

О Т З Ы В

официального оппонента на диссертационную работу Нгуен Мань Кыонг «Методика расчета статического и динамического деформирования осесимметричных оболочек вращения», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.14 — «Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов»

Актуальность темы работы

Тонкостенные оболочки находят широкое применение в различных областях техники, в том числе в авиа- и ракетостроении. При моделировании их взаимодействия с жидкостью построение аналитических решений возможно только для некоторых канонических конфигураций. Универсальные численные алгоритмы, основанные на методе конечных элементов (МКЭ) или его комбинации с методом граничных элементов (МГЭ), применимы при произвольном расположении меридиана. Отсутствие полноценных экспериментальных исследований не позволяет в полной мере оценить достоверность получаемых при этом результатов в широком диапазоне волновых чисел при низко- или высокочастотных колебаниях. В связи с этим, актуальной задачей является разработка альтернативных методов решения задач гидроупругости в случае произвольного меридиана. Диссертационная работа Нгуен Мань Кыонг направлена на создание альтернативной методики расчёта осесимметричного статического и динамического деформирования оболочек вращения, в том числе взаимодействующих с идеальной несжимаемой жидкостью. Полученные результаты расширяют многообразие имеющихся решений, что позволяет косвенно оценить достоверность различных подходов.

Анализ содержания диссертации

Диссертация изложена на 142 страницах и состоит из четырёх глав, заключения, списка литературы из 137 источников, трёх приложений, 64 рисунков, 23 таблиц.

Во введении обоснована актуальность исследований, проводимых в рамках диссертационной работы; сформулированы цель и задачи исследований; изложены научная новизна, теоретическая и практическая значимость

полученных автором результатов; приведены положения, выносимые на защиту; обозначен личный вклад соискателя.

Первая глава представляет собой обзор литературных источников, содержащих результаты теоретических и экспериментальных исследований отечественных и зарубежных специалистов по теме диссертационной работы.

Во второй главе приведён вывод дифференциальных уравнений, описывающих статическое геометрически нелинейное осесимметричное деформирование оболочек вращения с учётом поперечного сдвига и эффекта утонения/утолщения при больших продольных деформациях. Разрешающими функциями являются проекции на глобальную неподвижную систему координат векторов перемещений, поворотов, внутренних погонных усилий и моментов. Приведено решение задач в линейной и нелинейной постановках. Продемонстрировано хорошее соответствие полученных результатов с расчётами в коммерческом пакете конечно-элементного моделирования ANSYS.

В третьей главе диссертации на основе уравнений статики получены уравнения динамического деформирования осесимметричных ортотропных оболочек вращения. Сформулирована задача о собственных колебаниях упругой оболочки с идеальной несжимаемой жидкостью, предложена методика решения краевой задачи методом конечных разностей на основе сплайн-интерполяции радиальными базисными функциями. Приведены безразмерные уравнения и методика стыковки между собой нескольких оболочек, содержащих жидкость, с учётом их подкрепления шпангоутами и дополнительными массами.

Четвёртая глава посвящена решению валидационных задач о собственных осесимметричных колебаниях оболочек вращения. Приведены результаты исследования достоверности и сходимости собственных частот в зависимости от числа разбиений меридиана, а также параметров сплайн-интерполяции в методе конечных разностей. Выполнено сравнение с теоретическими и экспериментальными данными, опубликованными другими исследователями, а также с решениями в пакете ANSYS и

специальной программе, реализующей метод конечных и граничных элементов.

В заключении представлены основные результаты и выводы, полученные в ходе выполнения диссертационной работы, приведены рекомендации и перспективы дальнейших исследований.

Научная новизна работы

В своей диссертационной работе Нгуен Мань Кыонг получил новые дифференциальные уравнения деформирования осесимметричных оболочек вращения с произвольной геометрией меридиана и предложил методику расчёта осесимметричных колебаний баков с идеальной несжимаемой жидкостью на основе решения краевой задачи с помощью современной разновидности метода конечных разностей, в которой для генерирования весовых коэффициентов на произвольном шаблоне используется сплайн-интерполяция радиальными базисными функциями. В ходе исследования достоверности и сходимости получаемых собственных частот гидроупругих колебаний баков получены новые расчётные данные, которые могут быть использованы другими учёными для верификации новых подходов, оценки применимости тех или иных постановок задачи о взаимодействии упругой оболочки с жидкостью.

Теоретическая и практическая значимость диссертации

Теоретическая значимость определяется предлагаемым подходом к построению уравнений деформирования оболочек на основе представления разрешающих функций в глобальной системе координат с использованием вектора поворота. Практическая значимость разработанной методики расчёта колебаний осесимметричных колебаний ортотропных оболочек вращения с идеальной несжимаемой жидкостью состоит в возможности моделирования продольных гидроупругих колебаний связки топливных баков ракетно-космической техники с учётом подкреплений шпангоутами и дополнительными массами от агрегатов, что может быть использовано при проектировании ракет-носителей.

Достоверность результатов

Достоверность полученных результатов подтверждается использованием классических теорий механики, численных методов, а также сопоставлением результатов расчёта с сертифицированным пакетом конечно-элементного моделирования, специализированным пакетом, комбинирующим МКЭ и МГЭ, а также с численными и экспериментальными данными из опубликованных работ других исследователей. Основные результаты диссертации были обсуждены на научных семинарах двух институтов РАН, высших учебных заведений, всероссийской и международной конференциях, а также опубликованы в журналах, входящих в перечень изданий, рекомендованных ВАК.

Замечания

1. Обзор публикаций, посвящённых собственным колебаниям баков с жидкостью, не отражает текущее состояние исследований за рубежом. В литературе представлено большое количество работ по данному направлению, выполненных экспериментально и теоретически. В них используются различные численно-аналитические подходы, методы дифференциальных квадратур, конечных и граничных элементов.

2. Основной недостаток предложенной модели заключается в том, что окружное перемещение не является искомой величиной. По этой причине при решении задачи о собственных колебаниях часть спектра низких частот, соответствующая формам деформирования оболочки по окружности, попросту отсутствует. В ряде случаев именно низкочастотная составляющая спектра представляет интерес при анализе динамического поведения реальных конструкций.

3. При сравнении результатов с расчётами в пакете ANSYS приводится только наименование конечных элементов (shell181, shell93, shell41). Необходимо пояснить, какие определяющие соотношения в них используются.

4. Анализ оболочек в пакете ANSYS выполнен в пространственной постановке. В данном программном комплексе имеется возможность проводить расчёты на основе осесимметричных формулировок, существенно

сокращающих время вычислений и облегчающих идентификацию форм колебаний.

5. Логичным завершением тестирования разработанной программы является оценка её быстродействия и сравнение времени расчёта с известными аналогами. К сожалению, данная информация в работе отсутствует.

6. Известны ли автору реальные материалы, которые соответствуют используемым в расчётах физико-механическим константам: модуль упругости $E = 20$ МПа, коэффициент Пуассона $\nu = 0.3$ и $\nu = 0.0$?

7. Определённые сомнения вызывают результаты, приведённые для первого тона колебаний в Таблице 4.6. Необходимо пояснить причину такого значительного различия (32%).

8. Оболочки из композиционного материала часто используются для хранения и транспортировки жидкости. Подбирая схему укладки и армирования на этапе проектирования, можно добиться безопасного функционирования изделия в требуемом диапазоне частот. Представленный в диссертационной работе математический аппарат и численный алгоритм позволяют вычислять собственные частоты колебаний таких конструкций при разном уровне заполнения жидкостью, но соответствующие результаты и их анализ не приводятся.

Сделанные замечания и вопросы имеют уточняющий характер, не снижают ценности полученных результатов и не влияют на общую положительную оценку работы Нгуен Мань Кьонг. Диссертация выполнена на высоком методическом уровне. Основные результаты хорошо представлены в виде графиков и таблиц, качественно и грамотно описаны в тексте.

Заключение

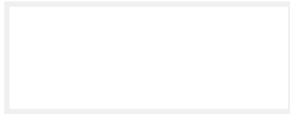
Диссертационная работа «Методика расчета статического и динамического деформирования осесимметричных оболочек вращения» Нгуен Мань Кьонг выполнена на достаточно высоком научном уровне и является завершённой научно-квалификационной работой. Она содержит решение задачи, направленной на обеспечение динамической прочности элементов конструкций ракетно-космической техники. Полученные автором результаты

достоверны, выводы и заключения обоснованы. Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

Диссертационная работа соответствует требованиям пункта 9 «Положения о присуждения ученых степеней» (Постановление Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842), а её содержание отвечает паспорту научной специальности 2.5.14 – «Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов» в части пунктов 1 и 2. Автор диссертации, Нгуен Мань Кьонг, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.14 – «Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов».

Официальный оппонент:

кандидат физико-математических наук,
Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки Пермский федеральный
исследовательский центр Уральского
отделения Российской академии наук,
заведующий Лабораторией механики
функциональных материалов


Сергей Владимирович
Лекомцев

614990, Пермский край, г. Пермь, ул. Ленина, 13а
телефон: +7 (342) 237-83-99,
электронная почта: lekomtsev@icmm.ru.

Подпись Лекомцева С.В. заверяю.
Главный учёный секретарь ПФИЦ УрС

Поступил в совет

20.06.2024

(Подпись) / Тюрина И.И.

С отзывом ознакомлен 20.06.2024

Нгуен Мань Кьонг (Подпись)