

УДК 624.04+539.3

ШАРУВАТІ КОНСТРУКЦІЇ ДЛЯ ВІБРО- ТА СЕЙСМОІЗОЛЯЦІЇ

Ігор Андріанов¹, д.ф.-м.н., проф., Владислав Данішевський², д. т. н., проф.,
Дмитро Безверхий³, асп., Ілля Кучин⁴, асп.

¹igor.andrianov@gmail.com, ²vladyslav.danishevskyy@pdaba.edu.ua,

³bezup.inc@gmail.com, ⁴illiakuchyn@gmail.com

¹ Рейнсько-Вестфальський технічний університет Аахена,

^{2,3,4} Придніпровська державна академія будівництва та архітектури

Актуальною темою досліджень останніх років є застосування метаматеріалів та неоднорідних конструкцій для створення нових типів вібро- та сейсмоізоляції будівель і споруд [1–3]. Наявність неоднорідностей призводить до складних динамічних ефектів, одним із яких є утворення дискретних частотних зон попускання та замикання [4]. Таким чином, неоднорідні матеріали та конструкції можуть використовуватись як хвильові фільтри, блокуючи поширення пружних хвиль у заданих частотних діапазонах.

Дана робота присвячена розробці шаруватих конструкцій для захисту будівель від сейсмічних навантажень та вібрацій. Ширина зон замикання зростає із збільшенням контрасту між механічними характеристиками компонентів. Одним із перспективних рішень є використання комбінацій бетонних та гумових шарів [1; 2]. Густина бетону і твердої гуми відрізняються приблизно у 2 рази, при цьому різниця між модулями пружності даних матеріалів досягає 10^5 разів.

При заданих властивостях компонентів, частоти зон замикання можна змінювати, варіюючи розмір l комірки періодичності конструкції. Так, перша зона замикання утворюється при $l = L/2$, де L – довжина хвилі [4]. Таким чином, чим нижчою є частота хвилі, поширення якої потрібно блокувати, тим більшою повинен бути розмір комірки періодичності та, відповідно, товщини шарів.

В роботі знайдено аналітичні розв'язки для дисперсійних характеристик шаруватих конструкцій за допомогою методу Флоке-Блоха [4]. Чисельне моделювання поширення процесів пружних хвиль виконано у програмному комплексі Ansys. Одержані аналітичні та чисельні результати добре узгоджуються між собою.

Досліджено дві моделі бетонно-гумових конструкцій, характеристики яких наведено у таблиці. Модель 1 є ефективною для захисту від вібрацій, забезпечуючи максимальне згасання пружних хвиль на частоті 50 Гц. Модель 2 запропонована для захисту від сейсмічних навантажень. Для її розробки використано сейсмограму землетрусу в Оровіллі (Каліфорнія) у 1975 році, пік руйнівних частот якого припав на відмітку 18 Гц [5].

Характеристики шаруватих конструкцій

Параметр	Модель 1	Модель 2
Густина бетону, кг/м ³	2300	2300
Модуль Юнга бетону, Па	3.14×10^{10}	3.14×10^{10}
Об'ємна частка бетону	0.5	0.5
Густина гуми, кг/м ³	1300	1300
Модуль Юнга гуми, Па	5.8×10^5	1.4×10^5
Об'ємна частка гуми	0.5	0.5
Ширина комірки періодичності, м	0.3	0.4

На рисунках 1 та 2 наведено рівні згасання енергії сигналу в залежності від частоти для моделей 1 та 2 відповідно. Цифрами біля кривих позначено кількість комірок періодичності. Можна зробити висновок, що шарувата конструкція лише з п'яти комірок забезпечує ефективний захист від динамічних впливів, зменшуючи енергію хвилі на розрахунковій частоті на рівні 60 дБ (у 10^6 разів).

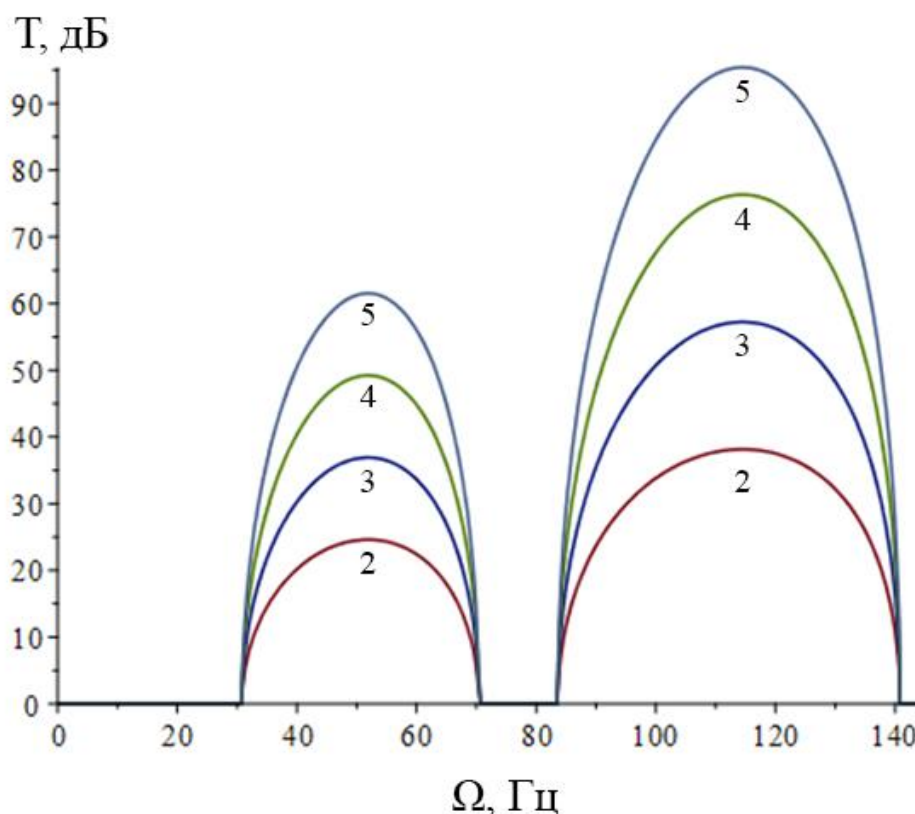


Рис. 1. Згасання енергії пружних хвиль (модель 1)

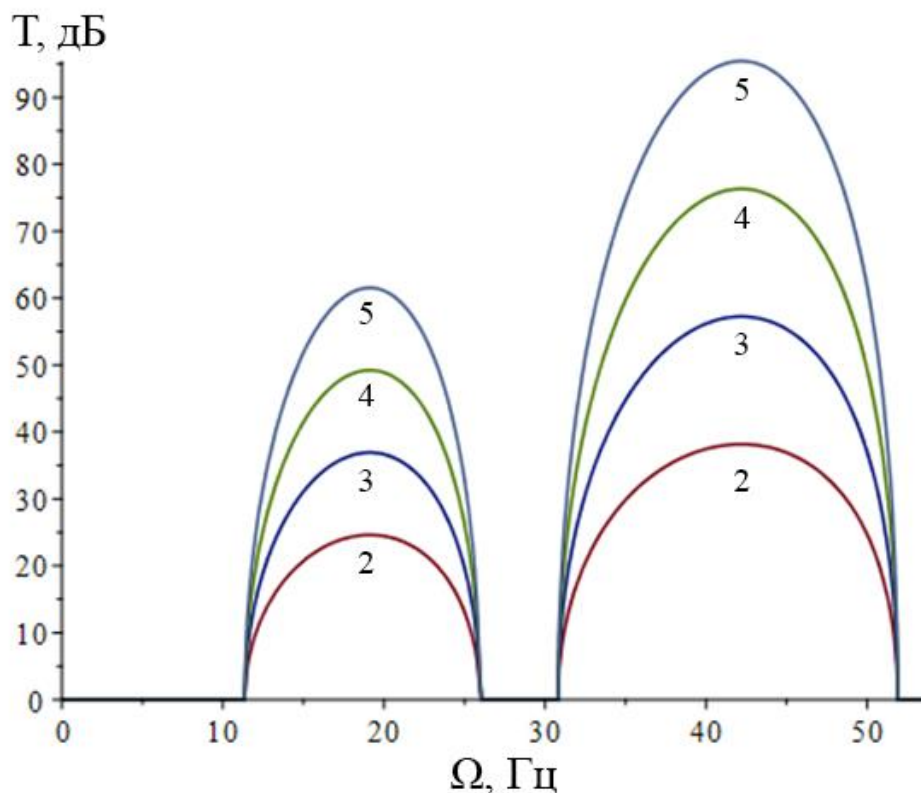


Рис. 2. Згасання енергії пружних хвиль (модель 2)

Результати роботи можуть бути використані для розробки різних типів неоднорідних матеріалів і конструкцій із наперед заданими динамічними властивостями для захисту будівель і споруд від сейсмічних впливів, вібрацій та створення ефективної акустичної ізоляції.

Список використаних джерел

1. Xiang H. J., Shi Z. F., Wang S. J., Mo Y. L. Periodic materials-based vibration attenuation in layered foundations: experimental validation. *Smart Materials and Structures*. 2012. Vol. 21. Pp. 112003-1–112003-10.
2. Shi Z., Cheng Z., Xiang H. Seismic isolation foundations with effective attenuation zones. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*. 2014. Vol. 57. Pp. 143–151.
3. Aravantinos-Zafiris N., Sigalas M. M. Large scale phononic metamaterials for seismic isolation. *Journal of Applied Physics*. 2015. Vol. 118. Pp. 064901-1–064901-6.
4. Andrianov I.V., Awrejcewicz J., Danishevskyy V.V. *Linear and Nonlinear Waves in Microstructured Solids : Homogenization and Asymptotic Approaches*. Boca Raton : CRC Press, 2021. 250 p.
5. PEER Ground Motion Database. URL: <https://peer.berkeley.edu/peer-strong-ground-motion-databases>