

## ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертационную работу **Нгуен Мань Кыонг**

«Методика расчета статического и динамического деформирования осесимметричных оболочек вращения», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.14 – «Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов»

### **Актуальность темы диссертационной работы**

Осесимметричные оболочки вращения, взаимодействующие с жидкостью, используются в различных технических объектах и сооружениях. Математическое моделирование их поведения при действии переменных силовых факторов требует корректной формулировки краевых задач и вариационных принципов при реализации численных методов. Примерами таких конструкций часто могут служить корпуса различных химических и атомных реакторов. Весьма актуальной задачей такого рода является проблема обеспечения продольной устойчивости ракеты-носителя на активном участке полета, когда в колебаниях топливных баков участвуют значительные массы жидких компонентов. В этой области благодаря стремительному развитию вычислительной техники достигнуты значительные результаты. Тем не менее, научный поиск не останавливается, и продолжается разработка новых подходов к расчету на прочность авиационной и ракетно-космической техники. В этом смысле диссертационная работа Нгуен Мань Кыонг, направленная на создание новой методики расчета осесимметричных колебаний тонкостенных конструкций, содержащих жидкость, с использованием современных численных методов, является актуальной научной и практической задачей.

**Научная новизна работы** состоит, во-первых, в том, что выведены новые дифференциальные уравнения осесимметричного статического и динамического деформирования ортотропных оболочек вращения. Уравнения учитывают не только утончение и утолщение оболочки при больших деформациях, но и поперечный сдвиг по типу модели Тимошенко. В динамических уравнениях учитывается не только инерция, но и моменты инерции элементов оболочек. Разработана новая методика расчета осесимметричных колебаний ортотропных оболочек вращения с идеальной несжимаемой жидкостью методом конечных разностей, в котором для генерирования весовых коэффициентов аппроксимации уравнения Лапласа и граничных условий на произвольном шаблоне узловых точек используется сплайн-интерполяция на основе полигармонических радиальных базисных



функций. Эффективность методики продемонстрирована на примерах оболочек вращения с простой и сложной геометрической формой, получены новые расчетные данные.

### **Теоретическая и практическая значимость диссертации**

Теоретический аспект проведенных соискателем исследований выражается в способе построения кинематических соотношений и разрешающих уравнений в целом на основе представления функций в глобальной системе координат с использованием вектора Эйлера, что позволяет рассматривать произвольную начальную геометрию срединной поверхности, а также учитывать поперечный сдвиг в виде дополнительных слагаемых, не содержащих производных.

Практическая значимость разработанной методики состоит в создании инструмента для моделирования осесимметричных гидроупругих колебаний связки топливных баков с произвольной геометрической формой меридиана, подкрепленных шпангоутами с присоединенными массами. Методика внедрена в программу, которая может быть использована для построения механических аналогов жидкостных баков, которые включаются в общую динамическую модель ракеты-носителя для анализа его прочности.

### **Достоверность и обоснованность научных результатов, выводов, положений**

Достоверность результатов, полученных при выполнении диссертационной работы, обеспечивается использованием основных положений механики, классической и неклассической теории оболочек, метода конечных разностей, а также путем сопоставления результатов расчета как с данными, опубликованными другими исследователями, так и с результатами расчетов, полученными автором в конечно-элементных пакетах. Основные результаты работы достаточно полно отражены в 3 изданиях, из них: 2 – изданы в журналах, входящих в перечень ВАК, из которых 1 статья в журналах, входящих в базу цитирования Scopus, а также 1 – в сборнике трудов всероссийской научно-технической конференции.

### **Анализ содержания диссертационной работы**

На отзыв предоставлена диссертация, изложенная на 142 страницах, состоящая из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 137 наименований, а также трех приложений.

**Во введении** к диссертационной работе представлены актуальность темы исследования, ее разработанность, сформулированы цели и задачи,



приведены научная новизна, защищаемые положения, а также теоретическая и практическая значимость.

**В первой главе** приведен обзор литературы и этапов развития механики оболочек. На основе литературных источников дан краткий обзор методов расчета деформирования оболочек, методов расчета колебаний баков с жидкостью, кратко изложены теоретические сведения о радиальных базисных функциях.

**Во второй главе** представлен вывод уравнений статического и динамического осесимметричного деформирования изотропных и ортотропных оболочек вращения. Полученные уравнения описывают геометрически линейное и нелинейное деформирование с учетом утончения/утолщения, поперечного сдвига и больших продольных деформаций. Приведены решения тестовых задач статического деформирования нескольких оболочек канонической формы. Проведен анализ сходимости результатов расчета при различной дискретизации, в качестве эталона для сравнения использовались решения, полученные автором в ANSYS несколькими типами конечных элементов.

**В третьей главе** диссертации, на основе полученной системы уравнений движения сформулирована краевая задача о гидроупругих осесимметричных колебаниях оболочки с идеальной несжимаемой жидкостью, которая описывается потенциалом смещений без учета динамики волн на свободной поверхности. Для решения используется метод конечных разностей. На меридиане оболочки применяется центральная разность. В области, занятой жидкостью, весовые коэффициенты разложения уравнения Лапласа и граничных условий вычисляются с помощью сплайн-интерполяции на основе полигармонических радиальных базисных функций. Тем самым для аппроксимации потенциала смещений в жидкости использован вариант бессеточного метода.

**В четвертой главе** диссертационной работы представлены результаты решения тестовых задач о колебаниях баков простой и сложной формы, в том числе осесимметричных связок двух баков, подкрепленных шпангоутами с присоединенными массами, распределенными по окружности. Полученные частоты сопоставлены с опубликованными данными, а также рассчитанными в специальных пакетах прикладных программ. Получено удовлетворительное соответствие.

**В заключении** суммированы основные результаты и выводы, полученные при выполнении диссертационной работы. В приложениях приведены тексты программ для решения тестовых задач на языке Fortran и APDL, а также акт внедрения разработанной методики.



## **Замечания по диссертационной работе**

1. В последние два десятка лет заметно активизировались попытки решения краевых задач уравнений математической физики с помощью так называемых бессеточных методов, как альтернативы методам конечных разностей и конечных элементов. По-видимому, здесь кроме научного интереса есть и стремление к снятию ограничений и большей свободе в сочетании с возможностью экономии вычислительных ресурсов. Надо отметить, что последний мотив выглядит немного странно ввиду успехов современной микроэлектроники. Снятие ограничений по размещению опорных точек – это скорее из области эмоций, но можно оправдаться научным любопытством. Автору отзыва не известно ни одного примера успешного внедрения бессеточных методов в популярные коммерческие программные пакеты (если это не так, был бы признателен за информацию). Причина, надо думать, в том, что (свобода не обходится дешево) не удастся сформулировать критериев точности получаемых результатов в виде априорных асимптотических оценок (а далее и апостериорных оценок, например, методами Рунге). Поэтому не очень убедительно выглядит количественная близость (и различия) полученных результатов по отношению к результатам предшествующих авторов. Где причина различий - то ли в различающихся гипотезах своеобразной теории оболочек, или же в банальной ошибке программирования (надеюсь, это не так)?

2. Все же, обойтись без сеток уважаемому соискателю не удалось – уравнения, описывающие поведение оболочек, дискретизированы с помощью конечных разностей. И это не есть недостаток (можно было бы и конечные элементы использовать, в том числе и для поля потенциала смещений). Основополагающие гипотезы интересны сами по себе. Поэтому второе замечание – это, скорее, предложение сконцентрироваться, по возможности, на поиске количественных оценок погрешностей, возникающих при использовании бессеточного метода

Указанные замечания не снижают научной и практической ценности и не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы Нгуен Мань Кьонг.

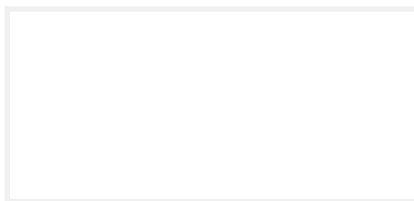
### **Заключение**

Учитывая вышеизложенное, объем выполненного исследования, основные выводы, научно-практическую значимость и новизну результатов, считаю, что диссертация Нгуен Мань Кьонг «Методика расчета статического и динамического деформирования осесимметричных оболочек вращения»

соответствует пунктам 1 и 2 научной специальности 2.5.14 – «Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов» и представляет собой завершённую научно-квалификационную работу. Диссертация содержит новые научно обоснованные результаты, которые направлены на развитие методов расчета ракетно-космической техники с использованием современных численных методов. Полученные автором результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы. Содержание автореферата полностью соответствует содержанию диссертационного исследования.

Представленная работа полностью соответствует всем требованиям к кандидатским диссертациям, предъявляемым п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней» ВАК РФ (Постановление Правительства № 842 от 24 сентября 2013 г.). Автор диссертационной работы Нгуен Мань Кыонг заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.14 – «Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов».

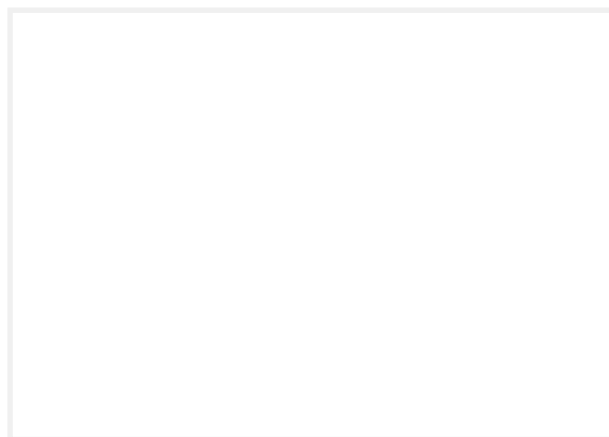
Официальный оппонент: доктор технических наук, профессор кафедры 602 «Проектирование и прочность авиационно-ракетных и космических изделий» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», старший научный сотрудник



Валерий Георгиевич Григорьев

Подпись Григорьева В.Г. заверяю.


Начальник отдела кадрового  
делопроизводства работников МАИ



Почтовый адрес: 125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4, МАИ

Телефон: +7 916 252 0879

e-mail: valgrigg@rambler.ru

*Поступил в совет  
18.06.2024*  / *Тюрин А.П.*

5

*Сотзавтом ознакомлен 19.06.2024*  
*Гриб* Нгуен Мань Кыонг