

(ОЗНАКОМИТЕЛЬНЫЙ ФРАГМЕНТ)

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

УДК 539.3

АВДОШКА Ирина Владимировна

**ВОЛНОВЫЕ ПАКЕТЫ
В ТОНКИХ ОБОЛОЧКАХ С УЧЕТОМ
ВОЗДЕЙСТВИЯ ВНЕШНИХ СИЛ**

01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Минск 2005

Работа выполнена на кафедре «Теоретическая механика» Белорусского национального технического университета.

Научный руководитель —

доктор физико-математических наук,
доцент Г.И. МИХАСЕВ
(проректор по научной работе Витебского государственного университета имени П.М. Машерова).

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук,
профессор В.Б. НЕМЦОВ
(профессор кафедры теоретической механики Белорусского государственного технологического университета);

доктор физико-математических наук,
профессор Э.И. СТАРОВОЙТОВ
(заведующий кафедрой строительной механики Белорусского государственного университета транспорта).

Оппонирующая организация —

Санкт-Петербургский
государственный университет.

Защита состоится 11 марта 2005 г. в 14.00 на заседании совета по защите диссертаций Д 02.05.07 при Белорусском национальном техническом университете по адресу: 220013, г. Минск, пр. Ф. Скорины, д. 65, корп. 1, ауд. 202, тел. 232 02 04.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского национального технического университета.

Автореферат разослан 8 февраля 2005 г.



* 20502792 *

Ученый секретарь совета
по защите диссертаций,
канд. техн. наук

Кравчук А.С.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации. Конструкции, образованные из тонких оболочек, сочетают в себе легкость с высокой прочностью, что обеспечивает им широкое применение в различных областях техники и промышленности. Возможности, заключающиеся в практическом использовании оболочек, далеко не исчерпаны. Реализация этих возможностей осуществляется как путем расширения области применения оболочек, так и путем более глубокого анализа их свойств (т.е. совершенствования методов их расчетов).

Одной из важнейших задач на стадии проектирования оболочечных конструкций является их динамический расчет. В результате кратковременных сосредоточенных механических воздействий (удар, взрыв, некоторые технологические операции и т.д.), а также возбуждения параметрических колебаний, в оболочке могут возникнуть нестационарные волновые процессы. Для разработки эффективных методов гашения колебаний, обусловленных такого рода процессами, необходимо исследование нестационарных волновых форм движения.

Вместе с тем неустановившиеся, переходные процессы относятся к наименее изученным в теории динамики тонких оболочек. Это обусловлено, во-первых, тем, что такого рода задачи стали актуальными относительно недавно, и, во-вторых, их математической сложностью. Как правило, рассматриваются задачи с однородными геометрическими и физическими параметрами. Поэтому исследование, призванные углубить и расширить знания в далеко не разработанной области неустановившихся колебаний тонких неоднородных оболочек при динамическом нагружении, являются актуальными.

Связь работы с крупными научными программами, темами. Диссертация выполнена в рамках бюджетных тем Т97-142 ФФИ РБ (№ ГР 2000387) (1998-2000) и Т00М-096 БРФФИ (№ ГР 20013446) (2001-2003), а также гранта министерства образования ГБ 00-95 (№ ГР 20001475) (2000).

Цели и задачи исследования. Целью работы является математическое моделирование процессов распространения локализованных бегущих волн в тонких оболочках, вызванных сообщением срединной поверхности оболочки локализованных начальных перемещений и скоростей. Для достижения указанной цели решаются следующие задачи:

- о распространении локализованных семейств изгибных волн в тонкой конической (цилиндрической) оболочке с учетом безмоментного напряженного состояния в предположении малой изменчивости решения в направлении образующей;
- о движении волновых пакетов (ВП) в тонкой вязкоупругой цилиндрической оболочке, подверженной действию неоднородной осевой нагрузки в предположении высокой изменчивости решения в направлении образующей;
- о нестационарных волновых процессах в тонкой оболочке, близкой к цилиндрической, с учетом воздействия внешних сил;
- о движении тонкой упругой оболочки произвольной формы после сообщения ей начальных перемещений и скоростей, локализованных в окрестности некоторой точки на поверхности оболочки, с учетом ее безмоментного напряженного состояния.

Объект и предмет исследования. Объектом исследования в диссертации являются тонкие оболочки с неоднородными геометрическими и физическими параметрами, подверженные действию внешних сил.

Предметом исследования является реакция указанных оболочек на сообщение им начальных перемещений и скоростей, локализованных в окрестности некоторой линии или точки.

Методология и методы проведенного исследования. Используются классические линейные двумерные уравнения теории пологих оболочек. Задаются начальные перемещения и скорости, в качестве которых рассматриваются быстро осциллирующие функции, экспоненциально убывающие вдали от некоторых фиксированных линий или точек на поверхности оболочки. Решение строится в виде наложения локализованных семейств изгибных волн (волновых пакетов), используя динамический аналог комплексного ВКБ-метода.

Достоверность полученных результатов подтверждается использованием классических уравнений и обоснованных методов их решения; строгостью математических преобразований и доказательств утверждений; асимптотическим характером построенных решений; их совпадением в вырожденном (стационарном) случае с известными решениями задач о собственных колебаниях оболочек, полученных Товстиком П.Е., Кукуджановым С.Н. и другими авторами.

Научная новизна и значимость полученных результатов. В работе впервые:

построено асимптотическое решение уравнений движения тонкой конической оболочки, подверженной воздействию динамических внешних сил, в виде бегущих в окружном направлении пакетов изгибно-плоскостных волн;

построено асимптотическое решение, имеющее высокую изменяемость вдоль образующей, уравнений движения тонкой вязкоупругой цилиндрической оболочки под действием неоднородного осевого усилия в виде волновых пакетов, бегущих в окружном направлении оболочки;

изучено влияние начальной погиби на движение ВП по поверхности цилиндрической оболочки с учетом ее неоднородного нагружения;

изучено влияние нестационарного безмоментного напряженного состояния на движение ВП по поверхности некруговой цилиндрической оболочки с косо срезанным краем, а также на движение двумерных ВП, сосредоточенных в окрестности некоторой подвижной точки, по поверхности оболочки произвольного очертания.

Применяемый модифицированный метод ВКБ позволил свести исходные начально-краевые задачи для уравнений в частных производных к обыкновенным дифференциальным уравнениям в форме Гамильтона, уравнению Риккати и уравнению для амплитуд.

Доказано существование и единственность решения итоговых матричных системы Гамильтона, уравнения Риккати; также доказано, что построенное решение локализовано в окрестности подвижной точки – центра ВП.

Полученные асимптотические решения можно использовать для решения обратной задачи динамики оболочек – определения физических и геометрических характеристик оболочечной конструкции. Также они могут быть использованы как исходные приближения для асимптотического и численного решений нелинейных задач динамики тонких оболочек.

Практическая значимость полученных результатов. Полученные результаты могут быть использованы при динамическом расчете тонкостенных элементов конструкций, подверженных действию внешних сил. В некоторых частных случаях найдены явные приближенные формулы для частот, групповых скоростей, амплитуд, получены условия отражения бегущих ВП, которые могут быть использованы на стадии проектирования оболочки при решении задачи виброзащиты конструкции, а также при решении задач неразрушающего анализа (диагностирования) состояния тонкостенной конструкции.

Найденные условия отражения ВП от некоторых линий и, как следствие, локализации колебаний в некоторых областях поверхности оболочек позволяют определить наиболее слабые области – области концентрации деструктивных напряжений, вызванных изгибными деформациями.

Экономическая значимость полученных результатов состоит в том, что они позволяют без проведения серий дорогостоящих экспериментов в лабораторных условиях проводить исследования сложных динамических процессов, что приводит к существенному снижению энергетических и материальных затрат.

Социальная значимость полученных результатов состоит в том, что они могут быть использованы в образовательном процессе – при чтении спецкурсов по теории оболочек, подготовке курсовых и дипломных работ в университетах.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

асимптотические решения полубезмоментных уравнений движения тонких конической, цилиндрической и близкой к цилиндрической оболочек с переменными геометрическими и физическими параметрами с учетом нестационарного неоднородного нагружения в виде бегущих в окружном направлении волновых пакетов;

формальное асимптотическое решение в виде двумерных ВП задачи движения оболочки произвольной формы с учетом неоднородного динамического нагружения;

формулы для мгновенной частоты, системы Гамильтона, уравнения Риккати, амплитудные уравнения для различных видов оболочек и способов нагружения;

результаты анализа закономерностей движения ВП по поверхности круговой цилиндрической оболочки с прямыми краями в зависимости от закона изменения действующих в срединной поверхности неоднородных кольцевого или осевого усилий;

формулы для стационарного ВП в цилиндрической оболочке и оболочке с параболической погибью при неоднородном нагружении, соответствующие собственным колебаниям оболочки, а также анализ влияния нестационарных кольцевого или осевого усилий на собственные формы колебаний;

доказательство существования и единственности решений итоговых матричных системы Гамильтона и уравнения Риккати для оболочки произвольной формы, а также доказательство локализованности построенного решения в окрестности центра ВП.

Личный вклад соискателя. Все основные результаты выносимой на защиту работы получены автором лично. В совместных публикациях соавтору принадлежит анзац конструируемых асимптотических решений.

Апробация результатов диссертации. Основные положения диссертационной работы докладывались на Международной 53-й научно-технической конференции профессоров, преподавателей, научных работников и аспирантов БГПА (Минск, 1999), на II Белорусском конгрессе по теоретической и прикладной механике «Механика-99» (Минск, 1999), 5-th conference “Dynamical Systems – Theory and Applications” (Łódź, 1999), на Всероссийской научной конференции по механике “Вторые Поляховские чтения” (Санкт-Петербург, 2000), на VIII Белорусской математической конференции (Минск, 2000), на Международной научно-технической конференции “Актуальные проблемы динамики и прочности в теоретической и прикладной механике” (Минск, 2001), на Международной математической конференции “Еругинские чтения-IX” (Витебск, 2003), на семинаре кафедры математической физики БГУ, на областном семинаре по механике при кафедре прикладной математики и механики Витебского государственного университета им. П.М. Машерова.

Опубликованность результатов. По теме диссертации опубликовано 4 статьи в журналах, входящих в перечень научных изданий ВАК, 3 статьи в сборниках, 2 статьи в сборниках материалов конференций, 4 тезисов докладов на конференциях. Общее количество страниц опубликованных материалов – 59.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из общей характеристики работы, пяти глав и заключения. Полный объем диссертации составляет 120 страниц. Работа содержит 96 страниц машинописного текста, 25 иллюстраций на 16 страницах и список использованных источников из 117 наименований на 8 страницах.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе приведен обзор литературы по теме диссертации. Нестационарные волновые процессы изучаются в работах Горшкова А.Г., Мнева Е.Н., Перцева А.К., Forrestal M.J., Payton R.G. Reissvann Н. и др. Отмечается актуальность исследования нестационарных волновых процессов и, в то же время, недостаточная разработанность этих задач для оболочек с неоднородными геометрическими и физическими параметрами. Обсуждаются возможные причины возникновения на поверхности оболочек начальных волновых пакетов – локализованных в окрестности некоторой точки или линии начальных перемещений и скоростей.

Во второй главе исследуется реакция тонкой оболочки нулевой гауссовой кривизны на сообщение ей ненулевых начальных перемещений и скоростей, локализованных в окрестности некоторой образующей.

при удалении от вершины, имело место многократное отражение ВП от некоторых параллелей параболоида. Установлено, что изгибные колебания локализованы вблизи вершины параболоида.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные результаты работы следующие:

1. С использованием динамического аналога комплексного ВКБ-метода начально-краевые задачи движения тонких оболочек, подверженных нестационарной внешней нагрузке, сведены к последовательности одномерных краевых задач на подвижной образующей. Рассмотрены цилиндрическая, коническая и близкая к цилиндрической оболочки с неоднородными параметрами при начальных условиях, локализованных в окрестности некоторой образующей. Получены формулы для мгновенной частоты, системы Гамильтона, уравнения Риккати, амплитудные уравнения [1, 2, 3, 6, 8, 10, 11, 12].

2. Исследовано влияние вязкости материала на движение ВП по поверхности цилиндрической оболочки с косыми краями, подверженной нестационарному неоднородному осевому сжатию [5, 9].

3. Найдены условия отражений бегущих ВП от некоторых образующих, сопровождающиеся эффектом фокусировки и ростом амплитуд. Установлены условия локализации деструктивных изгибных колебаний в окрестности некоторых образующих [1, 3, 8, 12].

4. Обнаружено, что частота стационарного ВП совпадает с наименьшей собственной частотой колебаний соответствующей оболочки. В некоторых случаях показано, что стационарный ВП представляет собой суперпозицию собственных форм колебаний, локализованных в окрестности наиболее слабой образующей [3, 6].

5. Исследовано влияние медленно растущего кольцевого или осевого усилия на одну из локализованных собственных форм колебаний оболочки. Установлено, что растущая динамическая нагрузка приводит к неограниченному росту частоты и амплитуды колебаний, что указывает на возможность локальной динамической потери устойчивости [3].

6. Получено асимптотическое решение системы полубезмоментных уравнений движения для тонких упругих оболочек произвольного профиля с переменными толщиной и физическими характеристиками, подверженных действию внешних сил, в виде нестационарных двумерных ВП. Доказано существование и единственность решения итоговых матричных системы Гамильтона, уравнения Риккати; также доказано, что построенное решение локализовано в окрестности подвижной точки – центра ВП [4, 7, 13].

Автом

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

Статьи в научных журналах:

1. Авдошка И.В., Михасев Г.И. Волновые пакеты в тонкой цилиндрической оболочке с учетом воздействия внешних сил // Веснік Віцебск. дзярж. ун-та. – 1997. – № 3(5). – С. 50–54.
2. Авдошка И.В. К исследованию изгибных волн в неоднородной тонкой конической оболочке с учетом внешней нагрузки // Веснік Віцебск. дзярж. ун-та. – 1999. – № 2. – С. 59–63.
3. Авдошка И.В., Михасев Г.И. Волновые пакеты в тонкой цилиндрической оболочке, подверженной неравномерной осевой нагрузке // Прикл. мат. и мех. – 2001. – Т. 65, Вып. 2. – С. 308–316.
4. Авдошка И.В. Асимптотическое интегрирование динамических уравнений пологих оболочек, подверженных действию внешних сил // Весці НАН Беларусі. Сер. фіз.-мат. навук. – 2003. – № 1. – С. 56–61.

Статьи в сборниках:

5. Авдошка И.В. О распространении изгибных волн в вязкоупругой некруговой цилиндрической оболочке // Машиностроение: Сб. науч. тр. / Под ред. И.П. Филонова. – Минск: УП «Технопринт», 2000. – Вып. 16. – С. 204–209.
6. Авдошка И.В. О влиянии начальной погиби на распространение изгибных волн в цилиндрической оболочке // Актуальные проблемы динамики и прочности в теоретической и прикладной механике: Сб. ст. – Минск: УП «Технопринт», 2001. – С. 3–7.
7. Авдошка И.В., Михасев Г.И. Двумерные волновые пакеты в оболочках произвольной формы, подверженных действию внешних сил // Актуальные проблемы динамики и прочности в теоретической и прикладной механике: Сб. ст. – Минск: УП «Технопринт», 2001. – С. 7–11.

Материалы конференций:

8. Avdoshka I.V., Mikhasev G.I. Wave packets in axially compressed cylindrical shell // Dynamical Systems — Theory and Applications: Proceedings of the 5th Conference. — Lodz, 1999. — P. 83–88.
9. Авдошка И.В., Михасев Г.И. К исследованию нестационарных локализованных волновых процессов в вязкоупругих цилиндрических оболочках с учетом воздействия динамических внешних сил // Вторые Поляховские чтения: Избранные труды. – Санкт-Петербург, 2000. – С. 228–236.

Тезисы докладов:

10. Авдошка И.В. Асимптотическое интегрирование уравнений движения тонкой конической оболочки // II Белорусский конгресс по теоретической и прикладной механике «Механика – 99»: Матер. конгресса. – Минск, 1999. – С. 309–310.
11. Авдошка И.В. Волновые пакеты в конической оболочке с учетом воздействия внешних сил // Межд. 53-я научно-техническая конф. профессоров, преподавателей, научных работников и аспирантов БГПА: Материалы конф. – Минск, 1999. – Ч.1. – С. 120.

12. Авдошка И.В. Изгибные волны в тонких цилиндрических оболочках с косыми краями // VIII Белорусская математическая конф.: Тезисы докладов международин. конф. – Минск, 2000. – Ч.3. – С. 99.

13. Авдошка И.В. Использование пакета Maple при решении задачи динамики тонкой оболочки произвольной формы // “Еругинские чтения-IX”: Тезисы докладов международной математической конференции. – Витебск, 2003. – С. 172–173.

РЭЗЮМЕ

Аўдошка Ірына Уладзіміраўна

Хвалевыя пакеты ў тонкіх абалонках з улікам уздзеяння знешніх сілаў

Ключавыя словы: тонкія абалонкі, паўбязмомантавыя ўраўненні руху абалонак, натуральны малы параметр, лакалізаваныя пачатковыя ўмовы, асімптатычны метад, хвалевыя пакеты.

Аб’ект даследавання — тонкія абалонкі пад ўздзеяннем дынамічных знешніх сілаў, геаметрычныя і фізічныя параметры якіх неаднародныя. **Прадмет даследавання** — рэакцыя названых абалонак на наданне ім пачатковых перамяшчэнняў і скорасцяў, лакалізаваных каля некаторай лініі альбо пункта.

Мэтай працы з’яўляецца матэматычнае мадэліраванне працэсаў распаўсюджвання лакалізаваных бягучых хваляў ў тонкіх абалонках.

Метадалогія працы грунтуецца на выкарыстанні дынамічнага аналогу комплекснага ВКБ-метаду.

Асноўныя вынікі:

— асімптатычныя рашэнні задач руху канічнай, цыліндрычнай і блізкай да цыліндрычнай абалонак з пераменнымі геаметрычнымі і фізічнымі параметрамі з ўлікам нестацыянарнага неаднароднага нагружэння ў выглядзе хвалевых пакетаў, бягучых ў акружным напрамку;

— фармальнае асімптатычнае рашэнне задачы руху абалонкі адвольнай формы з ўлікам неаднароднага дынамічнага нагружэння;

— формула для імгненнай частаты, сістэма Гамільтона, ураўненне Рыккаці, амплітуднае ўраўненне для розных відаў абалонак і розных выпадкаў нагружэння;

— вынікі аналізу заканамернасцяў руху хвалевых пакетаў па паверхні кругавой цыліндрычнай абалонкі з прамымі межамі ў залежнасці ад закону размеркавання неаднародных кальцавога альбо восевага намаганняў ў выглядзе нестацыянарных двухмерных хвалевых пакетаў;

— доказ існавання і адзінасці рашэнняў выніковых матрычных сістэмы Гамільтона, ураўнення Рыккаці для абалонкі адвольнай формы, а таксама доказ лакалізаванасці пабудаванага рашэння ў наваколлі цэнтра хвалевага пакета.

РЕЗЮМЕ

Авдошка Ирина Владимировна

**Волновые пакеты в тонких оболочках
с учетом воздействия внешних сил**

Ключевые слова: тонкие оболочки, полубезмоментные уравнения движения оболочек, естественный малый параметр, локализованные начальные условия, асимптотический метод, волновые пакеты.

Объект исследования – тонкие оболочки, подверженные действию динамических внешних сил, геометрические и физические параметры которых неоднородны. **Предмет исследования** – реакция указанных оболочек на сообщение им начальных перемещений и скоростей, локализованных в окрестности некоторой линии или точки.

Целью работы является математическое моделирование процессов распространения локализованных бегущих волн в тонких оболочках.

Методология работы основывается на использовании динамического аналога комплексного ВКБ-метода.

Основные результаты:

– асимптотические решения задач движения конической, цилиндрической и близкой к цилиндрической оболочек с переменными геометрическими и физическими параметрами с учетом нестационарного неоднородного нагружения в виде волновых пакетов, бегущих в окружном направлении;

– формула для мгновенной частоты, система Гамильтона, уравнение Риккати, амплитудное уравнение для различных видов оболочек и различных случаев нагружения;

– результаты анализа закономерностей движения ВП по поверхности круговой цилиндрической оболочки с прямыми краями в зависимости от закона распределения неоднородных кольцевого или осевого усилий;

– формальное асимптотическое решение задачи движения оболочки произвольной формы с учетом неоднородного динамического нагружения в виде нестационарных двумерных волновых пакетов;

– доказательство существования и единственности решений итоговых матричных системы Гамильтона, уравнения Риккати для оболочки произвольной формы, а также доказательство локализованности построенного решения в окрестности центра ВП.

SUMMARY

Avdoshka Irina

Wave packets in thin shells subjected to external forces

Key words: thin shells, semi-momentless dynamic equations of shells, natural small parameter, localized initial conditions, asymptotic method, wave packets.

An object of research: thin shells subjected to dynamic external forces. Geometrical and physical parameters of the shells are inhomogeneous. **The subject of research** is the shells response to the dispatch of initial displacements and velocities localized near some line or point.

The purpose of the work is the mathematical modelling of localized running waves, propagating in thin shells.

Methodology of the work is based on using dynamic analogue of the complex WKB method.

The basic results are:

— asymptotic solutions of dynamical problems for conical, cylindrical and close to cylindrical shells with inhomogeneous geometrical and physical parameters, taking into account their non-stationary inhomogeneous loading in the form of wave packets running in the peripheral direction of the shell;

— formula for instantaneous frequency, Hamilton system, Riccati and amplitude equations for different kinds of shells and different loadings;

— qualitative analysis results of wave packet motion on the surface of a circular shell with straight edges depend upon distribution of hoop or axial loads;

— formal asymptotic solution of dynamical problem for arbitrary shape shell subjected to inhomogeneous dynamic loading in the form of non-stationary two-dimensional wave packets;

— proof, that solutions of concluding matrix Hamilton system and Riccati equation for arbitrary shape shell exist and that they are unique, as well as demonstration that the constructed solution is localized near the wave packet center.