

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

Лекомцева Сергея Владимировича

на диссертацию Скопинцева Павла Дмитриевича

«Нестационарная динамика анизотропных упругих цилиндрических оболочек»,
представленную к защите на соискание учёной степени кандидата физико-
математических наук по специальности 1.1.8 – «Механика деформируемого
твёрдого тела»

Диссертационная работа Скопинцева П.Д. посвящена исследованию динамического поведения анизотропных цилиндрических оболочек и панелей, находящихся под действием нестационарной нагрузки различного рода. Оболочки и изделия на их основе широко используются в авиационной, аэрокосмической, автомобильной и других отраслях промышленности. При эксплуатации данные конструкции испытывают воздействия нестационарного характера, которые обладают неоднородностью по времени и пространственным координатам. **Актуальной** научной задачей является исследование влияния такого рода нагрузок на оболочки, изготовленные из анизотропного материала. Полученные решения имеют большое **практическое значение** в вопросах, связанных с обеспечением надёжности тонкостенных конструкций при динамическом нагружении.

Диссертационная работа состоит из Введения, трёх глав, Заключения и библиографического списка. **Во введении** обосновывается актуальность темы исследования; приводятся научная новизна, практическая значимость и методы исследования; формулируются цель и основные положения, выносимые на защиту; обосновывается достоверность полученных результатов.

В первой главе приведён подробный анализ литературы по теме диссертации, изложены постановка задачи, объекты исследования, перечислены рассматриваемые в работе виды нагружения оболочек. Здесь же описан используемый тип анизотропии материала, записаны уравнения движения для анизотропной цилиндрической оболочки Кирхгофа – Лява в перемещениях.

Во второй главе представлена постановка задачи о фундаментальных решениях для нормального и тангенциальных перемещений неограниченной

анизотропной цилиндрической оболочки. Искомые функции фундаментальных решений получены, используя разложения в экспоненциальные ряды Фурье по угловой координате, интегральные преобразования Лапласа по времени и Фурье по продольной координате. Параметры численного интегрирования, обеспечивающие сходимость решения при выполнении обратного интегрального преобразования Фурье, определены с использованием итерационного алгоритма. Для верификации построенных решений выполнена постановка вспомогательной задачи о нестационарной динамике ортотропной свободно опертой цилиндрической оболочки. Её решение построено при помощи разложений функций в двойные тригонометрические ряды Фурье и интегральных преобразований Лапласа. Оригиналы фундаментальных решений найдены аналитически.

В конце главы приведены результаты проверки достоверности построенных фундаментальных решений для тонкой упругой анизотропной цилиндрической оболочки, осуществлено численное исследование поведения фундаментальных решений для нормального перемещения, выполнен анализ характеров возмущений при различных вариантах материала оболочки.

В третьей главе изложена постановка задачи нестационарной динамики анизотропной неограниченной цилиндрической оболочки, определены функции нормальных и тангенциальных перемещений, которые представляются в виде тройных свёрток функций фундаментальных решений для неограниченной анизотропной оболочки с действующей нестационарной нормальной нагрузкой. Описаны различные варианты нестационарного воздействия и соответствующие им функции нестационарных перемещений. Рассмотрены разные виды нагрузок: неподвижная, движущаяся сосредоточенная, распределённая по прямоугольной области, совокупность неподвижных и движущихся сосредоточенных нагрузок. Определены нестационарные напряжения и деформации в анизотропной упругой неограниченной цилиндрической оболочке. Приведён пример расчёта такой конструкции, находящейся под воздействием движущейся и распределённой по прямоугольной области нагрузки. Показаны распределения нормального перемещения во времени, приведены графики распределения напряжений и

деформаций. На примерах проанализировано влияние геометрических параметров оболочки на характер распространения возмущений.

Во второй части главы рассмотрено нестационарное деформирование анизотропной цилиндрической оболочки с произвольно расположенными локальными опорами. Приведена соответствующая постановка задачи. Функция нормальных перемещений определена как сумма интегральных операторов типа свёртки фундаментального решения для неограниченной анизотропной оболочки с действующей нестационарной нагрузкой и компенсирующими нагрузками, которые обеспечивают удовлетворение локальным граничным условиям. Компенсирующие нагрузки определены с помощью решения системы интегральных уравнений Вольтерра первого рода с разностным ядром. Приведены несколько примеров расчёта для цилиндрической оболочки и панели с локальными опорами, показано распределение нормальных перемещений и проанализировано выполнение граничных условий. Достоверность построенных функций проверена путём сравнения численных результатов нормальных перемещений в оболочке с локальными опорами в виде подвижных шарниров и свободно опертой оболочки, приведены соответствующие графики.

В заключении сформулированы выводы по диссертационной работе.

Научная новизна диссертационной работы определяется:

- результатами решения задач о динамическом деформировании тонких упругих цилиндрических оболочек и панелей, в том числе с локальными опорами, с помощью сформулированных математических моделей и разработанных программ для ЭВМ на языке программирования «Python»;
- разработанным эффективным алгоритмом, предназначенным для анализа сходимости результатов при численном построении обратного интегрального преобразования Фурье;
- новыми результатами о влиянии геометрических параметров оболочек и механических характеристик материала на нестационарные перемещения.

Достоверность полученных результатов обоснована строгостью и корректностью принимаемых постановок рассматриваемых задач, применения к решению апробированных методов математики. В работе проверена достоверность

построенных фундаментальных решений и функций нестационарных нормальных перемещений путём сравнения различных решений, сопоставления результатов и анализа граничных условий. Тем не менее, данное сравнение нельзя назвать полностью объективным. В качестве замечания можно отметить, что диссертант не приводит какого-либо сопоставления с работами других авторов или с результатами расчёта в программных комплексах на основе метода конечных элементов, в которых можно решать задачи данного класса.

Кроме вышеупомянутого, по диссертации имеются следующие замечания:

1. Первая глава содержит обзор литературы, посвящённый статическому и динамическому деформированию изотропных, трансверсально-изотропных и ортотропных цилиндрических оболочек. В нём перечислены основные советские и Российские учёные, чей вклад в развитие теории оболочек является неоспоримым. Работы по данному направлению велись также и за рубежом, но в диссертации об этом не упоминается. Следовало хотя бы перечислить некоторых известных учёных: R. Byrne, G.W. Flügge, P.M. Naghdi, J.L. Sanders, L.H. Donnel, J.N. Reddy.

2. В разделе 2.1 рассматриваются разные варианты корней многочлена (2.2.21). Далее в работе не поясняется, какие из них позволяют получить корректное с физической точки зрения решение задачи. Накладываются ли на дискриминант многочлена какие-либо ограничения? Должен ли он быть строго положителен или этого не требуется?

3. На рисунках 7–11 и в выражениях (2.4.1) представлено сравнение фундаментальных решений для бесконечно длинной и шарнирно опёртой цилиндрических оболочек. В примере рассмотрен только вариант конструкции с отношением $R/h = 80$ и $l = 4$. Данные параметры не позволяют классифицировать оболочку по её длине (отношение R/l), что затрудняет выявление причины различия между полученными результатами. В работе следовало рассмотреть три типовых случая: короткая оболочка ($R/l < 2$), оболочка средней длины и длинная оболочка ($R/l > 10$). Анализ изменения разницы между решениями с увеличением длины конструкции позволил бы сформировать конкретные границы применения того или иного варианта построения фундаментальных решений.

4. В разделе 3.1 для получения нестационарной функции нормального прогиба используется метод правых прямоугольников, который является далеко не самым эффективным в вычислительном плане по сравнению с другими схемами численного интегрирования.

5. В диссертационной работе рассмотрены цилиндрические оболочки с отношением $R/h < 50$, выполненные из композиционных материалов. Использование для описания их динамического поведения теории тонких оболочек, не учитывающей поперечные деформации сдвига, является допущением, которое необходимо обосновать.

6. Замечания общего характера:

6.1. Диссертация и автореферат не содержат информации о личном вкладе автора. Наличие соавторов в публикациях говорит о том, что не все результаты могли быть получены им единолично.

6.2. Представленные на рисунках 5–6 зависимости позволяют получить представление о виде фундаментальных решений, но количественное сравнение и оценку сходимости следовало представить графически в терминах непрерывных норм.

6.3. Третий вывод, сформулированный в Заключение диссертации и автореферате, является слишком общим. «Методики для анализа и оценки сходимости решений при проведении численных расчётов» известны достаточно давно и хорошо разработаны.

Перечисленные замечания не снижают научной ценности представленной диссертационной работы.

Основные результаты диссертации опубликованы в двадцати работах, **четыре** из которых — в рецензируемых журналах, рекомендуемых ВАК, и **две** — в журналах из перечня Scopus.

Автореферат достаточно полно и правильно отражает содержание диссертации.

Заключение

Диссертационная работа Скопинцева Павла Дмитриевича «Нестационарная динамика анизотропных упругих цилиндрических оболочек» является завершённой научно-квалификационной работой, в которой представлены новые результаты, имеющие потенциальную возможность практического применения.

Представленная диссертация удовлетворяет требованиям положения о присуждении учёных степеней (утверждено постановлением правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г.), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Скопинцев П.Д., заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.8. — «Механика деформируемого твёрдого тела».

Официальный оппонент

кандидат физико-математических наук,
заведующий лабораторией механики функциональных материалов «Институт механики сплошных сред Уральского отделения Российской академии наук» — филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки Пермского Федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук («ИМСС УрО РАН»),
614068, Пермский край, г. Пермь, ул. Академика Королёва, д.1,
телефон: +7 (342) 237-83-99, email: lekomtsev@icmm.ru

12.09.2024 г.


(подпись)

/ С.В. Лекомцев /
(расшифровка подписи)

Подпись Лекомцева Сергея Владимировича удостоверяю.

Учёный секретарь «ИМСС УрО РАН»
к.ф.-м.н. доцент



/ Н.А. Юрлова /
(расшифровка подписи)

С отзывом ознакомлен

17.09.2024 г.

