

УДК 620.1:678.7]:534.083

**ВИМІРЮВАННЯ ДИСИПАТИВНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ  
НЕМЕТАЛЕВИХ ГЕТЕРОГЕННИХ МАТЕРІАЛІВ****В. М. Тонконогий<sup>1</sup>, М. О. Голофєєва<sup>2</sup>, С. І. Павличенко<sup>3</sup>,  
А. О. Перпері<sup>4</sup>**

*В статті розглядаються питання визначення дисипативних властивостей виробів із неметалевих гетерогенних матеріалів. Проведений аналіз можливості використання існуючих методів вимірювання характеристик розсіювання енергії коливань при дослідженні властивостей неметалевих гетерогенних матеріалів. Показано, що використання відомих методів вимірювань дисипативних властивостей при дослідженні неметалевих гетерогенних матеріалів призводить до виникнення суттєвих похибок. Запропонований ударний акустичний метод вимірювання вказаних характеристик.*

**Ключові слова:** неметалевий гетерогенний матеріал; дисипативні властивості; акустичний метод вимірювання.

Для забезпечення випереджуючого розвитку машинобудування необхідне інтенсивне використання нових конструкційних матеріалів. Все більше застосування знаходять різного виду гетерогенні матеріали та структури [8], які складаються з двох або більше компонентів (армуючого наповнювача та полімерної матриці) та мають специфічні фізико-механічні властивості, відмінні від сумарних властивостей складових компонентів. Такі матеріали відрізняються високими функціональними можливостями та забезпечують підвищення надійності, збільшення ресурсу роботи, зниження маси виробів, можливість експлуатації в екстремальних умовах [2]. Правильний вибір нових матеріалів для відповідних деталей устаткування у поєднанні з технологічними процесами, цілеспрямованим на отримання необхідної точності та якості, дають можливість суттєво підвищити технічні параметри обладнання, його довговічність зі значним зменшенням матеріалоемності [4].

<sup>1</sup> © Тонконогий В. М., д.т.н., проф., Одеський національний політехнічний університет.

<sup>2</sup> © Голофєєва М. О., к. т. н., Одеський національний політехнічний університет.

<sup>3</sup> © Павличенко С. І., студент, Одеський національний політехнічний університет.

<sup>4</sup> © Перпері А. О., к.т.н., Одеська державна академія будівництва та архітектури.

Суттєвою перевагою неметалевих гетерогенних матеріалів порівняно з традиційними конструкційними матеріалами є підвищена вібробезпечність [7]. Необхідність розширення галузі застосування таких матеріалів та покращення характеристик розсіювання енергії коливань в них вимагає створення нових та удосконалення існуючих методів та засобів вимірювань достовірних значень дисипативних властивостей та закономірностей їх змінення під час експлуатації.

Дисипативні властивості матеріалів та елементів конструкцій, що виготовлені з них, є самостійною характеристикою, яка визначається незворотними втратами енергії коливань з урахуванням впливу та взаємозв'язку конструктивних, технологічних та експлуатаційних факторів. Величина та характер демпфування обумовлені різноманітними механізмами дисипації енергії, які характерні для матеріалу, що досліджується при конкретних умовах навантаження [6].

Неметалеві гетерогенні матеріали характеризуються складними процесами розсіювання енергії за рахунок: внутрішнього демпфірування у в'язкій матриці і жорсткому наповнювачі, а також конструкційного розсіювання на межах розділу матриця – наповнювач [6]. Інтерес представляють явища розсіювання енергії в неметалевих гетерогенних матеріалах при взаємодії складових компонентів. Дослідження дисипативних властивостей гетерогенних матеріалів за правилом суміші не забезпечує достатньої точності та не пояснює діючих механізмів дисипації. Така оцінка справедлива при відносно низьких, як для композита, рівнях демпфування та базується на припущеннях ідеального контакту матриця – наповнювач [6].

Розсіювання енергії в матеріалі сильно залежить від параметрів коливань, структури та характеру напруженого стану матеріалу, розмірів і форми зразків. На рисунку 1 наведені фактори, що впливають на характеристики розсіювання енергії в неметалевих гетерогенних матеріалах.

Треба відзначити відмінності довідкових даних про характеристики демпфірування для одних і тих же матеріалів. Це свідчить в першу чергу про недосконалість методів дослідження розсіювання енергії, які не враховують зазначених особливостей.

Експериментальні методи визначення характеристик розсіювання енергії діляться на прямі та опосередковані [1]. Прямі методи базуються на безпосередньому отриманні абсолютної величини розсіювання енергії при циклічному деформуванні. Вони не отримали широкого розповсюдження через складність їх технічної реалізації та недостатньою точністю величин [6]. В наш час широко використовуються опосередковані методи визначення дисипативних властивостей матеріалів, оскільки отримані з їх допомогою відносні характеристики демпфування зручні для інженерного оцінювання поведінки елементів конструкцій в широкому діапазоні частот та амплітуд навантаження [5].

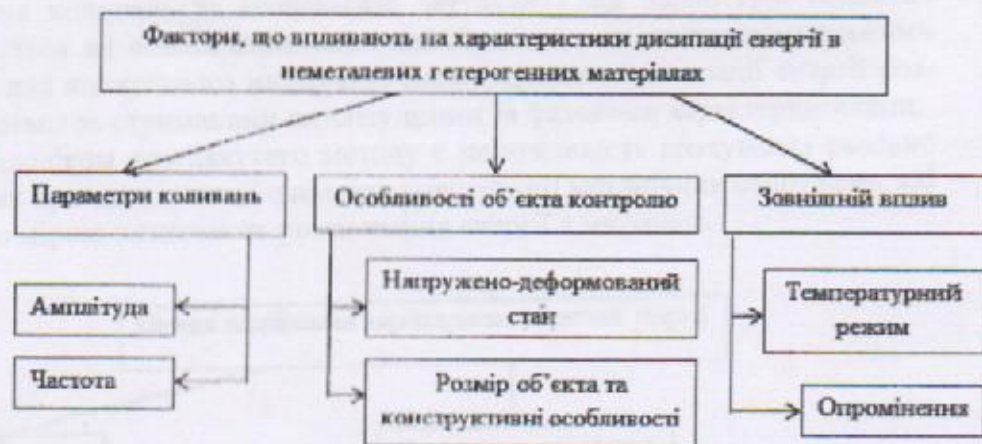


Рис. 1. Фактори, що впливають на дисипативні властивості виробів із неметалевих гетерогенних матеріалів

Переважна більшість експериментальних методів визначення характеристик демпфування розроблена для систем, в яких передбачено незалежність дисипативних властивостей від частоти при існуванні їхньої ступеневої залежності від амплітуди. Найбільше розповсюдження отримали методи резонансного піку, динамічної петлі гістерезису, вільних коливань [6]. При дослідженні характеристик розсіювання енергії в гетерогенних матеріалах використовуються також фазові методи (рис. 2).

Можливість відомих експериментальних методів із виявлення залежності демпфування від частоти обмежені. До того ж, більшість таких методів оснований на спрощених моделях процесів дисипації енергії, що дозволяє їх використання лише для однорідних структур або конкретних типів матеріалів [6].

Зміна розмірів зразків при визначенні частотної залежності розсіювання енергії в матеріалі неадекватна умовам, в яких реально експлуатується елемент конструкції, та не дозволяє досліджувати розсіювання енергії коливань на частотах, що відмінні від резонансних. Ще одним недоліком резонансних методів є похибка визначення частоти, яка відповідає максимальній амплітуді при мінімальному значенні збуджуючої сили [6].

Таких недоліків позбавлені фазові методи дослідження характеристик розсіювання механічної енергії, що пов'язують коефіцієнт демпфування з комплексом фазових характеристик, які володіють великою інформативністю щодо характерних особливостей руху механічних систем під дією гармонічного збудження. Метод базується на моделях нелінійних механічних систем, що передбачають найбільш загальний характер дисипативних сил [6]. При цьому залежність характеристик розсіювання енергії (декремента

затухання коливань та коефіцієнта затухання) від параметрів коливань визначається на основі отриманих співвідношень за експериментальними даними для конкретного матеріалу. Характеристики дисипації енергії розраховуються за отриманими амплітудними та фазовими характеристиками.

Недоліком розглянутого методу є неможливість врахування реально існуючих при експлуатації елемента конструкції механічних напружень, які значною мірою визначають розсіювання енергії в матеріалі.

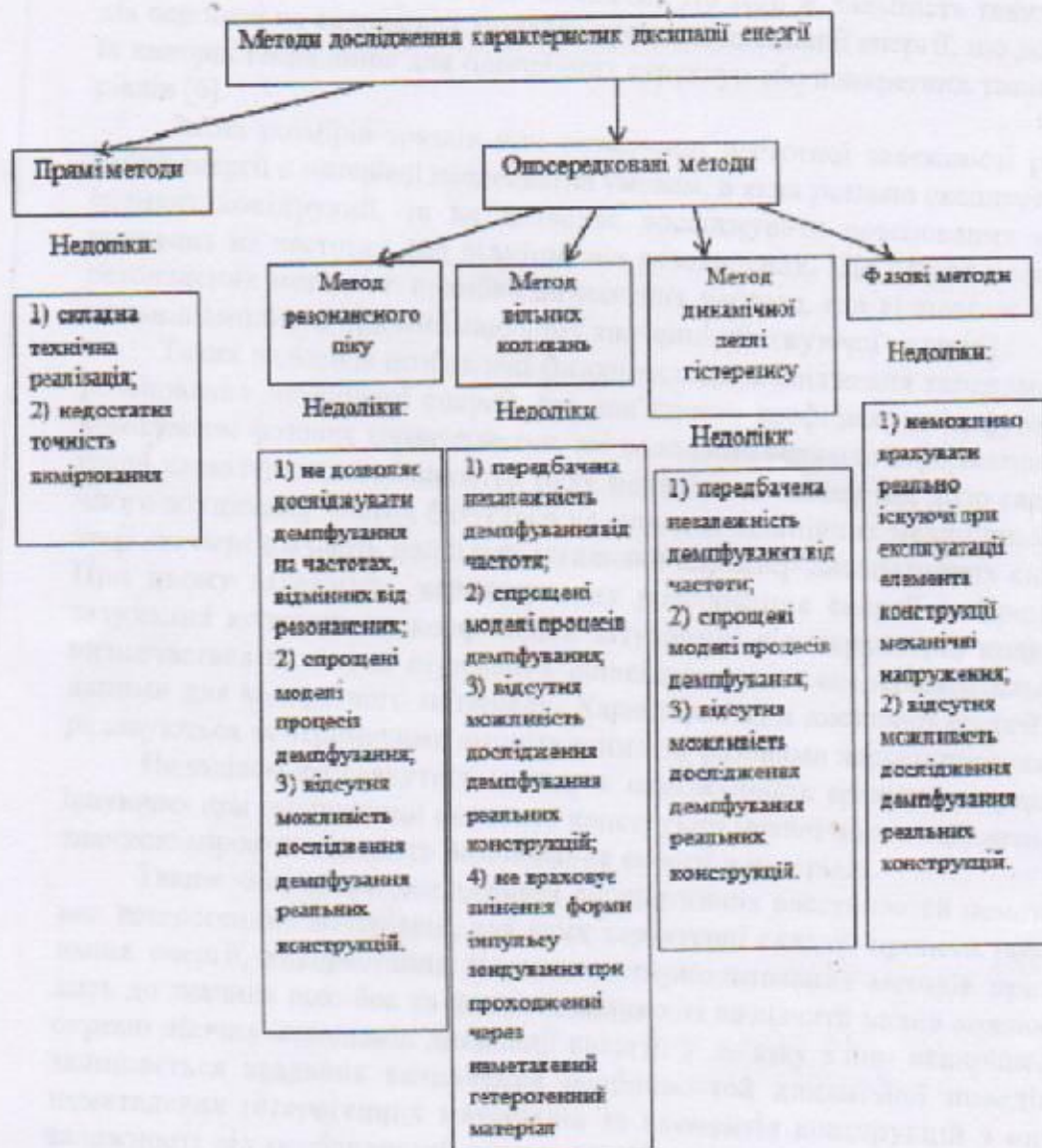


Рис. 2. Методи дослідження дисипативних властивостей матеріалів

влас  
рич  
дах  
кол  
ватр

нос  
дів  
їх в  
ріал

ван  
еле  
кол  
рез  
мал

роз  
ком  
що,  
чнс  
тем  
Пр  
зат  
ви:  
да  
раз

існ  
зн:

ви  
ва  
ди  
ок  
за  
не  
за  
ко  
ре

Теоретичні передумови, на яких базуються ці методи дослідження властивостей пружних систем, підтверджуються великою кількістю емпіричних даних [3, 10]. Основним інформативним параметром у таких методах визначення демпфування є резонансна частота або частота власних коливань [6]. При цьому, можна відмітити відсутність можливості досліджувати частотні залежності цих дисипативних характеристик.

Можливість відомих експериментальних методів із виявлення залежності демпфування від частоти обмежені. До того ж, більшість таких методів оснований на спрощених моделях процесів дисипації енергії, що дозволяють їх використання лише для однорідних структур або конкретних типів матеріалів [6].

Зміна розмірів трісків при визначенні частотної залежності розсіювання енергії в матеріалі неадекватна умовам, в яких реально експлуатується елемент конструкції, та не дозволяє досліджувати розсіювання енергії коливань на частотах, що відмінні від резонансних. Ще одним недоліком резонансних методів є похибка визначення частоти, яка відповідає максимальній амплітуді при мінімальному значенні збуджуючої сили [6].

Таких недоліків позбавлені фазові методи дослідження характеристик розсіювання механічної енергії, що пов'язують коефіцієнт демпфування з комплексом фазових характеристик, які володіють великою інформативністю щодо характерних особливостей руху механічних систем під дією гармонічного збудження. Метод базується на моделях нелінійних механічних систем, що передбачають найбільш загальний характер дисипативних сил [6]. При цьому залежність характеристик розсіювання енергії (декременту затухання коливань та коефіцієнта затухання) від параметрів коливань визначається на основі отриманих співвідношень за експериментальними даними для конкретного матеріалу. Характеристики дисипації енергії розраховуються за отриманими амплітудними та фазовими характеристиками.

Недоліком розглянутого методу є неможливість врахування реально існуючих при експлуатації елемента конструкції механічних напружень, які значною мірою визначають розсіювання енергії в матеріалі.

Таким чином, при дослідженні дисипативних властивостей неметалевих гетерогенних матеріалів, для яких характерні складні процеси розсіювання енергії, використання відомих експериментальних методів призводить до значних похибок та не дає можливості визначити вплив кожного з окремо діючих механізмів дисипації енергії. У зв'язку з цим невирішеним залишається завдання визначення особливостей динамічної поведінки неметалевих гетерогенних матеріалів та елементів конструкцій з них в залежності від особливостей експлуатації, а саме: амплітуди та частоти коливань, характеристик напруженого стану матеріалу, температурних режимів використання матеріалу, структури та анізотропії його властивостей.

а також розмірів та форми досліджуваних зразків. Необхідно відмітити, що на характеристики розсіювання енергії в конструкціях з неметалевих гетерогенних матеріалів значною мірою впливають закладні деталі. Серед характеристик закладних деталей, які здійснюють вплив на дисипативні властивості конструкції можна виділити:

- характеристики геометрії;
- матеріал;
- відстань між закладними деталями;
- способи закладення;
- навантаження, що прикладені до закладних деталей.

Тому необхідно розробити метод вимірювання дисипативних властивостей неметалевих гетерогенних матеріалів, який би дозволяв врахувати зазначені вище особливості експлуатації.

Відомо, що структурна анізотронія матеріалу, геометрія об'єкта і стан поверхонь, зовнішній вплив (теплове і електромагнітне), а також деформація об'єкта контролю впливають на швидкість звуку в матеріалі. Таким чином, можна відмітити можливість використання акустичного методу дослідження дисипативних властивостей неметалевих гетерогенних матеріалів, заснований на вимірюванні швидкості розповсюдження пружних хвиль, які проходять через зразок матеріалу, що досліджується. Такий метод дає можливість виявити залежність демпфування від амплітуди та частоти коливань, напружено-деформованого стану матеріалу. До того ж, таким методом можна досліджувати не тільки зразки матеріалу, але і готові вироби, що характеризуються різноманітними конструктивними особливостями.

Швидкість розповсюдження пружних хвиль в неметалевому гетерогенному матеріалі визначається імпульсним методом за різницею в часі сигналів від віброакустичних датчиків при фіксованій базі прозвучування [9].

### Висновки

1. Таким чином, результати дослідження показали, що використання відомих методів вимірювання при визначенні дисипативних властивостей неметалевих гетерогенних матеріалів призводить до виникнення значних похибок.
2. Запропоновано ударний акустичний метод вимірювання, який враховує особливості розсіювання енергії коливань в таких матеріалах.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Алексеев В. В. Вибрации в технике: в 6 т. / В. В. Алексеев, А. С. Больших, М. Д. Генкин и др. – М.: Машиностроение, 1981. – Т. 5. – 496 с.
2. Барт В. Е. Опыт применения синтеграна в машиностроении / В. Е. Барт, Г. С. Санина, С. А. Шевчук // Станки и инструмент. – 1993. – № 1. – С. 15-17.
3. Гигис М. Б. Особенности акустических измерений в сильно поглощающих средах / М. Б. Гигис, А. А. Шенкер // Дефектоскопия. – 1982. – № 10. – С. 86-94.
4. Мельничук П. П. Сучасні матеріали у верстатобудуванні / П. П. Мельничук, В. Ю. Лосв, В. Г. Сніцар, С. А. Клименко // Вісник ЖДТУ. – 2010. – № 1(52). – С. 38-50.
5. Методы испытания, контроля и исследования машиностроительных материалов / под ред. А. Т. Туманова. – М.: Машиностроение, 1973. – Т. 3. – 283 с.
6. Пелех Б. Л. Экспериментальные методы исследования динамических свойств композиционных структур / Б. Л. Пелех, Б. И. Саляк; отв. ред. В. В. Васильев; АН УССР Ин-т прикладных проблем механики и математики. – Киев: Наук. думка, 1990. – 136 с. – ISBN 5-12-0011312-0.
7. Рогов В. А. Разработка изделий из синтеграна для машиностроения / В. А. Рогов. – М.: Геотехника, 2001. – 228 с.
8. Тонконогий В. М., Голофеева М. А., Усатая И. А. Применение синтеграна в машиностроении // Резание и инструмент в технологических системах: международный науч.-техн. сборник. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2009. – Вып. 77. – С. 167-172.
9. Тонконогий В. М. Акустический метод измерения динамических свойств композиционных материалов / В. М. Тонконогий, М. А. Голофеева // Развитие науки и образования в современном мире: Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции 30 сентября 2014 г. В 7 частях. Часть III. М.: «АР-Консалт», 2014 г. – С. 96-97.
10. Хорошавина С. Г. Вероятностные модели оценки качества композиционных материалов с использованием метода акустической эмиссии / С. Г. Хорошавина // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 1994. – № 3-4. С. 3-10.

*Рукопись поступила в редакцию 08.10.2015 г.*