

Безверхий Дмитро¹, Данішевський Владислав²

¹аспірант, УДУНТ ННІ ПДАБА, Дніпро, Україна, e-mail: bezup.inc@gmail.com

²директор ННІ ПДАБА, доктор технічних наук, професор, УДУНТ ННІ ПДАБА, Дніпро, Україна, e-mail: vladyslav.danishevskyy@gmail.com

ЗАСТОСУВАННЯ НЕОДНОРІДНИХ КОНСТРУКЦІЙ ДЛЯ СЕЙСМІЧНОГО ТА ВІБРОЦІЙНОГО ЗАХИСТУ

Анотація. У статті розглядаються шаруваті конструкції для вібро- та сейсмоізоляції, аналізуються їх динамічні властивості. Наведено характеристики моделей із бетону та гуми, досліджено згасання енергії пружних хвиль. Результати дозволяють розробляти неоднорідні матеріали для захисту будівель від сейсмічних впливів, вібрацій та забезпечення акустичної ізоляції.

Ключові слова: Шаруваті конструкції, віброізоляція, сейсмоізоляція, пружні хвилі, згасання енергії, неоднорідні матеріали, динамічні властивості.

Вступ. Сучасні виклики, пов'язані з сейсмічною активністю та вібраційними навантаженнями, вимагають розробки інноваційних матеріалів і конструкцій для захисту будівель та інфраструктури. Шаруваті неоднорідні структури, що поєднують різні матеріали, такі як бетон і гума, є перспективним рішенням для вібро- та сейсмоізоляції. У роботі аналізуються їх динамічні властивості, зокрема згасання пружних хвиль, та розглядаються можливості застосування для створення ефективних захисних систем..

Матеріал і результати досліджень. Ця робота зосереджена на створенні шаруватих систем для захисту споруд від сейсмічних впливів та вібрацій. Розмір діапазонів частот, де блокується проходження хвиль, зростає зі збільшенням різниці в механічних властивостях між складовими матеріалами. Одним із ефективних підходів є застосування комбінації шарів із бетону та гуми [1; 2]. Щільність бетону і твердої гуми відрізняється приблизно вдвічі, тоді як їхні модулі пружності можуть різнитися до 10^5 разів.

За заданих характеристик матеріалів частоти зон блокування можна регулювати, змінюючи розмір l періодичної комірки конструкції. Перша зона блокування виникає, коли $l=L/2$, де L – довжина хвилі [4]. Отже, для гасіння хвиль із нижчими частотами необхідно збільшувати розмір комірки періодичності, а разом із ним і товщину шарів.

У дослідженні аналітичні рішення для дисперсійних характеристик шаруватих систем отримано за допомогою методу Флоке-Блоха [4]. Чисельне моделювання



процесів поширення пружних хвиль проведено в програмному комплексі Ansys, причому аналітичні та чисельні результати демонструють високу відповідність один одному.

Розглянуто дві моделі конструкцій із бетону та гуми, параметри яких подано в таблиці. Модель 1 призначена для захисту від вібрацій і забезпечує максимальне загасання пружних хвиль на частоті 50 Гц. Модель 2 розроблена для протидії сейсмічним навантаженням на основі даних сейсмограми землетрусу в Оровіллі (Каліфорнія) 1975 року, де пік руйнівних частот припав на 18 Гц [5].

Таблиця 1 – Характеристики шаруватих конструкцій

Параметр	Модель 1	Модель 2
Густина бетону, кг/м ³	2300	2300
Модуль Юнга бетону, Па	$3,14 \cdot 10^{10}$	$3,14 \cdot 10^{10}$
Об'ємна частка бетону	0.5	0.5
Густина гуми, кг/м ³	1300	1300
Модуль Юнга гуми, Па	$5,8 \cdot 10^5$	$1,4 \cdot 10^5$
Об'ємна частка гуми	0,5	0,5
Ширина комірки періодичності, м	0,3	0,4

На рисунках 1 і 2 показано, як змінюється рівень затухання енергії сигналу залежно від частоти для моделей 1 та 2 відповідно. Поряд з кожною кривою вказано число комірок періодичності. З аналізу даних випливає, що шарувата конструкція, що складається всього з п'яти комірок, ефективно захищає від динамічних впливів, знижуючи енергію хвилі на заданій частоті до рівня 60 дБ (у 10^6 разів).

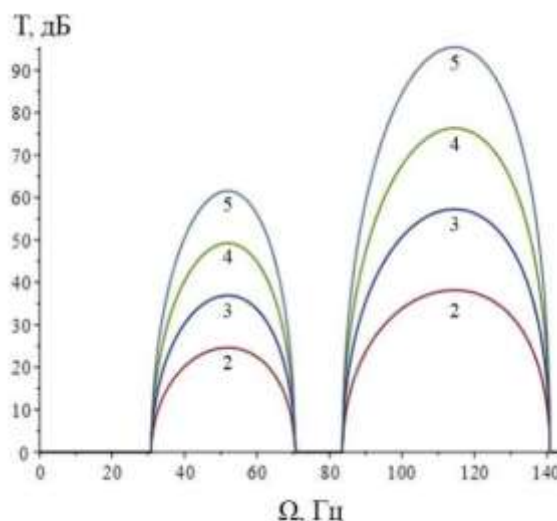


Рисунок 1 – Згасання енергії пружних хвиль (модель 1)



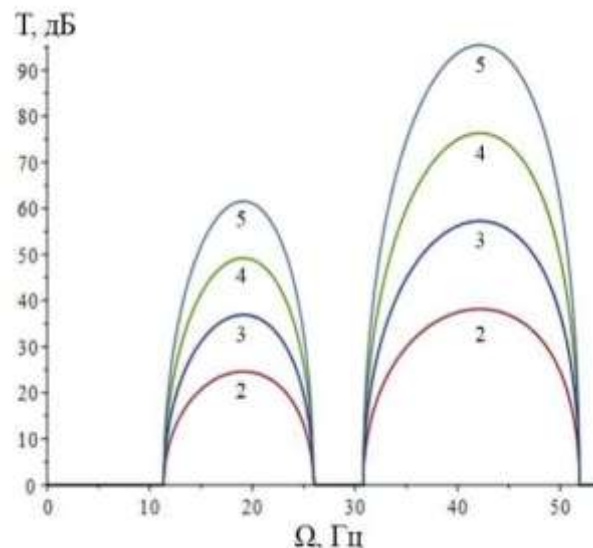


Рисунок 2 – Згасання енергії пружних хвиль (модель 2)

Висновки. Дослідження шаруватих конструкцій із бетону та гуми підтвердило їх високу ефективність для вібро- та сейсмоізоляції, забезпечуючи згасання енергії пружних хвиль до 60 дБ (у 10^6 разів) на розрахункових частотах. Отримані результати мають важливе значення для науки та практики, зокрема для розробки інноваційних матеріалів для захисту будівель від динамічних впливів і створення акустичної ізоляції. Перспективи подальших досліджень включають аналіз складніших неоднорідних структур та їх адаптацію до різних сейсмічних умов.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Xiang, H. J., Shi, Z. F., Wang, S. J., & Mo, Y. L. (2012). Periodic materials-based vibration attenuation in layered foundations: experimental validation. *Smart Materials and Structures*, 21, 112003-1–112003-10.
2. Shi, Z., Cheng, Z., & Xiang, H. (2014). Seismic isolation foundations with effective attenuation zones. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 57, 143–151.
- 3 Aravantinos-Zafiris, N., & Sigalas, M. M. (2015). Large scale phononic metamaterials for seismic isolation. *Journal of Applied Physics*, 118, 064901-1–064901-6.
4. Andrianov, I. V., Awrejcewicz, J., & Danishevskyy, V. V. (2021). *Linear and Nonlinear Waves in Microstructured Solids: Homogenization and Asymptotic Approaches*. Boca Raton: CRC Press.
5. PEER Ground Motion Database. URL: <https://peer.berkeley.edu/peer-strong-groundmotion-databases>.

