

ВПЛИВ СТРУКТУРИ ТА ТОВЩИНИ СТІНКИ НА ЗВУКОПОГЛИНАННЯ КАНАЛІЗАЦІЙНИХ ТРУБ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі проведено аналітичний огляд акустичних характеристик полімерних матеріалів, що застосовуються у виробництві каналізаційних труб: поліпропілену (PP), поліетилену (PE), полівінілхлориду (PVC) та полімерних композитів із мінеральними та органічними наповнювачами. На основі доступних досліджень встановлено взаємозв'язок між структурою матеріалу, товщиною стінки, поверхневою щільністю, типом наповнювачів та рівнем звукопоглинання (звукоізоляції). Показано, що формування багатошарової структури, зокрема у малошумних каналізаційних системах, суттєво впливає на акустичну характеристику труб. Визначено прогалини у наявних наукових роботах та окреслено методичні підходи до майбутніх експериментальних досліджень для реальних умов каналізації.

Ключові слова: звукопоглинання, звукопроникність, поліпропілен, мінеральні наповнювачі, товщина стінки, трубні композити.

Abstract

The paper provides an analytical review of the acoustic characteristics of polymer materials used in the production of sewer pipes: polypropylene (PP), polyethylene (PE), polyvinyl chloride (PVC) and polymer composites with mineral and organic fillers. Based on available research, the relationship between the material structure, wall thickness, surface density, type of fillers and the level of sound absorption (sound insulation) has been established. It is shown that the formation of a multilayer structure, in particular in "quiet sewer systems", significantly affects the acoustic behavior of pipes. Gaps in existing scientific works have been identified and methodological approaches to future experimental studies for real sewer conditions have been outlined.

Keywords: sound absorption, sound transmission, polypropylene, mineral fillers, wall thickness, pipe composites.

Вступ

Одним із важливих аспектів акустичного комфорту в будівлях є зменшення шуму від внутрішніх інженерних систем, зокрема каналізаційних труб. Полімерні матеріали, такі як широко використовуються через легкість та корозійну стійкість, та їх акустичні властивості часто є слабо дослідженими для застосувань у санітарно-технічних системах.

Метою роботи є аналіз літературних даних щодо акустичних властивостей полімерних трубних матеріалів та визначення ключових структурних факторів, що впливають на звукопоглинання. Завданнями є формування гіпотез щодо впливу товщини стінки і матеріалу на рівень шуму в каналізаційних системах та пропозиція методики експериментального порівняння ПВХ, ПП, ПЕ та композитів.

Результати дослідження

Дослідження композитів PP із мінеральними наповнювачами показують, що звукопоглинання та втрати при проходженні звуку (STL) істотно залежать від структури полімерної матриці та типу наповнювача. Так, у роботі [1] встановлено, що введення тальку, скляних кульок та бентоніту підвищує STL у діапазоні 100 ... 800 Гц, при цьому бентоніт створює найбільш виражений ефект завдяки збільшенню внутрішнього тертя та маси матеріалу. Композити на основі PP з деревними волокнами демонструють покращену акустичну поведінку, що зумовлено складнішою мікроструктурою та підвищеною демпфувальною здатністю матеріалу.

У роботі [2] встановлено, що параметри пористості та товщини стінки у пінополіпропіленових панелях визначають характер звукопоглинання у середньочастотному діапазоні. Подібні висновки підтверджені [3], де для HDPE-композитів із мінеральними та деревними наповнювачами показано суттєве збільшення STL при зростанні жорсткості та поверхневої щільності панелей.

Структура шуму в каналізаційних трубах формується під впливом низки чинників, взаємозв'язки між якими наведено на рис. 1.



Рисунок 1 — Фактори впливу на рівень шуму в каналізаційних трубах

Особливу увагу становлять результати висвітлені в роботі [4] для PVC-структур із ребристими стінками, які демонструють те, що збільшення товщини стінки та утворення внутрішніх камер знижує повітряний шум за рахунок багатократних відбиттів і локального підвищення маси. Водночас наявні дослідження стосуються переважно панелей або плоских зразків, що лише частково відображають реальні умови каналізаційних стояків.

Враховуючи результати досліджень щодо впливу технологічних режимів переробки поліолефінів на структуру та властивості трубних матеріалів [6], можна припустити, що зміна внутрішньої структури полімеру в процесі екструзії також позначається на його акустичній поведінці. Аналіз даних про демпфування коливань у полімерних матеріалах, наведений у дисертаційному дослідженні Котенка [7], підтверджує, що полімери з вищими внутрішніми втратами можуть ефективніше знижувати рівень шуму, що є важливим у контексті каналізаційних труб.

На основі аналізу робіт [1-5] можна сформулювати гіпотезу, що оптимальними будуть багатшарові або мінералізовані трубні матеріали зі збільшеною масою стінки, але помірною жорсткістю для збереження демпфування. Однак жодна з робіт не розглядає комплексне акустичне випробування каналізаційних труб у діапазоні 50 ... 2000 Гц, характерному для шумів стоків.

Виходячи з попередніх досліджень, можна сформулювати гіпотези щодо очікуваного впливу різних матеріалів та структур труб на звукопоглинання. Дані для порівняння матеріалів зведено у табл. 1, що дозволяє наочно побачити роль товщини, щільності та наповнювачів.

Таблиця 1 – Вплив структури та матеріалу на звукоізоляційні властивості полімерів

Матеріал	Тип структури	Наявність наповнювачів	Очікуваний вплив на STL
PP	Одношаровий	Немає	Низький
PP-композит	Мікронаповнений	Тальк, бентоніт, GB	Середній–високий
HDPE-композит	Мікроструктура з волокнами	Мінеральні / деревні	Середній
PVC	Одношаровий	Немає	Середній
PVC (ребристий / камерний)	Багатокамерний	Немає	Високий
Пінополіпропілен	Пориста структура	Немає	Високий у середніх частотах

Аналіз літературних джерел [1-5] свідчить про те, що підвищення поверхневої щільності матеріалу, що досягається за рахунок збільшення товщини стінки або введення мінеральних та органічних наповнювачів, здатне підвищувати втрати звуку при проходженні (STL), проте надмірна

жорсткість може знижувати ефективність демпфування. Зокрема, введення бентоніту або деревних волокон у поліпропіленові та HDPE-композити покращує акустичні характеристики у середньочастотному та низькочастотному діапазоні, тоді як ребристі або багат шарові PVC-панелі демонструють зниження передачі повітряного шуму завдяки підвищенню маси та ефекту багатократних відбиттів. Виходячи з цього, можна сформулювати гіпотезу, що для каналізаційних труб товща стінка або матеріал із більшим показником поверхневої щільності може зменшити рівень шуму від стоків, проте ця залежність не є строго лінійною і потребує оптимізації жорсткості та демпфуючих властивостей. Крім того, введення мінеральних або деревних наповнювачів у поліпропіленові та HDPE-композити здатне підвищувати звукоізоляційні властивості матеріалу, що підтверджує роль структурних характеристик і складу у формуванні акустичного комфорту. Водночас, наявні дослідження не охоплюють повний спектр шумів стічних вод у реальних умовах експлуатації каналізаційних систем, що підкреслює необхідність проведення спеціалізованих експериментальних досліджень для оцінки впливу товщини стінки та матеріалу на акустичні характеристики труб.

Висновки

Літературний аналіз засвідчує, що структура й склад полімерів визначають звукопоглинання та звукопередачу. З огляду на потребу зниження шумів каналізації в будівлях, найбільш перспективними є полімери з мінеральними наповнювачами та труби збільшеної товщини, що мають вищу поверхневу щільність. Врахування акустичного спектра стічних вод є складним завданням, оскільки, окрім повітряного шуму, істотну роль відіграють вібраційні компоненти, зумовлені турбулентністю потоку та ударними навантаженнями на внутрішні стінки труб. Подальші дослідження повинні включати комплексні акустичні випробування труб різної товщини в реальних гідродинамічних умовах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. López J. P., El Mansouri N.-E., Alba J., del Rey R., Mutjé P., Vilaseca F. Acoustic properties of polypropylene composites reinforced with stone groundwood. *BioResources*. 2012. Vol. 7, no. 4. P. 4586–4599.
2. Świrk P., Leniowska L. Modeling of the Acoustic Properties of Foamed Polypropylene Panels. *Mechanics and Control*. 2016. Vol. 35, no. 2. P. 75–82.
3. Kim B. J., Huang R., Xu X., Lee S. Y., Kunio J., Wu Q. Sound transmission properties of mineral-filled high-density polyethylene (HDPE) and wood-HDPE composites. *BioResources*. 2015. Vol. 10, no. 1. P. 510–526.
4. Kopania J. M., Zakrzewicz W., Kubiak P., Mrowicki A., Głogowski M., Gralewski J., Bogusławski G., Wójciak K., Gaj P. The Properties of Materials and Structures of Fluted PVC Panels for the Transmission of Airborne Sound. *Materials*. 2020. Vol. 13, no. 18. Article 4061.
5. Sarikanat M., Secgin A., Uysalman T., Tantug G. S., Ozkaya M., Atagur M., Altay L., Seki Y. The Effect of Various Minerals on Sound Transmission Loss and Mechanical Properties of Polypropylene. *Composites Part B: Engineering*. 2019. Vol. 165. P. 1–10.
6. Шуцькіна О. В. Вплив етапів переробки поліолефінів на формування властивостей полімерних труб із них. *Вісник ЛТЕУ. Технічні науки*. 2016. № 17. С. 70–73.
7. Котенко Світлана Геннадіївна . Зниження рівнів шуму рухомих джерел шумозахисними екранами з кінцевої звукоізоляцією : дис. ... канд. техн. наук, КПІ ім. І. Сікорського, 2019. 172 С.

Олег Олегович Горюн – доктор філософії, старший викладач кафедри інженерних систем у будівництві, факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Україна, м. Вінниця, ORCID: 0000-0001-5678-835X, e-mail: oleggoriun@vntu.edu.ua.

Скуйбіда Ярина Євгенівна — студентка групи СМ-23б факультету будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, ORCID: 0009-0001-2325-6477, e-mail: yarynaskuibida@gmail.com.

Oleh Horiun — PhD, senior lecturer of the department of engineering systems in construction, faculty of construction, civil and environmental engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, ORCID: 0000-0001-5678-835X, e-mail : oleggoriun@vntu.edu.ua.

Skuibida Yaryna Yevhenivna — student of the SM-23b group of the Faculty of Civil Engineering, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, ORCID: 0009-0001-2325-6477, e-mail: yarynaskuibida@gmail.com.