

УДК 620.1:678.7:534.083

М.О. Голофєєва, В.М. Тонконогий, д-р техн. наук,  
Т.О. Редько, Одеса, Україна

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ДИСИПАТИВНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ СИНТЕГРАНУ ВІД ЧАСТОТИ ВИМУШЕНИХ КОЛИВАНЬ**

*Дослідження залежності дисипативних властивостей синтеграну від частоти вимушених коливань. Розглянуто метод дослідження характеристик розсіювання енергії, заснований на зв'язку декременту затухання коливань та швидкості розповсюдження ультразвуку в матеріалі. Отримана залежність декременту затухання коливань від швидкості розповсюдження ультразвукових хвиль в синтеграні. Доведена можливість використання описаного методу дослідження при визначенні частотної залежності дисипативних характеристик матеріалу та отримана залежність декременту затухання в синтеграні від частоти вимушених коливань.*

*Исследование зависимости диссипативных свойств синтеграна от частоты вынужденных колебаний. Рассмотрен метод исследования характеристик рассеяния энергии, основанный на связи декремента затухания колебаний и скорости распространения ультразвука в материале. Получена зависимость декремента затухания колебаний и скорости распространения ультразвуковых волн в синтегране. Доказана возможность использования описанного метода исследования при определении частотной зависимости диссипативных характеристик материала и получена зависимость декремента затухания в синтегране от частоты вынужденных колебаний.*

*The studing of the dependence of the dissipative properties of sintegran and the frequency of forced oscillations The method of investigating the characteristics of energy-firing, based on the relationship of the damping decrement of oscillations and the propagation velocity of ultrasound in the material are considered. The dependence of the damping rate of the oscillations and the propagation velocity of ultrasonic waves in sintegran are received. The possibility of using this method of research in determining the frequency dependence of the dissipative properties of the material are proved and the dependence of the damping rate in sintegran the frequency of forced oscillations are received.*

Дослідження демпфуючої спроможності синтеграну за допомогою відомих методів може призвести до суттєвих похибок. Це пов'язано з неоднорідністю матеріалу, а відповідно, із складними процесами розсіювання енергії. У зв'язку з цим виникає необхідність розробки методів експериментального визначення дійсних значень характеристик дисипації енергії [1].

Метод дослідження динамічних властивостей синтеграну заснований на взаємозв'язку декременту затухання коливань та швидкості розповсюдження ультразвуку в матеріалі. При виявленні залежності дисипативних властивостей від модуля пружності використовувався метод регресійного аналізу, тобто

статистичний метод дослідження впливу однієї або декількох незалежних змінних на залежну змінну. Отримана в результаті аналізу залежність декременту затухання коливань від модуля пружності синтеграну, наведена на рисунку 1.

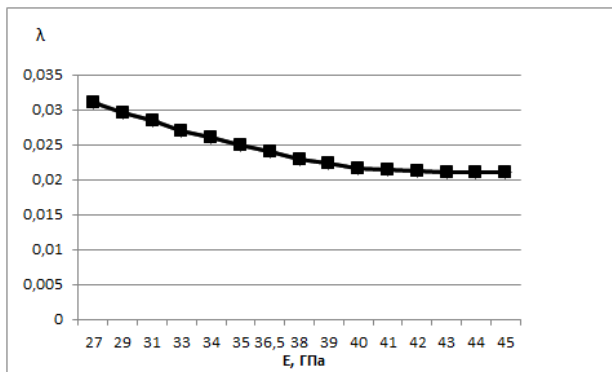


Рисунок 1 – Залежність декременту затухання коливань від модуля пружності синтеграну

В результаті аналізу було встановлено, що найкраще зв'язок декременту затухання коливань в синтеграні та модуля пружності описується поліноміальною моделлю:

$$\lambda = 6 \cdot 10^{-5} \cdot E^2 - 0.0017 \cdot E + 0.0328, \quad (1)$$

де  $\lambda$  – декремент затухання коливань;  
 $E$  – модуль пружності матеріалу, ГПа.

Стосовно швидкості розповсюдження поперечної ультразвукової хвилі в контрольованому середовищі, тобто в синтеграні, то її можна розрахувати за формулою, наведеною в [2].

$$C = \sqrt{\frac{E}{2\rho(1+\nu)}}, \quad (2)$$

де  $C$  – швидкість розповсюдження поперечної ультразвукової хвилі в синтеграні, м/с;

$\rho$  – щільність синтеграну, кг/м<sup>2</sup>,

$\nu$  – коефіцієнт Пуассона.

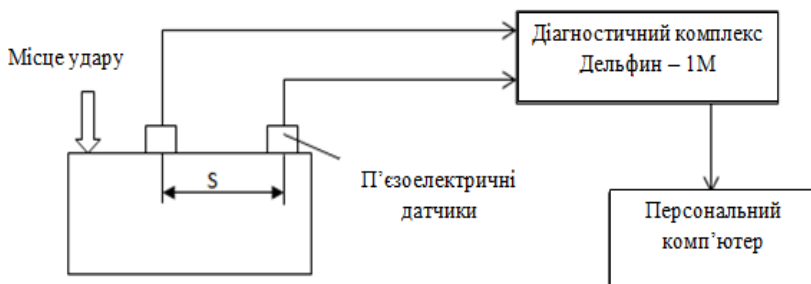
Підставивши формулу (2) у формулу (1) отримуємо залежність декременту затухання коливань від швидкості ультразвукових хвиль в синтеграні:

$$\lambda = 24 \cdot 10^{-5} \cdot \rho^2 \cdot (1 + \nu)^2 \cdot C^4 - 0.0034 \cdot \rho \cdot (1 + \nu) \cdot C^2 + 0.0328, \quad (3)$$

На рисунку 2 представлена схема вимірювання швидкості ультразвукової поперечної хвилі, що проходить через зразок матеріалу.

З літературних джерел відомі частотні залежності модулю пружності матеріалів, а відповідно і швидкості ультразвукових хвиль, що розповсюджуються в них. Тому можна констатувати чутливість методу вимірювання декременту затухання коливань до змінення параметрів коливань об'єкту дослідження.

Зразок із синтеграну консольно закріплюється на вібростолі, який дозволяє змінювати частоту коливань. На зразкові, на фіксованій відстані  $S$  (база прозвучування) встановлюються ідентичні за розмірами та масою віброакустичні п'єзоелектричні датчики АВС 117, за допомогою яких отримуються сигнали, що пропорційні переміщенню. Вимірювання декременту затуханні коливань проводиться ударним ультразвуковим методом. Під час вимірювання зразок здійснює коливальний рух з частотою, що задається вібростолом.



$S$  – база прозвучування

Рисунок 2 – Схема вимірювання швидкості ультразвуку

Сигнали з датчиків вводяться до блоку електроніки діагностичного комплексу «Дельфін – 1М», що забезпечує комутацію, узгодження, попередню фільтрацію та введення вимірювальних даних до комп'ютера за

допомогою аналогово-цифрового перетворювача. Частота опитування кожного каналу – 70000 раз на секунду.

Швидкість розповсюдження ультразвукових хвиль в синтеграні визначається імпульсним методом за різницею в часі сигналів від віброакустичних датчиків у відповідності із формулою:

$$C = \frac{S}{\Delta t}, \quad (4)$$

де  $S$  – відстань між датчиками (база прозвучування), м;

$\Delta t = t_1 - t_2$  – різниця в часі сигналів від віброакустичних датчиків, с;

$t_1$  и  $t_2$  – час надходження ультразвукового сигналу на перший та другий датчик відповідно, с.

Дослідження декременту затухання коливань проводилися на частотах 1750 Гц, 1800 Гц, 1850 Гц та 1920 Гц. На кожній частоті виконано по п'ять вимірювань. Результати наведені в таблиці.

Таблиця – Результати вимірювання декременту затухання коливань  $\lambda$  на різних частотах

Частота коливань, Гц	1750	1800	1850	1920
$\lambda$ , дослід 1	0,025	0,026	0,028	0,029
$\lambda$ , дослід 2	0,025	0,026	0,028	0,030
$\lambda$ , дослід 3	0,026	0,027	0,029	0,031
$\lambda$ , дослід 4	0,026	0,027	0,029	0,028
$\lambda$ , дослід 5	0,026	0,027	0,028	0,030
Середнє значення	0,0256	0,0266	0,0284	0,0296
Стандартне відхилення	0,00055	0,00055	0,00055	0,00114

Обробка результатів вимірювання була проведена при довірчій ймовірності 0,95. Випадкова похибка вимірювання становить:

$\Delta\lambda = 0,0015$  – при вимірюваннях з частотою вимушених коливань 1750 Гц, 1800 Гц та 1850 Гц;

$\Delta\lambda = 0,0032$  – при вимірюваннях з частотою вимушених коливань 1920 Гц.

З результатів вимірювання видно, що декремент затухання коливань збільшується з ростом частоти коливань зразка. На рисунку 3 представлена залежність вказаних величин.

В результаті аналізу було виявлено, що найкраще залежність декременту затухання коливань від частоти описується поліноміальною моделлю:

$$\lambda = 5 \cdot 10^{-5} f^2 + 0.0011f + 0.0244, \quad (4)$$

де  $f$  – частота вимушених коливань.



Рисунок 3 – Залежність декременту затування коливань від частоти

### **Висновки:**

Розглянутий метод дослідження характеристик розсіювання енергії заснований на зв'язку декременту затування коливань та швидкості розповсюдження ультразвукових хвиль в матеріалі. Отримана залежність декременту затування коливань від швидкості ультразвукових хвиль.

Доведена можливість використання описаного методу дослідження при визначенні частотної залежності дисипативних характеристик матеріалу та отримана залежність декременту затування в синтеграні від частоти вимушених коливань.

**Список використаних джерел:** 1. Экспериментальные методы исследования динамических свойств композиционных структур / Пелех Б.Л., Салjak Б.И.; 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. 2. Голофеева М.А. Акустический метод контроля синтеграновых изделий // Проблемы техники. - 2013. - №3. - С. 119 – 124.

**Bibliography (transliterated):** 1. Jeksperimental'nye metody issledovanija dinamiceskix svojstv kompozicionnyx struktur / Peleh B.L., Saljak B.I.; Отв. ред. V.V. Vasil'ev; AN USSR In-t prikladnyh problem mehaniki i matematiki. – Kiev: Nauk. dumka, 1990. – 136 s. – ISBN 5-12-0011312-0. 2. Golofeeva M.A. Akusticheskij metod kontrolja sintegranovyh izdelij // Problemy tehniki. - 2013. - №3. - S. 119 – 124.

*Надійшла до редколегії 01.09.2014*