

у просторі перетворень Фур'є може використовуватися для розрахунків активних п'єзоелектричних конструкцій і композитів на їх основі при ударному навантаженні.

Список використаних джерел: 1. *Dubenets V. G. Nonstationary vibrations of a beam with electro-viscoelastic dissipative patches / V. G. Dubenets, O. V. Savchenko, O. L. Derkach // Visnyk of Chernihiv National Technological University. – Chernihiv : Chernihiv State Technological University. – 2013. – № 3(67). – Р. 53-61.* 2. *Дубенець В. Г. Колебания демпфированных композитных конструкций / В. Г. Дубенець, В. В. Хильчевский. – К. : Вища школа, 1995. – Т. 1. – 226 с.* 3. *Савченко Е. В. Пассивное демпфирование колебаний композитных конструкций : монография / Е. В. Савченко. – Нежин : Аспект-Поліграф, 2006. – 232 с.*

УДК 534.1:539.3

НОВІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ МАТЕРІАЛИ: НАПРЯМКИ ЇХ ВИКОРИСТАННЯ У КОНСТРУКЦІЯХ, ЩО ПРАЦЮЮТЬ В УМОВАХ ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

С.М. Ющенко, аспірант

Наук. кер.: **В.Г. Дубенець**, д-р техн. наук, проф., зав. кафедри теоретичної і прикладної механіки

Чернігівський національний технологічний університет

Смарт-матеріалами (від англ. Smart-materials) або «інтелектуальними», «розумними» матеріалами називають широкий клас матеріалів, що мають здатність цілеспрямовано змінювати свої фізичні та фізико-хімічні властивості залежно від зміни зовнішніх умов. Під зміною зовнішніх умов мається на увазі зміна природних умов, умов експлуатації, або, наприклад, переміщення конструкції у просторі [1]. Смарт-матеріали все більше приходять на зміну звичайним конструкційним матеріалам і застосовуються у багатьох галузях науки і техніки оскільки мають переваги порівняно з традиційними матеріалами, зокрема: більша ефективність, вища працездатність, більш широкий діапазон робочих умов. Особливістю усіх смарт-матеріалів є здатність перетворювати один вид енергії в інший, причому, важливим фактором для їх практичного застосування є можливість керування таким перетворенням. До смарт-матеріалів відносять п'єзоелектричні, електрострикційні, магнітострикційні матеріали, реологічні рідини, сплави з пам'яттю форми та інші.

Серед широкого різноманіття видів смарт-матеріалів найбільш розповсюдженими є п'єзоелектричні матеріали, які здатні поляризуватися під дією зовнішньої деформації та (або) деформуватися при прикладенні зовнішнього електричного поля. Таким чином, п'єзоматеріали перетворюють механічну енергію в електричну і навпаки. Значна увага до п'єзоматеріалів обумовлена рядом суттєвих переваг, зокрема висока

надійність, невеликі масогабаритні показники, високі термостійкість, радіаційна стійкість та стійкість до дії агресивних середовищ, можливість використання без введення додаткових кінематичних зв'язків з об'єктом тощо.

П'єзоелектрика (від грец. «piezō» – «давити») – явище виникнення електричних зарядів на протилежних гранях деяких класів кристалів у результаті їх механічного деформування. Це явище називають прямим п'єзоелектом. З ним тісно пов'язаний зворотній п'єзоелектричний ефект – виникнення механічної деформації п'єзокристалу при його електричній поляризації. Обидва ефекти представляють собою прояв однієї й тієї ж властивості п'єзоматеріалів і відносяться до оборотних фізичних явищ [2].

Для опису п'єзоелектричного ефекту та визначення електромеханічних характеристик п'єзоматеріалів використовують визначальні фізичні рівняння:

$$\begin{aligned}\sigma &= C\varepsilon - e^T E; \\ D &= e\varepsilon + kE,\end{aligned}\tag{1}$$

де σ – механічні напруження; ε – механічна деформація; E – напруженість електричного поля; D – зміщення електричного поля; C – матриця пружних модулів (6×6); e – матриця п'єзоелектричних модулів (3×6); k – матриця діелектричних проникностей (3×3). Дані рівняння, перше з яких описує прямий п'єзоелект, а друге – зворотній, дозволяють врахувати як пружні, так і електричні складові властивостей п'єзоматеріалів.

Здатність п'єзоматеріалів перетворювати механічну енергію в електричну і навпаки обумовила їх широке використання у різних галузях: від п'єзозапальничок, датчиків, п'єзоелектричних двигунів, електромеханічних перетворювачів до пристроїв, що застосовуються в ехолокації, електроакустиці та ультразвуковій діагностиці. Проте справжній прорив у науці і техніці відбувся з відкриттям можливостей застосування п'єзоматеріалів для демпфірування коливань конструкцій, що працюють в умовах динамічних навантажень.

Безліч конструкцій працює при змінних динамічних навантаженнях, у результаті чого в елементах конструкцій виникають нестационарні коливання, які при перевищенні допустимих величин можуть спричинити втрату стійкості та руйнування конструкції. Особливо небезпечними виявляються коливання з частотою, що співпадає з власною частотою коливань конструкції, – резонансні коливання.

Для забезпечення надійності елементів конструкцій в умовах динамічних навантажень особливого значення набуває здатність конструкції чинити опір появі значних амплітуд коливань та здатність демпфірувати динамічні переміщення, що обумовлює затухання вільних та обмеження амплітуд резонансних коливань [3].

Для керування коливаннями одним із найбільш перспективних на сьогодні методів є демпфірування коливань за допомогою п'єзоматеріалів. До складу елементів конструкцій вводять п'єзоактивні елементи, Деякі з них – сенсори – сприймають інформацію про зовнішнє навантаження і виконують функцію чутливого датчика, а інші – актуатори – здійснюють відгук на вхідний сигнал, виконуючи функцію привода. Сенсор, в основі роботи якого лежить явище прямого п'єзоефекту, перетворює зовнішню механічну дію в електричний сигнал, а актуатор, сприймаючи вхідний електричний сигнал, перетворює його у механічні коливання. Актуатори залежно від призначення конструкції можуть працювати як погашувачі або як збуджувачі коливань. Проте найчастіше вони використовуються саме для погашення коливань, коли актуатор, працюючи у протифазі з сенсором, здійснює відгук на сигнал від сенсора і компенсує зовнішнє навантаження.

Демпфірування коливань конструкцій може бути активним та пасивним (з підключенням шунтуючих електричних ланцюгів). При цьому розташування п'єзоелементів в елементах конструкцій може бути у вигляді розподілених включень по довжині конструкції або у вигляді суцільних шарів. Деякі приклади розміщення сенсорів та актуаторів при активному демпфіруванні коливань показано на прикладі консольної балки, що піддається впливу зовнішнього навантаження F (рис. 1).

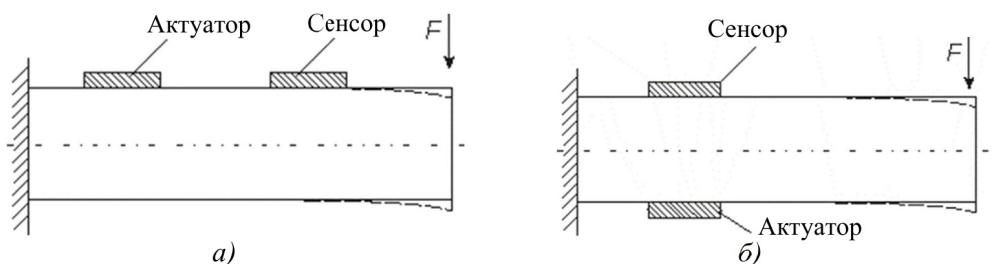


Рис. 1. Схеми розташування сенсорів та актуаторів при активному демпфіруванні консольної балки (а) – одностороннє, б) – двостороннє

Усі пристрої та конструкції, що складаються з інтелектуальних матеріалів, також є інтелектуальними. Загалом усі структури з вбудованими сенсорами та актуаторами називаються смарт-структурами і мають здатність до самоконтролю та самоуправління [4].

П'єзоелементи у вигляді сенсорів та актуаторів широко використовуються для демпфірування коливань у таких конструкціях, як супутникові антени, мостові конструкції, літаки, вертольоти, ракетно-космічна техніка. Так, у роботі [1] виконується дослідження системи контролю коливань супутникової антени, у структуру ребер якої введені п'єзоелектричні датчики та перетворювачі (рис. 2). Автори роботи [5] розглядають активне та пасивне демпфірування коливань лопатей ротора вертольота з використанням п'єзокерамічних сенсорів та актуаторів.

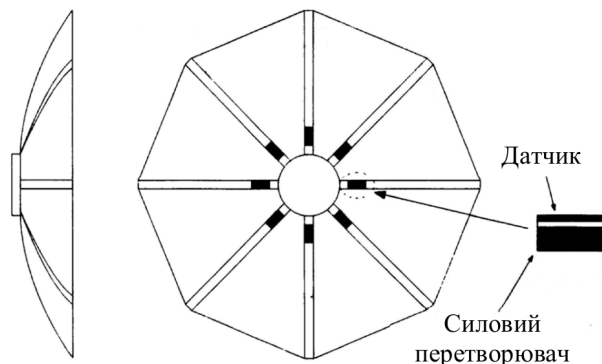


Рис. 2. Схематичне зображення активної антени

Останнім часом традиційні п'єзоелектричні матеріали витісняються більш ефективними – п'єзокомпозиційними матеріалами. П'єзокомпозити – гетерогенні матеріали, що складаються зі зв'язуючої речовини (матриці) та наповнювачів (армування) з чіткою метою розділу між ними, один або декілька компонентів яких мають п'єзоелектричні властивості. За характерною формою та розмірами структурних елементів п'єзокомпозити розділяють на волокнисті, зернисті та багатошарові. Крім того, можуть зустрічатися складні структури п'єзокомпозитів, які є комбінацією простих структур. Порівняно з гомогенними матеріалами п'єзокомпозити забезпечують можливість поєднання сприятливих фізико-механічних характеристик складових та покращення структури і властивостей, чим і обумовлюється їх широке використання [6].

Таким чином, п'єзоматеріали як вид смарт-матеріалів широко застосовуються нині для демпфірування коливань у конструкціях, що працюють в умовах динамічних навантажень. Смарт-конструкції з п'єзоактивними елементами у своїй структурі забезпечують ефективне керування коливаннями і є перспективними для використання у різних галузях сучасної техніки.

Список використаних джерел: 1. Уорден К. Новые интеллектуальные материалы и конструкции. Свойства и применение / К. Уорден. – Москва : Техносфера, 2006. – 224 с. 2. Кэди У. Пьезоэлектричество и его практическое применение : пер. с англ. Б. Н. Достовалова и В. П. Константиновой / У. Кэди ; под ред. А. В. Шубникова. – М. : Изд-во иностранной литературы, 1949. – 718 с. 3. Дубенец В. Г. Колебания демпфированных композитных конструкций / В. Г. Дубенец, В. В. Хильчевский. – К. : Вища школа, 1995. – Т. 1. – 226 с. 4. Bandyopadhyay B. Modeling, Control and Implementation of Smart Structures: A FEM-State Space Approach / B. Bandyopadhyay, T. C. Manjunath, M. Umapathy // Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007. – 282 p. 5. Helicopter rotor blade vibration control on the basis of active/passive piezoelectric approach / S. Shevtsov, A. Soloviev, V. Acopyan, I. Samochenko // PHYSCON-2009, Catania, Italy. – 1 September, 4, 2009. 6. Encyclopedia of smart materials. – Mel Schwartz, editor-in-chief. "A Wiley-Interscience publication", 2002. – 1190 p.