

**Олег Деркач<sup>1</sup>, Валерій Кобзар<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>кандидат технічних наук, старший дослідник, завідувач відділу коливань і вібраційної надійності  
Інститут проблем міцності імені Г.С. Писаренка НАН України (Київ, Україна)  
E-mail: [derkach@ipp.kiev.ua](mailto:derkach@ipp.kiev.ua). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6783-8516>  
ResearcherID: [H-2074-2014](https://orcid.org/0000-0002-6783-8516). Scopus Author ID: [57217115124](https://orcid.org/0000-0002-6783-8516)

<sup>2</sup>аспірант  
Інститут проблем міцності імені Г.С. Писаренка НАН України (Київ, Україна)  
E-mail: [kobzar@ipp.kiev.ua](mailto:kobzar@ipp.kiev.ua). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5929-458X>. ResearcherID: [HGE-9205-2022](https://orcid.org/0000-0002-5929-458X)

**ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПІДВИЩЕНОЇ ТЕМПЕРАТУРИ НА ДИСИПАТИВНІ  
ВЛАСТИВОСТІ ОДНОСПРЯМОВАНОГО ВУГЛЕПЛАСТИКУ**

*Представлено метод експериментального визначення дисипативних властивостей конструкційних матеріалів, який реалізовано за допомогою установки Д-6, коливальна система якої являє собою замкнений контур, у якому за умов чистого згину зразка матеріалу розсіюється енергія його коливань. За результатом проведеного комплексу експериментальних досліджень методом затухаючих коливань встановлено залежності логарифмічного декременту коливань (ЛДК) односпрямованого вуглепластику від деформації у діапазоні  $(2...12) \cdot 10^{-4}$  для температури від 300 до 423 К. Для інтегральної характеристики структурної цілісності зразка матеріалу запропоновано параметр, який визначено за приростом ЛДК до деформації.*

**Ключові слова:** демпфірування коливань; односпрямований вуглепластик; логарифмічний декремент коливань; температура; структурна цілісність.

*Рис.: 6. Бібл.: 8.*

**Актуальність теми дослідження.** Композитні структури, зокрема полімерні композитні матеріали, завдяки високому співвідношенню характеристик міцності до питомої ваги широко використовуються у конструктивних елементах авіакосмічної техніки та є перспективними у застосуванні в енергетичному машинобудуванні. Експлуатація таких конструктивних елементів пов'язана з дією інтенсивних вібраційних навантажень, а також впливом таких чинників, як температура, відцентрове навантаження та ультрафіолетове випромінювання. У зв'язку з цим важливою задачею з погляду забезпечення віброміцності композитних конструктивних елементів є аналіз їхньої здатності опиратися розвитку небезпечних амплітуд коливань при змінних навантаженнях, особливо при резонансних коливаннях [1; 2]. Для вирішення цієї задачі необхідне врахування розсіювання енергії в коливальній системі та впливу на неї реальних умов експлуатації.

**Постановка проблеми.** Композитні конструктивні елементи машин мають низку джерел розсіювання енергії, головні з яких: тертя в з'єднаннях, аеродемпфірування та розсіювання енергії в матеріалах його складових. У тонкостінних конструктивних елементах, які експлуатуються за умов високих напружень, більшість з'єднань виконуються клейовими, тому розсіювання енергії в матеріалі слід розглядати як основне джерело втрат енергії коливань [3]. Однак для цього необхідно розуміти механізми розсіювання енергії коливань в композитах і мати методику його достовірного визначення, що є комплексною задачею. Так, головні джерела розсіювання енергії в композитному матеріалі пов'язані як із в'язкими характеристиками матриці, так і з нелінійними процесами, які відбуваються при взаємодії матриці та армуючих компонентів [4]. Для побудови розрахункових моделей розсіювання енергії в полімерних композитах широко використовується модель в'язкопружного матеріалу, що пов'язано з її відносною простотою і хорошою узгодженістю отриманих розрахункових залежностей з даними експериментального визначення дисипативних властивостей композитних матеріалів [5; 6]. Інший підхід, заснований на врахуванні амплітудно-залежного розсіювання енергії, отримав обмежене застосування для композитних матеріалів [2]. Водночас велика кількість чинників, таких як локальне порушення структури композиту (міжфазні дефекти, розшарування та ін.) та порівняно великі амплітуди деформації, характерні для резонансних режимів експлуатації, можуть бути враховані з використанням

такого підходу або при його поєднанні з іншими. Таким чином, для вирішення задачі розробки моделей розсіювання енергії в структурно-неоднорідних матеріалах, а також з метою визначення закономірностей впливу конструктивних та експлуатаційних чинників на дисипативні властивості композитних матеріалів виникає необхідність у розробці методики визначення характеристик амплітудно-залежного розсіювання енергії в матеріалі.

**Аналіз досліджень і публікацій** вказує на те, що визначення дисипативних властивостей полімерних композитних матеріалів при амплітудах коливань, достатньо великих, щоб спричинити мікроструктурні пошкодження, становить особливий інтерес у вивченні надійності композитних конструктивних елементів та їхніх характеристик втомної міцності. Так, зокрема, у [7] показано, що характеристики демпфірування більш чутливі до порушення структурної цілісності композиту. У зв'язку з цим важливе наукове і практичне значення має розробка методів дослідження амплітудної залежності характеристик розсіювання енергії в композитних матеріалах за різних умов експлуатації.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Розробка експериментальної методики дослідження дисипативних властивостей матеріалів при коливаннях пружних систем має певні особливості у зв'язку зі специфікою досліджуваного явища. Саме нехтування такими особливостями може призвести до відмінності характеристик демпфірувальної здатності досліджуваних матеріалів. Це особливо актуально для композитних матеріалів, для яких характерна анізотропія дисипативних властивостей та сильний вплив на них параметрів структури, зокрема об'ємної частки волокон та температури [3; 7]. Зазначене зумовлює необхідність застосування уніфікованої методики дослідження дисипативних властивостей матеріалів за умов чистого згину зразків з різних матеріалів у широкому діапазоні температур, що дає можливість провести коректне порівняння одержаних даних для композитних матеріалів з різною структурою при умовах максимально наближених до експлуатаційних.

**Метою** цієї роботи є дослідження впливу температури на розсіювання енергії в матеріалі та характер залежності логарифмічного декременту коливань (ЛДК) зразків з односпрямованого вуглепластику від деформації за умов їх чистого згину та пошук показників структурної цілісності композиту на їх основі.

**Виклад основного матеріалу.** Метод визначення характеристик розсіювання енергії по затухаючим коливанням, який знайшов найбільше розповсюдження через простоту постановки експерименту, полягає в отриманні віброграм вільних коливань (рис. 1) досліджуваної механічної системи, за темпом затухання яких обчислюється величина ЛДК.

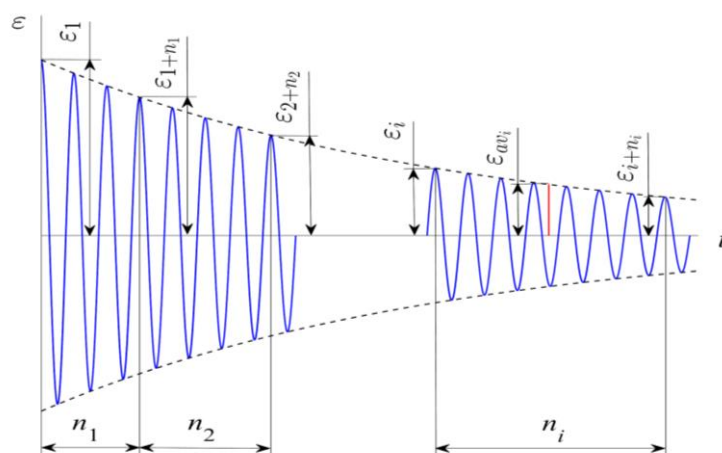
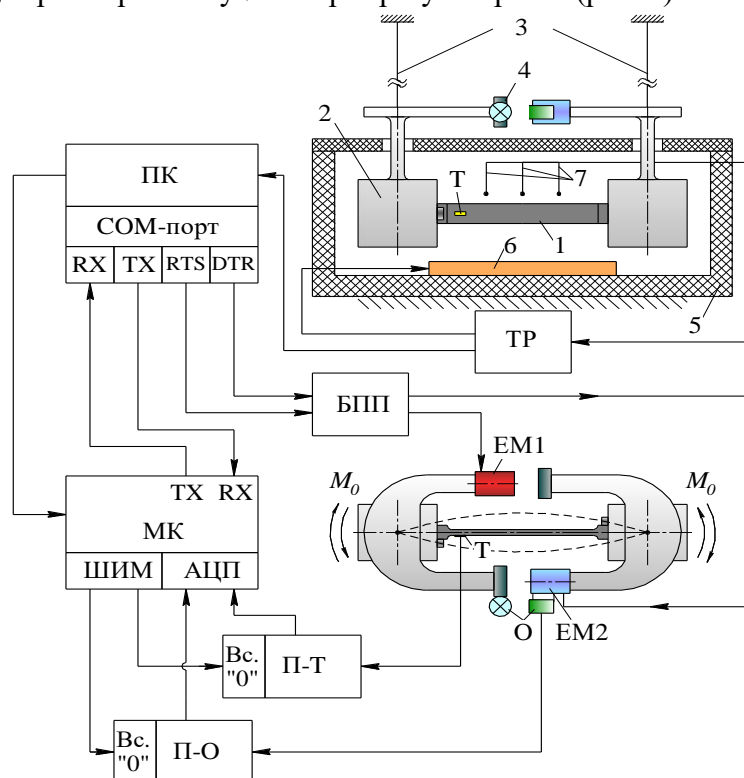


Рис. 1. Віброграма вільних затухаючих коливань (суцільні лінії) та її огинаюча (штрихові)

Представлений у цій роботі експериментальний метод визначення дисипативних властивостей матеріалів був розроблений за ідеями академіка Національної академії наук України Г. С. Писаренка та його учнів. Так, основними принципами цього методу є: виключення або зведення до мінімуму всіх інших втрати енергії в коливальній системі, крім розсіювання енергії в робочій частині досліджуваного зразка матеріалу; забезпечення оптимальної однорідності напружено-деформівного стану й амплітуди його циклічних деформацій; використання безконтактних способів збудження та реєстрації коливань. Функціональна схема модернізованої експериментальної установки Д-6, у якій реалізовані зазначені принципи та проведена автоматизація процесу експериментальних досліджень та обробки одержаних даних показана на рис. 2. Її основою є механічна система, яка складається зі зразка 1 та інерційних мас 2, підвішених на довгих сталевих струнах 3. Система збудження коливань, яка складається з пари електромагнітів (ЕМ1 і ЕМ2) та металевих дисків 4, які з ними взаємодіють, інтегрована в механічну систему, що обумовлює виникнення замкнутого силового контуру при дії крутного моменту  $M_0$  навколо вузлів механічної системи. Для проведення досліджень при підвищеній температурі використовується система нагрівання та автоматичного регулювання температури, яка складається з термоізоляційної камери 5, нагрівального елемента 6, терморпар К-типу 7 та терморегулятора ТР (рис. 2).



АЦП	–	аналого-цифровий перетворювач;
БПП	–	блок підсилення потужності;
Вс. "0"	–	процедура встановлення нуля;
ЕМ1, ЕМ2	–	електромагніти;
МК	–	мікроконтролер;
О	–	фотоелектричний елемент зі світлодіодом;
П-О	–	підсилювач оптиканалу;
П-Т	–	підсилювач тензоканалу;
Т	–	тензодавач;
ТР	–	терморегулятор;
ШИМ	–	широкоімпульсний модулятор;
СОМ-порт	–	інтерфейс стандарту RS232 передачі даних з ПК;
$M_0$	–	згинальний момент;
RX, TX	–	сигнал прийому та передачі даних відповідно;
RTS, DTR	–	сигнали запиту і готовності до прийому даних інтерфейсу стандарту RS232 відповідно.

Рис. 2. Функціональна схема установки Д-6 для визначення дисипативних властивостей зразків конструкційного матеріалу за умов їх чистого згину

Для характеристики розсіювання енергії використаємо амплітудно-залежний ЛДК  $\delta(\varepsilon)$ , який визначає темп згасання амплітуд вільних затухаючих коливань. Так, залежність ЛДК від деформації зразка матеріалу визначається за результатом аналізу віброграм вільних затухаючих коливань механічної системи. Для їх запису збуджуються резонансні коливання механічної системи після чого виконується їх зрив (припинення збудження). Щоб не мати справу із різницею або відношенням дуже близьких по величині суміжних амплітуд коливань, при аналізі віброграми розглядається не один цикл, а її ділянку, яка містить деяке число циклів  $n_i$  [1]. У цьому разі ЛДК обчислюється за формулою [1; 2]:

$$\delta(\varepsilon_{av_i}) = \frac{1}{n_i} \ln \frac{\varepsilon_i}{\varepsilon_{i+n_i}} \approx \frac{2(\varepsilon_i - \varepsilon_{i+n_i})}{\varepsilon_i + \varepsilon_{i+n_i}}, \quad (1)$$

де  $n_i$  – число циклів на  $i$ -й ділянці віброграми (рис. 1) між амплітудами  $\varepsilon_i$  та  $\varepsilon_{i+n_i}$ .

Отримане за формулою (1) значення ЛДК є усередненим по амплітуді деформацій оскільки як і для ділянки затухаючих коливань з числом циклів  $n_i$ , так і для одного циклу  $n = 1$  невідомо якій амплітуді воно відповідає і в якій мірі визначає дисипативні властивості матеріалу при усталених коливаннях. На практиці значенню ЛДК зазвичай ставляють у відповідність середню амплітуду деформацій на  $i$ -й ділянці віброграми [1; 2]:

$$\varepsilon_{av_i} = \frac{1}{2}(\varepsilon_i + \varepsilon_{i+n_i}). \quad (2)$$

Для отримання коректних результатів за обмеженим числом точок, що характерно для великого затухання коливань, залежності ЛДК від деформацій було визначено за огинаючою віброграми вільних затухаючих коливань. При цьому для апроксимації експериментально одержаної огинаючої було застосовано згладжувальний сплайн, який проходить поряд отриманих значень максимальних амплітуд коливань системи за цикл. Він характеризується більшою плавністю (у сенсі коливань графіка функції та її похідної), порівняно з інтерполяційним сплайном, який проходить через вузли інтерполяції [8]. Найбільш раціональною з точки зору отримання «гладких» залежностей ЛДК від деформації виявилася апроксимація огинаючої віброграми у напівлогарифмічному масштабі. Таким чином, для визначення залежності ЛДК від деформації використовується така формула [2]:

$$\delta(\varepsilon_i) = -\frac{d}{dN} \ln \varepsilon(N), \quad (3)$$

де  $N$  – число циклів (як ціле, так і будь-яке дробове число).

Таким чином, для визначення ЛДК за формулою (3) достатньо обчислити першу похідну згладжувального сплайна. У представленій роботі його коефіцієнти отримано методом найменших квадратів.

Спосіб обчислення ЛДК за формулою (3) має велике значення при визначенні його залежності від амплітуди деформації для систем з дуже сильним затуханням. При цьому одержаний у такий спосіб ЛДК відноситься не до середньої деформації на ділянці  $\varepsilon_{av_i}$  (2), а до амплітуди  $\varepsilon_i$ , яка визначається дотичною до огинаючої віброграми. Таким чином досягається краща відповідність ЛДК до амплітуди циклічної деформації.

Представлені методи визначення амплітудно-залежного ЛДК були реалізовані у програмному забезпеченні установки Д-6 при автоматизованій обробці даних за формулами (1) і (3) для зразків матеріалу з односпрямованого вуглепластику при різних температурах.

**Результати досліджень та їх аналіз.** Згідно з постановкою задачі було проведено експериментальні дослідження з визначення впливу температури на дисипативні властивості призматичних зразків розміром  $b \times h \times l = 2 \times 10 \times 225$  мм з односпрямованого вуглепластику. З обох кінців вони за допомогою накладок були потовщені до 5 мм та жорстко

закріплені в інерційних масах 2 (рис. 2). Волокна вуглецю були спрямовані вздовж зразка, довжина його робочої частини становила 130 мм. Дослідження проведено для п'яти однотипних зразків, виготовлених з однієї партії матеріалу. Об'ємна частка волокон вуглепластику в епоксидній матриці становить 0,5, густина матеріалу  $1480 \text{ кг/см}^3$ .

Визначення залежностей ЛДК від амплітуди циклічної деформації  $\varepsilon = (2 \dots 12) \cdot 10^{-4}$  проведено методом затухаючих коливань за умов чистого згину зразка матеріалу у діапазоні температури від 300 до 423 К за допомогою модернізованої установки Д-6, схема якої показана на рис. 2. Резонансні коливання механічної системи установки збуджувалися із наперед заданою амплітудою деформацій  $\varepsilon$  зразка з частотою, яка автоматично визначалася для різних температур дослідження. Так, при кімнатній температурі резонансна частота коливань механічної системи становила  $(8,50 \pm 0,05) \text{ Гц}$ .

Для забезпечення рівномірного розподілу температури по об'єму зразка він витримувався при її сталому значенні не менше 40 хвилин. Контроль розподілу температури проводився за допомогою трьох термопар К-типу розміщених вздовж робочої частини зразка. Реєстрація коливань механічної системи установки проводилася двома каналами – оптичним та тензометричним (див. рис. 2). Приклеєний до поверхні робочої частини зразка тензодавач використовувався як для тарування показань оптичного каналу реєстрації коливань механічної системи при кімнатній температурі, так і для контрольного запису віброграм затухаючих коливань до температури 353 К. Частота дискретизації сигналів кожного каналу складає 1 кГц.

Для кожного значення температури отримано по 10 віброграми затухаючих коливань. Обробку їх огинаючих проведено за формулою (4) з використанням згладжувальних сплайнів. На рис. 3 представлено експериментальні дані залежності ЛДК від деформації для різної температури зразка, їхні середні значення та середньоквадратичне відхилення (показані вертикальними відрізками).

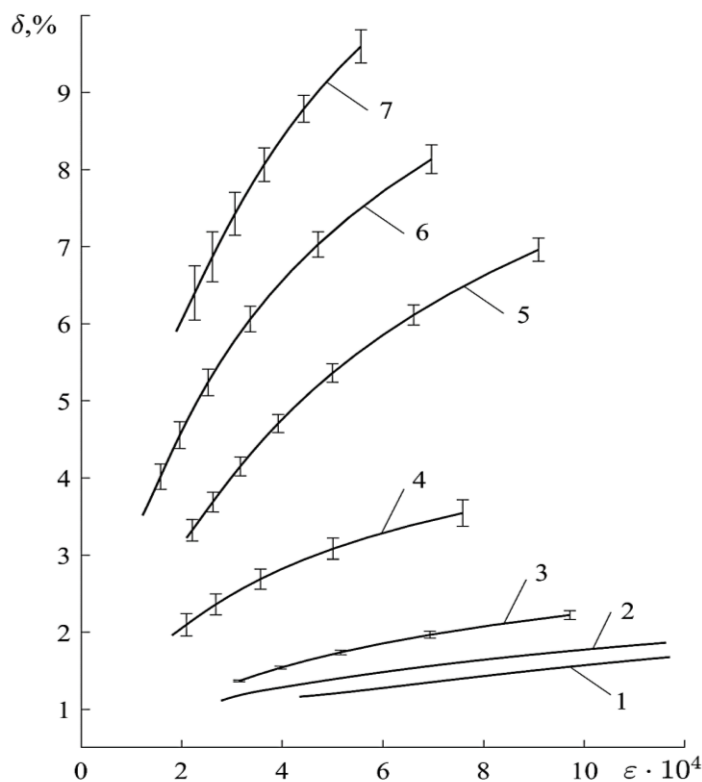


Рис. 3. Залежність ЛДК від деформації зразка з односпрямованого вуглепластику вздовж його волокон при різній температурі:  $T = 300 \text{ К}$  (1),  $353 \text{ К}$  (2),  $373 \text{ К}$  (3),  $393 \text{ К}$  (4),  $403 \text{ К}$  (5),  $413 \text{ К}$  (6),  $423 \text{ К}$  (7)

Як і очікувалося, з підвищенням температури ЛДК зразка зростає. Так при температурі 423 К і деформації  $5 \cdot 10^{-4}$  він збільшився майже у 8 разів. При цьому, як видно з рис. 3, дисипативні властивості досліджуваного матеріалу практично не змінюються до температури 353 К включно. Однак при подальшому підвищенні температури до 393 К відбувається порівняно стрімке зростання значень ЛДК і зміна характеру його амплітудної залежності, що вочевидь пов'язано із рухом молекул в полімерній матриці зразка вуглепластику, а також появою та зростанням його мікроструктурних пошкоджень. Такий же характер зміни дисипативних властивостей спостерігається при температурі склування (вітрифікації) матриці та після неї: 403 К, 413 К і 423 К (рис. 3). При подальшому зростанні температури до 433 К і 443 К отримано їх близькі значення, що вказує на перехід матриці композиту в гумоподібний стан та деградацію його пружних властивостей. Про це також свідчить отримана залежність від температури квадрата частоти  $f^2$  вільних затухаючих коливань механічної коливальної системи, графік залежності якої в безрозмірній формі  $\bar{f}^2 = f^2(T)/f_{300\text{К}}^2$  показана на рис. 4. Так встановлено, що при температурі 433 К жорсткість коливальної системи зменшилась приблизно на 10 %. Покажемо, що зміна характеру амплітудної залежності розсіювання енергії коливань може бути ефективно застосована для аналізу структурної цілісності досліджуваного зразка. З цією метою розглянемо деякий інтегральний параметр  $\alpha$ , який визначимо за відношенням приросту ЛДК  $\Delta\delta$  до деформації  $\Delta\varepsilon$ . Для цього графіки залежностей ЛДК від деформації, представлені на рис. 3, апроксимуємо відрізками, які з'єднують їх мінімальне ( $\varepsilon_{\min}$ ) і максимальне ( $\varepsilon_{\max}$ ) значення. У такому разі параметр  $\alpha$  визначимо за формулою:

$$\alpha = \Delta\delta/\Delta\varepsilon = [\delta(\varepsilon_{\max}) - \delta(\varepsilon_{\min})]/(\varepsilon_{\max} - \varepsilon_{\min}).$$

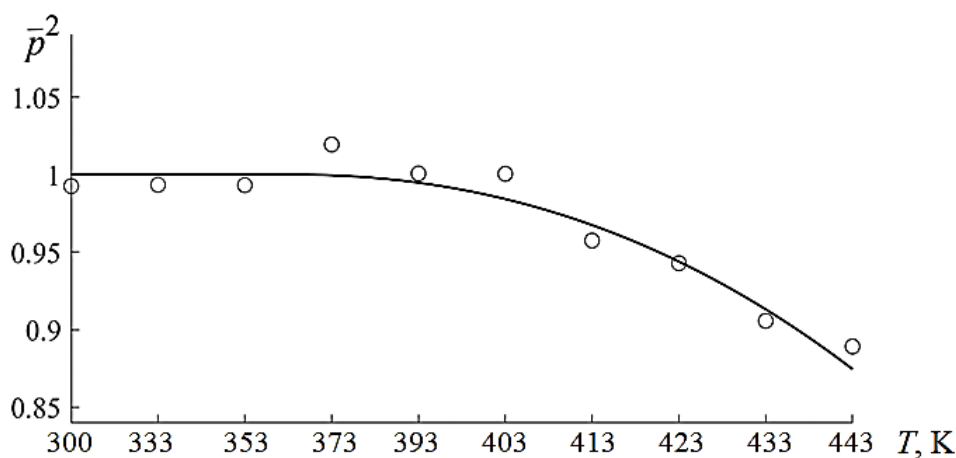


Рис. 4. Залежність відносного значення квадрата частоти вільних затухаючих коливань механічної системи установки Д-6 від температури

Для демонстрації ефективності застосування параметра  $\alpha$  у якості інтегральної характеристики структурної цілісності зразка його залежність від температури, представлена на рис. 5 (світлі стовпчики) у безрозмірній формі ( $\bar{\alpha}$ ), порівняно з відповідною залежністю для ЛДК ( $\bar{\delta}$ ) (темні стовпчики):

$$\bar{\alpha} = \alpha(T)/\alpha_{300\text{К}}, \quad \bar{\delta} = \delta(T)/\delta_{300\text{К}}. \quad (4)$$

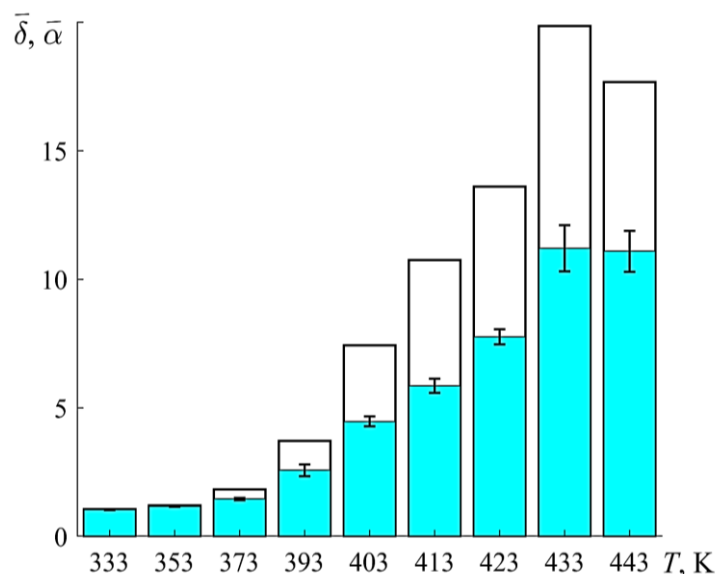


Рис. 5. Залежності відносних значень ЛДК  $\bar{\delta}$  (темні стовпчики) та параметра  $\bar{\alpha}$  (світлі стовпчики) для зразка з односпрямованого вуглепластика від температури при деформації  $\varepsilon = 5 \cdot 10^{-4}$  вздовж волокон

Одержані залежності (рис. 5) для ЛДК підтвердили висновки роботи [6] щодо більшої чутливості до пошкоджень характеристик розсіювання енергії, порівняно зі зміною частоти коливань системи. Так, при температурі зразка 433 К його ЛДК зріс в 10 разів, порівняно з його значенням при кімнатній температурі. Водночас параметр  $\bar{\alpha}$ , який враховує вплив експлуатаційних чинників на характер амплітудної залежності розсіювання енергії коливань, виявився ще більш чутливим до зміни температури. Так, при температурі 373 К цей параметр на 20 % більше за відносне значення ЛДК  $\bar{\delta}$ , а для температури вище 393 К з діапазону, що розглядається, він більше за нього на 50 % (рис. 6). Таким чином, параметр  $\alpha$  характеризує структурну цілісність зразків матеріалу навіть при незначних рівнях її порушення внаслідок нагрівання та циклічного деформування.

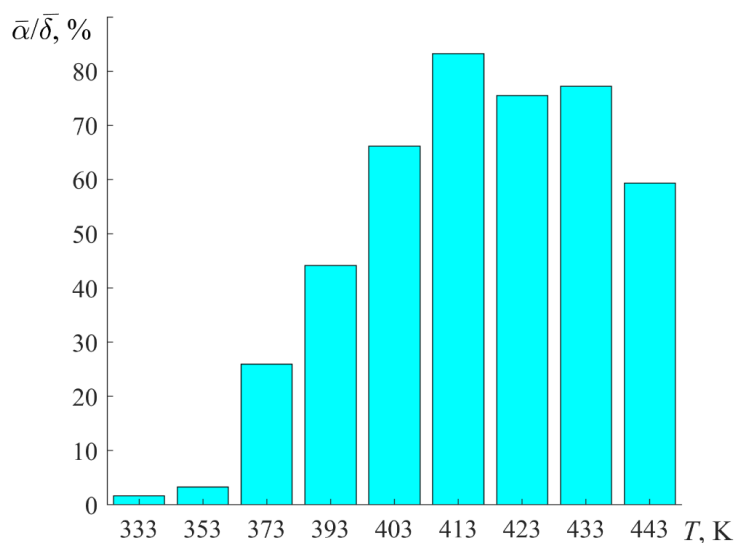


Рис. 6. Відношення безрозмірних значень параметра  $\bar{\alpha}$  до ЛДК  $\bar{\delta}$  при різній температурі

**Висновки.** У роботі отримав розвиток метод експериментальних досліджень дисипативних властивостей композитних матеріалів, основною характеристикою якого є мінімізація сторонніх втрат енергії та забезпечення рівномірного розподілу деформацій вздовж робочої частини зразків за умов їх чистого згину.

За результатом проведеного комплексу експериментальних досліджень з визначення дисипативних властивостей призматичних зразків з односпрямованого вуглепластика встановлено залежності ЛДК від деформації у діапазоні від  $2 \cdot 10^{-4}$  до  $12 \cdot 10^{-4}$  для температур від 300 К до 423 К.

Для аналізу впливу температури на дисипативні властивості композиту, запропоновано параметр, який визначено за приростом ЛДК до деформації. Показано, що він кількісно краще, порівняно з відносним зростанням ЛДК та падінням частоти коливань зразка, характеризує структурну цілісність зразка матеріалу навіть при відносно невеликому її порушенні внаслідок нагрівання і одночасному циклічному деформуванні.

Отримані експериментальні дані та представлений метод досліджень дисипативних властивостей матеріалів можуть бути використані як довідкові дані при проектуванні нових зразків техніки та при розробці математичних моделей композитних конструктивних елементів, працюючих при динамічних навантаженнях.

Представлені методологічні підходи можуть бути застосовані для визначення впливу експлуатаційних чинників на демпфірувальну здатність композитних матеріалів довільної структури.

*Робота підготовлена в межах проекту «Розробка методів забезпечення демпфірувальної здатності сучасних машинобудівних конструкцій як критерію їх функціональної роботоздатності в екстремальних умовах експлуатації», що виконується за напрямом «Підтримка пріоритетних для держави наукових досліджень і науково-технічних (експериментальних) розробок» бюджетної програми «Підтримка розвитку пріоритетних напрямів наукових досліджень» у 2022-2023 рр. (Договір № 240/2022-03/02).*

#### Список використаних джерел

1. Писаренко Г. С. Вибропоглощающие свойства конструкционных материалов. Справочник / Г. С. Писаренко, А. П. Яковлев, В. В. Матвеев. – К. : Наук. думка, 1971. – 375 с.
2. Яковлев А. П. Диссипативные свойства неоднородных материалов и систем / А. П. Яковлев. – К. : Наук. думка, 1985. – 248 с.
3. Adams R. D. Damping in composites / R. D. Adams // Materials Science Forum. – 1993. – Vols. 119-121. – Pp. 3-16.
4. Plunkett R. Damping mechanisms in fiber reinforced laminates / R. Plunkett // Mechanics of Composite Materials. – 1983. – P. 93-104.
5. Evaluation of the effective characteristics of energy dissipation in layered composites / O. L. Derkach, A. P. Zinkovskii, K. V. Savchenko, Ye. O. Onyschenko // Material Science. – 2022. – Vol. 57, No. 6. – Pp. 782-791.
6. On the application of energy method for the numerical evaluation of the effective dissipative properties of composites / O. Derkach, A. Zinkovskii, Ye. Onyschenko, V. Kobzar // 2022 IEEE 3rd KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek). – 2022. – Pp. 343-347.
7. Gibson R. F. Dynamic mechanical behavior of fiber-reinforced composites: measurement and analysis / R. F. Gibson // J. Composite Materials. – 1976. – Vol. 10. – P. 325-341.
8. Хильчевский В. В. Несовершенная упругость материалов при сложных колебаниях / В. В. Хильчевский, В. Г. Дубенец, Д. В. Василевич. – К. : Вища школа, 1991. – 157 с.

#### References

1. Pisarenko, G.S., Yakovlev, A.P., & Matveev, V.V. (1971). *Vibropogloschayushchie svoystva konstruktivnykh materialov. Spravochnik [Vibration-absorbing properties of structural materials. Directory]*. Nauk. dumka.
2. Yakovlev, A.P. (1985). *Dissipativnyie svoystva neodnorodnykh materialov i sistem [Dissipative properties of inhomogeneous materials and systems]*. Nauk. dumka.



3. Adams, R.D. (1993). Damping in composites. *Materials Science Forum*, 119-121, 3-16.
4. Plunkett, R. (1983). Damping mechanisms in fiber reinforced laminates. *Mechanics of Composite Materials*, 93-104.
5. Derkach, O.L., Zinkovskii, A.P., Savchenko, K.V., & Onyschenko, Ye.O. (2022). Evaluation of the effective characteristics of energy dissipation in layered composites. *Material Science*, 57(6), 782–791.
6. Derkach, O., Zinkovskii, A., Onyschenko, Ye., & Kobzar, V. (2022). On the application of energy method for the numerical evaluation of the effective dissipative properties of composites. *2022 IEEE 3rd KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek)*, 343-347.
7. Gibson, R. F. (1976). Dynamic mechanical behavior of fiber-reinforced composites: measurement and analysis. *J. Composite Materials*, 10, 325-341.
8. Khilchevskii, V.V., Dubenets, V.V., & Vasilevich, D.V. (1991). *Nesovershennaya uprugost materialov pri slozhnyih kolebaniyah [Imperfect elasticity of materials under complex vibrations]*. Vischa shkola.

Отримано 06.12.2022

UDC 534.282:621.002.3

**Oleh Derkach<sup>1</sup>, Valerii Kobzar<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>PhD in Technical Sciences, Senior Researcher, Head of Department of Vibrations and Vibrational Reliability  
G.S.Pisarenko Institute for Problems of Strength of the NAS of Ukraine (Kyiv, Ukraine)

E-mail: [derkach@ipp.kiev.ua](mailto:derkach@ipp.kiev.ua). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6783-8516>

ResearcherID: H-2074-2014. Scopus Author ID: [57217115124](https://orcid.org/0000-0002-6783-8516)

<sup>2</sup>PhD Student, G.S.Pisarenko Institute for Problems of Strength of the NAS of Ukraine (Kyiv, Ukraine)

E-mail: [kobzar@ipp.kiev.ua](mailto:kobzar@ipp.kiev.ua). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5929-458X>. ResearcherID: [HGE-9205-2022](https://orcid.org/0000-0002-5929-458X)

## STUDY OF THE INFLUENCE OF ELEVATED TEMPERATURE ON THE DISSIPATIVE PROPERTIES OF UNIDIRECTIONAL CFRP

*An experimental method for determination of composite materials dissipative properties, the main characteristic of which is the minimization of external energy losses and ensuring uniform distribution of deformations along the specimen working part under the pure bending condition has been developed. The scheme of the modernized experimental setup is presented. Its mechanical system represents a closed circuit in which the energy in material specimen under flexural vibrations is dissipated. Automated testing and registration of vibration characteristics were carried out by the method of attenuating vibrations at different temperatures.*

*Based on the results for a set of experimental studies on the determination of the dissipative properties of unidirectional CFRP specimens under the pure bending conditions, the dependencies of the logarithmic decrement of vibrations on the relative deformation in the range  $(2...12) \cdot 10^{-4}$  for temperatures from 300 K to 423 K was established.*

*To analyze the effect of temperature on the dissipative properties of the composite, a parameter is proposed that is determined by the increment of the logarithmic decrement of vibrations (LDV) before deformation. It is shown that it is a more informative indicator of the structural integrity of carbon fiber samples, even with a relatively small violation of it due to heating and simultaneous cyclic deformation, compared to the relative growth of the LDV and the drop in the vibration frequency.*

*The obtained experimental data and the presented method of investigation the dissipative properties of materials can be used as a directory data in the design of new models of equipment and in the development of mathematical models of composite structural elements operating under dynamic loads and elevated temperatures.*

**Keywords:** *damping of vibrations; unidirectional CFRP; logarithmic decrement of vibrations; temperature; structural integrity.*

*Fig.: 6. References: 8.*