

МИНИСТЕРСТВО ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ СССР

ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА
имени М.И.КАЛИНИНА

На правах рукописи

ПИСАНКО Александр Николаевич

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ПОДКРЕПЛЕННЫХ ОБОЛОЧЕК ВРАЩЕНИЯ

01.02.03 - Строительная механика

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени кандидата
технических наук

Днепропетровск-1980

НТБ
ДНУЖТ

Работа выполнена в Днепропетровском ордена Трудового Красного Знамени государственном университете имени 300-летия воссоединения Украины с Россией.

Научные руководители

доктор технических наук, профессор МАНЕВИЧ Л.И.
кандидат технических наук, доцент ГРИЦАК В.З.

Официальные оппоненты

доктор технических наук ПРЕОБРАЖЕНСКИЙ И.Н.
доктор технических наук, профессор ГУДРАМОВИЧ В.С.

Ведущее предприятие

Казанский ордена Трудового Красного Знамени
государственный университет имени
В.И. УЛЬЯНОВА - ЛЕНИНА

Защита диссертации состоится " 5 " ИЮНЯ _____ 1980 г.
в " 15 " часов на заседании Специализированного Совета КИ14.07:02.
Днепропетровского института инженеров железнодорожного транспорта
имени М.И.КАЛИНИНА.

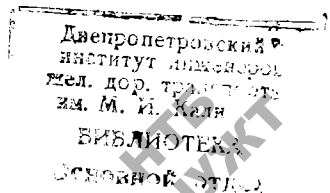
НТБ
ДНУЖТ

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Развитие ряда отраслей современной техники требует совершенствования методов расчета динамического напряженного состояния подкрепленных оболочек вращения. Актуальность данного направления исследований обусловлена, с одной стороны, повышением динамичности внешних нагрузок, ростом требований, предъявляемых к прочности конструкций, с другой — отсутствием простых и обоснованных инженерных методов расчета.

Значительный вклад внесли в теорию ребристых оболочек советские ученые В.З.Власов, Е.С.Гребень, Э.И.Григолюк, П.А.Жилин, В.А.Заруцкий, Г.А.Кизима, Д.Е.Липовский, А.И.Лурье, Н.А.Назаров, В.М.Рябов, И.Е.Сахаров, Б.П.Умушкин, В.Н.Хитров и другие. Однако даже в рамках конструктивно-ортотропной теории аналитические решения построены лишь для некоторых типов оболочек. Практически отсутствуют решения, учитывающие дискретный характер размещения ребер, а также экспериментальные исследования колебаний стрингерных и вафельных оболочек вращения.

Цель работы. 1) Исследование влияния дискретности расположения ребер на собственные и вынужденные колебания оболочек вращения, подкрепленных продольным или перекрестным силовым набором; 2) оценка погрешности конструктивно-ортотропной схемы; 3) изучение влияния граничных условий, геометрико-жесткостных параметров ребер на собственные частоты, формы и динамическое напряженное состояние подкрепленных оболочек вращения; 4) построение аналитических решений задачи о собственных колебаниях конструктивно-ортотропных оболочек вращения; 5) экспериментальное исследование колебаний гладких и стрингерных конических оболочек.



Общая методика исследований. Для решения задачи о собственных колебаниях конструктивно-ортотропных оболочек вращения используется теория возмущений. Учет дискретности подкрепляющих элементов осуществляется с помощью асимптотического метода в сочетании с методом, развитым в работах А.Л.Гольденвейзера, М.И. Вишика, Л.А. Люстерника. Экспериментальное исследование основано на резонансном методе, причем динамические характеристики регистрировались при помощи метода голографической интерферометрии.

Научная новизна. 1) Асимптотический метод учета дискретного размещения подкреплений обобщен на случай произвольных оболочек вращения. 2) Предложен алгоритм, сочетающий аналитические и численные методы построения решений теории колебаний ребристых оболочек вращения. 3) Проведен анализ колебаний важнейших для практики типов ребристых оболочек, изучено влияние различных факторов на колебания рассмотренных конструкций. 4) Установлены пределы применимости динамической теории конструктивно-ортотропных оболочек вращения. 5) Построены аналитические решения задачи о собственных квазипоперечных колебаниях широкого класса конструктивно-ортотропных оболочек вращения. 6) Получены новые экспериментальные данные о формах резонансных колебаний стрингерных конических оболочек.

Практическая ценность. Полученные в работе результаты могут быть непосредственно использованы в практике КБ и НИИ при динамических расчетах и проектировании конструкций, элементами которых являются ребристые оболочки вращения.

Внедрение результатов. Разработанная в диссертации методика динамического расчета подкрепленных оболочек вращения внедрена в производство с экономическим эффектом 64 тыс.рублей. Соответст

НТБ
ДНУЖТ

лучшие программы включены в Фонд алгоритмов и программы Днепропетровского государственного университета.

Апробация работы. Основное содержание диссертационной работы докладывалось на научных конференциях, посвященных итогам научно-исследовательской работы Днепропетровского госуниверситета за 1973-1980 г.г., научном семинаре Казанского госуниверситета им. В.И.Ульянова-Ленина (под руководством профессора А.В.Саченкова, г.Казань, 1979г.), на научном семинаре кафедры прикладной теории упругости ДГУ (под руководством академика АН УССР В.И.Моссаковского, г.Днепропетровск, 1979г.), на 2-й Республиканской конференции молодых ученых по проблемам механики твердого деформируемого тела и общей механики (Киев, 1979г.), на 5-й Всесоюзной конференции по механике твердого деформируемого тела (Куйбышев, 1977 г.), на 4-й Всесоюзной конференции по статике и динамике пространственных конструкций (Киев, 1978г.), на 2-й Всесоюзной конференции по современным методам и алгоритмам проектирования конструкций в строительной механике с использованием ЭВМ (Таллин, 1979г.), на научных семинарах кафедр высшей математики и сопротивления материалов Днепропетровского института инженеров железнодорожного транспорта (1980г.).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 10 печатных работ.

Объем работы. Диссертация включает введение, четыре главы, заключение, библиографию из 164 названий, приложение и содержит 100 страниц машинописного текста, 46 рисунков и 8 таблиц.

НТБ
ДНУЖТ

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении содержатся описание проблемы и общая характеристика диссертационной работы, обосновывается актуальность и излагаются цели исследования, приводится аннотация всех глав.

В первой главе приведен обзор литературы по колебаниям ребристых оболочек вращения.

На определенную завершенность в настоящее время может претендовать лишь теория колебаний изотропных оболочек, а также оболочек, подкрепленных кольцевыми ребрами. Значительно менее развиты методы расчета оболочек, усиленных продольным или перекрестным силовым набором. Как правило, в этом случае применяется конструктивно-ортотропная схема, позволяющая удовлетворительно предсказывать низшие собственные частоты и формы колебаний.

По сравнению с изотропным случаем ситуация усложняется из-за наличия большого числа геометрико-жесткостных параметров. Аналитические решения задачи о собственных колебаниях конструктивно-ортотропных оболочек при произвольных условиях построены только для некоторых частных случаев (например, для цилиндрических оболочек и конусов с малым углом полураствора).

Для ряда важных отраслей современной техники, таких, как авиа- и ракетостроение, судостроение, характерна ситуация, когда конструкция имеет "среднее" число ребер. В этом случае, как показывает анализ, необходим учет дискретности подкреплений.

В работах В.А.Лесничей и Л.И.Маневича был предложен эффективный асимптотический метод, естественный для исследования динамики конструкций со средним числом ребер; на его основе рассмотрены задачи о колебаниях цилиндрических оболочек при произвольных граничных условиях. Что касается динамики оболочек более

сложной геометрии, то исследования такого рода практически отсутствуют в научной литературе. Неясными остаются пределы применимости существующих инженерных методик, влияние переменности жесткостных характеристик подкреплений, граничных условий и эксцентриситета ребер на колебания таких конструкций и т.п.

Во второй главе излагаются постановка и решение задачи о собственных квазипоперечных колебаниях конструктивно-ортотропных куполообразных оболочек вращения. Расчет в рамках конструктивно-ортотропной теории представляет, с одной стороны, самостоятельный интерес, и с другой, - является первым этапом полного расчета с учетом дискретности расположения ребер.

Сначала рассматриваются колебания конических оболочек любой конусности. Система уравнений, описывающих собственные колебания оболочки, после разделения переменных приводится к одному уравнению следующего вида

$$M[W] = \omega^2 N[W] \quad (1)$$

Для его решения используется теория возмущений, причем невозмущенное уравнение получается из (1) заменой переменных коэффициентов в дифференциальных операторах N и M ($[I]$) их средними значениями на интервале $[0, l]$

$$M^*[W_0] = \omega_0^2 N^*[W_0] \quad (2)$$

Частоты при этом определяются по формуле

$$\omega_0^2 = \frac{2K^2(1-\lambda)^2 f}{\sin^2 \alpha n_1^2 (n_1^2 + 1) (\xi_1 + \xi_2)} + \frac{\xi^2 \operatorname{tg}^2 \alpha n_1^2 (n_1^2 - 1) (-\lambda)^2}{\xi_1^2 \xi_2^2 \sin^2 \alpha (n_1^2 - 1)} \quad (3)$$

Здесь K - собственные числа краевой задачи с осредненными коэффициентами, λ - угол при основании,

НТБ
ДНУЖТ

$$\lambda = \frac{R_1}{R_2}, \quad n_1 = \frac{n}{\sin \alpha}, \quad \xi = \frac{S}{R_2}, \quad f = \frac{(\xi_1 + \xi_2)(\xi_1^2 + \xi_2^2)}{4} - \frac{K''(\xi_2^3 - \xi_1^3)}{3(\xi_2 - \xi_1)},$$

N - число ребер, n - число волн по параллели, R_1 и R_2 - радиусы оснований, S - продольная координата, K'' - эксцентриситет расположения ребер.

Отыскание поправок любого приближения к собственным частотам и формам сводится к некоторому рекуррентному процессу, не связанному с принципиальными затруднениями.

Решение, полученное на основании теории возмущений, тем ближе к точному, чем меньше отличаются между собой коэффициенты возмущенного (1) и невозмущенного (2) уравнений. С уменьшением α погрешность возрастает и для малых α необходимо отдельно рассматривать колебания пологого конуса. В этом случае оказывается возможным использовать идеи метода малого параметра, если записать исходные уравнения в следующем виде

$$\begin{aligned} \varepsilon^2 \nabla^4 W &= \frac{1}{\xi} \frac{d(z_c - \delta)}{d\xi} \frac{d^2 \varphi}{d\xi^2} + \frac{d^2(z_c - \delta)}{d\xi^2} \left(\frac{1}{\xi} \frac{d\varphi}{d\xi} - \frac{n^2}{\xi^2} \varphi \right) + \omega^2 W, \\ \nabla^4 \varphi &= -\frac{1}{\xi} \frac{d(z_c - \delta)}{d\xi} \frac{d^2 W}{d\xi^2} - \frac{d^2(z_c - \delta)}{d\xi^2} \left(\frac{1}{\xi} \frac{dW}{d\xi} - \frac{n^2}{\xi^2} W \right). \end{aligned} \quad (3)$$

Здесь φ - функция напряжений, δ - расстояние между срединными поверхностями конической и описанной около конуса сферической оболочек, z_c - расстояние между срединной поверхностью сферической оболочки и плоскостью большого основания конуса.

Для пологих оболочек вращения параметр δ мал. Представляя решение в виде

$$W = \sum_{n=1}^k \delta^n W_n, \quad \omega^2 = \sum_{n=1}^k \delta^n \omega_n^2, \quad (4)$$

НТБ
ДНУЖТ

в первом приближении получим систему, описывающую колебания пологой сферы известной геометрии. По аналогии со статическими задачами для расчета частот, нормальных перемещений, моментов и поперечных сил сферической оболочки применяются хорошо разработанные методы расчета кольцевой пластинки на упругом основании. Тангенциальные перемещения и усилия выражаются через скалярную функцию F , которая определяется из уравнения

$$\nabla^2 \nabla^2 F = W$$

и тангенциальных граничных условий.

В результате для пологих оболочек вращения в первом приближении имеем

$$\omega_0^2 = \frac{K \ell^2 h^2}{12 R_2^2} + (1-\nu^2) \frac{\ell^2}{R_1^2}, \quad (5)$$

где K - собственные числа кольцевой пластинки.

Коэффициенты высших порядков в разложениях (4) определяются по формулам теории возмущений ([10]).

По такой же схеме строятся решения для оболочек, срединная поверхность которых близка к цилиндру, конусу или сфере.

Так как для рассматриваемого класса оболочек собственные частоты с достаточной точностью определяются по осредненной схеме, то исследование влияния различных факторов-граничных условий, геометрико-жесткостных параметров на частоты может быть проведено в рамках этой схемы. Рассматриваются ортотропные конические, параболические и сферические оболочки при различных граничных условиях. Устанавливаются зависимости частот нижней части спектра от указанных факторов. Сравнение с численными результатами, экспериментальными данными и точными решениями (в тех случаях, когда

НТБ
ДНУЖТ

последние удается построить) подтверждают удовлетворительную точность построенных аналитических решений. В частности, для конической оболочки использование двух описанных выше порождающих систем позволило получить хорошие результаты во всем диапазоне геометрических параметров конуса (Рис.1).

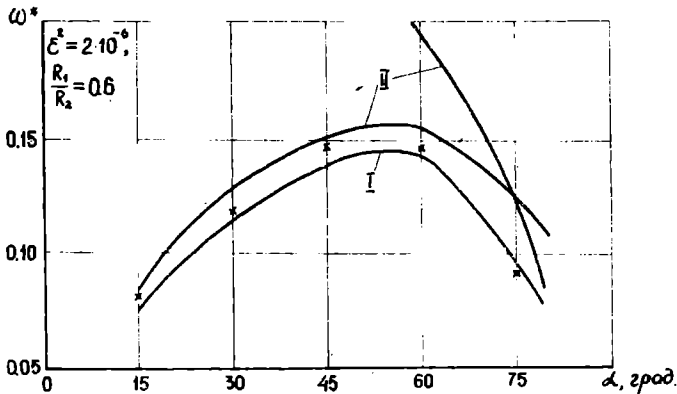


Рис.1. Зависимость минимальных собственных частот заземленной конической оболочки от угла конусности. 1 - численное решение, 2 - приближенное аналитическое решение, x - эксперимент.

Третья глава посвящена исследованию задач теории колебаний подкрепленных куполообразных оболочек вращения с учетом дискретности расположения ребер. Продольные ребра, трактуемые как стержни Кирхгофа-Клебша, одинаковы и расположены на равном расстоянии.

НТБ
ДНУЖТ

друг от друга. Расчет такой конструкции сводится к определению собственных чисел и функций краевой задачи для системы дифференциальных уравнений в частных производных с переменными коэффициентами, содержащими δ - функции Дирака

$$L_i(\bar{U}) \equiv L_{ii}(\bar{U}) + \Delta_N M_i(\bar{U}) + \lambda U_i = 0 \quad (6)$$

Здесь L_{ii} - дифференциальные операторы линейной теории оболочек, $\bar{U} = \{U_1, U_2, U_3\}$ - вектор перемещений, M_i - дифференциальные операторы, учитывающие наличие ребер жесткости, λ - собственное число $\Delta_N = \sum_{i=1}^N \delta(\eta - \eta_i)$, $\eta = y/R_2$, $i = 1, 2, 3$

Используется идея метода осреднения-разделение медленных и быстрых составляющих решения. Искомая собственная форма \bar{U} и собственная частота λ представляются в виде

$$\bar{U} = \bar{U}_0 + \bar{U}_1, \quad \lambda = \lambda_0 + \lambda_1,$$

где λ_0, \bar{U}_0 - решение конструктивно-ортоотропной задачи.

Для поправок, обусловленных дискретностью подкреплений, получается следующая система уравнений

$$L_i(\bar{U}) = -(1 + \rho N) \lambda_1 U_{0i} - (\Delta_N - N) M_i(\bar{U}_0), \quad i = 1, 2, 3, \quad (7)$$

где ρ - отношение плотностей материалов обшивки и ребер.

Используется информация о правых частях системы (7) и решение последней ищется в виде

$$\bar{U}_1 = \bar{U}_{10} + \bar{U}_{11} + \bar{U}_{12},$$

где функция \bar{U}_{1i} удовлетворяют следующим уравнениям

$$L_i(\bar{U}_{10}) + M_i[(\Delta_N - N) M_i(\bar{U}_{10} + \bar{U}_{11})] = -(1 + \rho N) \lambda_1 U_{0i}, \quad (8)$$

$$L_i(\bar{U}_{11}) + D_i[(\Delta_N - N) M_i(\bar{U}_{10} + \bar{U}_{11})] = -(1 + \rho N) M_i(\bar{U}_0), \quad (9)$$

$$L_{ii}(\bar{U}_{12}) + \lambda U_{12i} = 0 \quad (10)$$

НТБ
ДНУЖТ

M_{η} - оператор осреднения [4] $D_{\eta}\omega = \omega - M_{\eta}\omega$.

Аналогичное расщепление проводится и для граничных условий. Решение системы (8) описывает медленно меняющуюся по ζ составляющую решения системы (6) и не оказывает заметного влияния на напряженное состояние оболочки. Решение системы (II) ищется в виде разложения по параметру $Q = (n/N)^2$, малому для низкочастотных колебаний оболочек, подкрепленных средним и большим числом ребер. При этом в любом приближении функция \bar{U}_{11} может быть записана в аналитическом виде. Система (II) описывает состояние типа пограничного слоя, быстро затухающее с удалением от торцев оболочки. Поэтому, во-первых, удовлетворение граничным условиям на краях $\xi = \xi_1, \xi_2$ может проводиться независимо и, во-вторых, переменные по ξ коэффициенты замораживаются на той или иной границе. Далее отыскание \bar{U}_{12} проводится при помощи алгоритма, основанного на применении метода Канторовича.

Условие для отыскания поправок к собственной частоте имеет вид

$$\int_0^{\xi_1} \int_0^{\xi_2} \left[F_i(\xi, \eta) + (1 + \rho N) \lambda_i^{(i)} \right] u_{03} d\xi d\eta = 0, \quad (II)$$

где F_i - функции, зависящие от геометрико-жесткостных параметров, β - параметр Ляме, α, γ - жесткостные характеристики ребер (5).

Результаты, полученные для стрингерных оболочек вращения, без принципиальных затруднений переносятся на оболочки, подкрепленные перекрестным силовым набором.

Рассматриваются также вынужденные колебания под действием внешней нагрузки; при этом используется метод разложения решения по собственным функциям осредненной задачи. В качестве примера

исследуются вынужденные колебания конической оболочки, нагруженной гармонической, сосредоточенной по продольной координате поперечной силой.

На основании полученных результатов производится динамический расчет сферических, конических и параболических оболочек, подкрепленных ребрами переменной жесткости, в широком диапазоне изменения их геометрико-жесткостных параметров. Устанавливается зависимости компонентов напряженно-деформированного состояния от этих параметров, а также граничных условий, параметров волнообразования и т.д. Численное сравнение с известными результатами указывает на приемлемую точность разработанного алгоритма.

Показано, что для малости поправок к частотам и перемещениям необходимо, чтобы имело место неравенство

$$\frac{12 B n}{N^2} \ll 1 \quad (12)$$

Соотношение (12) справедливо для широкого класса оболочек вращения, однако, оно не гарантирует правильного определения усилий и моментов. Последние хорошо определяются в рамках конструктивно-ортотропной расчетной схемы, если выполняются следующие, весьма жесткие условия

$$\left| \frac{\partial}{\partial \xi} \left[B \frac{\partial}{\partial \xi} \left(\beta N \frac{\partial u_{01}}{\partial \xi} + \alpha' j n N \frac{\partial^2 u_{02}}{\partial \xi^2} \right) \left(\frac{\partial u_{01}}{\partial \xi} \right)^{-1} \right] \right| \ll \dot{q}' \quad (13)$$

$$\left| \frac{B^3}{\epsilon^2 u_{01}} \left[\epsilon^2 \frac{\partial^2}{\partial \xi^2} \left(\alpha N \frac{\partial^2 u_{02}}{\partial \xi^2} \right) - \alpha \frac{\partial}{\partial \xi} \left(j N \frac{\partial^2 u_{01}}{\partial \xi^2} \right) - \frac{\beta B \lambda_0 u_{02} N}{B^4} \right] \right| \ll \dot{q}'$$

Если предположить, что срединная поверхность оболочки и жесткостные характеристики ребер описываются медленно меняющимися

функциями ξ , а функция \bar{u}_0 такова, что $\partial^n \bar{u}_0 / \partial \xi^n \sim m^n \bar{u}_0$.
 (это допущение справедливо, в частности, для шарнирно опертых цилиндрических и конических оболочек), то условия (15) записываются в более простом виде

$$\frac{B(\beta m^2 N + \gamma N m^3 a^{-1})}{N^2} \ll 1$$

$$\frac{B^3(\xi^2 \alpha N m^4 - \alpha \gamma n N m^3 - \beta B \lambda_0 N)}{\xi^2 n^2 N^2} \ll 1 \quad (14)$$

Здесь Q - отношение амплитуд продольных и нормальных перемещений, $\xi^2 = h^2 / 12 R_2^4$

Анализ соотношений (13), (14) показывает, что класс оболочек, для которых они выполняются, существенно ограничен, поэтому в общем случае напряженное состояние, возникающее при собственных и вынужденных колебаниях оболочек вращения, может быть построено только с учетом дискретного характера расположения ребер. Этот вывод, в частности, проиллюстрирован на Рис.2., где построена эпюра продольного изгибающего момента M'' по образующей шарнирно опертой конической оболочки, подкрепленной стрингерами линейно-переменной жесткости.

В четвертой главе представлены результаты экспериментально-го исследования частот и форм резонансных колебаний гладких и подкрепленных стрингерами линейно-переменной жесткости усеченных конических оболочек.

Эксперименты проводились на специальном стенде. Края оболочки были заземлены, либо больший край заземлен, а меньший свободен. Колебания возбуждались при помощи двух электромагнитов. Собственные частоты колебаний фиксировались резонансным методом с помощью

НТБ
ДНУЖТ

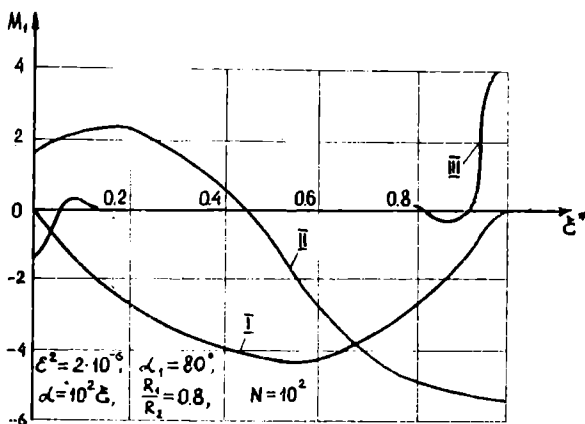


Рис. 2. Эпюры продольного изгибающего момента по длине заделанной конической оболочки.
 I - конструктивно-ортотропное решение;
 2 - поправки, обусловленные дискретностью;
 3 - погранслоем.

микрофона. Формы колебаний (положения узловых линий) определялись пьезоэлементами. Испытывались II оболочки, изготовленных из сплава АМг-6; в ходе эксперимента изменялся угол конусности ($\alpha = 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ$) и отношение радиусов оснований ($\lambda = 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7$). Проводится сравнение экспериментальных данных с численными и приближенными аналитическими решениями, полученными во второй главе, и дается вывод об эффективности последних.

Кроме того, исследовались колебания 9 заделанных стрингерных конических оболочек с различным углом конусности и числом подкреплений. Использовалась методика, сочетающая в себе преиму-

щества голографического усреднения во времени и метода пятисекундной лазерной нагрузки.

Частота сигнала изменялась в пределах 0-3000 Гц, и контролировалась частотомером. Различные формы колебаний возбуждались посредством последовательной подачи сигнала на две различные точки приложения нагрузки.

Всего было получено 120 интерферограмм - по 5-20 с каждой оболочке. Фотоотпечатки сделаны с 75 характерных интерферограмм.

Результаты экспериментов сводятся к следующему

1. Геометрические параметры оболочек, а также наличие подкрепляющих элементов существенно сказываются на частотах и формах резонансных колебаний стрингерных конических оболочек. При этом частоты колебаний удовлетворительно согласуются с расчетными значениями (Рис.3).

2. Перестройка форм колебаний с увеличением частоты у всех испытанных оболочек происходит по одному и тому же циклу, в пределах которого существуют как классические, так и не отмеченные в научной литературе формы колебаний. Последние характеризуются, в отличие от гладких оболочек, не только числом волн по параллели и меридиану, но и расположением узловых линий относительно подкреплений, размерами волн (Рис.4).

3. Четко выделяется класс пограничных колебаний, особенностью которых является концентрация перемещений в окрестности большего основания оболочки (Рис.5). К их расчету применим приближенный аналитический аппарат, развитый в работах Г.Н.Чернышева, А.Л.По-

Экспериментальные исследования колебаний ребристых оболочек проводились совместно с сотрудниками НИИ прочности и надежности конструкций ДГУ г.т.н. В.В.Петровым и инж. Ю.М.Селивановым.

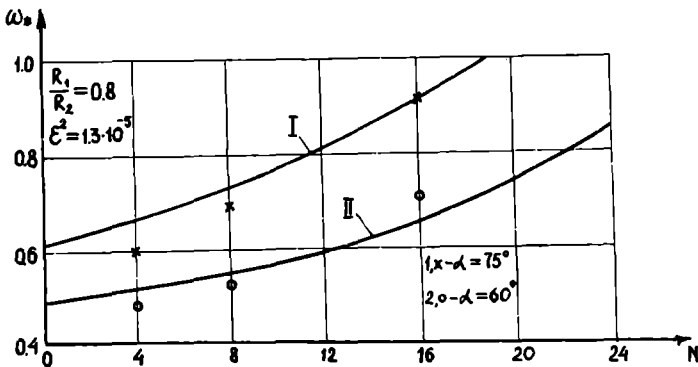


Рис. 3. Зависимость минимальных собственных частот заземленной конической оболочки от числа стрингеров. I, 2-теория; o, x - эксперимент.

пова, В.Е.Солодилова; причем учет дискретности ребер проводится независимо по формулам третьей главы.

4. Отмечается, что начальные несовершенства типа погيبей и локальных вмятин существенно искажают формы высокочастотных колебаний, практически не отражаясь на формах, соответствующих нижней части спектра частот.

На Рис.6 приводится интерферограмма формы колебаний, интересная тем, что число волн у большего и меньшего оснований различно. Аналогичный результат для гладких оболочек экспериментально впервые обнаружен Уоткинсом и Клэри (1964г.) и до сих пор не получил аргументированного истолкования. Расчеты с учетом суперпозиции форм колебаний, проведенные в третьей главе, подтверждают концепцию о том, что в данном случае реализуется линейная комби-

НТБ
ДНУЖТ

нация нескольких форм собственных колебаний с приблизительно равным весом.

Проведенный анализ зависимости частот нижней части спектра от геометрико-жесткостных параметров не только подтверждает полученные в третьей главе условия применимости конструктивно-ортотропной теории, но и конкретизирует их. Так, подстановка в правую часть неравенства (12) значения 0.2 гарантирует вычисление минимальных собственных частот с погрешностью, не превышающей 6%.

Основные результаты работы могут быть сформулированы следующим образом

1. Эффективный асимптотический метод расчета собственных колебаний стрингерных цилиндрических оболочек с учетом дискретности расположения ребер обобщен на случай оболочек вращения общего вида. На первом этапе использовалась конструктивно-ортотропная схема; определение поправок к конструктивно-ортотропному решению сводилось к некоторому процессу, допускающему последовательное уточнение собственных характеристик. В результате, построенные с учетом поправок решения, применимость которых не ограничена специальными краевыми условиями, оказались принципиально не более сложными, чем полученные на основании конструктивно-ортотропной теории.

2. Показано, что учет поперечного набора, а также переменности жесткостных параметров подкрепления не вносит принципиальных трудностей в расчет.

Для реализации метода определения собственных колебаний с учетом дискретности расположения ребер необходимо знать решение конструктивно-ортотропной задачи. В связи с этим, на основании теории возмущений, построены аналитические решения этой задачи для широкого класса оболочек вращения. Использование двух порож-

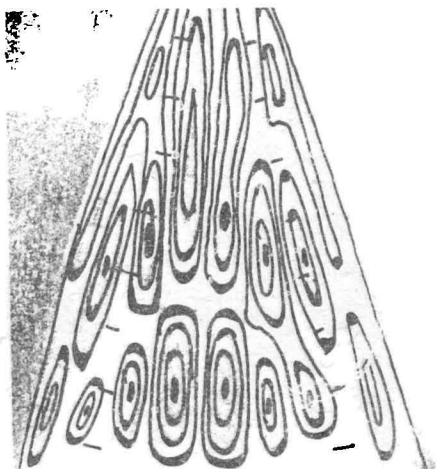


Рис. 4. Интерферограмма колебаний подкрепленной конической оболочки при частоте 1456 Гц.

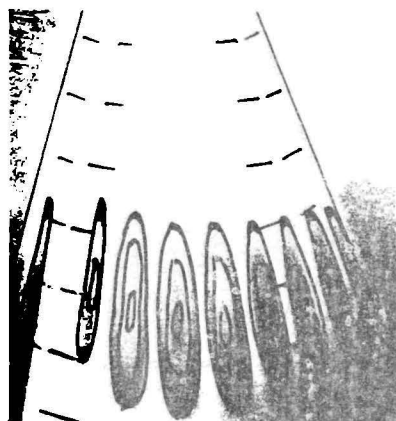


Рис. 5. Интерферограмма пограничных колебаний (частота 592 Гц.).

НАУКОВО-тех. Бюро
Дніпропетровський
університет
Імені академіка
ка Е. П. Левченка

НТБ
ДНУЖТ

6932 a



Рис. 6. Интерферограмма колебаний подкрепленной конической оболочки при частоте 700 Гц.

дающих систем – осредненной и пластинки на упругом основании – позволило при произвольных граничных условиях охватить весь диапазон изменения геометрических параметров.

4. Получено решение задачи о вынужденных колебаниях куполообразных оболочек вращения, основанное на разложении искомых функций по формам собственных колебаний, построенным с учетом фактического распределения жесткостных характеристик ребристых оболочек.

5. Оценена область и получены пределы применимости динамической теории конструктивно-ортотропных оболочек вращения. Показано, что даже в тех случаях, когда поправки к частотам и перемещениям малы, поправки к ряду компонентов напряженного состояния могут быть существенными, достигая 200–300%.

6. Предложен новый численно-аналитический метод решения задачи

о колебаниях подкрепленных оболочек вращения в случае, когда аналитическое решение ортотропной задачи построить не удастся. В качестве примеров рассмотрено динамическое поведение конической, сферической и параболической оболочек, подкрепленных ребрами переменной жесткости.

7. Проведены экспериментальные исследования гладких и стрингерных конических оболочек и дано объяснение некоторых новых экспериментальных результатов.

8. Оценена погрешность полученных приближенных решений. Численное и аналитическое сравнение этих решений с точными (в тех случаях, когда последние удается построить) и экспериментальными данными показало приемлемую точность метода.

На основании проведенных в диссертации исследований разрабрана методика и составлены АЛГОЛ-программы определения частот, форм и напряженно-деформированного состояния подкрепленных оболочек вращения.

В Приложении содержится описание программ и их распечатки, а также документы по внедрению результатов работы в производство.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах

1. Маневич Л.И., Писанко А.Н. Собственные колебания подкрепленных конических оболочек. - Строительная механика и расчет сооружений. М., 1977, № 4, с.33-39.

2. Грицак В.З., Писанко А.Н., Чумаченко С.В. Влияние внешнего давления на собственные колебания подкрепленных конических оболочек вращения. - В кн.: Динамика пространственных конструкций. Киев, КИСИ, 1978, с.13-17.

3. Писанко А.Н. Собственные колебания ортотропных конических

НТБ
ДНУЖТ

оболочек.-Деп. в ВИНТИ 25.1.'77, № 312-77 Деп., 15 с.

4. Писанко А.Н. Динамическое напряженное состояние оболочек вращения, подкрепленных дискретно расположенными ребрами жесткости.-В кн.: Тезисы 5-й Всесоюзной конференции по механике твердого деформируемого тела. Куйбышев, КГУ, 1978, с.36-37.

5. Писанко А.Н., Чумаченко С.В. Устойчивость конструктивно-ортотропных конических оболочек под действием внешнего давления.-Строительная механика и расчет сооружений (0 научно-исследовательских работах в вузах УССР), Киев, 1978, Вып.10, с.24-26.

6. Леснячая В.А., Писанко А.Н. Собственные колебания эксцентрично подкрепленных конических оболочек.-Строительная механика и расчет сооружений. М., 1980, № 2, с.23-31.

7. Писанко А.Н., Чумаченко С.В. Собственные колебания и устойчивость подкрепленных конических оболочек, нагруженных внешним давлением.-Деп. в ВИНТИ 15.8.'77, № 3243 Деп., 19 с.

8. Грицак В.З., Писанко А.Н. Численно-аналитический метод динамического расчета подкрепленных оболочек вращения.-В кн.: Методы динамического расчета. Таллин, ТПИ, 1979, с.129-130.

9. Писанко А.Н. О пределах применимости динамической теории конструктивно-ортотропных оболочек вращения.-Деп. в ВИНТИ 5.6.'79, № 1983-79 Деп., 8 с.

10. Писанко А.Н. Колебания эксцентрично подкрепленных оболочек вращения.-Проблемы прочности. Киев, 1980, № 3, с.93-96.

Бт 62281. Подписано к печати 18.04.1980 года. Зак.55.
Тираж 160. Объем 0.7 п. л. Ротапринт ДГУ.

Сканировала Камянская Н.А.

НТБ
ДНУЖТ