

АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНСКОЙ ССР
ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНЫХ ПРОБЛЕМ МЕХАНИКИ И МАТЕМАТИКИ

На правах рукописи

ВОЛОШИН

Александра Романовна

УДК 539.3

РАССЕЯНИЕ И ИЗЛУЧЕНИЕ ЗВУКА РЕБРИСТОЙ
ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКОЙ

Специальность 01.02.04 - механика
деформируемого твердого тела

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Львов - 1991



00816083 (Q)

АБ 25.342

Работа выполнена в Институте прикладных проблем механики и математики им. Я.С.Подстригача АН УССР

Научный руководитель - старший научный сотрудник,
кандидат физико-математических наук
А.П.Поддубняк

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук,
профессор Я.А.Метсавээр;
кандидат физико-математических наук,
старший научный сотрудник Р.Н.Швец

Ведущая организация - Львовский государственный университет

Защита состоится " 1 " июня 1991 г. в 15 часов

на заседании специализированного совета К 016.59.01 по присуждению ученой степени кандидата физико-математических наук и кандидата технических наук в Институте прикладных проблем механики и математики АН УССР (г. Львов, ул. Научная, 3^б).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института прикладных проблем механики и математики АН УССР (г. Львов, ул. Научная, 3^б).

Отзывы на автореферат просим направлять по адресу:
290053, ГСП, г. Львов-53, ул. Научная, 3^б, ученому секретарю специализированного совета.

Автореферат разослан " 30 " мая 1991 г.

Ученый секретарь
специализированного совета

П.Р.Шевчук

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Работа посвящена исследованию процессов рассеяния и излучения акустических волн тонкими упругими цилиндрическими оболочками, подкрепленными ребрами.

В инженерной практике часто применяются тонкостенные конструкции, подкрепленные набором ребер жесткости. Особенности внутренней структуры таких объектов, находящихся в сжимаемой жидкости под влиянием динамических нагрузок, вносят существенные изменения в спектр переизлученных в акустическую среду волновых полей. Поэтому решение соответствующих задач гидроупругого взаимодействия тел с жидкостью представляет значительный теоретический и практический интерес.

При постановке задач о колебаниях ребристых пластин и оболочек применяются два подхода, различие в которых основано на способе моделирования системы подкреплений. Первый из них при частом расположении ребер состоит в замене реального объекта конструктивно-ортотропной моделью с приведенными жесткостными параметрами, что позволяет не учитывать взаимодействие ребер с оболочкой, интегральным образом оценивать их влияние на напряженно-деформированное состояние, используя известные методы для гладких оболочек. Второй подход, который применяется в данной работе, учитывает дискретное размещение ребер.

Подкрепленные пластины и оболочки, их напряженно-деформированное состояние, колебания под действием разного рода динамических нагрузок, акустические поля, переизлученные такими объектами, являются объектом исследования многих авторов. Существенные результаты в этих направлениях получили И.Я. Амиро, И.В. Андрианов, Б.П. Белинский, М.В. Бернблит, Э.И. Григолюк, В.П. Жигалко, В.А. Заруцкий, А.В. Клаусон, И.П. Коновалюк, Д.П. Коузов, В.Н. Красильников, Т.Л. Мартынович, Я.А. Метсавээр, А.К. Перцев, В.Н. Романов, Г.Н. Савин, Н.П. Флейшман, Ю.А. Чернуха, Р.Н. Швец, Е.Л. Шендеров, *J. W. Berglund*, *V. S. Berger*, *M. C. Jungger*, *C. V. Burroughs*, *J. M. Klein*, *V. R. Mac*, *G. Maidanik*, *D. J. Mead* и др.

Анализ проведенных работ по гидроупругому взаимодействию показывает, что в большинстве случаев в качестве подкрепленной структуры принималась пластина. Результаты таких исследований

частично применимы и к цилиндрическим оболочкам, подкрепленным шангоутами. Большое число работ посвящено определению напряженно-деформированного состояния (гидроупругой реакции) подкрепленных оболочек, помещенных в акустическую среду. В то же время процессы излучения и рассеяния звуковых волн такими объектами изучены еще недостаточно, хотя практические потребности в их исследовании постоянно возрастают.

Целью настоящей работы является разработка методики решения задач излучения и рассеяния акустических волн подкрепленными круговыми цилиндрическими оболочками; исследование происходящих при этом процессов, связанных с наличием упругих подкрепляющих элементов, в том числе изучение закономерностей звукообразования, характерных для взаимодействия акустической жидкости с ребристыми оболочками.

Научная новизна работы состоит в следующем:

- осуществлена математическая постановка и предложена методика решения задач взаимодействия с акустической жидкостью цилиндрических оболочек, подкрепленных регулярным набором стрингеров или шангоутов;
- исследованы амплитудные характеристики акустических полей, переизлученных ребристыми оболочками при воздействии на них падающей звуковой волны или гармонической сосредоточенной силы;
- проанализированы дополнительные особенности в акустических дифракционных волнах, обусловленные наличием подкрепляющих элементов.

Достоверность основных положений и научных результатов обеспечивается строгим математическим обоснованием предлагаемого подхода; исследованием точности и сходимости полученных численных решений; согласованностью в качественном смысле с известными результатами для подкрепленных пластин, а также сопоставлением с расчетами для оболочек без ребер.

Практическая ценность. Результаты, полученные в работе, могут быть использованы при анализе решений аналогичных задач гидроупругости и расчетах на динамическую прочность ребристых оболочек, так как разработанная математическая модель и созданный комплекс прикладных программ составляют основу таких исследований.

Апробация работ. Основные результаты работы докладывались на I и II Всесоюзных конференциях "Механика неоднородных структур" (г. Львов, 1983, 1987 гг.), на III республиканской конферен-

ции по прикладной гидромеханике (г. Киев, 1984 г.), на II конференции молодых ученых и специалистов "Проблемы повышения качества материалов, приборов и оборудования" (г. Львов, 1986 г.), на XIII научной конференции молодых ученых Института механики АН УССР (г. Киев, 1988 г.), на III Всесоюзном совещании-семинаре молодых ученых "Актуальные проблемы механики оболочек" (г. Казань, 1988 г.), на Всесоюзном симпозиуме "Взаимодействие акустических волн с упругими телами" (г. Таллинн, 1989 г.).

Диссертационная работа в целом обсуждалась на семинаре отдела численных методов математической физики и специализированном научном семинаре по механике деформируемого твердого тела Института прикладных проблем механики и математики им. Я.С. Подстригача АН УССР (г. Львов, 1991 г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 10 научных работ.

Объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, трех разделов, заключения, списка использованной литературы, включающего 123 наименования, а также приложения с комплексом вычислительных программ и инструкцией по их использованию. Общий объем диссертации 134 страницы, включая 39 рисунков.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснованы актуальность выбранной темы исследований, проанализировано современное состояние проблемы, кратко изложены основные результаты работы.

В первом разделе содержатся основные необходимые сведения из теории ребристых оболочек. Приведена постановка и методика решения плоской задачи рассеяния звуковых волн тонкой упругой цилиндрической оболочкой бесконечной длины, подкрепленной изнутри регулярной системой упругих продольных ребер (стрингеров, K -количество стрингеров).

Из внешней акустической среды на оболочку набегают плоская звуковая волна давления, фронт которой составляет угол $\frac{\pi}{2} - \theta_0$ с направлением $\theta = 0$ полярной системы координат r, θ . Внутри оболочки - вакуум. Распространение звуковых волн в окружающей объект акустической среде описывается линейной теорией.

В результате воздействия падающей волны на оболочку во внешней среде распространяется рассеянная волна. Задача состоит в

определении возмущенного поля давления в волновой зоне ($z \rightarrow \infty$). Движение оболочки определено в рамках линейной теории Кирхгофа-Лява, а стрингеров - в рамках теории стержней Кирхгофа-Клебша. Предполагается, что стрингеры расположены перпендикулярно к поверхности оболочки.

Дифференциальные уравнения движения ребристой оболочки имеют вид

$$\begin{aligned} L_{\alpha\beta} U_{\beta} &= q_2 \delta_{\alpha 2} \\ L_{\alpha\beta} &= L_{\alpha\beta}^0 + \tilde{L}_{\alpha\beta} \quad (\alpha, \beta = 1, 2), \end{aligned} \quad (1)$$

где $L_{\alpha\beta}$ - дифференциальные операторы теории тонких оболочек, причем $L_{\alpha\beta}^0$ - операторы, соответствующие движению собственно обшивки, а $\tilde{L}_{\alpha\beta}$ - операторы, с помощью которых учитывается влияние упругих ребер; U_{β} - компоненты вектора перемещения, q_2 - внешняя нагрузка, $\delta_{\alpha\beta}$ - символ Кронекера.

Определение рассеянного поля давления p_e состоит в совместном интегрировании волнового уравнения акустической среды и дифференциальных уравнений движения ребристой оболочки при выполнении условий контакта на поверхности раздела жидкости и упругой оболочки.

Искомые характеристики представим в виде

$$p_e = p_e^0 + \tilde{p}_e, \quad u_{\alpha} = u_{\alpha}^0 + \tilde{u}_{\alpha}, \quad (2)$$

где p_e^0, u_{α}^0 - решения задачи для оболочки без ребер, а $\tilde{p}_e, \tilde{u}_{\alpha}$ - слагаемые, с помощью которых учитываются упругие колебания стрингеров.

Задача решается с помощью интегрального преобразования Фурье по времени и методом разделения переменных при использовании аппарата обобщенных функций. В результате для фурье-спектров получаются следующие соотношения:

$$\begin{pmatrix} p_{\omega} \\ u_{\alpha} \end{pmatrix} = \sum_{\nu=0}^{\infty} \begin{pmatrix} p_0 X_{\nu}(\omega) H_{\nu}^{(1)}(\omega r) \\ u_{\alpha\nu}(\omega) \end{pmatrix} e^{i\ell \nu z}, \quad (3)$$

где ω - параметр преобразования Фурье, p_0 - постоянная, нормирующая давление, $H_{\nu}^{(1)}(x)$ - цилиндрическая функция Ханкеля первого рода. С учетом граничных условий показано, что неизвестные $X_{\nu}(\omega)$ удовлетворяют системе линейных алгебраических уравнений бесконечного порядка. Особенностью этой системы является то, что она содержит суммы вида:

$$\varphi_j^n(y_{n_i}) = \frac{2}{\kappa} \sum_{j=1}^{\kappa} \cos \frac{2\pi}{\kappa} n_j \sum_{n_i=0}^{\infty} y_{n_i} \cos \frac{2\pi}{\kappa} n_i j$$

$$\Phi_n^n(y_{n_j}) = \frac{2}{\kappa} \sum_{j=1}^{\kappa} \sin \frac{2\pi}{\kappa} n_j \sum_{n_n=1}^{\infty} y_{n_n} \sin \frac{2\pi}{\kappa} n_n j \quad (4)$$

Система уравнений допускает точное решение. С использованием свойства факторизации

$$\Phi^e[\Phi^n(h_m)g_n] = \Phi^e(g_n)\Phi^e(h_n), \quad (5)$$

имеющего место вследствие регулярности системы подкрепляющих ребер, удастся записать точное решение бесконечной системы уравнений. В результате получено представление для спектральной плотности рассеянного акустического давления в замкнутом виде. Показано, что физически его структура определяется следующими компонентами: волнами, излученными оболочкой под влиянием тангенциальных v^0 и нормальных w^0 смещений, а также углов поворота φ_0 , вызванных взаимодействием обшивки со струнгерами в местах их соединения.

Во втором разделе на основе составленного комплекса вычислительных программ применительно к ЭВМ ЕС-1060 (язык Фортран-IV) выполнен количественный анализ акустических волн, переизлученных оболочкой, подкрепленной струнгерами. Оболочка изготовлена из алюминия, а ребра - из стали.

На рис. I приведены частотные зависимости модуля амплитуды рассеяния

$$f(\theta, \omega) = \sqrt{\frac{2l}{\pi\omega}} \sum_{\tilde{e}=0}^{\infty} [f_e^0(\theta, \omega) + \tilde{f}_e(\theta, \omega)], \quad (6)$$

$$f_e^0(\theta, \omega) = E_e(-i)^e \chi_{e_0} \cos^e \theta, \quad \tilde{f}_e(\theta, \omega) = E_e(-i)^e \chi_e \cos^e \theta$$

в точке излучателя при условии, что акустическая ось удаленного излучателя проходит через одно из ребер и ось симметрии цилиндрической оболочки. Безразмерные толщина обшивки h , высота h_e и ширина b_e ребер, отнесенные к радиусу срединной поверхности оболочки R , соответственно равны 0,008; 0,0158; 0,0079. Окружающая внешняя среда - вода. Сплошные линии соответствуют подкреплению β струнгерами, штриховые - оболочке, свободной от ребер. При подсчетах шаг по частоте принимался равным $\Delta\omega = 0,025$ ($\omega = kR$, $\omega_e = k h_e$, k - волновое число в жидкости).

Анализ расчетов с выбранными параметрами обшивки и регулярной системы струнгеров показал, что частотная область существен-

$n=8$

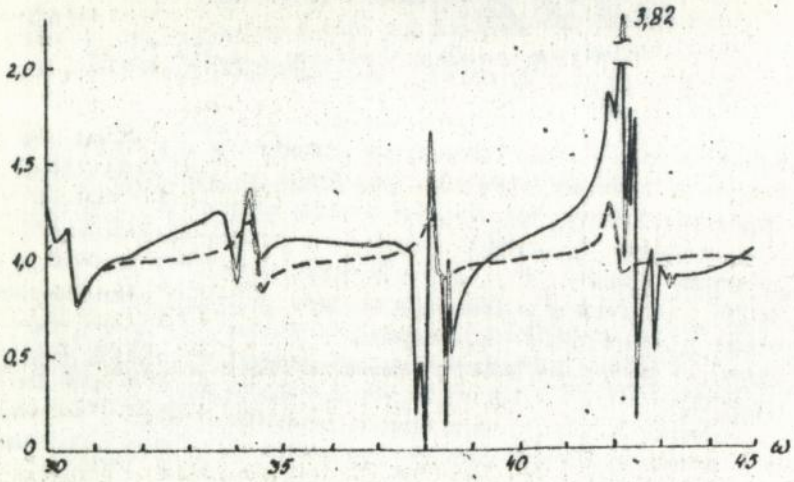
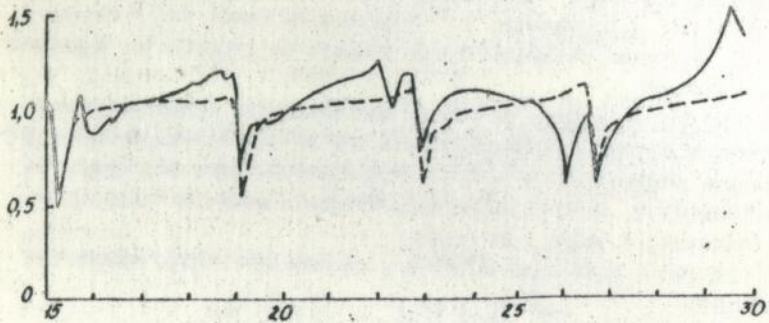
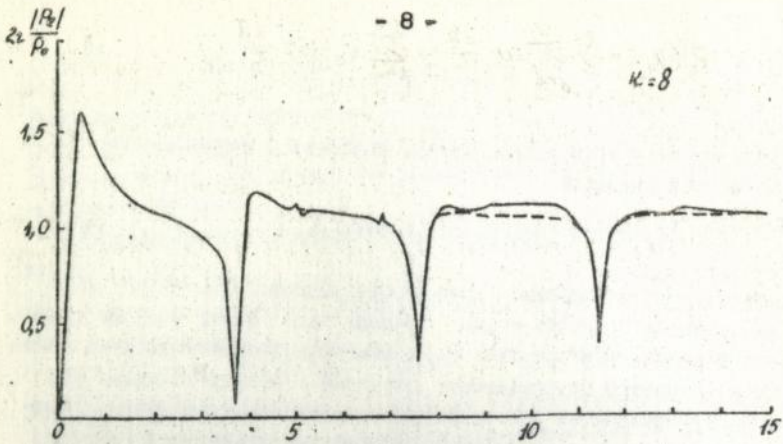


Рис. I

ного возбуждения изгибных волн оболочки довольно ограничена и отчетливо выявляется на спектре небольшим числом резонансов. Модули амплитуды рассеяния в резонансном случае носят квазирегулярный характер с резкими изменениями и достигают значений, в несколько раз превышающих амплитуду поля давления, рассеянного собственно обшивкой. Амплитудные перепады тем резче и чаще с изменением частоты, чем дискретнее размещены ребра. Резонансный характер волнового поля давления, имеющий место за счет изгибных колебаний подкрепленной оболочки, подтверждают также расчеты частотных зависимостей фазы комплексной амплитуды рассеяния.

Наличие подкрепляющей системы ребер приводит к избирательному переизлучению звука оболочкой не только по частоте, но и по углу рассеяния. Это иллюстрируют характеристики направленности, выбранные в виде $20 \lg |f(\theta, \omega)|$ (рис. 2). Подсчеты выполнены с шагом по углу $\Delta\theta = 1^\circ$ для алюминиевой оболочки с 8 стальными стрингерами. Левая часть рисунка построена при частоте $\omega = 38,075$, правая - при $\omega = 38,025$. Выбранные частоты соответственно совпадают с размещением резкого пика и глубоко впадины модуля амплитуды рассеяния в обратном направлении (на источник посылки). Сплошные линии изображают характеристики ребристой оболочки, пунктирные - собственно обшивки. Как видно, основное переизлучение осуществляется в направлении распространения первичной волны. Однако роль подкрепляющих ребер при данных частотах зондирования совершенно различна. Так, если для $\omega = 38,075$ интенсивность рассеянной энергии на ребристой оболочке не очень значительна, то уже на частоте $\omega = 38,025$ наступает полный резонанс. Аналогичные особенности звукообразования проиллюстрированы в работе и для другого количества подкрепляющих ребер.

Более глубокий анализ резонансной ситуации рассеяния звука упругой ребристой оболочкой возможен на основе рассмотрения парциальных амплитуд рассеяния. Поэтому значительное место в работе уделено изучению отдельных мультиполей ($\ell = 0, 10$). Показано, что увеличение порядка парциальных волн ℓ практически не изменяет размещения и характера резонансов (резкие пики проявляются для всех ℓ при одних и тех же значениях ω) и лишь приводит к появлению новых, дополнительных всплесков, то есть к усложнению тонкой структуры спектра. Особенности структуры резонансов обусловлены возбуждением упругого тела на собственных частотах.

В третьем разделе объектом исследования является находящаяся

$\omega = 38,075$

$K = 8$

$\omega = 38,025$

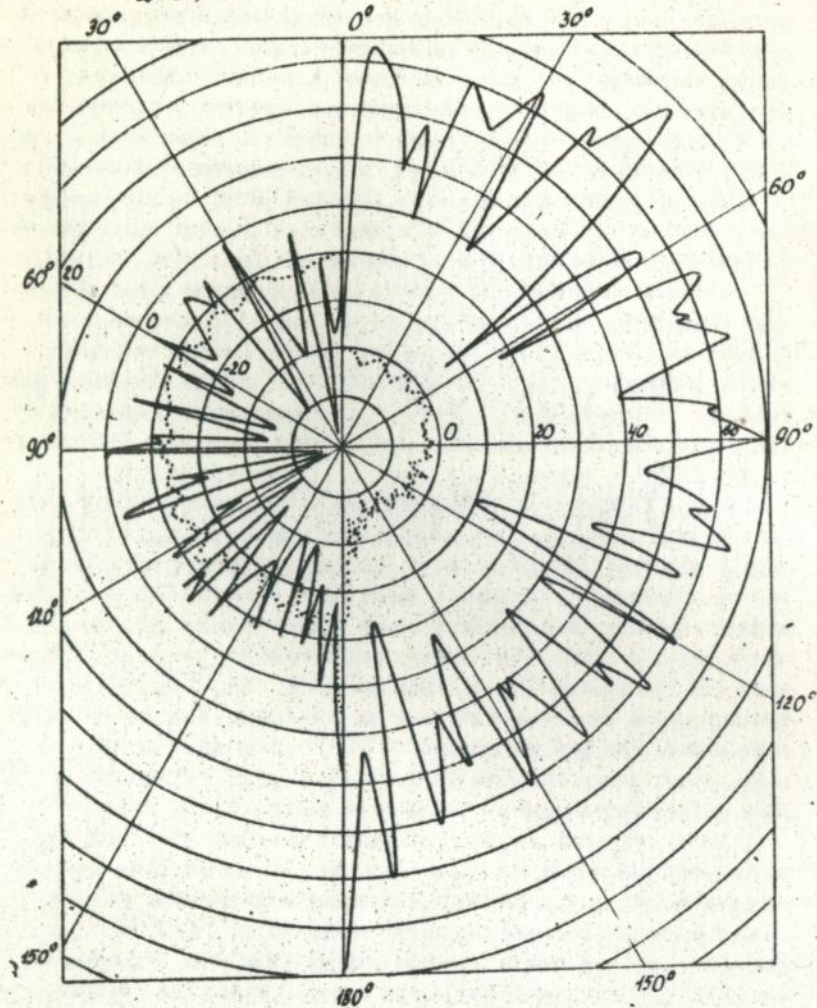


Рис. 2

яся в жидкости круговая цилиндрическая оболочка, подкреплённая изнутри регулярной системой упругих шпангоутов, изготовленных в общем случае из другого материала. По торцам оболочка шарнирно соединена с акустически жесткими полубесконечными цилиндрами. Ребра и обшивка находятся в условиях жесткого контакта. Предполагается, что оболочка окружена и заполнена акустической жидкостью и подвергается воздействию гармонической сосредоточенной силы, приложенной к поверхности обшивки.

Для определения излученного оболочкой волнового поля необходимо совместно решить уравнения распространения звука во внешней среде и в заполнителе, уравнения движения упругой оболочки, снабженной шпангоутами, и удовлетворить граничным условиям на боковой поверхности цилиндрического излучателя, на краях оболочки и по торцам цилиндрического жидкого заполнителя (концы полубесконечных недеформируемых цилиндров снабжены акустически мягкими крышками). Кроме того, должны быть выполнены условия излучения на бесконечности и ограниченности решений на оси жидкого цилиндра.

Дифференциальные уравнения движения упругой оболочки, подкреплённой шпангоутами, имеют вид

$$L_{\rho q} U_q = \alpha_0 g_z \delta_{\rho z} \quad (\rho, q = 1, 2, 3) \quad (7)$$

$$L_{\rho q} = L_{\rho q} \left(\frac{\partial}{\partial \nu}, \frac{\partial}{\partial z} \right) = L_{\rho q}^0 + \tilde{L}_{\rho q},$$

$$\tilde{L}_{\rho q} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N C_{\rho s} \left(\frac{\partial}{\partial z} \right) \delta(z - z_j) L_{sq} \left(\frac{\partial}{\partial \nu}, \frac{\partial}{\partial z} \right) \Big|_{z=z_j},$$

$$(s = 1, 2, 3, 4, \text{ по } s - \text{свертывание}),$$

где $L_{\rho q}^0$ - операторы, соответствующие движению оболочки без ребер;
 $\tilde{L}_{\rho q}$ - операторы, которыми учитывается воздействие шпангоутов;
 U_q - компоненты вектора перемещений, g_z - внешняя нагрузка,
 L - длина оболочки, N - количество шпангоутов.

Исследуется распределение скоростей по поверхности оболочки. Решение находится в виде составляющих, соответствующих излучению от собственно обшивки и ребер:

$$P_{sc} = P_{sc}^0 + \tilde{P}_{sc}, \quad U = U^0 + \tilde{U}, \quad P_r = P_r^0 + \tilde{P}_r, \quad (8)$$

P_{sc} , P_r - давления в акустических волнах, излученных во внешнюю среду и в заполнитель соответственно.

Для исследования излученного поля используется метод, описанный выше для задачи о рассеянии звука оболочкой со стрингерами.

Тогда искомые величины можно представить в виде разложений

$$U_2(\varphi, z, \omega) = \sum_{m, n, \alpha = -\infty}^{\infty} U_{2mn} e^{-i(m\varphi - \frac{2\pi n z}{L})} \begin{pmatrix} 0 \leq \varphi < 2\pi, \\ |z| < \frac{L}{2} \end{pmatrix} \quad (9)$$

Здесь тоже получается система линейных алгебраических уравнений второго рода бесконечно о порядка относительно коэффициентов разложений U_{2mn} , при решении которой используется свойство (5) для сумм

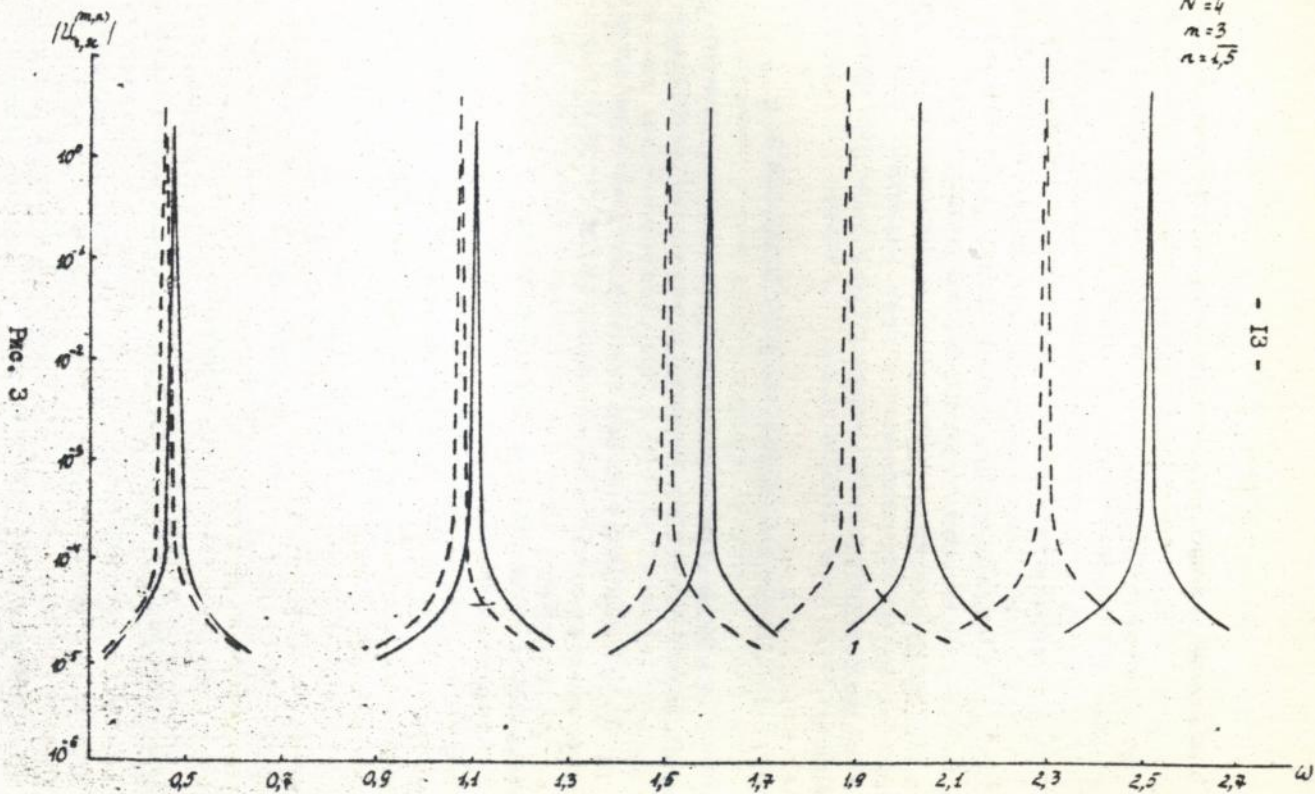
$$\Phi^2(g_{mn'}) = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \sum_{n'=-\infty}^{\infty} e^{-\frac{2\pi i}{L}(n-n')} g_{mn'} \quad (10)$$

В результате, пренебрегая взаимным влиянием различных n - и n' - форм колебаний оболочки, вызванных воздействием ребер, для нормальной скорости точек поверхности цилиндрической оболочки получаем следующее соотношение:

$$\left. \frac{\partial U_{2,sc}}{\partial z}(\varphi, z, \omega) \right|_{z=L} = -\frac{F_0}{2S_{os}} \sum_{m, n = -\infty}^{\infty} \frac{e^{-i(m\varphi + \tilde{\gamma}_n z_0 - \tilde{\gamma}_n z)}}{\tilde{Z}_{mn}^o + \tilde{Z}_{mn}^{uc} + \tilde{Z}_{mn}^z - \tilde{Z}_{mn}^{(B)}}, \quad (11)$$

где \tilde{Z}_{mn}^o - механический импеданс оболочки; \tilde{Z}_{mn}^{uc} - импеданс излучения шпангоутов; \tilde{Z}_{mn}^z - импеданс излучения в заполнитель; $\tilde{Z}_{mn}^{(B)}$ - импеданс излучения во внешнюю среду; F_0 - амплитуда вынуждающей силы; S_{os} - площадь внешней поверхности оболочки.

Ввиду сложности количественных расчетов численный анализ выполнен на основе технической теории оболочек с ребрами. Расчеты проведены для модулей амплитуд парциальных мод нормальной скорости точек поверхности стальной оболочки, подкрепленной стальными кольцами, в области низких частот. В частности, на рис. 3 изображены амплитудные кривые, отвечающие распределению одной из мод ($m=3$) нормальной скорости $|U_{2,sc}^{(m,n)}|$ точек поверхности оболочки с четным числом колец ($N=4$). Графики иллюстрируют резонансы колебаний рассматриваемой системы (сплошные линии). Штриховые линии относятся к случаю колебания оболочки без ребер. В данном примере принято расстояние между краем оболочки и близлежащим ребром, равное половине расстояния между соседними кольцами. Безразмерные толщина обшивки и ее длина, отнесенные к радиусу оболочки, соответственно равны 0,016 и 3. Аналогично для высоты и ширины шпангоутов выбраны значения 0,09 и 0,025. Частотные кривые вычислены в точке приложения силы $\varphi_0=0$, $z_0=0$. Номерами



$n = 1, 5$ определяются излучения звука при условии, что по длине оболочки укладывается n форм упругих колебаний изгибного типа. Номер m соответствует излучению, что по окружности оболочки укладывается m форм колебаний.

Из графиков видно, что с ростом частоты колебаний смещение резонансов амплитудных кривых для подкрепленной и свободной от шпангоутов оболочек становится тем больше, чем выше модовое число волны, распространяющихся вдоль оси излучателя. При этом отмечено незначительное увеличение амплитуды пиков с ростом волнового числа. Эта закономерность сохраняется и для других значений n , а также для другого количества подкрепляющих шпангоутов.

В заключении приведены основные результаты работы и краткие выводы.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ И КРАТКИЕ ВЫВОДЫ

1. Рассеяние звука тонкой упругой цилиндрической оболочкой, подкрепленной стрингерами, формируется за счет трех основных компонент:

- а) потенциального поля рассеяния (ему соответствуют гладкие части частотных зависимостей амплитудных характеристик);
- б) резонансного акустического рассеяния, формируемого за счет безмоментной формы колебаний собственно обшивки (узкие периодически повторяющиеся минимумы);
- в) резонансного переизлучения звука изгибными колебаниями оболочки за счет подкрепляющих стрингеров, имеющего место в диапазоне частот от 40 до 100 кГц в случае, если диаметр оболочки порядка одного метра.

В области низких частот превалирующими являются безмоментные колебания собственно обшивки. В диапазоне частот, для которого существенно влияние изгибных колебаний конструкции, основной вклад в рассеянное поле составляет переизлучение от ребер.

2. В амплитудном отношении спектральные компоненты акустического давления, вызванного переизлучением звука ребрами, значительно превосходят фоновое рассеяние, соответствующее оболочке без ребер. При определенном числе стрингеров узкие резонансы амплитуды рассеяния от ребристой оболочки почти в два раза выше фонового уровня.

3. Анализ тонкой структуры парциальных амплитуд рассеяния

показал, что влияние ребер на переизлучение звука оболочкой при колебании ее в основном, монопольном тоне практически не проявляется. Рассеяние при этом обусловлено отражательной способностью собственно обшивки. На высших обертонах, начиная с дипольного, видно присутствие ребер, причем обусловленные ими колебания захватывают область низких частот, т.е. ту область, где изгибные колебания собственно обшивки еще не заметны.

Таким образом, резкие резонансы спектра акустического давления в области низких частот служат признаком наличия подкрепляющих элементов у оболочки. Кроме этого, возбуждение высших форм колебаний (увеличение порядка парциальных волн) практически не изменяет размещения и характера резонансов и лишь приводит к появлению новых всплесков, т.е. к усложнению тонкой структуры спектра.

4. Наличие внутренних шпангоутов, подкрепляющих цилиндрическую оболочку конечной длины в жидкости, приводит к сдвигу резонансов в сторону низких частот и к уменьшению амплитудных уровней нормальных скоростей, распределенных по излучающей поверхности, не меняя при этом тонкой структуры спектра. Значит, оболочка с ребрами ведет себя аналогично оболочке, изготовленной из конструктивно-ортотропного материала.

Основные результаты диссертации опубликованы в статьях:

1. Поддубняк О.П., Волошин О.Р. Резонансы звуковых волн круговой цилиндрической оболочкой, подкрепленной стрингерами // Док. АН УССР. Сер.А. - 1984. - № 10. - С. 40-43.
2. Поддубняк А.П., Волошин А.Р. Локализованное воздействие звукового пучка на упругую цилиндрическую оболочку // Мат. методы и физ.-мех. поля. - 1984. - 20. - С. 82-86.
3. Подстригач Я.С., Поддубняк А.П., Пороховский В.В., Зверев С.К., Дзюбачик Н.И., Емец В.Ф., Волошин А.Р. Некоторые новые аспекты исследования акустических сигналов, рассеянных деформируемыми телами в воде. - В кн.: Проблемы гидромеханики в освоении океана. Ч. II. А. Гидромеханика средств освоения и излучения океана. Материалы III республиканской конференции по прикладной гидромеханике. - Киев, 1984. - С. 40-41.
4. Волошин А.Р., Дзюбачик Н.И., Поддубняк А.П. Рассеяние звуковых волн упругой ребристой цилиндрической оболочкой. - В кн.: Механика неоднородных структур. Тезисы докладов I Всесоюзной конференции. - Львов, 6-8 сент. 1983. Киев: Наук. думка, 1983.

И В О С С Р

463055

1983. - С. 44-45.
5. Волошин О.Р., Поддубняк О.П. Анализ спектровых характеристик звукового поля, розсіяного пружною циліндричною оболонкою, підкріпленою стрингерами // Доп. АН УРСР. Сер.А. - 1986. - № 6. - С. 23-27.
 6. Волошин А.Р. Централіно-симетрична задача розсіяння звука підкріпленою циліндричною оболонкою. - В кн.: Проблеми підвищення якості матеріалів, приборів і обладнання. Матеріали 2 конференції молодих учених і спеціалістів. - Львов, 21-23 окт. 1986. - Львов, 1986. - С. 13-17. - Деп. в ВІДІТИ 5.10.87. № 7120-В87.
 7. Волошин А.Р., Поддубняк А.П., Пороховський В.В. Взаємодія акустических волн с циліндрическими неоднородними структурами. - В кн.: Механіка неоднородних структур. Тезиси докладов ІІ Всесоюзної конф. - Львов. 1987. - Т. 2. С. 63-64.
 8. Волошин А.Р. Исследование резонансных характеристик волнового поля, рассеянного цилиндрической оболочкой, подкрепленной стрингерами // Труды XIII научной конф. молодых ученых Ин-та механики АН УССР. Киев, 1988. - С. 328-331. - Деп. в ВІДІТИ 27.12.88. № 9072-В88.
 9. Волошин А.Р. Формы гидроупругих колебаний конечной цилиндрической оболочки, подкрепленной регулярным набором шпангоутов. - В кн.: Актуальные проблемы механики оболочек. Тезиси докладов ІІІ Всесоюзн. совещания-семинара молодых ученых. - Казань, 1988. - С. 40.
 10. Волошин А.Р. Исследование особенностей гидроупругих колебаний конечной цилиндрической оболочки, подкрепленной регулярным набором шпангоутов. В кн.: Всесоюзный симпозиум "Взаимодействие акустических волн с упругими телами". - Таллинн, 26-27 окт. 1989. - С. 55-58.

Вин

4

Подписано к печати 16.05.91 Формат 60x84/16
 Бумага тип. Печ. офсет. Усл. печ. л. Усл. краск. ст. 7
 Учет. изд. л. 1 Тираж 100 Зап. № 83 Бесплатно.

Ротапринт Львовской научной библиотеки им. И. Стефаника,
 290601, г. Львов - центр, ул. Держомтова, 15.

288