

ЧИСЕЛЬНИЙ АНАЛІЗ ВЗАЄМОДІЇ АКУСТИЧНИХ ХВИЛЬ З ТЕКСТИЛЬНИМИ МАТЕРІАЛАМИ

Яненко О. П.¹, д.т.н., проф.; Лісовець С. М.², к.т.н., доцент

¹*КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна*

²*КНУТД, м. Київ, Україна*

Виготовлення і експлуатація текстильних матеріалів, таких як трикотаж і тканини, припускає контроль їх основних характеристик і властивостей, до яких відносяться, зокрема, товщина, поверхнева густина, пористість, кількість ниток на одиницю довжини, натяг тощо [1]. Існує багато різних за будовою і призначенням текстильних матеріалів, значення основних характеристик яких відрізняються від кількох одиниць до кількох десятків раз. Контролюють властивості текстильних матеріалів, зазвичай, акустичними методами, шляхом опромінення матеріалу акустичними хвилями, з подальшим аналізом параметрів прийнятих акустичних хвиль, що пройшли або відбилися від такого матеріалу.

Оскільки текстильні матеріали за своїми властивостями суттєво відрізняються один від одного, то для отримання найбільшої вірогідності такого контролю потрібно розраховувати або підбирати параметри акустичної хвилі, яка буде взаємодіяти з певним текстильним матеріалом.

Це стосується, зокрема, таких питань, як правильне розташування акустичних випромінювачів і приймачів відносно текстильного матеріалу. Також важливими питаннями є визначення амплітуди, частоти, періоду, шпаруватості, кута випромінювання і прийому, ступеня розходження пучка тощо акустичної хвилі. Побудова експериментальної установки і подальше налагодження її параметрів під певну групу текстильних матеріалів “методом тунелю” вимагає багато матеріальних, часових і людських ресурсів та не є ефективною. Більш доцільним є проведення попереднього моделювання розповсюдження акустичних хвиль із застосуванням чисельних методів – зокрема, методу скінчених різниць в часовій області Finite-Difference Time-Domain (FDTD) [2, 3]. Результати моделювання можуть використовуватися для побудови обладнання акустичного контролю текстильних матеріалів [4]. Метод FDTD є досить поширеним не тільки в акустиці, але й в механіці, радіотехніці тощо. Суть методу FDTD полягає в тому, що для розрахунку параметрів всього акустичного тракту (до якого входять, зокрема, повітряне середовище і текстильний матеріал) можна використати двошарову схему обчислень, в яку входять тензор механічних напружень і вектор коливальної швидкості.

Просторово-часова координатна сітка, яка використовується в методі FDTD, заповнюється як вихідним властивостями складових акустичного тракту (щільність, модуль пружності тощо), так і отриманими значеннями

механічної напруги і коливальної швидкості (див. рис. 1).

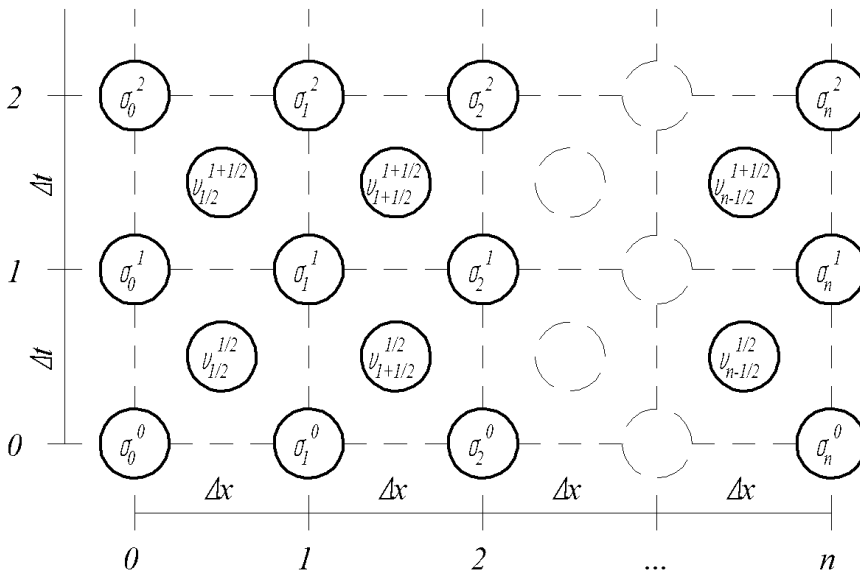


Рисунок. 1. Просторова-часова координатна сітка

Просторова-часова координатна сітка задається з кроком Δx по осі координат x і кількістю кроків n : початок координатної сітки ($x_0=0$) при $i=0$ відповідає точці випромінювання акустичних хвиль (початок середовища), а кінець ($x_n=\Delta x n$) при $i=n$ – точці кінця

середовища (вільна межа). А також з кроком Δt по осі часу t і кількістю кроків m : початок координатної сітки ($t^0=0$) при $j=0$ відповідає точці початку розрахунків, а кінець ($t^m=\Delta t m$) при $j=m$ – точці кінця розрахунків. У вузлах σ_i (при $i=0\dots n$) цієї сітки розраховуються значення механічної напруги, а між вузлами в точках $v_{i+1/2}$ (при $i=0\dots n-1$) – значення коливальної швидкості.

Для визначення зміни коливальної швидкості Δv (на основі другого закону Ньютона для суцільного середовища) використовується залежність

$$\Delta v = \frac{1}{\rho} \left(\frac{\Delta \sigma}{\Delta x} + P \right) \Delta t, \quad (1)$$

де ρ – щільність; $\Delta \sigma$ – зміна механічної напруги; P – стороння механічна напруга (вплив акустичних хвиль).

А для визначення зміни механічної напруги (на основі моделі в'язкопружного середовища Кельвіна-Фойгта) використовується залежність

$$\Delta \sigma = C \frac{\Delta v}{\Delta x} \Delta t + \eta \frac{\Delta v \Delta v}{\Delta x}, \quad (2)$$

де C – модуль пружності; η – модуль динамічної в'язкості.

Реалізація методу FDTD була виконана на мові програмування C# в вигляді графічного представлення взаємодії акустичних хвиль з текстильними матеріалами. Так як метод FDTD сам по собі є відносно складним, то чисельне моделювання здійснювалося тільки для одновимірного і двовимірного випадків розповсюдження поздовжньої акустичної хвилі без урахування

ефекту розходження акустичного пучка.

Моделювання здійснювалося як для кулірного трикотажного полотна кількох різних переплетень, так і для тканин з натуральної і хімічної сировини. Результати чисельного моделювання методом FDTD показали досить непоганий збіг із існуючими результатами акустичного контролю на тих же самих текстильних матеріалах в межах загальної похибки (15...20)%.

Перелік посилань

1. Здоренко В.Г. Дослідження розповсюдження акустичних хвиль через трикотажні і текстильні матеріали методом FDTD / В.Г. Здоренко, С.М. Лісовець, С.В. Барилко, І.Л. Ківа // Метрологія та прилади. – 2017. – № 5–І (67). – С. 123–125.

2. Бархатов В.А. Решение волновых уравнений методом конечных разностей во временной области. Двумерная задача. Основные соотношения // Дефектоскопия. – № 9. – 2007. – С. 54–70.

3. Бархатов В.А. Решение динамических задач акустики методом конечных разностей во временной области. Основные соотношения. Анализ погрешностей // Дефектоскопия. – 2005. – № 3. – С. 12–26.

4. Пьезокерамические преобразователи: Справочник / В.В. Ганопольский, Б.А. Касаткин, Ф.Ф. Легуша, Н.И. Прудько, С.И. Пугачёв. – Л.: Судостроение, 1984. – 256 с., ил. – (Библиотека инженера-гидроакустика).

Анотація

Розглянуто застосування чисельного методу Finite-Difference Time-Domain (FDTD) для аналізу взаємодії акустичних хвиль з текстильними матеріалами (трикотаж, тканина), що мають такі особливості внутрішньої будови, як складне просторове розташування ниток, різна товщина ниток, деформований стан внаслідок отриманих деформацій тощо.

Ключові слова: текстиль, трикотаж, тканина, тензор механічних напруг, вектор коливальної швидкості, координатна сітка, суцільне середовище.

Аннотация

Рассмотрено применение численного метода Finite-Difference Time-Domain (FDTD) для анализа взаимодействия акустических волн с текстильными материалами (трикотаж, ткань), имеющих такие особенности внутреннего строения, как сложное пространственное расположение нитей, разная толщина нитей, деформированное состояние в результате приобретенных деформаций и т.д.

Ключевые слова: текстиль, трикотаж, ткань, тензор механических напряжений, вектор колебательной скорости, координатная сетка, сплошная среда.

Abstract

Application of the numerical Finite-Difference Time-Domain (FDTD) method for the analysis of interaction of the acoustic waves with textiles (jersey, fabric) having such features of interior as the composite spatial arrangement of threads, different thickness of threads, a strained state as a result of the acquired deformations etc. is considered.

Keywords: textiles, jersey, fabric, tensor of mechanical tensions, vector of swaying speed, coordinate grid, continuous environment.