

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Во Ань Хиеу
**«Напряженно-деформированное состояние подкрепленных
цилиндрических оболочек 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 подкрепленных оболочек находят широкое применение во многих отраслях современной техники: машиностроении, строительстве, ракетостроении, самолетостроении. Расчет их напряженно-деформированного состояния, как правило, базируется на классической теории типа Кирхгофа-Лява и Тимошенко-Рейсснера, основанной на допущении отсутствия поперечных деформаций и напряжений. Такое допущение приводит к погрешностям при определении напряженно-деформированного состояния оболочек, особенно в зонах его искажения (вблизи соединений и стыков элементов конструкций, а также локального нагружения). Поэтому проблема определения напряженно-деформированного состояния подкрепленных оболочек по уточненной теории остается **актуальной**.

Научная новизна диссертационной работы заключается в том, что перемещения оболочки разлагаются в полиномиальные ряды по нормальной к срединной поверхности координате на один порядок выше, чем в классической теории типа Кирхгофа-Лява и сопрягается с решением для ребер оболочки, для которых применяется разложение классического типа для перемещений. На основании этого построены двумерные уравнения и граничные условия для определения напряженно-деформированного состояния подкрепленных цилиндрических оболочек. Результаты расчетов

ОБЩИЙ ОТДЕЛ МАИ
Вх. № 2
"01" 11 2019

показали, что вблизи зон крепления ребер и заземленного края оболочки имеют место самоуравновешенные быстро затухающие при удалении от краевой зоны напряжения типа «погранслоя», которые вносят значительный вклад в общее напряженное состояние оболочек в этой окрестности.

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

Практическая значимость диссертационной работы заключается в следующем: результаты, полученные в работе на основе теоретических и численных исследований, могут быть использованы для решения проблемы расчета на прочность и долговечность силовых корпусов летательных аппаратов, 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. Работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка аббревиатур и условных обозначений, списка литературы, содержащего 138 наименований. Объём диссертации составляет 156 страниц.

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,

подкрепленных. Приведенный обзор литературы показывает, что несмотря на известные достижения в теории и методах расчета оболочек, имеется ряд нерешенных задач в уточненной теории подкрепленных оболочек. Дана постановка задачи исследования. На основе трехмерных уравнений теории упругости и вариационного принципа Лагранжа построена математическая модель по определению уточненного напряженно-деформированного состояния цилиндрических оболочек, подкрепленных продольным и поперечным набором. Разработан алгоритм определения их напряженно-деформированного состояния.

Во второй и третьей главах построены основные двумерные уравнения теории цилиндрических оболочек, соответственно подкрепленных кольцевыми и продольными ребрами. 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. Следует отметить, что в общем решении однородных уравнений характеристическое уравнение имеет 16 корней разной величины: малые корни, соответствующие основному напряженно-деформированному состоянию; большие корни, относящиеся к напряженно-деформированному состоянию простых краевых эффектов; сверхбольшие корни, определяющие дополнительное напряженно-деформированное состояние типа «погранслои». Представлены общее решение однородных и частные решения неоднородных систем дифференциальных уравнений. Приведены результаты расчетов и параметрического анализа напряженно-деформированного состояния оболочки. На основании полученных результатов установлено: в зонах защемления оболочки и подкрепления ребрами поперечные нормальные напряжения имеют один порядок с величинами максимальных окружных и продольных напряжений; наличие ребер в зонах нагружения оболочки, а также их геометрические параметры существенно влияют на напряженно-

деформированного состояния обшивки, особенно в части поперечных нормальных напряжений.

В четвертой главе проведен анализ влияния податливости закрепленного края путем решения контактной задачи об оболочке с упругим изотропным полупространством. Компоненты напряженного состояния «погранслоя» находятся разностью между напряженными состояниями, определяемыми по уточненной и классической теориям. На основании решения Фламана-Буссинеска с помощью функций влияния получены модифицированные граничные условия. Показано, что при увеличении податливости заземленного края величины напряжений «погранслоя» оболочки на этом краю существенно уменьшаются.

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 правильно и полно отражает основное содержание диссертационной работы.

Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 10-ти научных работах, 3 из них – в журналах, рекомендованных ВАК РФ.

По диссертационной работе имеются следующие **замечания**:

1. В литературном обзоре по теориям пластин и оболочек не отмечены теории, основанные на асимптотических разложениях общих трехмерных уравнений по геометрическому параметру.
2. Введение системы координат $(\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3)$ (в параграфе 1.2) не имеет смысла, потому что в работе используется только система координат (ξ, θ, z) . Введение этой системы координат не пояснено полностью: не указано явно соотношения между координатами (ξ, θ, z) и

цилиндрическими координатами, являются ли координаты ξ и z – безразмерными?

3. Фразу, поясняющую допущение (1.11), следует уточнить – для поперечного перемещения w – погрешность получается порядка h^2 , а не h^3 . Кроме того, такое понятие корректно лишь для безразмерных величин. При этом ничего не сказано об основном допущении о тонкостенности оболочки и толщины ребер, т.е. о малости в некотором смысле параметра h .
4. Вариации перемещений и дельта-функции для ребер обозначены одной и той же буквой и встречаются вместе в одних и тех же вариационных уравнениях. Следовало бы изменить обозначения для вариации.
5. Выражения (2.24) и (3.13) для коэффициентов в характеристических уравнениях не удачно записаны, они содержат громоздкие выражения с большими целыми числами, происхождение которых не очевидно. Такие выражения, как правило, могут быть источником ошибок.
6. Коэффициентами изменения метрики оболочки по толщине можно пренебречь, ввиду их малости для тонких оболочек, это упростило бы многие выражения.
7. В работе не рассмотрено сравнение результатов при удержании различного числа членов тригонометрических рядов, аппроксимирующих перемещения и нагрузки.

Сделанные замечания не снижают общей положительной оценки диссертационной работы Во Ань Хиеу.

В целом, считаю, что диссертация является законченной научно-квалификационной работой, посвященной актуальной задаче. 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 Во Ань Хиеу заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.02.06 – динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры.

Официальный оппонент,
заведующий кафедрой ФН-11
«Вычислительная математика и
математическая физика» МГТУ
им. Н.Э. Баумана, д.ф.-м.н.,
профессор



Ю.И. Димитриенко

Подпись Димитриенко Юрия Ивановича удостоверяю



М. НАЧАЛЬНИКА
УПРАВЛЕНИЯ КАДРОВ
ИЗВЕРОВА О.В.
Т. 8-499-263-60-48