

## ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ FDTD ДЛЯ АНАЛІЗУ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ АКУСТИЧНИХ ХВИЛЬ В СТРУКТУРНО НЕЛІНІЙНИХ СЕРЕДОВИЩАХ

*Лісовець С.М., Ківа І.Л.*

*Київський національний університет технологій та дизайну, м. Київ, Україна  
ser\_lis@voliacable.com, kiwa.igor@yandex.ru*

Розглядається чисельний метод Finite-Difference Time-Domain (FDTD) для випадку одновимірного розповсюдження акустичної хвилі, який є дуже поширеним і полягає в застосуванні двошарової схеми обчислень. Причому згідно з методом FDTD механічна напруга  $\sigma$  і коливальна швидкість  $v$  в акустичній хвилі розраховуються по черзі (спочатку  $\sigma$ , потім  $v$ , тоді знову  $\sigma$  і так далі) згідно із рівномірними просторовими і часовими координатними сітками. Розрахунок зміни  $\Delta v$  коливальної швидкості  $v$  передбачає застосування другого закону Ньютона для суцільного середовища, який після заміни диференціалів їх приростами має вигляд

$$\rho \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{\Delta \sigma}{\Delta x} + F,$$

де  $\rho$  – щільність середовища;  $F$  – сторонні сили, які впливають на середовище (наприклад, короткий акустичний імпульс або пакет акустичних коливань).

Розрахунок зміни  $\Delta \sigma$  механічної напруги  $\sigma$  передбачає застосування моделі Кельвіна-Фойгта для в'язкопружного середовища, яка також після заміни диференціалів їх приростами має вигляд

$$\Delta \sigma = C \frac{\Delta v}{\Delta x} \Delta t + \eta \frac{\Delta v \Delta v}{\Delta x},$$

де  $C$  – пружність;  $\eta$  – динамічна в'язкість.

Відмінність застосування запропонованого методу FDTD полягає в тому, що робилася спроба розрахувати розповсюдження акустичної хвилі не через однорідні середовища (ці розв'язки вже відомі), а через середовища, які утримують певні дефекти. Наприклад, наявність в середовищі розшарувань або зон корозії моделюється тим, що змінюються такі параметри середовища, як його щільність  $\rho$ , пружність  $C$  і динамічна в'язкість  $\eta$ . Також дуже суттєвою перевагою методу FDTD є те, що досить легко моделювати наявність в середовищі різних за кількістю і видами дефектів, наприклад, різних за розмірами зон корозії та різних за наповненнями тріщин.

При моделюванні для розрахунків наступних значень  $\sigma$  і  $v$  застосовувалися інтерполяційні формули, що дозволяли зменшити просторовий  $\Delta x$  і часовий  $\Delta t$  кроки (зменшуючи тим самим необхідний об'єм пам'яті), але водночас збільшували необхідний об'єм обчислень.

Для програмної реалізації методу FDTD застосовувалася мова програмування C# і середовище розробки Visual Studio 2012.

Ключові слова: механічна напруга, коливальна швидкість, двошарова схема обчислень, структурно нелінійне середовище.