

# ВИКОРИСТАННЯ COMSOL MULTIPHYSICS ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ АКУСТИЧНОГО ТРАКТУ

**Лісовець Сергій Миколайович**

К.т.н., доцент  
Київський національний університет  
технологій та дизайну  
м. Київ, Україна

**Вступ.** Як відомо, дослідження складних технічних систем можна виконувати двома основними способами: шляхом їх експериментального дослідження і шляхом побудови їх моделей [1].

Експериментальне дослідження є досить складним процесом, який вимагає багато матеріальних, часових, людських, фінансових і інших ресурсів – а іноді таке дослідження провести взагалі неможливо.

Зазвичай швидше створити потрібну модель – але, крім цього, необхідно ще й перевірити правильність такої моделі, виконати її симуляцію, правильно відобразити результати симуляції, оцінити точність симуляції і так далі. Тому виконання таких етапів теж вимагає значних зусиль.

Як альтернативу побудові власних моделей часто використовують перевірені часом програмні пакети, які призначені для застосування в тих або інших технічних системах. Таким пакетом є COMSOL Multiphysics [1].

Однією з головних переваг COMSOL Multiphysics є те, що він має єдиний інтерфейс користувача і уніфіковане середовище моделювання для таких різних за фізичною природою явищ, як електродинаміка, гідродинаміка, теплопередача, механіка, акустика, хімія і так далі.

Зокрема, модуль Акустика дозволяє моделювати взаємодію між акустичними хвилями в рідинах, газах і твердих тілах (зокрема, в п'єзоелектричних матеріалах). Він також дозволяє моделювати такі класичні явища, як розсіювання, дифракція, випромінювання, розповсюдження і приймання акустичних хвиль.

Для розрахунків в модулі Акустика використовуються метод скінченних елементів (FEM), метод граничних елементів (BEM), метод трасування променів (Ray tracing) і розривний метод скінченних елементів Гальоркіна (dG-FEM).

**Мета дослідження.** Полягала в тому, щоб виконати моделювання розповсюдження акустичних хвиль через багатошарове середовище, причому кожний з шарів характеризується своїми параметрами.

**Об'єкт дослідження.** В якості об'єкта дослідження застосовувалися композитні матеріали – зокрема, такі, як полімерні (склопластики, текстоліти і полімери, які наповнені порошками). Так як дослідження передбачалося не експериментальне, а шляхом моделювання, то для вищезначених матеріалів визначалися такі їх характеристики, як товщина, густина, акустичний опір, наявність неоднорідностей структури і так далі, після чого такі характеристики вносилися в модель.

**Результати дослідження.** В результаті проведення дослідження було успішно створено і просимульовано кілька моделей. Симуляція полягала в тому, що послідовно змінювалися деякі з характеристик моделей (наприклад, товщина і кількість шарів полімерних композиційних матеріалів) і визначався вплив зміни таких характеристик на амплітуду і фазу акустичних хвиль, які взаємодіють з такими матеріалами.

Така симуляція дозволяла виявити такі умови взаємодії полімерних композиційних матеріалів з акустичними хвилями (типи електроакустичних перетворювачів, робочі частоти тощо), які характеризуються максимальним впливом зміни характеристик полімерних композиційних матеріалів на акустичні хвилі. В свою чергу, інформація про такі умови взаємодії дозволяє створювати засоби неруйнівного акустичного контролю для достатньо різних матеріалів, які мають велику роздільну здатність, точність і високий рівень автоматизації.

**Висновки.** Використання COMSOL Multiphysics дозволяє дуже сильно скоротити час на створення засобів неруйнівного акустичного контролю.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ**

1. Буркова Е.Н. Система автоматизированных расчётов Comsol [Электронный ресурс]: Учеб. пособие / Е.Н. Буркова, А.Н. Кондрашов, К.А. Рыбкин; Перм. гос. нац. исслед. ун-т. – Электрон. дан. – Пермь, 2019. 133 с. – ISBN 978-5-7944-3286-2.