной работы внешних поверхностных сил в (1.13) записано не корректно: надо $q_{1i}\delta u + q_{2i}\delta v + q_{3i}\delta w$ вместо $q_{i3}(\delta u + \delta v + \delta w)$, а также желательно было бы указать, что i - здесь индекс, указывающий на номер пары поверхностей, ограничивающих оболочку, аналогичное замечание относится к формуле (4.11);

3. Имеются некоторые нечеткости в постановках задач:

не оговорен четко тип анизотропии среды, рассматриваемый в работе: в силу этого формула (1.8) содержит несоответствие – матрица пьезоэлектрических коэффициентов записана для ортотропной среды, а матрица модулей упругости записана для более общего случая – для моноклинной среды.

в главе 1 в общей постановке задачи для оболочек не представлены осредненные определяющие соотношения оболочек, связывающие усилия, моменты и перерезывающие силы с деформациями оболочки.

4. Информация о некоторых примененных алгоритмах представлена недостаточно полно:

не представлена информация о конкретном алгоритме перехода от изображений к оригиналам, о чем упоминается на стр.5;

в четвертой главе не полностью описана постановка задачи при действии температуры, а метод ее решения изложен только схематично.

В целом, все сделанные замечания носят редакционный характер и не снижают общей положительной оценки диссертационной работы Нгуен Ле Хунг.

В целом, считаю, что диссертация является законченной научно-квалификационной работой, посвященной решению актуальной задачи. 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 Нгуен Ле Хунг заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.02.06 – динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры.

Официальный оппонент,
д.ф.-м.н., профессор



19.05.2022
Димитриенко Юрий Иванович,
Заведующий кафедрой ФН-11
«Вычислительная математика и
математическая физика»,
МГТУ им. Н.Э. Баумана,
105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1,
тел. +8 (499) 263-64-45,
e-mail: dimit@bmstu.ru

Подпись _____ Димитриенко Юрия Ивановича _____ удостоверяю
(фамилия имя отчество оппонента полностью)

(должность)



С отзывом ознакомлен
23.05.2022 Нгуен Ле Хунг