

На правах рукописи

A handwritten signature in blue ink, consisting of a stylized initial 'D' followed by a long horizontal stroke and a loop.

Сердюк Дмитрий Олегович

**Исследование звукоизоляционных свойств трехслойной
пластины**

Специальность: 01.02.06

Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры

Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата

технических наук

Москва 2016

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном учреждении высшего профессионального образования, Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет) (МАИ).

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент
Локтева Наталья Александровна

Официальные оппоненты: **Шишкин Виктор Михайлович**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Теоретической и строительной механики», Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Вятский государственный университет", г. Киров.

Голубев Алексей Юрьевич, кандидат технических наук, начальник отдела «Акустика пассажирских салонов и кабин летательных аппаратов» Государственного научного центра Федерального государственного унитарного предприятия «Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского», г. Жуковский.

Ведущая организация: Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева (КНИТУ-КАИ).

Защита состоится «22» июня 2016 года в 15:00 на заседании диссертационного совета Д.212.125.05 ФГБОУ ВПО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» по адресу: 125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО МАИ (НИУ) и на сайте http://mai.ru/events/defence/index.php?ELEMENT_ID=67691.

Автореферат разослан « » _____ 2016 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Федотенков Г.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы.

Уровень и динамика развития новых перспективных летательных аппаратов предъявляет все более высокие требования к повышению степени шумо и виброзащиты. Такие же проблемы возникают в других отраслях машиностроения, где необходимо обеспечить эффективную звукоизоляцию. Это приводит к необходимости разработки новых усложненных математических моделей, позволяющих описывать поведение элементов конструкций с учетом особенностей их строения.

Наиболее полно на данный момент исследованы задачи, посвященные изучению свойств однородных звукоизолирующих препятствий. Для варианта трехслойных элементов, как правило, не учитываются поперечное обжатие заполнителя и сдвиг слоев, что приводит к существенному искажению истинной картины деформированного состояния. В практическом отношении вопросы учета влияния поперечного обжатия заполнителя и сдвига слоев, а также анализ влияния формы набегающей волны на звукоизоляционные свойства пластин сложной конструкции являются актуальными. В настоящей работе используются уточненные модели трехслойных пластин, позволяющие учитывать влияние вышеназванных эффектов.

Диссертационная работа посвящена аналитическому исследованию взаимодействия волн различного типа, возбуждаемых в акустической среде с трехслойными пластинами различной конфигурации.

Цель работы.

Цель диссертационной работы заключается в разработке аналитических способов определения коэффициента поглощения трехслойной разномасштабной пластины в акустической среде, а также определения ее показателя звукоизоляции в зависимости от формы и частоты набегающей волны.

Научная новизна.

Впервые разработана математическая модель прохождения упругой волны через трехслойную пластину с мягким ортотропным наполнителем и симметричным по толщине строением.

Исследование звукоизоляционных свойств трехслойных пластин выполнено с учетом поперечного обжатия наполнителя и сдвига слоев.

Изучение влияния геометрии пластины при взаимодействии ее с волновой средой различной конфигурации впервые позволило выявить степень влияния формы звуковой волны на величину ее изоляции при прохождении через разноплановую по размерам пластину.

Практическая ценность.

Практическая ценность заключается в том, что разработаны способы оценки звукоизоляционных свойств разноплановых трехслойных пластин с сотовым наполнителем при взаимодействии их с различными по форме и частоте волновыми воздействиями.

В случае, когда возникает необходимость звукоизоляции больших площадей, например поверхностей зданий и сооружений, а источник звука находится на достаточно большом удалении или же таких источников несколько, возможно использовать результаты, полученные для бесконечной пластины под воздействием плоской гармонической волны. Такие условия задачи подразумевают, например, защиту объектов от шума и вибраций, излучаемые автотрассами, стройками и т.д., находящимися на значительном удалении.

Второй вариант постановки задачи, включающий в себя пластину бесконечную по длине, ограниченную по высоте и находящуюся под воздействием цилиндрической волны, так же может быть использован для разработки защиты от источников шума, имеющих большие линейные размеры (автомобильные, железнодорожные магистрали, метрополитен и т.п.). Однако в данном случае звукоизолирующее препятствие должно так же иметь значительные размеры в длину. На практике подобные условия соответствую-

ют воздействию шума, источником которого являются протяженные транспортные магистрали, на звукопоглощающие экраны, установленные вдоль них.

Третья постановка задачи, пластина конечных размеров, является универсальной. Полученные решения позволяют моделировать и приведенные выше ситуации, и ситуации когда источник звука находится в непосредственной близости от изолируемого объекта. Зачастую такие варианты звукоизоляции необходимы, когда источник звуковых колебаний находится в непосредственной близости от человека и его воздействие является достаточно продолжительным. Например, воздействие колебаний, создаваемых различными типами двигателей (автомобильными, авиационными, корабельными, промышленными и др.). Если источник шума сконцентрирован в одной точке, тогда становится целесообразным использовать третью постановку задачи – воздействие сферической волны на пластину конечных размеров.

Обоснованность и достоверность результатов исследований.

Достоверность научных положений и выводов обеспечена корректностью принятых постановок рассматриваемых задач и используемых при решении методов, близостью полученных разными способами результатов, а также сравнением с экспериментальными данными и результатами, полученными другими авторами.

Методы исследования.

В работе дана математическая постановка задачи о взаимодействии гармонических волн различного типа с трехслойной пластиной. Движение пластины описывается уточненными уравнениями динамики многослойных оболочек, позволяющими учитывать влияние поперечного обжатия и сдвига слоев, а также пространственной конфигурации заполнителя. Для построения решения поставленных задач применяется преобразование Фурье для бесконечной пластины и разложение в тригонометрические ряды для пластин ограниченной длины.

При описании движения акустической среды используются уравнения относительно амплитуд потенциала скоростей для разного типа волн: плоской, цилиндрической, сферической. Звукоизоляционные свойства преграды оцениваются коэффициентом поглощения или показателем звукоизоляции, измеряемым в децибелах.

Основные результаты работы, выносимые на защиту.

На защиту выносятся следующие результаты:

1. Модель процесса взаимодействия акустической среды с трехслойной пластиной с мягким ортотропным наполнителем.
2. Решение задачи об определении коэффициента поглощения и показателя звукоизоляции при прохождении волн различного типа через бесконечную прямоугольную трехслойную пластину.
3. Решение задачи об определении коэффициента поглощения и показателя звукоизоляции при прохождении волн различного типа через прямоугольную трехслойную пластину конечных размеров.
4. Результаты анализа процесса звукоизоляции трехслойной пластины при воздействии на нее разного типа акустических волн.

Апробация работы.

Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих конференциях, симпозиумах и семинарах:

- XIX-XXII Международный симпозиум имени А. Г. Горшкова «Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред» (г. Москва, 2013-2016);
- Конференция «Ломоносовские чтения» (г. Москва, 2013, 2014);
- Международная конференции «Теории оболочек и мембран в механике и биологии: от макро- до наноразмерных структур» (г. Минск, 2013);
- Международная научная конференции «Современные проблемы математики, механики и информатики» (г. Тула, 2014);

– Международный научный семинар «Динамическое деформирование и контактное взаимодействие тонкостенных конструкций при воздействии полей различной физической природы» (г. Москва, 2014);

– XI Всероссийский съезд по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики (г. Казань, 2015).

Публикации.

По теме диссертации опубликовано 13 работ, в том числе 2 статьи в журналах из перечня, рекомендованного ВАК РФ.

Структура и объем работы.

Диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав, основных выводов, списка условных обозначений, библиографического списка включающего 100 наименований. Общий объем диссертации – 117 страниц и 24 рисунка.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении дано обоснование актуальности выбранной темы, сформулированы цели и задачи исследования, описаны методы исследования, научная новизна и практическая ценность данной работы, приведено краткое содержание диссертации по главам.

В главе 1 проведен краткий обзор работ выполненных другими авторами по данной тематике.

Рассматривается окруженная с двух сторон акустическими средами пластина, на которую набегают гармоническая звуковая волна с амплитудой давления на фронте p_* и частотой ω . В результате ее взаимодействия с пластиной в окружающих средах возбуждаются давления с амплитудами p_{1w} и p_2 , где p_2 – амплитуда давления прошедшей волны, p_{1w} – амплитуда давления отраженной волны.

Обозначен объект исследования – шарнирно опертая по контуру трехслойная пластина, состоящая из двух несущих слоев и заполнителя между

ними. Несущие слои упругие и изотропные, наполнитель ортотропный сотовой конфигурации.

Поставлена цель – разработка математической модели колебаний и определение коэффициента поглощения η преграды как функции частоты ω и пространственных координат x и y :

$$\eta = |p_{20} / p_{*0}|, \quad (1)$$

и показателя звукоизоляции R_p , измеряемый в децибелах (дБ):

$$R_p = -20 \cdot \lg(\eta), \quad (2)$$

где p_{20} и p_{*0} амплитуды давлений прошедшей и набегающей волн на поверхности пластины.

Колебания пластины описываются уравнениями динамики многослойных оболочек с трансверсально-мягким наполнителем В.Н. Паймушина:

$$\begin{aligned} B \frac{\partial^2}{\partial x^2} (u_1^c) + B \frac{1-\nu}{2} \frac{\partial^2}{\partial y^2} (u_1^c) + B \frac{1+\nu}{2} \frac{\partial^2}{\partial x \partial y} (u_2^c) &= \rho_c \ddot{u}_1^c, \\ B \frac{1+\nu}{2} \frac{\partial^2}{\partial x \partial y} (u_1^c) + B \frac{1-\nu}{2} \frac{\partial^2}{\partial x^2} (u_2^c) + B \frac{\partial^2}{\partial y^2} (u_2^c) &= \rho_c \ddot{u}_2^c, \\ B \frac{\partial^2}{\partial x^2} (u_1^a) + B \frac{1-\nu}{2} \frac{\partial^2}{\partial y^2} (u_1^a) + B \frac{1+\nu}{2} \frac{\partial^2}{\partial x \partial y} (u_2^a) + 2q^1 &= \rho_a \ddot{u}_1^a, \\ B \frac{1+\nu}{2} \frac{\partial^2}{\partial x \partial y} (u_1^a) + B \frac{1-\nu}{2} \frac{\partial^2}{\partial x^2} (u_2^a) + B \frac{\partial^2}{\partial y^2} (u_2^a) + 2q^2 \rho_a &= \ddot{u}_2^a, \\ -D \frac{\partial^4}{\partial x^4} w_c - 2D \frac{\partial^4}{\partial x^2 \partial y^2} w_c - D \frac{\partial^4}{\partial y^4} w_c + 2k_1 (q_{,x}^1 + q_{,y}^2) + p_1 - p_2 &= \rho_c \ddot{w}_c, \\ -D \frac{\partial^4}{\partial x^4} w_a - 2D \frac{\partial^4}{\partial x^2 \partial y^2} w_a - D \frac{\partial^4}{\partial y^2} w_a - 2c_3 w_a + p_1 + p_2 &= \rho_{aw} \ddot{w}_a, \\ u_1^a - k_1 w_{c,x} - k_2 (q_{,x}^1 + q_{,y}^2)_{,x} + k_3 q^1 &= 0, \\ u_2^a - k_1 w_{c,y} - k_2 (q_{,x}^1 + q_{,y}^2)_{,y} + k_3 q^2 &= 0. \end{aligned} \quad (3)$$

Здесь u_1^c , u_2^c , u_1^a , и u_2^a – сумма и разность амплитуд тангенциальных перемещений вдоль осей Ox и Oy несущих слоев пластины, w_c и w_a – сумма и разность нормальных перемещений несущих слоев, q^1 и q^2 – амплитуды постоянных по толщине поперечных касательных напряжений в наполнителе

направленным по осям Ox и Oy , B и D – жесткость несущих слоев на растяжение сжатие и изгиб, p_1 – сумма амплитуд давлений набегающей и отраженной волн. Остальные коэффициенты входящие в систему (3) определяются как:

$$k_1 = t + h, k_2 = \frac{h^2}{3c_3}, k_3 = \frac{2h}{G}, c_3 = \frac{E_3}{2h}, \rho_a = 2\rho_b t, \rho_c = \rho_a + \rho h, \rho_{aw} = \rho_a + \frac{\rho h}{3},$$

где t – толщина несущего слоя, h – полутолщина заполнителя, G – модуль поперечного сдвига заполнителя, E_3 – модуль обжатия заполнителя, ρ_b – плотность материала несущих слоев, ρ – осредненная плотность заполнителя.

Далее приводятся уравнения движения акустической среды и описываются рассматриваемые в работе формы набегающих звуковых волн: плоская, цилиндрическая и сферическая.

В главе 2 исследуются звукоизоляционные свойства бесконечной пластины при воздействии на нее плоской или цилиндрической набегающей звуковой волны.

Амплитуда давления набегающей волны на поверхности пластины p_{*0} зависит от формы волны:

$$\text{плоская волна} - p_{*0} = \Delta p = -i\omega\rho_0 A_\phi, \quad (4)$$

$$\text{цилиндрическая волна} - p_{*0} = \Delta p \frac{H_0^{(2)}(kr_{10})}{H_0^{(2)}(kL)}, r_{10} = \sqrt{x^2 + L^2}. \quad (5)$$

Здесь A_ϕ – произвольная постоянная, ρ_0 – плотность среды содержащей источник звука, L – расстояние от источника звуковой волны до поверхности пластины, z – полутолщина пластины.

Амплитуды давлений прошедшей p_{20} и отраженной p_{1w0} волн на поверхности пластины зависят от формы набегающей волны и кинематических параметров пластины. Для установления этой связи решается вспомогательная задача о распространении кинематических возмущений от границы акустического полупространства с использованием преобразований Фурье.

Нижнее полупространство занимает акустическая жидкость (см. рис.1). На границе при $z = 0$ задано поле нормальных перемещений w_3 изменяющееся во времени по гармоническому закону. Требуется найти давление на границе полупространства.

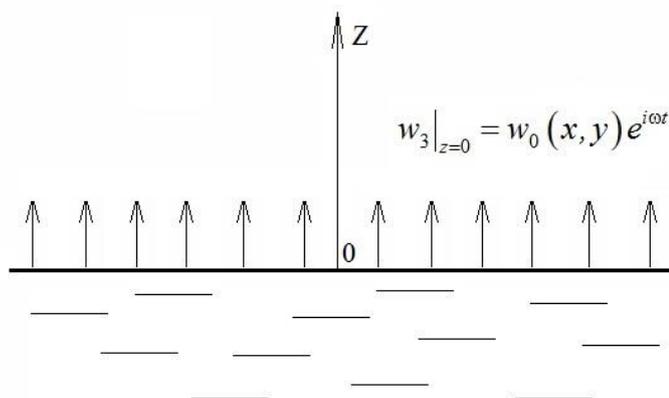


Рис. 1. Акустическое полупространство.

Возмущенное движение акустической среды описывается волновым уравнением относительно потенциала скорости:

$$\frac{\partial^2 \Phi_j}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Phi_j}{\partial z^2} + k^2 \Phi_j = 0, \quad k = \frac{\omega}{c}. \quad (6)$$

Амплитуды давлений прошедшей и отраженной волн на поверхности пластины и координаты векторов скоростей определяются как:

$$p_{1w0} = -i\omega\rho_0\Phi_1, \quad p_{20} = -i\omega\rho_0\Phi_2, \quad v_{j1} = \frac{\partial\Phi_j}{\partial x}, \quad v_{j3} = \frac{\partial\Phi_j}{\partial z}. \quad (7)$$

В областях соприкосновения акустических сред с пластиной выполняется граничное условие:

$$v_{j3}|_{z=0} = i\omega w^{(j)}(x), \quad (8)$$

а на бесконечности должно выполняться условие Зоммерфельда:

$$\frac{\partial\Phi_j}{\partial z} + ik\Phi_j = o\left(\frac{1}{\sqrt{z}}\right), \quad z \rightarrow \infty. \quad (9)$$

Для решения уравнения Гельмгольца (6) с учетом граничного условия (8), условия (9) и соотношений (7) используется преобразование Фурье по

координате x . В результате получаются изображения амплитуд давлений прошедшей и отраженной волн на границе полупространства, зависящие от прогибов пластины в изображениях. Прогибы определяются из системы дифференциальных уравнений, после применения к ней преобразований Фурье.

Затем находится оригинал амплитуды давления в прошедшей волне и определяются звукоизоляционные свойства бесконечной пластины по формуле (1).

Далее, для верификации, выполняется расчет по изложенному способу исследования звукоизоляционных свойств бесконечной трехслойной пластины, и полученный результат сравнивается с результатом расчета однослойной пластины по «закону массы» Д. Стретта (см. рис. 2). При этом пластины имеют равную массу единицы площади.

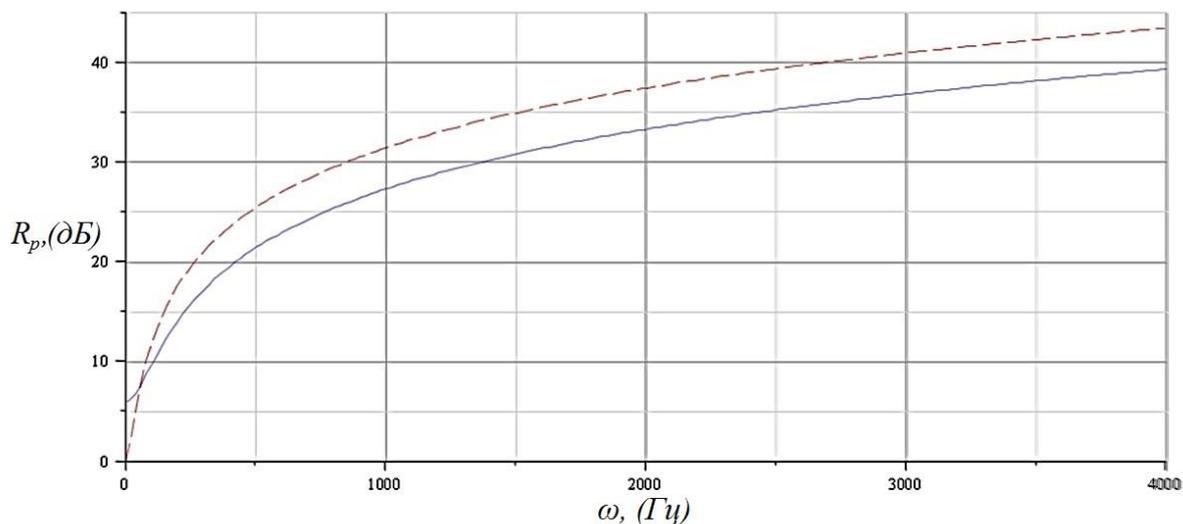


Рис. 2. Верификация результата:

сплошная кривая – результаты расчета для бесконечной пластины,
пунктирная кривая – результаты расчета по методу Д. Стретта.

Выполненная верификация позволяет говорить о том, что способ исследования звукоизоляционных свойств бесконечной трехслойной пластины дает результаты, не противоречащие результатам других авторов. Кроме того результаты расчета, выполненные по представленному в работе способу,

удовлетворяют формулировки «закону массы» – с удвоением частоты, звукоизоляция растет на 6 дБ.

В главе 3 исследуются звукоизоляционные свойства шарнирно опертой пластины в виде бесконечной полосы при воздействии на нее плоской или цилиндрической набегающей звуковой волны по формулам (1) и (2).

Выражение для давления набегающей плоской волны на поверхности пластины p_{*0} аналогично (4). Для цилиндрической волны есть возможность позиционирования источника звука по высоте пластины:

$$p_{*0} = \Delta p \frac{H_0^{(2)}(kr_{10})}{H_0^{(2)}(kL)}, r_{10} = \sqrt{(x - x_c)^2 + L^2}, \quad (10)$$

где: $x - x_c$ координата источника излучения волны по высоте пластины.

Амплитуды давлений прошедшей p_{20} и отраженной p_{1w0} волн на поверхности пластины определяются из решения уравнения Гельмгольца (6) с учетом (7-9) с использованием рядов Фурье:

$$p_{1w0} = \sum_{n=1}^{\infty} p_{1w0n} \sin(\lambda_n x), p_{20} = \sum_{n=1}^{\infty} p_{20n} \sin(\lambda_n x), \quad (11)$$

где p_{1w0n} , p_{20n} амплитуды давлений прошедшей и отраженной волн на поверхности пластины в коэффициентах рядов, зависящие от прогибов.

Искомые прогибы и амплитуды давлений определяются из системы дифференциальных уравнений (3) с учетом особенностей габаритов пластины путем представления всех входящих в нее функций в виде тригонометрических рядов Фурье. Результаты расчетов приведены на рис.3.

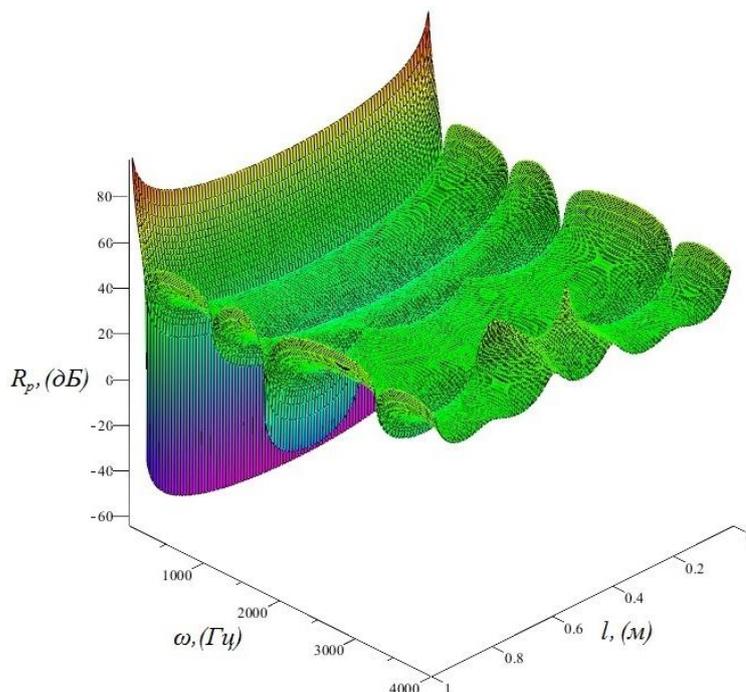


Рис. 3. Показатель звукоизоляции по высоте пластины при цилиндрической набегающей звуковой волне.

Выполнена верификация способа расчета звукоизоляционных свойств трехслойной пластины путем задания ее высоты равной 1000 м и сравнением полученных результатов с результатами для бесконечной пластины. В итоге, полученные результаты отличаются не более чем на 2%.

В главе 4 исследуются звукоизоляционные свойства трехслойной прямоугольной пластины при воздействии на нее плоской, цилиндрической или сферической звуковой волны.

Давление набегающих плоской и цилиндрической волн на поверхности пластины p_{*0} определяется аналогично (4) и (10). Для сферической волны это выражение задается как:

$$p_{*0} = \Delta p \frac{L}{r_{20}} e^{-ik(r_{20}-L)}, r_{20} = \sqrt{(x-x_c)^2 + (y-y_c)^2 + L^2}. \quad (12)$$

В (13) есть возможность позиционирования источника звука по высоте и ширине пластины: $x-x_c$ и $y-y_c$ координаты источника волны.

Амплитуды давлений прошедшей и отраженной волн на поверхности пластины определяются из решения вспомогательной задачи о распространении возмущений от границы акустического полупространства.

Возмущенное движение акустической среды описывается волновым уравнением относительно потенциала скорости:

$$\frac{\partial^2 \Phi_j}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Phi_j}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \Phi_j}{\partial z^2} + k^2 \Phi_j = 0.$$

Для амплитуд давлений и векторов скоростей справедливы равенства:

$$p_{1w0} = -i\omega\rho_0\Phi_1, p_{20} = -i\omega\rho_0\Phi_2, v_{j1} = \frac{\partial\Phi_j}{\partial x}, v_{j2} = \frac{\partial\Phi_j}{\partial y}, v_{j3} = \frac{\partial\Phi_j}{\partial z}.$$

В областях соприкосновения акустических сред с пластиной выполняется граничное условие:

$$v_{j3}\Big|_{z=0} = i\omega w^{(j)}, 0 \leq x \leq l_1, 0 \leq y \leq l_2.$$

Вне зоны контакта акустических сред с пластиной давления в средах совпадают. На бесконечности выполняется условие Зоммерфельда:

$$\frac{\partial\Phi_j}{\partial r} + ik\Phi_j = o\left(\frac{1}{r}\right), r \rightarrow \infty.$$

Амплитуды давлений в прошедшей и отраженной волнах p_{1w0} , p_{20} на поверхности пластины представляются в виде рядов:

$$p_{1w0} = \sum_{n,m=1}^{\infty} p_{1w0nm} \sin(\lambda_{1n}x) \sin(\lambda_{2m}y), p_{20} = \sum_{n,m=1}^{\infty} p_{20nm} \sin(\lambda_{1n}x) \sin(\lambda_{2m}y).$$

Коэффициенты этих рядов находятся из системы дифференциальных уравнений многослойных оболочек (3).

На рис. 4 представлены результаты расчета минимального значения показателя звукоизоляции, распределённого по поверхности пластины для цилиндрической и сферической набегающих волн с частотой 1000 Гц в зависимости от расстояния между источником звука и прямоугольной пластиной. Прямая линия для плоской волны изображена для сравнения результатов.

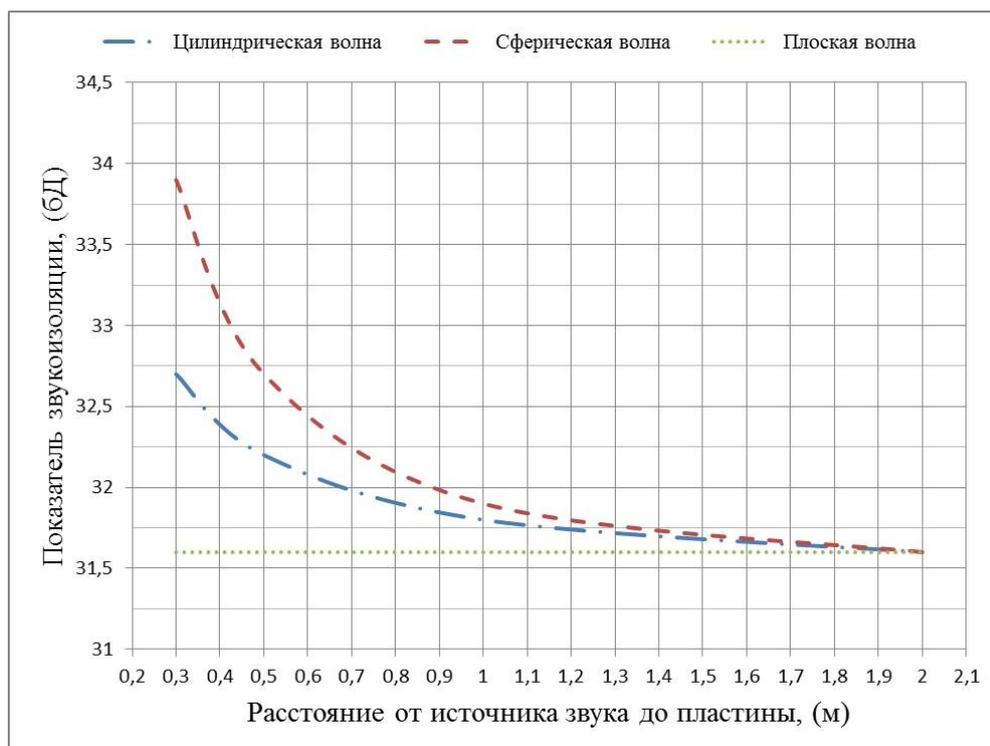


Рис. 4. Зависимость показателя звукоизоляции от расстояния между источником звука и прямоугольной пластиной.

Из представленных на рис. 4 результатов делаются следующие выводы. До тех пор, пока фронт волны, приходящий на поверхность пластины, имеет выраженную геометрию сферы или цилиндра, ранжирование эффективности следующее: наиболее эффективно происходит изоляция сферической волны, менее эффективно цилиндрической, плоская волна проходит через преграду лучше всего. При этом по мере удаления источника звука от пластины, фронт сферической и цилиндрической волны становится менее выраженным, и эффективность их изоляции снижается до уровня плоской набегающей волны.

Для верификации результатов рассчитывается пластина высотой 1 м и длиной 1×10^6 м и сравнивается с пластиной, имеющей высоту 1 м и бесконечную длину (см. рис. 5). Представленные на рис. 5 кривые показывают, что они имеют одинаковый характер и близкие значения.

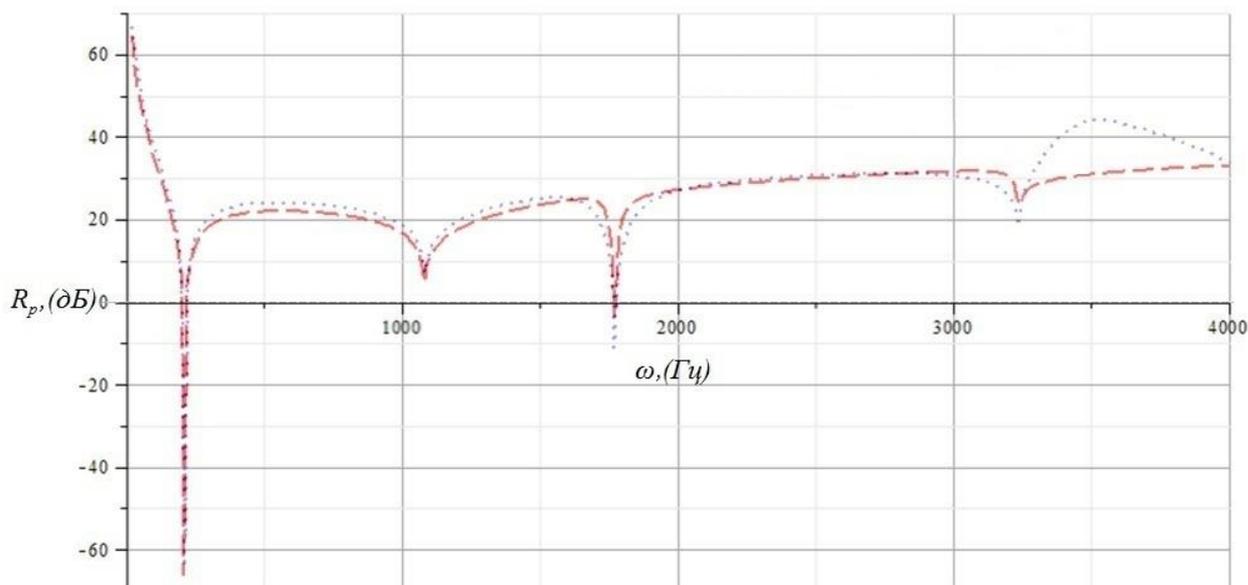


Рис. 5. Показатели звукоизоляции при набегающей цилиндрической волне:
 пунктирная кривая – пластина в виде бесконечной полосы,
 штриховая кривая – прямоугольная пластина.

Так же проведено сравнение полученных результатов с экспериментальными данными, полученными для однослойной пластины, известными из работа Паймушина В.Н. Для корректного сравнения, влияние заполнителя трёхслойной пластины было сведено к минимуму путем уменьшения его толщины до незначительного размера. В результате получена трехслойная пластина, которая эквивалентна однослойной по жесткости. Соответствующие результаты приведены на рис. 6.

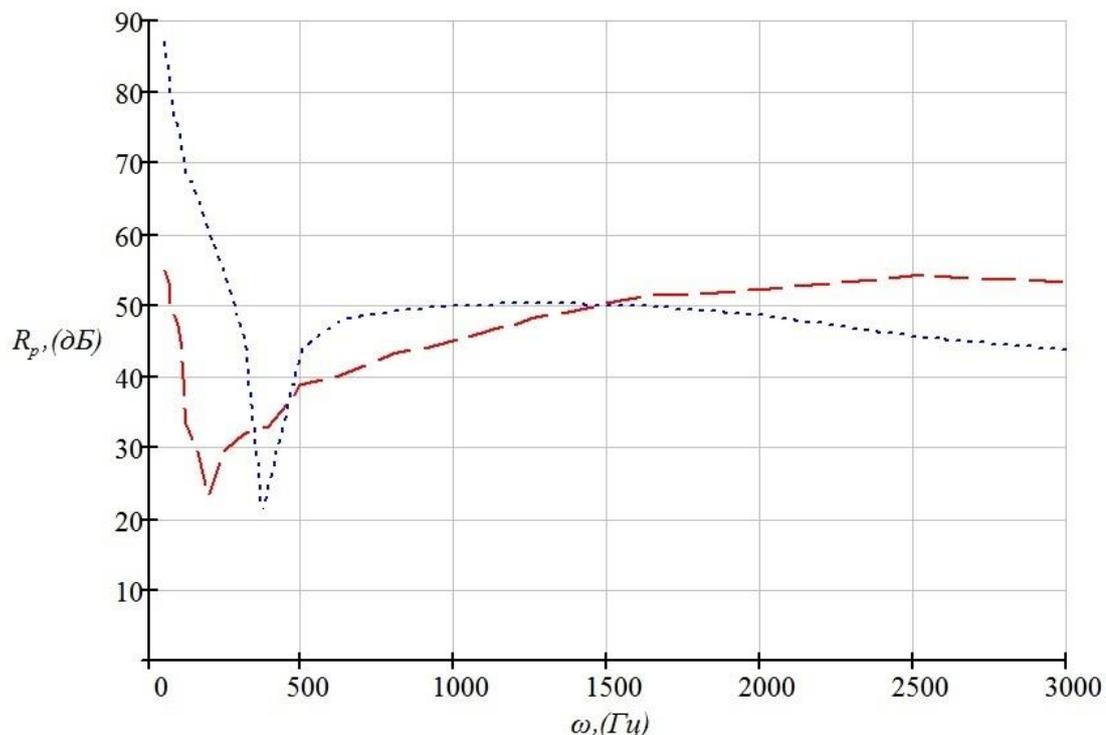


Рис. 6. Результаты эксперимента и расчета: пунктирная кривая – расчет, штриховая кривая – эксперимент.

Основные результаты и выводы.

1. Разработана модель процесса взаимодействия акустической волны с трехслойной пластиной, которая позволяет учитывать влияние на этот процесс параметров самой пластины, особенностей акустической волны и параметров окружающей акустической среды. При этом использовались уточнённые уравнения движения пластины, учитывающие влияния поперечного обжатия заполнителя и сдвиг слоев.

2. Решены задачи о прохождении гармонических волн через пластины различной конфигурации: бесконечную, ограниченную по одной координате и прямоугольную.

3. Проанализирован характер поглощения волн при прохождении их через трехслойную пластину с различными геометрическими и физическими параметрами.

4. Выполнена верификация полученных результатов сравнением коэффициентов звукопоглощения и параметров звукоизоляции при различ-

ных конфигурациях пластин, а также сопоставлением полученных результатов с известными из литературы экспериментальными данными.

5. Полученные результаты позволяют исследовать весь спектр задач поглощения гармонических волн для проектирования эффективной звукоизоляции различных объектов.

Публикации по теме диссертации

1. **Локтева Н.А., Сердюк Д.О., Тарлаковский Д.В.** Влияние формы набегающей волны на звукоизоляционные свойства прямоугольной пластины сложной структуры // Электронный журнал «Труды МАИ», 2015, № 82, <http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=58602>.

2. **Локтева Н.А., Сердюк Д.О., Тарлаковский Д.В.** Исследование звукоизоляционных свойств трехслойной пластины при воздействии плоской волны // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – М., 2016, № 1. – С. 167 – 171.

3. **Локтева Н.А., Сердюк Д.О., Тарлаковский Д.В.** Определение параметра звукопоглощения трехслойной пластины при воздействии на нее цилиндрической волны // Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред: Материалы XIX междунар. симп. им. А.Г. Горшкова. – М., 2013. – Т. 2. – С. 29 – 30.

4. **Локтева Н.А., Сердюк Д.О., Тарлаковский Д.В.** Исследование звукопоглощающих свойств пластины сложной структуры под воздействием цилиндрической волны // Научная конференция «Ломоносовские чтения», секция механики: Тезисы докладов. – М., 2013. – С. 129 – 130.

5. **Локтева Н.А., Паймушин В.Н., Сердюк Д.О.** Определение показателя звукопоглощения пластины сложной структуры под воздействием цилиндрической волны // Современные проблемы механики и математики: Тезисы докл. междунар. науч. конф. – Львов, 2013. – Т. 1. – С. 131 – 135.

6. **Локтева Н.А., Сердюк Д.О., Старовойтов Э.И.** Определение суммарного параметра звукоизоляции трехслойной пластины под воздействием

плоской гармонической волны // Теория оболочек и мембран в механике и биологии: от макро- до наноразмерных структур: Материалы междунар. науч. конф. – Минск, 2013. – С. 87 – 89.

7. **Локтева Н.А., Паймушин В.Н., Сердюк Д.О., Тарлаковский Д.В.** Определение показателя звукоизоляции одномерной трехслойной пластины под воздействием цилиндрической волны // «Проблемы и перспективы развития транспортных систем и строительного комплекса»: материалы III междунар. науч. -практ. конф. – 2013. – С. 365 – 367.

8. **Локтева Н.А., Сердюк Д.О., Тарлаковский Д.В.** Определение показателя звукопоглощения пластины сложной структуры под воздействием цилиндрической волны // «Сучасні проблеми механіки та математики». – 2013, Т. 1. – С. 131 – 135.

9. **Локтева Н.А., Кубенко В.Д., Сердюк Д.О., Мейш В.Ф.** Влияние типа набегающей волны на звукоизоляционные характеристики тонкостенного препятствия // Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред: Материалы XX междунар. симп. им. А.Г. Горшкова. – М., 2014. – Т. 2. – С. 101 – 109.

10. **Локтева Н.А., Сердюк Д.О., Тарлаковский Д.В.** Анализ влияния расположения источника излучения сферической волны на значение параметра звукоизоляции пластины сложной структуры // Научная конференция «Ломоносовские чтения», секция механики: Тезисы докладов. – М., 2014. – С. 105 – 105.

11. **Локтева Н.А., Сердюк Д.О., Тарлаковский Д.В.** Определение суммарного показателя звукоизоляции трехслойной пластины, ограниченной по одной координате, при воздействии на нее плоской, цилиндрической и сферической набегающей волны // Материалы международной научной конференции: «Современные проблемы математики, механики, информатики». – ТулГУ Тула, 2014. – С. 309 – 311.

12. **Локтева Н.А., Сердюк Д.О., Тарлаковский Д.В.** Оценка влияния особенностей конструкции заполнителя трехслойной пластины на ее звукопо-

глошающие свойства // Тезисы докладов междунар. науч. семинара «Динамическое деформирование и контактное взаимодействие тонкостенных конструкций при воздействии полей различной физической природы». – М., 2014. – С. 42 – 42.

13. **Локтева Н.А., Сердюк Д.О., Тарлаковский Д.В.** Анализ влияния конструкции сотового блока трехслойной пластины, ограниченной по одной координате, на ее звукоизоляционные свойства // Материалы XI-того всероссийского съезда по фундаментальным проблемам теоритической и прикладной механики. – Казань, 2015. – С. 2351 – 2352.