

Торайғыров университетінің
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Торайғыров университета

ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТІНІҢ ХАБАРШЫСЫ

Физика, математика және компьютерлік
ғылымдар сериясы
1997 жылдан бастап шығады



ВЕСТНИК ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТА

Серия: Физика, математика
и компьютерные науки
Издается с 1997 года

ISSN 2959-068X

№ 4 (2023)
Павлодар

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
ТОРАЙГЫРОВ УНИВЕРСИТЕТА**

Серия: Физика, математика и компьютерные науки
выходит 4 раза в год

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания
№ KZ91VPY00046988

выдано

Министерством информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

публикация материалов в области физики, математики,
механики и информатики

Подписной индекс – 76208

<https://doi.org/10.48081/EKIW3862>

Бас редакторы – главный редактор

Тлеукинов С. К., *д.ф-м.н., профессор*

Заместитель главного редактора Искулов Н. А., *к.ф-м.н., профессор*

Ответственный секретарь Жумабеков А. Ж., *PhD доктор*

Редакция алкасы – Редакционная коллегия

Esref Adali,	<i>PhD доктор, профессор (Турция);</i>
Abdul Qadir Rahimoon,	<i>PhD доктор, профессор (Пакистан);</i>
Донбаев К. М.,	<i>д.ф-м.н., профессор;</i>
Демкин В. П.,	<i>д.ф-м.н., профессор (Российская Федерация);</i>
Жумадиллаева А. К.,	<i>к.т.н., профессор;</i>
Ибраев Н. Х.,	<i>д.ф-м.н., профессор;</i>
Косов В. Н.,	<i>д.ф-м.н., профессор;</i>
Сенцова С. М.,	<i>д.пед.н., профессор;</i>
Шоканов А. К.,	<i>д.ф-м.н., профессор</i>
Омарова А. Р.,	<i>технический редактор</i>

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели

Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов

При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров
университета» обязательна

© Торайгыров университет

***З. Б. Сайманова, Б. О. Мухаметжанова, Д. Ж. Кайбасова,
Э. К. Сейпишова, Д. Е. Сағатбекова**

Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова,
Республика Казахстан, г. Караганда

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОПТИМИЗАЦИЙ НЕОДНОРОДНЫХ ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ

В статье создана математическая модель, в одномерном приближении, описывающая установившийся процесс падения плоских акустических волн на полу бесконечную систему неоднородностей и позволяющая исследовать коэффициенты отражения и прохождения волн на границе однородного пространства и полу бесконечной одномерно- периодической системы неоднородностей. Написана программа расчета коэффициентов отражения и прохождения для различных комбинаций сред. Изучено влияние геометрических параметров системы (размера неоднородностей) и физических параметров сред входящих в систему (плотность, скорость звука) на коэффициенты прохождения и отражения. Для ряда материалов найдены оптимальные значения параметров.

Основным источником вибрации и шума являются промышленные строительные и технические конструкции. Решение проблемы повышения безопасности и комфортности жизнедеятельности человека является весьма актуальной задачей в плане развития современной техники и технологий.

Основным методом снижения уровня шума и вибраций является использование различных шумо- и вибропоглощающих материалов, предотвращающих распространение шума и вибрации в зону работы человека. В качестве подобных материалов в последнее время интенсивно исследуются гетерогенных материалы, то есть материалы, состоящие из различных сред с разными параметрами распространения шума и вибраций.

Для разработки новых шумо- и вибропоглощающих материалов в настоящее время актуально и необходимо разработать программно-

аналитические средства для исследования волновых явлений в гетерогенных средах, а также проектирования качественных композитных гетерогенных материалов с управляемыми шумо/вибро изолирующими и шумо/вибро поглощающими свойствами.

Ключевые слова: программное обеспечение, расчет коэффициентов, математическая модель, алгоритм, компьютер, звукопоглощающие материалы.

Введение

Теоретическое исследование дифракции волн на системах имеющих неоднородную структуру представляет значительный интерес для обширного круга прикладных задач. Создание и совершенствование поглощающих материалов – одна из них. Характерная специфика частотных диапазонов наиболее трудно гасимых волн позволяет сосредоточить внимание на изучении рассеяния волн с длиной волны много превышающей характерный размер рассеивающей структуры. Это связано с тем, что короткие волны, т.е. волны большой частоты диссипируют значительно быстрее длинных волн.

Существующие методы исследования демпфирующих материалов базируются в основном на учете неких интегральных (осредненных) характеристик материала (плотность, скорость звука), что не позволяет понять тонкой специфики механики процесса [1].

Принципиально иным является подход учитывающий пространственные особенности геометрии структуры, например периодичность. Применение этого метода к изучению волноводных свойств проникаемых систем неоднородностей можно найти в [2, 3]. Там же можно найти дальнейшую библиографию по данной проблематике.

В настоящей работе предложена методика исследования коэффициентов отражения и прохождения волн падающих на полу бесконечную одномерно-периодическую систему неоднородностей. Цель работы – дальнейшее развитие указанного метода и его применение к изучению рассеяния длинных волн на полу бесконечной системе проникаемых одномерно-периодических неоднородностей граничащих с однородной средой.

В рамках этой задачи удалось построить приближенную модель для нахождения коэффициентов отражения и прохождения падающей волны. На основе построенной модели создана программа, позволяющая рассчитывать для заданных сред коэффициенты отражения и прохождения. Проведено численное исследование влияния геометрических и физических параметров на отражающее свойство системы неоднородностей и рассчитан пример демпфирующего материала типа алюминий–свинец–резина [4].

Материалы и методы

Математическое моделирование неоднородного материала с требуемым виброизолирующими и вибропоглощающими свойствами, проектирование материала, изготовление или подбор из существующих, экспериментальная проверка. Методы теории представления групп симметрий и численно-аналитические методы анализа. Проверка эффективности разработанных алгоритмов и программных средств осуществлялась путём проведения компьютерных экспериментов с использованием специально разработанного программного обеспечения.

Результаты и обсуждение

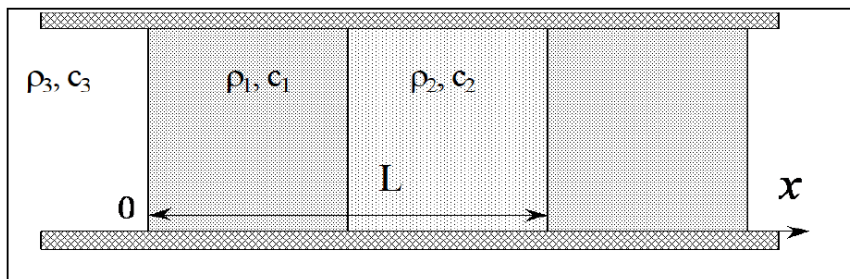


Рисунок 1 – Геометрия структуры и система обозначений

Пусть в пространстве заполненном средой, в которой скорость звука c_3 , плотность в состоянии покоя ρ_3 имеется проницаемая система неоднородностей состоящая из двух сред с параметрами (c_1, ρ_1) и (c_2, ρ_2) соответственно для первой и второй среды и минимальным пространственным периодом L (рис.1) Среда 1 считается более плотной чем среда 2. Предполагается, что все движения в средах зависят только от одной пространственной переменной x .

Удобно ввести новую безразмерную переменную $x' = x / L$ (опуская в дальнейшем штрих) и использовать следующие обозначения:

$\Omega_1 = \{x : 0 \leq x \leq k_1\}$ $\Omega_2 = \{x : k_1 \leq x \leq 1\}$ $\Omega_3 = \{x : 0 \geq x\}$, где c_3 k_1 – безразмерная длина области заполненной средой первого типа, $\Gamma_{12} = \partial\Omega_1 \cap \partial\Omega_2$ $\Gamma_{13} = \partial\Omega_1 \cap \partial\Omega_3$ – границы соответствующих областей. Пусть из среды 3 на границу Γ_{13} падает плоская волна. Рассматривается установившийся процесс, можно считать, что временная зависимость отделена в виде $e^{-i\omega t}$ и на границе Γ_{13} задано возмущение вида e^{ikx} , где $k = \omega L / c_3$, что соответствует падающей волне единичной амплитуды. Пусть падающая волна имеет вид, описанный выше, и предположим, что отраженная волна имеет вид Re^{-ikx} , где R – неизвестная амплитуда которую

мы будем называть коэффициентом отражения т.к. она нормирована на амплитуду падающей волны. Задача состоит в определении коэффициента отражения в зависимости от физических и геометрических параметров сред входящих в систему.

Звуковые волны описываются акустическим возмущением давления $p_1(x), p_2(x)$ соответственно в средах 1 и 2, которые удовлетворяют уравнениям Гельмгольца:

$$p_1'' + \lambda^2 p_1 = 0 \text{ в } \Omega_1, \quad p_2'' + \lambda^2 \kappa_{12}^2 p_2 = 0 \text{ в } \Omega_2 \quad (1)$$
$$\lambda = \omega L / c_1, \quad \kappa_{12} = c_1 / c_2$$

На границе контакта сред 1 и 2 и 1 и 3 должны быть выполнены условия непрерывности давления и нормальной к границе составляющей скорости

$$p_1 = p_2 \quad p_1 = p_3 \quad \frac{\partial}{\partial x} p_2 = \tau_{12} \frac{\partial}{\partial x} p_1 \quad \frac{\partial}{\partial x} p_3 = \tau_{13} \frac{\partial}{\partial x} p_1 \quad (2)$$
$$\tau_{12} = \rho_2 / \rho_1 \quad \tau_{13} = \rho_3 / \rho_1$$

Рассматриваются волны, длины которых намного превышают характерный размер неоднородностей (наименьший пространственный период), т.е. длинноволновое приближение. Вдоль направления оси x будут проходить волны, частоты которых совпадают с волноводными частотами системы неоднородностей, состоящей из сред 1 и 2. А т.к. рассматривается длинноволновое приближение, то частота падающей волны должна попадать в первую полосу пропускания системы неоднородностей.

Полосы пропускания и запираания. Волноводные функции

Прежде чем приступить к решению исходной (поставленной) задачи, рассмотрим задачу о распространении продольных волн по бесконечной одномерно-периодической системе неоднородностей, в дальнейшем называемой цепочкой.

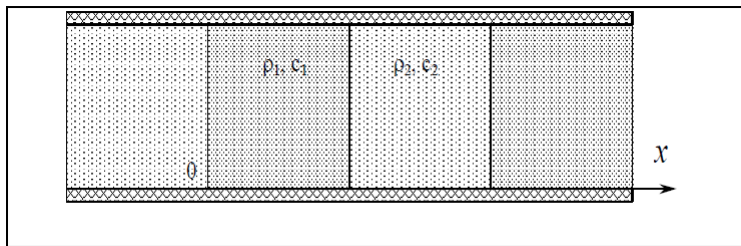


Рисунок 2 – Геометрия бесконечной периодической структуры и система обозначений

Пусть, как и ранее цепочка состоит из двух сред с заданными параметрами (плотность, скорость звука) (рис. 2). Подробное исследование аналогичных задач для различных цепочек можно найти в [2]. Здесь же приводится обобщение результатов и необходимая в дальнейшем терминология.

Установившиеся акустические колебания давления с круговой частотой ω описываются при помощи уравнений Гельмгольца

$$p_1'' + \lambda^2 p_1 = 0 \text{ в } \Omega_1, \quad p_2'' + \lambda^2 \kappa_{12}^2 p_2 = 0 \text{ в } \Omega_2 \quad (3)$$

$$\lambda = \omega L / c_1, \quad \kappa_{12} = c_1 / c_2$$

здесь $\lambda = \omega L / c_1$ – безразмерная частота колебаний, $\kappa_{12} = c_1 / c_2$ – отношение скоростей звука в соответствующих средах [3]. На границах контакта сред должны быть выполнены условия непрерывности давления и скорости, причем условие непрерывности скорости может быть выражено через давление с помощью интеграла Бернулли.

$$p_1 = p_2, \quad \frac{\partial}{\partial x} p_2 = \tau_{12} \frac{\partial}{\partial x} p_1, \quad \tau_{12} = \rho_2 / \rho_1 \quad (4)$$

Поставленная задача полностью описывает распространение акустических волн в цепочке, но является трудной для исследования в силу неограниченности области колебаний. Поскольку рассматриваемая цепочка является периодической, можно использовать ее инвариантность относительно группы трансляций по пространственной переменной. Допускаемая группа симметрий позволяет разложить пространство решений на соответствующие этой группе инвариантные подпространства. Так как группа трансляций коммутативна, то любое ее представление в пространстве допускаемых решений унитарно и одномерно, поэтому пространство

решений можно разложить на одномерные инвариантные относительно ее представления подпространства. Данные подпространства обладают следующими свойствами:

- 1 Мощность множества инвариантных подпространств - континуум.
- 2 Если функции p_1, p_2 – решение задачи в одном периоде (ячейке) – принадлежат одному из этих подпространств, то они удовлетворяют условию (сдвига фазы колебаний)-

$$p_1(x+1) = p_1(x)e^{i\xi} \quad p_2(x+1) = p_2(x)e^{i\xi} - \pi \leq \xi < \pi \quad (2,3)$$

Из второго свойства следует, что достаточно сформулировать и решить задачу в одной ячейке, т.е. при $0 < x < 1$, с дополнительным условием (5). Решение во всей цепочке можно получить продолжением решения задачи в одной ячейке при помощи условия (5). Обозначим задачу (3) – (5) – задачей С.

Определение 1: Волноводным значением задачи С назовем такое значение параметра λ^* для которого существует нетривиальное решение, удовлетворяющее соотношениям (3) – (5).

Определение 2: Волноводной частотой задачи С называется $\omega = \lambda^* L / c_1$

Определение 3: Волноводной функцией задачи С называется функция, удовлетворяющая соотношениям (3) – (5), при соответствующем λ^* .

Можно отметить, что волноводная функция, суженная на один период, является собственной функцией соответствующей краевой задачи (3) – (5). В [5] доказаны дискретность и вещественность множества волноводных частот для каждого фиксированного значения параметра ξ .

Колебания в одном пространственном периоде описываются соотношениями

$$\begin{aligned} p_1'' + \lambda^2 p_1 &= 0 \quad \text{в } \Omega_1, & p_1(k_1) &= p_2(k_1) \\ p_2'' + \lambda^2 \kappa_{12}^2 p_2 &= 0 \quad \text{в } \Omega_2, & \tau_{12} p_{1x}(k_1) &= p_{2x}(k_1) \quad (6) \\ p_1(0)e^{i\xi} &= p_2(1) & \tau_{12} p_{1x}(0)e^{i\xi} &= p_{2x}(1) \end{aligned}$$

Общее вид решения уравнения Гельмгольца в областях Ω_1 и Ω_2 можно записать в форме

$$p_1 = a_1 \exp(i\lambda x) + b_1 \exp(-i\lambda x) \quad (7)$$

$$p_2 = a_2 \exp(i\lambda \kappa_{12} x) + b_2 \exp(-i\lambda \kappa_{12} x)$$

Учитывая граничные условия (4) на неизвестные коэффициенты разложения a_1, b_1, a_2, b_2 можно получить однородную систему линейных уравнений с матрицей A имеющей вид:

$$\begin{bmatrix} \exp(i\lambda k_1) & \exp(-i\lambda k_1) & -\exp(i\lambda \kappa_{12} k_1) & \exp(-i\lambda \kappa_{12} k_1) \\ \tau_{12} \exp(i\lambda k_1) & -\tau_{12} \exp(-i\lambda k_1) & -\kappa_{12} \exp(i\lambda \kappa_{12} k_1) & \kappa_{12} \exp(-i\lambda \kappa_{12} k_1) \\ \exp(i\xi) & \exp(i\xi) & -\exp(i\lambda \kappa_{12}) & -\exp(-i\lambda \kappa_{12}) \\ \tau_{12} \exp(i\xi) & -\tau_{12} \exp(i\xi) & -\kappa_{12} \exp(i\lambda \kappa_{12}) & \kappa_{12} \exp(-i\lambda \kappa_{12}) \end{bmatrix} \quad (8)$$

Нетривиальное решение задачи C существует тогда и только тогда когда определитель матрицы A равен нулю. Непосредственно вычисляя определитель находим его выражение в виде:

$$\begin{aligned} f(\lambda, \xi) = & \frac{1}{2\kappa\tau} \left(2\kappa \sin(\lambda\kappa) \sin(\lambda\kappa k_1) \cos(\lambda k_1) \tau - \kappa^2 \sin(\lambda\kappa) \cos(\lambda\kappa k_1) \sin(\lambda k_1) - \right. \\ & - 2\kappa\tau \cos(\xi) + \cos(\lambda\kappa) \sin(\lambda\kappa k_1) \sin(\lambda k_1) \tau^2 + 2\kappa \cos(\lambda\kappa) \cos(\lambda\kappa k_1) \cos(\lambda k_1) \tau - \\ & \left. - \sin(\lambda\kappa) \sin(\lambda\kappa k_1) \sin(\lambda k_1) \tau^2 + \kappa^2 \cos(\lambda\kappa) \sin(\lambda\kappa k_1) \sin(\lambda k_1) \right) \quad (9) \end{aligned}$$

Здесь κ_1 – протяженность среды 1 в дальнейшем будет называться концентрацией. Соотношение (9) определяет волноводную частоту λ как функцию параметров системы и связывает ее с параметром ξ характеризующим сдвиг фазы в соседних ячейках, который может рассматриваться как волновое число волн бегущих по цепочки [9].

Если мы ограничимся лишь случаем длинных волн, то раскладывая определитель (9) по λ в точке $\lambda = 0$ и пренебрегая слагаемыми с λ^3 получаем приближенную формулу для безразмерных волноводных частот длинных волн

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{2\tau_{12}(1 - \cos \xi)}{k_1^2 \left((1 + \kappa_{12}^2) \tau_{12} - \tau_{12}^2 - \kappa_{12}^2 \right) + k_1 \left(\tau_{12}^2 - 2\kappa_{12}^2 \tau_{12} + \kappa_{12}^2 \right) + \kappa_{12}^2 \tau_{12}}} \quad (10)$$

Далее мода колебаний соответствующая низшей волноводной частоте будет называться ползущей [6]. Необходимо отметить, что длина соответствующих волн значительно превышает размеры неоднородностей.

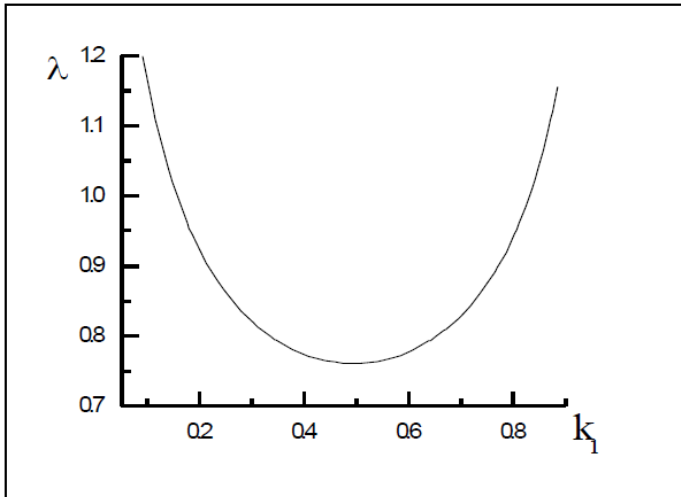


Рисунок 3 – Зависимость собственной частоты ползущей моды от концентрации k_1

На рис.3 приведена зависимость собственной частоты для ползущей моды от концентрации среды первого типа для фиксированных значений параметров плотности и скорости звука ($\rho_1=11336 \text{ кг/м}^3$, $\rho_2=1190 \text{ кг/м}^3$, $c_1=2160 \text{ м/с}$, $c_2=1480 \text{ м/с}$, «свинец- резина», $\xi = \pi$).

Необходимо отметить, что собственные частоты ползущей моды существенно зависят от концентрации k_1 . Наиболее существенно для различных приложений то, что при $k_1=0.5$ существует глобальный минимум собственной частоты как функции линейной концентрации [7]. Ниже приведена зависимость безразмерных собственных частот ползущей моды от сдвига фазы колебаний в соседних ячейках для различных концентраций k_1 .

Расчеты проведенные по формуле для определителя показывают что приближенная формула (10) справедлива лишь при малых значениях параметра ξ .

Результаты численного сравнения двух формул при малых значениях параметров приведены на рис. 5. Достаточно ясно, что при x меньших 0.2 для нахождения волноводных частот можно пользоваться длинноволновой формулой [8]. Приведена зависимость волноводных частот λ от сдвига фазы

ξ для различных значений концентрации k_1 . Видно, что для любого значения k_1 существуют интервалы, в которых локализованы все волноводные частоты. Назовем эти непересекающиеся интервалы полосами пропускания, а их дополнение до вещественной оси полосами запираения (непропускания).

На основе [10]–[13] аналитического и численного исследования (9), можно сделать вывод о наличии у цепочки счетного числа полос пропускания и полос запираения (непропускания).

Границы полос пропускания определяются равенствами: для первой полосы:

Пример расчета материала типа алюминий- свинец -резина.

Рассмотрим пример конкретной системы неоднородностей свинец-резина. Наиболее просто реализуемый вариант это – дробинки вваренные в резину. Среда 1 – свинец, среда 2 – резина. ($\rho_1=11336$ кг/м³, $\rho_2=1190$ кг/м³, $c_1=2160$ м/с, $c_2=1480$ м/с). Предположим, эта система сопряжена со средой 3 - алюминием ($\rho_3=2700$ кг/м³, $c_3=6260$ м/с) из которой падает волна частотой $f=10$ Гц. Задача состоит в определении параметров системы таких, чтобы отраженная волна была минимальна.

Используя описанный выше алгоритм были проведены расчеты. На рис.3. приведена зависимость модуля коэффициента отражения от линейной концентрации свинца для различных размеров элементарной ячейки цепочки. Очевидно, что для любого размера ячейки существует оптимальное значение концентрации при котором отраженная волна минимальна ($k_1=0.78$). Необходимо отметить слабую (фактически отсутствие) зависимость от размера элементарной ячейки. Но это и не удивительно поскольку длины волн бегущих по цепочке на порядки превышают размеры ячейки.

Совершенно иначе дело обстоит в случае если вместо алюминия взять сталь ($\rho_3=7700$ кг/м³, $c_3=5880$ м/с).

Отсутствие оптимального значения концентрации позволяет сделать вывод.

Наличие оптимального значения концентрации связано с условиями согласования материалов (т.е. не для любых материалов можно подобрать оптимальные параметры).

Так если в качестве параметра согласования взять среднее произведение скорости звука на плотность, то для системы «алюминий– свинец –резина» этот параметр отличается слабо, а для системы «сталь- свинец –резина» имеется отличие в несколько раз.

Выводы

1 Построена приближенная модель для расчета коэффициентов отражения и прохождения при дифракции плоской волны на системе неоднородностей, граничащей с однородной средой.

2 Найдены формулы для коэффициентов отражения и прохождения в зависимости от параметров сред.

3 Проведен численный анализ влияния геометрических и физических параметров системы на ее отражающие свойства (показано, что не для любых наборов сред и частот падающей волны существует оптимальные значения параметров).

4 Создана программа, позволяющая рассчитывать для заданных сред коэффициенты отражения и прохождения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Saimanova, Z. B., Sukhinin, S. V., Zhumadillayeva, A. K.** Wave transmission and reflection from the boundary of phononic crystal homogeneous medium // Eurasian journal of mathematical and computer applications. – 2020. – Volume 8. – Issue 1. – P. 62–75.

2 **Saimanova, Z. B., Sukhinin, S. V., Zhumadillayeva, A. K., Mukhametzhanova, A. O., Smagulova, A. S., Abildaeva, G. B.** Acoustic method of quality control of two-component composite material. // Applied Sciences. – 2021, 11(24). <https://doi.org/10.3390/app112411594>.

3 **Bao, J., Shi, Z. F., Xiang, H. J.** Dynamic responses of a structure with periodic foundations // Journal of Engineering Mechanics. – 2012. – Vol. 138. – P. 761–769.

4 **Сайманова, З. Б., Сухинин, С. В., Жумадилаева, А. К.** Фоонды кристалдар шекарасындағы толқындардың берілуі мен бейнеленуі // ҚазҰТУ хабаршысы. – 2020. – №6(130). – Б. 373–376.

5 **Сайманова, З. Б., Сухинин, С. В., Жумадилаева, А. К.** Гетерогенді екікомпонентті өнімдер қоспасының құрамын акустикалық бақылау // ҚазККА хабаршысы. – 2020. – №4(115). – Б. 348–353.

6 **Сайманова, З. Б., Сухинин, С. В., Жумадилаева, А. К.** Дыбыссіңіргіш және дыбысшағылыстыратын материалдарды оңтайландыру // «КАХАК» ҒТҚ жаңалықтары. – 2020. – №4(71). – Б. 42–48.

7 **Сайманова, З. Б., Сухинин, С. В., Жумадилаева, А. К.** Қабатты гидрооқшаулағыш ортадағы акустикалық толқындар // Жас ғалым Халықаралық ғылыми журнал. – 2020. – №10(300). – Б. 109–115.

8 **Сайманова, З. Б., Сухинин, С. В., Жумадилаева, А. К.** Біртекті емес екі компонентті орталарда акустикалық зондтау әдістерін әзірлеу // Ғылым және Білім – 2020: матер. 15-ші халық. ғыл. конф. – Нұр-Сұлтан, 2020. – Б. 668–672.

9 **Konstantinov, A. P., Sukhinin, S. V., Yurkovskiy, V. S.** Wave transmission and reflection at the boundary of phononic crystals // J. Phys. conf. ser. – 2017. – Vol. 894. – P. 012094-1-012094-7.

10 **Gavrilyuk, S. L., Makarenko, N. I., Sukhinin, S. V.** Waves in Continuous Media. – Cham : Springer International Publishing, 2017. – 141 p.

11 **Brun, M., Movchan, A. B., Jones, I. S.** Phononic band gap systems in structural mechanics: Finite slender elastic structures and infinite periodic waveguides // Journal of Vibration and Acoustics. – 2013. – Vol. 135. – P. 041013-1-041013-9.

12 **Сайманова, З. Б., Сухинин, С. В., Жумадилаева, А. К.** Біртекті ортадағы шекара бөлуінің байланысы арқылы дірілді және акустикалық толқындардың шағылуы және өтуі // Инновационные технологии, экономика и менеджмент в промышленности: жинағ. 8-ші халық. ғыл. конф. – Теміртау, 2021. – Б. 83–89.

13 **Сайманова, З. Б., Сухинин, С. В., Жумадилаева, А. К.** Гетерогендік ортадағы акустикалық орталар // Қазақстан Республикасы Тәуелсіздігінің 30 жылдығына: жинағ. 11-ші халық. ғыл.-тәжір. конф. «Инновациялық технологиялар және инжиниринг». – Қарағанды, 2021. – С. 364–368.

Принято к изданию 15.12.23.

REFERENCES

1 **Saimanova, Z. B., Sukhinin, S. V., Zhumadillayeva, A. K.** Wave transmission and reflection from the boundary of phononic crystal homogeneous medium // Eurasian journal of mathematical and computer applications. – 2020. – Volume 8. – Issue 1. – P. 62–75.

2 **Saimanova, Z. B., Sukhinin, S. V., Zhumadillayeva, A. K., Mukhametzhanova, A. O., Smagulova, A. S., Abildaeva, G. B.** Acoustic method of quality control of two-component composite material // Applied Sciences. – 2021. – 11(24). <https://doi.org/10.3390/app112411594>.

3 **Bao, J., Shi, Z. F., Xiang, H. J.** Dynamic responses of a structure with periodic foundations // Journal of Engineering Mechanics. – 2012. – Vol. 138. – P. 761–769.

4 **Saimanova, Z. B., Sukhinin, S. V., Zhumadillayeva, A. K.** Fonondy kristaldar shekarasyndagy tolkyndardyn berily men beinelenyi [Transmission and imaging of waves at the boundaries of phononic crystals] // Bulletin of KazNTU. – 2020. – №6(130). – P. 373–376.

5 **Saimanova, Z. B., Sukhinin, S. V., Zhumadillayeva, A. K.** Geterogendy ekikomponentty onimder kospasynyn kuramyn akustikaluk bakulau [Acoustic monitoring of the composition of a mixture of heterogeneous two-component products] // Bulletin of KazKKA. – 2020. – № 4(115). – P. 348–353.

6 **Saimanova, Z. B., Sukhinin, S. V., Zhumadillayeva, A. K.** Dubussinirgish jane dubushagulustyratyn materialdardy ontailandydy [Optimization of sound-

absorbing and sound-reflecting materials] // «КАНАК» STK news. – 2020. – № 4(71). – P. 42–48.

7 **Saimanova, Z. B., Sukhinin, S. V., Zhumadillayeva, A. K.** Kabatty gidrookshaylagish ortadagy akustikaluk tolkyndar [Acoustic waves in a layered waterproofing medium] // Young scientist International scientific journal. – 2020. – № 10(300). – P. 109–115.

8 **Saimanova, Z. B., Sukhinin, S. V., Zhumadillayeva, A. K.** Birtekyt emes eki komponentty ortalarda akustikaluk zondtau adisterin azirley [Development of acoustic sensing methods in inhomogeneous two-component media] // Ğylým Jáne Bilim – 2020: mater. 15th nation. do it conf. – Nur-Sultan, 2020. – P. 668–672.

9 **Konstantinov, A. P., Sukhinin, S. V., Yurkovskiy, V. S.** Wave transmission and reflection at the boundary of phononic crystals // J. Phys. conf. ser. – 2017. – Vol. 894. – P. 012094-1-012094-7.

10 **Gavrilyuk, S. L., Makarenko, N. I., Sukhinin, S. V.** Waves in Continuous Media. – Cham : Springer International Publishing, 2017. – 141 p.

11 **Brun, M., Movchan, A. B., Jones, I. S.** Phononic band gap systems in structural mechanics : Finite slender elastic structures and infinite periodic waveguides // Journal of Vibration and Acoustics. – 2013. – Vol. 135. – P. 041013-1-041013-9.

12 **Saimanova, Z. B., Sukhinin, S. V., Zhumadillayeva, A. K.** Birtekyt ortadagy shekara bolyinin bailanysy arkyly dirildy zhane akustikaluk tolkundardyn shagylıy zhane otyı [Reflection and transmission of vibration and acoustic waves through the contact of boundary separation in a homogeneous medium] // Innovative technologies, economics and management in industry: collection. 8th nation. do it conf. – Temirtau, 2021. – P. 83–89.

13 **Saimanova, Z. B., Sukhinin, S. V., Zhumadillayeva, A. K.** Geterogendik ortadagy akustikaluk ortalalar [Acoustic environments in heterogeneous environments] // To the 30th anniversary of the Independence of the Republic of Kazakhstan: collection. 11th nation. gy.-business. conf. «Innovative technologies and engineering». – Karaganda, 2021. – P. 364–368.

Accepted for publication on 15.12.23.

***З. Б. Сайманова, Б. О. Мухаметжанова, Д. Ж. Кайбасова,
Э. К. Сейпишова, Д. Е. Сағатбекова**

Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті,
Қазақстан Республикасы, Қарағанды қ.
Басып шығаруға 15.12.23 қабылданды.

БІРТЕКТІ ЕМЕС ДЫБЫС СІҢІРЕТІН МАТЕРИАЛДАРДЫ ОҢТАЙЛАНДЫРУДЫҢ БАҒДАРЛАМАЛЫҚ ЖАСАҚТАМАСЫН ӘЗІРЛЕУ

Мақалада тегіс акустикалық толқындардың еденге шексіз гетерогенділік жүйесіне түсуінің тұрақты процесін сипаттайтын және біртекті кеңістіктің шекарасында және біртектес емес бір өлшемді периодты гетерогенділік жүйесінің жартысында толқындардың шағылысу және өту коэффициенттерін зерттеуге мүмкіндік беретін бір өлшемді жусықтауда математикалық модель жасалды. Әр түрлі орта комбинациялары үшін шағылысу және өту коэффициенттерін есептеу бағдарламасы жазылған. Жүйенің геометриялық параметрлерінің (гетерогенділік мөлшері) және жүйеге кіретін орталардың физикалық параметрлерінің (тығыздығы, дыбыс жылдамдығы) өту және шағылысу коэффициенттеріне әсері зерттелді. Бірқатар материалдар үшін параметрлердің оңтайлы мәндері табылды.

Діріл мен Шудың негізгі көзі өнеркәсіптік құрылыс және техникалық құрылымдар болып табылады. Адам өмірінің қауіпсіздігі мен жайлылығын арттыру мәселесін шешу қазіргі заманғы технологиялар мен технологияларды дамыту тұрғысынан өте өзекті міндет болып табылады.

Шу мен дірілді азайтудың негізгі әдісі- шу мен дірілдің адамның жұмыс аймағына таралуын болдырмайтын әртүрлі шу мен дірілді сіңіретін материалдарды пайдалану. Жақында осындай материалдар ретінде гетерогенді материалдар, яғни шу мен дірілдің таралу параметрлері әр түрлі ортадан тұратын материалдар қарқынды зерттелуде.

Жаңа шуды және дірілді сіңіретін материалдарды әзірлеу үшін қазіргі уақытта гетерогенді ортадағы толқындық құбылыстарды зерттеуге, сондай-ақ басқарылатын шу/діріл оқшаулағыш және шуды/дірілді сіңіретін қасиеттері бар сапалы композициялық гетерогенді материалдарды жобалауға арналған бағдарламалық-аналитикалық құралдарды әзірлеу өзекті және қажет.

Кілтті сөздер: бағдарламалық жасақтама, коэффициенттерді есептеу, математикалық модель, алгоритм, компьютер, дыбыс сіңіретін материалдар.

***Z. B. Saimanova, B. O. Mukhametzhanova, D. J. Kaibasova,
E. K. Seipishova, D. E. Sagatbekova**

Abylkas Saginov Karaganda Technical University,
Republic of Kazakhstan, Karaganda.

Accepted for publication 15.12.23.

DEVELOPMENT OF SOFTWARE FOR OPTIMIZATION OF INHOMOGENEOUS SOUND-ABSORBING MATERIALS

In the article, a mathematical model has been created, in a one-dimensional approximation, describing the steady-state process of falling plane acoustic waves on a semi-infinite system of inhomogeneities and allowing us to study the coefficients of reflection and passage of waves at the boundary of a homogeneous space and a semi-infinite one-dimensional periodic system of inhomogeneities. A program for calculating reflection and transmission coefficients for various combinations of media has been written. The influence of the geometric parameters of the system (the size of inhomogeneities) and the physical parameters of the media included in the system (density, speed of sound) on the transmission and reflection coefficients is studied. Optimal parameter values were found for a number of materials.

The main source of vibration and noise are industrial construction and technical structures. Solving the problem of improving the safety and comfort of human life is a very urgent task in terms of the development of modern technology and technologies.

The main method of noise and vibration reduction is the use of various noise- and vibration-absorbing materials that prevent the spread of noise and vibration into the human work area. Heterogeneous materials, that is, materials consisting of various media with different parameters of noise and vibration propagation, have recently been intensively studied as such materials.

For the development of new noise- and vibration-absorbing materials, it is currently urgent and necessary to develop software and analytical tools for the study of wave phenomena in heterogeneous media, as well as the design of high-quality composite heterogeneous materials with controlled noise/vibration insulating and noise/vibration absorbing properties.

Keywords: software, coefficient calculation, mathematical model, algorithm, computer, sound-absorbing materials.

Теруге 15.12.2023 ж. жіберілді. Басуға 29.12.2023 ж. қол қойылды.

Электрондық баспа

7,50 Mb RAM

Шартты баспа табағы 10,01. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: Е. Е. Калихан

Корректор: А. Р. Омарова

Тапсырыс № 4178

Сдано в набор 15.12.2023 г. Подписано в печать 29.12.2023 г.

Электронное издание

7,50 Mb RAM

Усл.печ.л. 10,01. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка Е. Е. Калихан

Корректор: А. Р. Омарова

Заказ № 4178

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

«Торайғыров университеті» КЕ АҚ

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

«Торайғыров университеті» КЕ АҚ

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

+7(718)267-36-69

e-mail: kereku@tou.edu.kz

www.vestnik.tou.edu.kz

<https://vestnik-pm.tou.edu.kz/>