

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ МАШИНОВЕДЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
(ИПМаш РАН)**

В.О., Большой проспект, д.61, Санкт-Петербург, 199178
Тел.: (812)-321-4778; факс: (812)-321-4771; <https://ipme.ru> e-mail: ipmash@ipme.ru

ОГРН 1037800003560, ИНН/КПП 7801037069/780101001



УТВЕРЖДАЮ
Директор, д.т.н.

В.А.Полянский

«12» июня 2024 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации о научно-практической ценности диссертации
Нестерчука Григория Анатольевича на тему:
«Колебания и устойчивость тонкостенной упругой цилиндрической
оболочки, сопряженной с пластинами разных форм»,
представленной на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук по специальности:
1.1.8 – механика деформируемого твёрдого тела.

Диссертация Нестерчука Г.А. представляет собой законченную научно-исследовательскую работу, содержащую анализ колебаний и устойчивости тонкостенной упругой цилиндрической оболочки, сопряженной с пластинами разных форм.

Представлен достаточно большой объем полученных аналитических и численных данных, использование которых весьма актуально при численном моделировании, исследовании и конструировании армированных оболочек, являющихся весьма важными элементами современных высоконагруженных

машин, механизмов и конструкций.

Научной новизной представленной работы является:

1) Создание алгоритмов исследования колебаний и потери устойчивости цилиндрической оболочки, подкрепленной шпангоутами разной жесткости, причём функция распределения жесткостей шпангоутов вдоль образующей оболочки может быть произвольной.

2) Разработка и проверка способов оценки фундаментальных частот рассмотренных конструкций через разбиение спектра их свободных колебаний на типы. Исследование изменения собственных форм колебаний при совпадении собственных частот разных типов.

3) Постановки задач об оптимизации конструкций по различным критериям: минимизация массы конструкции при фиксированном критическом давлении, максимизация фундаментальной частоты конструкции при фиксированной массе и их решения.

Практическая и теоретическая значимость работы:

1) Использование полученных приближенных формул для оценки фундаментальной частоты цилиндрической оболочки, подкрепленной кольцевыми пластинами, приводит к значительному ускорению процесса проектирования.

2) Сформулированы рекомендации по проектированию подкрепленных цилиндрических оболочек средней длины, позволяющие уменьшить их массу без потери прочности.

3) Разработан метод вычисления геометрических параметров подкрепленной цилиндрической оболочки с заданным критическим давлением.

Диссертация состоит из введения и 3 глав, заключения, списка используемых источников, изложена на 116 страницах, содержит 25 рисунков и 20 таблиц. Список литературы содержит 93 наименования.

Введение содержит обоснование актуальности работы. Рассмотрены существующие проблемы, цели и практические задачи. Изложена научная новизна и практическая ценность работы, а также основные положения, выносимые на защиту, описана структура диссертации. Тонкостенные оболочки и конструкции, состоящие из них, широко применяются в современной промышленности и технике. Свое применение тонкие оболочки

нашли в нефтяной и газовой отрасли, где конструкции из тонких оболочек используются для хранения и транспортировки жидкостей и газов; в аэрокосмической промышленности – для создания корпусов ракет и космических модулей; в строительстве – для создания водонапорных башен и труб; в автомобилестроении – при проектировании корпусов, топливных баков, газовых цилиндров и других компонентов. Обычно конструкции, состоящие из тонкостенных оболочек, используются в условиях высоких динамических нагрузок, которые вызывают колебания оболочек и приводят к их деформации. Соответственно постоянно ставится ряд прикладных задач по надежности и эффективности их использования.

В первой главе определяются и анализируются низшие собственные частоты и формы колебаний конструкции, состоящей из тонкостенной упругой цилиндрической оболочки, подкрепленной шпангоутами разной жесткости. Выделены два типа колебаний конструкции. Формы собственных колебаний первого типа имеют большое число волн в окружном направлении и сходны с формами собственных колебаний неподкрепленной цилиндрической оболочки. Формы и частоты колебаний второго типа близки к формам и частотам колебаний кольцевой пластины. С помощью численных и асимптотических методов исследуется влияние изменения закона распределения жесткостей шпангоутов вдоль образующей на низшую частоту оболочки. Получены формулы для вычисления приближенных значений фундаментальных частот конструкций для случаев шарнирного опирания и жесткой заделки краев оболочки. Решается оптимизационная задача о нахождении значений коэффициентов функции распределения высот шпангоутов для конструкции фиксированной массы, при котором значение фундаментальной частоты достигает наибольшего значения.

Во второй главе исследуются низшие собственные частоты и формы колебаний конструкции, состоящей из замкнутой круговой цилиндрической оболочки с присоединенной к ней концевой крышкой. С помощью численных и асимптотических методов исследуются крышки, имеющие форму круглой пластины и пологого сферического сегмента. Выделены три типа собственных колебаний конструкции. Собственные частоты и формы колебаний первого типа близки к частотам и формам колебаний пологой сферической оболочки, второго типа – к частотам и формам цилиндрической оболочки, а третьего типа – к частотам и формам колебаний консольной балки с грузом на конце. Асимптотическими методами найдены

приближенные значения для частот всех типов. Решаются две оптимизационные задачи. В первой оценивается оптимальное соотношение толщин пластины и оболочки, обеспечивающее максимальное значение фундаментальной частоты конструкции при заданной массе. Во второй оптимизационной задаче найдены значения относительной толщины элементов конструкции и кривизны концевой крышки, при которых фундаментальная собственная частота колебаний конструкции максимальна.

В третьей главе решается задача о потере устойчивости конструкции, состоящей из тонкостенной упругой цилиндрической оболочки, подкрепленной на параллелях шпангоутами разной жесткости. Методом Рэля–Ритца установлена асимптотическая формула для вычисления значения критической нагрузки конструкции. С помощью численных и асимптотических методов исследуется влияние изменения закона распределения жесткостей шпангоутов вдоль образующей на критическое давление оболочки. Решаются две оптимизационные задачи. В первой выбираются коэффициенты функций распределения, при которых конструкция заданной массы достигает максимального критического давления. Во второй задаче минимизируется масса конструкции при заданном критическом давлении.

В заключении содержатся основные выводы диссертационной работы и сформулированы дальнейшие направления развития ее результатов. Так, представленные в диссертационной работе результаты представляют основу для ряда дальнейших возможных перспективных направлений. Для задач о колебаниях и потере устойчивости оболочки, подкрепленной шпангоутами разной жесткости, следует рассмотреть шпангоуты с ненулевым эксцентриситетом: на практике шпангоут находится либо снаружи, либо внутри оболочки. В задачах о колебаниях цилиндрической оболочки, сопряженной с пологой крышкой, особое внимание должно быть уделено случаям, когда материалы крышки и оболочки различаются, возможно, имеют неоднородную структуру или используются различные методы крепления, а также случаям, когда крышка оболочки имеет форму эллипсоида вращения или какие-либо геометрические особенности. Подробный анализ данных сценариев потребует разработки более сложных математических моделей и, вероятно, новых методов исследования. Эти направления открывают перспективы для глубокого понимания влияния различных параметров на общую прочность и устойчивость конструкции.

Дальнейшие исследования могут сфокусироваться также на анализе эффективности различных методов укрепления соединений крышки и оболочки, что в конечном итоге способствует более широкому практическому применению полученных результатов в прикладных проектах.

Таким образом, результаты диссертационной работы Нестерчука Г.А. могут быть использованы для дальнейшего изучения колебаний и устойчивости тонкостенной упругой цилиндрической оболочки, сопряженной с пластинами разных форм, а также дальнейшего их практического применения в насущных научно-технических проблемах.

По диссертации имеются следующие вопросы и замечания:

1. На с. 21 краевые задачи для оболочки заменены задачами для балки Бернулли-Эйлера, цитата: «Краевые задачи (1.3, 1.5, 1.6) и (1.4, 1.5, 1.6) эквивалентны задачам об определении низших частот поперечных колебаний соответственно шарнирно опертой и жестко закрепленной балок (рисунок 1.4), подкрепленных пружинами жесткости c_i в точках $s = s_i$.»

Конец цитаты. На том основании, что дифференциальное уравнение (1.5) формально совпадает с уравнением одномерной балки Бернулли-Эйлера. Но зависимая переменная $w(s)$ в случае оболочки обладает несравненно большим спектром собственных функций, чем для простейшей одномерной балки. Не означает ли это, что теряется часть спектра собственных форм колебаний оболочки?

2. Процедура перехода от общей теории тонких оболочек восьмого порядка к полубезмоментной – четвертого, – проведена недостаточно подробно: «Ограничимся определением низших частот колебаний. Предположим, что граничные условия не допускают изгибания срединной поверхности оболочки.» - с.17. Но для этого закрепление краев оболочки должно быть таким, чтобы ее край мог свободно перемещаться по нормали. Углы поворота и нормальные перемещения на краях оболочки не должны быть стеснены. А это противоречит рассматриваемым в работе заделанным краям оболочки. И определением скольких низших частот колебаний ограничимся?

3. На с. 17: «Представим решение системы уравнений (1.1) в виде суммы основного полубезмоментного состояния и простого краевого

эффекта вблизи краев оболочки..., где w_0 – описывает полубезмоментное состояние». Вопрос: а какая же функция описывает краевой эффект? Она полностью отсутствует в тексте.

4. В разделе «1.1.3 Оптимальное расположение шпангоутов» оговорено, что задачи оптимизации подкрепления оболочек шпангоутами решены лишь для двух частных случаев граничных условий: шарнирно опертой и жестко закрепленной на обоих концах оболочки, что, к сожалению, несколько снижает общность полученных результатов.

5. В диссертации приведены многочисленные сравнения аналитических результатов с численными результатами конечноэлементного моделирования. Разумеется, между этими двумя видами результатов имеются небольшие расхождения. Возникает вопрос: а какие же результаты ближе к истине? Ведь и предложенный аналитический подход использует приближенную полубезмоментную теорию оболочек, традиционно применяемую в оболочках со шпангоутами.

6. COMSOL и ANSYS, использованные для сравнения, также демонстрируют прекрасные результаты. Весьма «дружественный» COMSOL не ограничен в выборе граничных условий, не требует громоздких математических выкладок и обладает непревзойденной встроенной графикой. Следовало бы указать, в чем преимущества предложенного аналитического подхода по сравнению с конечноэлементным, дабы не возникло соблазна у читателей выбрать именно конечноэлементный универсальный подход вместо предложенного.

7. К сожалению, большинство численных результатов представлено в громоздких числовых таблицах, недостаточно наглядных и затрудняющих восприятие. Табличные представления функций следовало бы перевести в графические. Иллюстрация графиками значительно усилила бы работу.

Тем не менее, отмеченные недостатки не снижают значимости диссертационной работы Нестерчука Г.А.

Заключение

Диссертационная работа Нестерчука Григория Анатольевича «Колебания и устойчивость тонкостенной упругой цилиндрической оболочки, сопряженной с пластинами разных форм» является законченным научным исследованием и выполнена на высоком научном уровне. Автор получил новые результаты, имеющие теоретическую и практическую

ценность. Полученные автором результаты достоверны. Работа имеет аккуратное выполнение, написана с грамотным использованием общепринятых научных терминов.

По теме диссертационной работы опубликованы 11 научных статей, из них 3 – в рецензируемых изданиях из перечня ВАК РФ, 2 — в сборниках, индексируемых в РИНЦ, 6 - в сборниках Scopus/WoS. Работа апробирована на 6 конференциях, включая международные.

Диссертационная работа Нестерчука Григория Анатольевича является завершенной научно-исследовательской работой на актуальную тему. Выводы и заключения обоснованы. Диссертационная работа соответствует всем критериям Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор заслуживает присуждения искомой ученой степени.

Диссертационная работа «Колебания и устойчивость тонкостенной упругой цилиндрической оболочки, сопряженной с пластинами разных форм» рассмотрена, а отзыв утверждён на заседании лаборатории мехатроники (протокол № 7 от 04.06.2024).

Отзыв подготовил ведущий научный сотрудник лаборатории мехатроники д.т.н. Свяженинов Е.Д.

/Свяженинов Е.Д./

Свяженинов Евгений Дмитриевич
ведущий научный сотрудник лаборатории мехатроники, д.т.н.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт проблем машиноведения Российской академии наук
(ИПМаш РАН)

Почтовый адрес: 199178, Россия, Санкт-Петербург

Васильевский остров, Большой проспект, 61

Телефон: (812) 321 47 78

Адрес электронной почты: sviage@gmail.com

«12» июня 2024 г.



Свяженинов Е.Д.
Помощник директора
Иванова С.И.
12 июня 2024 г.