

АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНСКОЙ ССР
ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНЫХ ПРОБЛЕМ МЕХАНИКИ
И МАТЕМАТИКИ им. Я. С. ПОДСТРИГАЧА

На правах рукописи

ГОРЕЧКО
Романа Романовна

УДК 539.3

**ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ УПРУГОЙ РЕБРИСТОЙ
ОГРАНИЧЕННОЙ ПЛАСТИНЫ
С АКУСТИЧЕСКОЙ ВОЛНОЙ**

Специальность — 01.02.04
механика деформируемого твердого тела

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук



00815713 (P)

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

Научный руководитель — доктор технических наук, профессор Г. В. ПЛЯЦКО.

Официальные оппоненты: член-корреспондент АН УССР, доктор физико-математических наук, профессор В. Т. ГРИНЧЕНКО; кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник А. П. ПОДДУБНЯК.

Ведущая организация: Таллинский технический университет.

Защита состоится « 28 » октябрь 1991 г. в 15-00 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 им. Я. С. Подстригача АН УССР (г. Львов, ул. Научная, 3 «Б»).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института прикладных проблем механики и математики им. Я. С. Подстригача 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 « 27 » сентябрь 1991 г.

Ученый секретарь
специализированного совета

П. Р. ШЕВЧУК

ЛННБ ім. В. Стефаніка
АН УРСР

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Настоящая работа посвящена исследованию процессов, возникающих в результате взаимодействия тонкой упругой ребристой пластины ограниченных размеров с волной в акустической среде. Эти исследования весьма актуальны с точки зрения как теории, так и практических применений. Усиленные ребрами жесткости тонкие упругие ограниченные пластины являются элементами реальных инженерных конструкций, широко применяемых в различных областях техники. При упругом взаимодействии такого рода конструкций специфика их структуры оказывает существенное влияние на напряженно-деформированное состояние конструкции и на волновые процессы в окружающей среде. Сложность этих процессов обуславливает необходимость создания теоретических моделей, позволяющих с достаточной точностью и достоверностью исследовать основные закономерности дифракции и рассеяния акустических волн ребристыми конструкциями. В математическом отношении такое исследование сводится к решению соответствующих краевых задач математической физики при дополнительных условиях, описывающих поведение конструкции в точках подкрепления.

Существенный вклад в исследование подкрепленных ребрами жесткостью оболочек и пластин, их напряженно-деформированного состояния, динамических характеристик, а также создаваемых ими акустических полей внесли И.Я.Амиро, Б.П.Белинский, В.М.Бернблит, Э.И.Григолюк, А.Г.Горшков, В.А.Зарудный, И.П.Коновалюк, Д.П.Коузов, В.Н.Красильников, Т.Л.Мартынович, Я.А.Метсавээр, А.К.Перцев, А.П.Поддубняк, В.Н.Романов, Е.А.Чернуха, Р.Н.Швец, Е.Л.Шендеров, Е.Гергер, Д.Бергледд, М.Джангер, Д.Клознер, Д.Крайтон, Б.Мэйс, Г.Майданик и др.

К настоящему времени достаточно глубоко изучены процессы дифракции и рассеяния на бесконечных ребренных пластинах. Особенности рассеяния акустических волн ограниченными пластинами без ребер жесткости открыты экспериментально и обоснованы теоретически в работах

Л.М.Лямшева, Е.Л.Шендерова, С.И.Кречмера, С.Н.Ржевкина, В.Финня, Д.Фая. Однако недостаточно изученными остаются вопросы рассеяния акустических волн подкрепленными ребрами жесткости пластинами ограниченных размеров, имеющие большое прикладное значение.

Целью настоящей работы является исследование особенностей акустического рассеяния упругими ограниченными пластинами, подкрепленными конечным числом параллельных ребер жесткости. Для достижения этой цели необходимо построить математическую модель акустического рассеяния подкрепленной пластиной, адекватно описывающую процессы гидроупругого взаимодействия; разработать на основании этой модели методику решения задач рассеяния и провести анализ закономерностей, характеризующих взаимодействие упругих ребристых ограниченных пластин с акустической средой.

Научная новизна работы состоит в следующем:

- осуществлена математическая постановка и предложена методика решения задач взаимодействия подкрепленных ребрами жесткости упругих ограниченных пластин с акустической средой;
- получены аналитические и численные результаты, позволившие исследовать влияние подкрепляющей системы на процесс рассеяния, в частности, на эффект незеркального отражения.

Достоверность основных положений работы и научных результатов обеспечивается корректностью постановки задач, строгостью применяемых методов их решения, тщательным исследованием точности и сходимости при проведении численных расчетов, согласованностью выводов и решений с известными в литературе теоретическими выводами и численными результатами.

Практическая ценность работы: заключается в том, что полученные результаты использованы в эхо-локации, а также могут применяться при разработке неразрушающих методов контроля в акустодиагностике. Они могут составить основу для анализа процесса волнообразования тонкими упругими ограниченными пластинами при более сложной структуре подкре-

плекщей системы, для расчета ограниченных ребристых пластин на динамическую прочность.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались на XI конференции молодых ученых Института прикладных проблем механики и математики АН УССР /Львов, 1985/, II, III Всесоюзных конференциях "Механика неоднородных структур" /Львов, 1987, 1991/, Всесоюзном симпозиуме "Взаимодействие акустических волн с упругими телами" /Таллинн, 1989/, XI Всесоюзной акустической конференции /Москва, 1991/. В целом работа докладывалась на семинаре по механике деформируемого твердого тела Института прикладных проблем механики и математики АН УССР им. Я.С.Подстригача /Львов, 1991/.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 5 научных работ.

Объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы, включающего 124 наименования, а также приложения, в котором представлена справка об использовании результатов работы. Общий объем диссертации 133 с., включая 41 рисунок.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Введение содержит обоснование актуальности исследуемой проблемы, обзор литературы по задачам рассеяния и излучения ребристыми оболочками и пластинами, краткую аннотацию работы по главам.

В первой главе пригедена постановка задачи рассеяния плоской акустической волны на тонкой упругой ограниченной пластине, подкрепленной набором из M параллельных ребер жесткости.

На ограниченную упругую пластину с линейными размерами $2a \times 2b$, шарнирно закрепленную по краям в бесконечном абсолютно жестком экране, совпадающем с плоскостью XOY , падает под произвольным углом гармоническая волна давления. Пластина подкреплена тонкими параллельными оси Oy ребрами и по неподкрепленной стороне контактирует с аку-

стической средой. Необходимо определить рассеянное поле давлений, возникшее в результате гидроупругого взаимодействия.

Деформация пластины описана уравнением изгиба пластин Кирхгофа-

Лява
$$D \Delta^2 w - \rho_0 h \omega^2 w = \sum_{k=1}^M [P_k(y) \delta(x-x_k) + M_k(y) \delta'(x-x_k)] + p|_{z=0}; \quad |x| \leq a, |y| \leq b, /1/$$
 где $w(x,y)$ - прогиб пластины, $D = Eh^3/12(1-\nu^2)$ - ее цилиндрическая жесткость, E, ν, ρ_0 - физические параметры материала, p - суммарное давление в акустическом полупространстве $z > 0$, $P_k(y)$ и $M_k(y)$ - сосредоточенные усилия и моменты, реакции ребер жесткости, действие на пластину которых локализовано на прямых, совпадающих с линиями подкрепления и наделенных определенными механическими свойствами. В общем случае жесткого крепления к пластине произвольного ребра его реакции выражаются соотношениями

$$P_k(y) = \sum_{i+j \leq 4} p_{ij}^{(k)} \delta^{i+j} w / \partial x^i \partial y^j |_{x=x_k};$$

$$M_k(y) = \sum_{i+j \leq 4} m_{ij}^{(k)} \delta^{i+j} w / \partial x^i \partial y^j |_{x=x_k}, \quad /2/$$

p_{ij}, m_{ij} - постоянные, зависящие от физико-механических и геометрических характеристик ребер.

Математически задача состоит в совместном решении уравнения изгибных колебаний пластины /1/ и уравнения распространения акустических волн при условиях шарнирного опирания краев пластины, условиях безотрывного контакта на границе раздела жидкости и упругой пластины, а также условиях в точках подкрепления. Для рассеянного давления должно также выполняться условие излучения на бесконечности. Представив давление в рассеянной волне с помощью интегральной формулы Гюйгенса, приходим к разрешающему интегродифференциальному уравнению поставленной смешанной задачи гидроупругости, которое необходимо решить при условиях шарнирного опирания краев пластины и условиях в точках подкрепления.

В плоском случае задача сведена к решению интегродифференциального уравнения

$$D d^4 w(x)/dx^4 - \rho_0 h \omega^2 w = \sum_{m=1}^M [F_m \delta(x-x_m) + M_m \delta'(x-x_m)] + \quad /3/$$

$$+ 2\rho_0 \exp(-ik_x x) + \frac{i\rho\omega^2}{4} \int_{-a}^a H_0^{(1)}(k|x-\xi|) \omega(\xi) d\xi$$

при граничных условиях и условиях в точках сопряжения пластины с подкрепляющими ребрами

$$F_m = i\omega Z_{Fm} w(x_m); \quad M_m = i\omega Z_{Mm} w'(x_m). \quad /4/$$

Получено выражение для рассеянного давления в дальнем поле $R \gg a$.

Во второй главе рассмотрена методика решения плоской задачи рассеяния оребренной пластиной на примере рассеяния пластиной в экране, подкрепленной одним ребром жесткости. Проведен анализ влияния ребра на переизлученное поле и эффект незеркального отражения.

Решение задачи построено методом разложения искомым величин в ряды по собственным формам колебаний свободной шарнирно опертой по краям упругой безреберной пластины $\varphi_n(x) = \sin \frac{\pi n}{2a}(a-x)$, составляющих полную ортогональную систему на промежутке $[-a, a]$. Для определения неизвестных коэффициентов разложения получена бесконечная система линейных алгебраических уравнений, которая в векторной форме записи имеет вид

$$A \bar{w} = F \bar{f}_0 + M \bar{f}_1 + \bar{p}, \quad /5/$$

где $A = \{a_{mn}\} = \{\rho_0 h (\omega_n^2 - \omega^2) - i\rho\omega^2 a H_{mn}/4\}$; $\bar{f}_0 = (\varphi_1(x_0), \dots)^T$;

$$\bar{f}_1 = (\varphi_1'(x_0), \dots)^T; \quad H_{mn} = a^{-2} \int_{-a}^a \int_{-a}^a H_0^{(1)}(kz) \varphi_n(x) \varphi_m(\xi) dx d\xi,$$

x_0 - координата точки подкрепления. С помощью операций матричной алгебры из /5/ получено выражение для прогиба $w(x)$ через неизвестные реакции ребра F и M . С использованием условий сопряжения /4/ система /5/ сведена к системе второго порядка относительно F и M , решение которой определяет функцию $w(x)$. При известном перемещении соотношения для рассеянного поля давлений в общем виде выражается с помощью интегральной формулы Гюйгенса.

Исходя из того, что для достаточно высоких форм колебаний $Ra \gg 10$ взаимодействием между различными формами можно пренебречь, построено аналитическое выражение для рассеянного давления в области высоких частот. В дальнем поле оно имеет вид

$$p_n(x, z) = i\rho\omega^2 a/4 \sqrt{2/\pi(x\gamma_x + z\gamma_z)} \exp[i(x\gamma_x + z\gamma_z) - \frac{\pi i}{4}] \times$$

$$\times \left\{ \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2(-1)^{n+1}/\rho_0 h}{\omega_n^2 - \omega^2 - i\rho\omega^2 a H_{nn}/4\rho_0 h} \cdot F_n(k_x) F_n(\gamma_x) \right\}$$

$$-\sum_{n=1}^{\infty} \frac{i^{n+1}/g_0 h}{\omega_n^2 - \omega^2 - iq\omega^2 a H_{nn}/4g_0 h} [F\varphi_n(x_0) + M\varphi_n'(x_0)] F_n(\gamma x); \quad (R \gg a),$$

где $F_n(s) = \sin(\pi n/2 + s)/(\pi n/2 + s) - (-1)^n \sin(\pi n/2 - s)/(\pi n/2 - s); (n = \overline{1, \infty})$, F и M выражены с помощью тригонометрических рядов. Кратко описана процедура вычисления входящего в решение двойного интеграла и проведено ускорение сходимости рядов, определяющих F и M .

В результате аналитического исследования первого слагаемого решения /6/, описывающего давление, переизлученное безреберной пластиной, дана интерпретация механизма волнообразования при зеркальном и незеркальном отражении, а также формирования тонкой структуры переизлучения безреберной пластиной исходя из анализа цилиндрических волн, излучаемых концами возбужденной пластины. Отмечено также, что амплитуда незеркально переизлученной волны почти вдвое меньше амплитуды зеркального отражения.

Второе слагаемое решения /6/ определяет вклад в переизлученное поле давления подкрепляющего ребра. Анализ влияния ребра жесткости на формирование эхо-сигнала проведен на основе численных расчетов.

Объектом числовых исследований стала алюминиевая пластина ширины $a = 16$ см и толщины $h = 8$ мм, подкрепленная ребром жесткости и контактирующая с водой. Основные результаты проиллюстрированы с помощью диаграмм направленности, полярных характеристик $|\varphi = \varphi_1|$ и амплитудно-частотных характеристик /АЧХ/ обратного рассеяния, рассчитанных при различных способах подкрепления, координатах точки подкрепления и частотах зондирующей волны. Сравнение этих характеристик с соответствующими характеристиками, полученными для безреберной ограниченной пластины, показало, что наличие подкрепляющего ребра жесткости независимо от координаты и способа его крепления приводит к взаимному перераспределению амплитуд зеркального и незеркального отражения в сторону увеличения незеркального пика. Изменяется структура незеркального переизлучения, которая зависит от расположения подкрепляющего ребра. Центральное подкрепление или смещение ребра в направлении падающей волны сопровождается расширением углового диапазона незеркального отра-

жения за счет увеличения количества незеркальных пиков. При смещении ребра в противоположном направлении их количество уменьшается. Положение пиков определяется резонансными свойствами образованных в результате подкрепления пролетов. Для диаграмм направленности подкрепленной ребром жесткости пластины характерна более четко выраженная тонкая структура переизлучения.

Наиболее существенно на формирование структуры переизлучения оребренной пластины.. влияет дальний по отношению к источнику излучения пролет. Это хорошо иллюстрируют АЧХ обратного рассеяния, рассчитанные в дальнем поле при различных координатах жесткого подкрепления пластины /рис.1/. Сплошной линией показана АЧХ безреберной пластины, штриховой - АЧХ в случае центрального подкрепления, штрих-пунктирной - соответствующая кривая при $x_0/a = 0,5$. Пики приведенных кривых образованы за счет резонансных свойств дальнего по отношению к источнику излучения пролета, а с увеличением его ширины их количество возрастает.

В третьей главе рассмотрена плоская задача гидроупругости для шарнирно закрепленной в жестком экране тонкой упругой ограниченной пластины, подкрепленной системой параллельных ребер жесткости, которая сводится к решению интегродифференциального уравнения /3/ при условиях сопряжения /4/. Для решения задачи использована предложенная во второй главе методика, в результате чего для определения неизвестных коэффициентов разложения получена бесконечная система линейных алгебраических уравнений

$$A \bar{w} = \sum_{x_m} [F_m \bar{f}_{0m} + M_m \bar{f}_{1m}] + \bar{p}.$$

С помощью подхода, изложенного во второй главе, эта система сведена к полной системе линейных алгебраических уравнений порядка $2M$ относительно реакций ребер $F_m, M_m/m = \bar{I}_m$, решение которой определяет прогиб $w(x)$, т.е. является формальным решением исходной задачи. Приведены значения коэффициентов системы в частных случаях шарнирного опирания и жесткой заделки в точках подкрепления.

Рассмотрена также коротковолновая асимптотика решения. На основании первой интегральной формулы Гюйгенса построено соотношение, определяющее рассеянное поле давлений в области высоких частот при $R \gg a$ как суперпозицию давления, переизлученного в результате изгибных колебаний безреберной пластины, и давления, обусловленного влиянием подкрепляющих ребер на процесс рассеяния.

Числовое исследование влияния подкрепляющей системы ребер на структуру эхо-сигнала проводилось на примере пластины, подкрепленной двумя ребрами жесткости. Из полученных диаграмм направленности следует, что с увеличением количества ребер жесткости усиливается переизлучение в незеркальном направлении при одновременном уменьшении амплитуды зеркального пика. Увеличивается также количество зеркальных и незеркальных пиков, причем дополнительные пики возникают на углах, меньших углов максимального отражения от безреберной пластины. Их возникновение объясняется тем, что для образованных в результате подкрепления пролетов шириной $2l < 2a$ при заданной частоте зондирования имеет место пространственный резонанс, определяемый условием $|k_x| - |k_x'| = \frac{\pi}{2}$ и являющийся одним из двух факторов, обуславливающих возникновение незеркального отражения от ограниченной пластины шириной $2l$. Положение пиков определяется из приведенного условия, а их амплитуда меньше, чем максимально возможная амплитуда зеркального и незеркального отражения для пролета шириной $2l$, так как в данном случае отсутствует второй фактор максимального рассеяния - частотный резонанс.

На рис.2 штриховой линией представлена диаграмма направленности рассеянного звукового поля от пластины, жестко подкрепленной в точках с координатами $x_1/a = -0,5$; $x_2/a = 0,0$. Сплошной линией приведена диаграмма направленности для безреберной пластины. Расчет диаграмм производился при частоте максимального рассеяния для безреберной пластины при выбранном угле падения $\alpha = 33,34$; $\varphi_1 = 3121^\circ$. Как видно из графика, дополнительные пики возникли на углах $\varphi_1 = 15,1^\circ$; $21,6^\circ$. Аналогичный анализ в работе проведен для большего количества ребер.

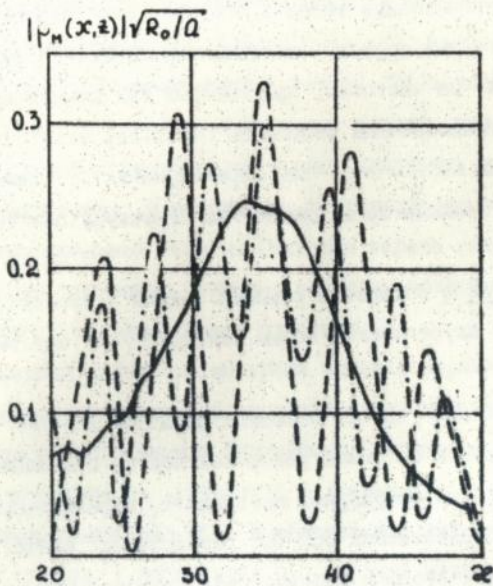


Рис.1

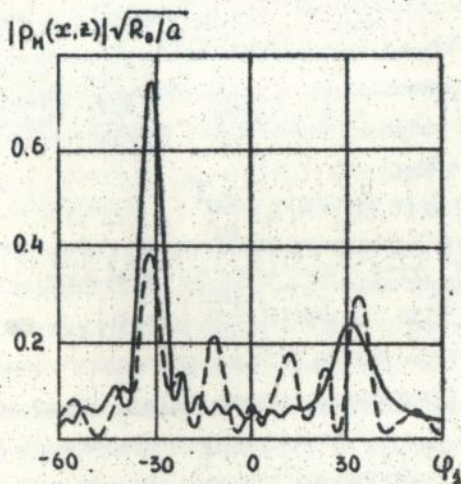


Рис.2

Анализ АЧХ обратного рассеяния показал, что с увеличением количества пролетов максимальный вклад в переизлучение вносит наиболее отдаленный от источника пролет - максимальные значения амплитуды кривой АЧХ достигаются на частотах, при которых для данной ширины пролета возникает пространственный резонанс. Плотность таких частот возрастает с увеличением ширины пролета. Переизлучение от ближайшего к источнику излучения пролета не оказывает на структуру эхо-сигнала существенного влияния.

В четвертой главе построено решение задачи и проведен анализ процесса рассеяния акустической волны конструктивно ортотропной пластины.

Рассмотрена тонкая изогнутая пластина размером $2a \times 2b \times h$, подкрепленная перекрестной системой ребер жесткости, состоящей из двух взаимноперпендикулярных регулярных наборов M_1 параллельных оси Oy /продольных/ и M_2 параллельных оси Ox /поперечных/ ребер, на которую с неподкрепленной стороны набегают под произвольным углом плоская звуковая волна.

В работе на основании предложения И.Л.Амиро, Б.А.Заруцким методом построения конструктивно ортотропной модели оболочек получено уравнение движения конструктивно ортотропной пластины, которое в случае подкрепления пластины ребрами, описанными в рамках теории стержней Кирхгофа-Клебша, имеет вид

$$D \nabla^4 w - \rho_0 h \omega^2 w + M_1 / 2a [E_1 (J_{x1} + H_1^2 F_1) \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} - \rho_1 F_1 \omega^2 w + G_1 J_{kp1} \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \rho_1 J_{kp1} \omega^2 \frac{\partial^2 w}{\partial x^2}] + M_2 / 2b [E_2 (J_{y2} + H_2^2 F_2) \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} - \rho_2 F_2 \omega^2 w + G_2 J_{kp2} \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \rho_2 J_{kp2} \omega^2 \frac{\partial^2 w}{\partial y^2}] = P|_{z=0} \quad (7)$$

где ρ_i , E_i , G_i - плотность, модуль Юнга и модуль сдвига материала ребер, F_i , $J_{kp i}$ - площади поперечного сечения ребер и момент его инерции при кручении / $i = 1, 2$ /, J_{x1} и J_{y2} - момент инерции поперечного сечения ребер относительно осей, параллельных соответственно Ox и Oy и проходящих через центр тяжести поперечного сечения соответствующего ребра.

Для определения рассеянного пластиной волнового поля необходимо совместно проинтегрировать дифференциальное уравнение изгибных колебаний конструктивно ортотропной пластины [7] и волновое уравнение акустической среды с учетом граничных условий, условий контакта на поверхности раздела жидкости и упругой пластины, а также условия излучения Зоммерфельда. В результате представления рассеянного давления с помощью интегральной формулы Гюйгенса задача сведена к интегродифференциальному уравнению, решение которого должно удовлетворять условиям шарнирного опирания краев пластины.

Как частный случай рассмотрена плоская задача рассеяния конструктивно ортотропной пластиной, которая с использованием метода разложения в ряды по собственным функциям $\varphi_n(x)$ сведена к решению систем линейных алгебраических уравнений бесконечного порядка относительно коэффициентов разложения ω_n . В области высших частот построено решение этой системы в явном виде и с помощью интегральной формулы Гюйгенса получено аналитическое выражение рассеянного давления в данном поле

$$P_n(x, z) = \frac{i\omega^2 a}{4} \sqrt{\frac{2}{T(x\gamma_x + a\gamma_a)}} \exp\left[i(x\gamma_x + z\gamma_a) - \frac{\pi i}{4}\right] \times$$

$$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{2(-1)^n F_n(k_x) F_n(\gamma_x)}{\omega_{ns}^2 - \omega^2 \left[\frac{\pi^2 n^2}{4a^2} J_{\pi n}^2 + F_n \right] \frac{M_1 \rho_1}{2a} + \frac{\rho_2}{\ell_a} F_n + \rho_0 h} - i\omega \frac{4\rho c}{\cos \varphi};$$

где

$$\omega_{ns}^2 = [D + E_2/\ell_x (J_{\pi n}^2 + M_2^2 F_n)] (\pi n/2a)^4.$$

Полученное соотношение по своей структуре соответствует первой составляющей формулы [6], определяющей рассеяние безреберной пластиной давление. Следовательно, структура угловых характеристик рассеяния конструктивно ортотропной пластиной должна быть близкой к структуре соответствующих кривых для безреберной пластины. Это подтверждают полученные диаграммы направленности, рассчитанные при различных частотах зондирования, шагах подкрепления и линейных размерах поперечных сечений подкрепляющих ребер.

Численный эксперимент с целью изучения особенностей рассеяния звука конструктивно ортотропной пластиной проведен для алюминиевой

пластины, то, крепя ее ортогональной системой алюминиевых ребер жесткости. Геометрические параметры и характеристики материала пластины приведены во второй главе. Ширина ребер $d=h$ принята одинаковой для обеих систем. Численные расчеты показали, что она незначительно влияет на картину рассеяния. Как следует из графиков, продольное и поперечное подкрепление по разному влияет на переизлученное пластиной звуковое давление. Для использованной модели ребер продольная система изменяет только инерционные свойства пластины, что сопровождается изменением амплитуды и ширины незеркального пика. Поперечная система существенно влияет на жесткость, а следовательно, и на положение зеркальных пиков.

Сравнения полученных результатов с угловыми характеристиками рассеяния на безреберной пластине и на реберной, описанной с учетом дискретного размещения ребер /глава третья/ показывает, что модель конструктивно ортотропной пластины может быть использована при количестве продольных ребер $M_1 > 10$, а влияние поперечной системы проявляется при условии $H_2/l_2 > 0,01$.

В заключении кратко сформулированы полученные результаты и приведены основные выводы.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ И НЕКОТОРЫЕ ВЫВОДЫ

Построена математическая модель, а также предложена и реализована методика решения задач рассеяния звуковых волн упругими пластинами ограниченной ширины в экране, подкрепленными набором параллельных ребер жесткости. Контакт с акустической средой осуществлен по неподкрепленной стороне. При построении решения использован метод разложения в ряды по собственным формам колебаний зерберной пластины, первая интегральная формула Гюйгенса и аппарат обобщенных функций.

В трехмерном и плоском случаях построена математическая модель взаимодействия акустического полупространства с прямоугольной пластиной в экране, подкрепленной ортогональной системой регулярных ребер с

параллельной осям координат ориентацией, основывающаяся на описании в. ведения пластины уравнениями конструктивно ортотропной пластины. Решение задачи построено методом разложения по собственным формам колебаний изотропной пластины.

Дана интерпретация формирования особенностей структуры переизлученного упругой ограниченной безреберной пластины поля давления на основе анализа цилиндрических волн излучаемых концами возбужденной пластины.

Проведен анализ влияния подкрепляющей системы ребер жесткости на процесс рассеяния и эффект незеркального отражения на основании численно полученных характеристик переизлученного давления, в результате чего сделаны следующие выводы:

1. Для безреберной пластины амплитуда незеркального отражения почти вдвое меньше амплитуды рассеянного в зеркальную сторону давления.

2. Наличие ребра жесткости приводит к уменьшению отражения в зеркальную сторону и увеличению переизлучения в незеркальном направлении, а также к изменению структуры незеркального переизлучения в зависимости от расположения подкрепляющего ребра. Количество незеркальных пиков увеличивается при смещении точки подкрепления от центра в направлении падения волны и уменьшается в противоположном случае.

3. При увеличении количества ребер увеличивается количество пиков переизлучения в зеркальную и незеркальную стороны.

4. Направление пиков переизлученного реберной пластиной звукового поля определяется резонансными свойствами образованных в результате подкрепления пролетов. Основной вклад в формирование резонансной структуры переизлучения вносит наиболее отдаленный от источника излучения пролет.

5. В случае подкрепления упругой ограниченной пластины регулярной системой ребер жесткости с продольной /вдоль оси oy / или поперечной /вдоль оси ox / ориентацией структура переизлученного поля соответствует структуре переизлучения от безреберной пластины. Положение

пика зеркального переизлучения не изменяется, а положение пика незеркального отражения определяется приведенной жесткостью пластины.

6. Поперечное подкрепление значительно сильнее в сравнении с продольным влияет на жесткость конструктивно ортотропной пластины, а следовательно, и на характер переизлученного давления. Влияние ребер на эффект незеркального отражения проявляется при $H_2/l_2 > 0,01$, а при $H_2/l_2 \geq 0,8$ четкое распределение диаграммы направленности на зеркальный и незеркальный пики заменено переизлучением в произвольных направлениях при одновременном уменьшении величины амплитуды на порядок.

7. Влияние продольного подкрепления проявляется в усилении инерционных свойств пластины, влияющих на амплитуду и ширину незеркального пика. С ростом массы ребер инерционность пластины возрастает.

Основные результаты диссертации изложены в следующих статьях:

1. Горечко Р.Ф. Рассеяние звуковой волны конструктивно неоднородной ограниченной пластиной // Механика неоднородных структур. Тезисы докл. II Всесоюзной конф. Львов, 2-4 сент. 1987 г. - Львов, 1987. - Т.1, с. 73.
2. Горечко Р.Ф. Рассеяние звуковой волны пластиной ограниченных размеров с конструктивной неоднородностью // Материалы XI конф. молодых ученых Ин-та прикл. пробл. мех. и мат. АН УССР. Львов, 1-3 окт. 1986 г. - Львов, 1987. - Ч.2, с. 53-57. - Деп. в ВИНИТИ 17.12.1987. № 1089-1387 Деп.
3. Горечко Р.Ф., Демчук В.И., Максимович В.Н., Пляцко Г.В. Применение метода интегральных уравнений к решению задач рассеяния акустических волн упругими телами // Материалы Всес. симпозиума "Взаимодействие акустических волн с упругими телами". Таллинн, -27 окт. 1989 г. краткие тезисы докл. - Таллинн, 1989 - С. 64-68.
4. Горечко Р.Ф., Пляцко Г.В. Влияние конструктивных неоднородностей на незеркальное рассеяние звука ограниченной конструктивно неоднородной пластиной // Материалы XI Всес. акуст. конф., Москва, 24-28

июня 1991г. Краткие тезисы докл.-М.:1991г. - С. 13.

5. Горшко Р.Р., Пляцко Г.В. Влияние периодической системы неоднородностей на незеркальное отражение звука ограниченной пластиной в экране // Механика неоднородных структур. Тезисы докл. III Всес. конф. Львов, сентябрь 1991 г. - Львов, 1991. - Ч.1, с. 85.

Гор

Подписано к печ. 29.09.91. Формат 60x84/16. Печать оф. ст. Гумара
офсет. Усл. п. л. 0,96. Усл. кр.-отт. 1,17. Уч.-зд. л. 0,8. Тираж 100 экз.
Так. 2363. Бесплатно.

Областьная книжная типография, 290000, Львов, ул. Стефаника, 11.

466686

Бесплатно

Ав 25.396

Ав 25.396

[Handwritten signature]