

Мамедов Т.А.,
Київський національний університет
імені Тараса Шевченка

АНАЛІТИЧНІ ВИРАЗИ, ЩО ОПИСУЮТЬ ПОШИРЕННЯ ШУМУ НА ЗАБУДОВАНИХ ТЕРИТОРІЯХ

Розглядаються аналітичні вирази, що описують поширення шуму на забудованих територіях: розбір та аналіз рівнянь для різних типів хвиль в залежності від розташування джерела шуму та точки прийому.

Ключові слова: щільність середовища, пружність середовища, псевдоциліндрична хвиля, інтерференція, імпеданс,

Вступ. Зашумленість території міської забудови від оточуючих транспортних потоків та внутрішніх точкових джерел є одним з найважливіших з комплексу показників комфортності проживання населення, особливо у великих містах. Шум – це нестійкі або випадкові акустичні коливання, яким характерна випадкова зміна амплітуди і частоти. Сучасне місто неможливо уявити без шумового фону. У житловій забудові джерела шуму можна поділити на дві групи: зовнішні та внутрішні. До першої групи належать міські магістральні та вантажні дороги, промислові підприємства, що розміщуються на прилеглих територіях, тощо. Друга група складається з дитячих ігрових майданчиків, мікрорайонних проїздів і автомобільних стоянок, що знаходяться всередині житлової забудови.

Динамічний розвиток міста супроводжується збільшенням шумового фону міста. Все більш зростаючі транспортні потоки забруднюють міське середовище шумом. З іншого боку, розвиток міста та інтенсифікація використання міських територій робить межі між різними функціональними зонами все більш прозорими. Існують дві групи методик з визначення шумового режиму території забудови: розрахункові та графічні методи. Характерною особливістю обох груп методик є досить докладне рішення задач, пов'язаних з лінійними джерелами шуму. Отже, перейдемо до виразів, що описують поширення шуму.

Основні акустичні рівняння звукового поля. Між звуковим тиском та швидкістю коливання в кожній точці вільного звукового поля існує строгий зв'язок, який встановлюється двома основними акустичними рівняннями, що впливають відповідно з рівнянь рівноваги сил і нерозривності нескінченно малих часток:

$$(-grad p) = \rho \left(\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} \right) - \vec{F}$$

$$(-div \vec{v}) = \frac{1}{K} \cdot \frac{\partial p}{\partial t}$$

\vec{F} – вектор зовнішніх об'ємних сил;

ρ – середня щільність середовища;

K – модуль пружності середовища.

Виразивши з даних рівнянь вектор v , ми отримаємо хвильове рівняння для звукового тиску p при вільному (без втрат) поширенні звуку:

$$\nabla^2 p = \frac{\rho}{K} \left(\frac{\partial^2 p}{\partial t^2} \right) + div \vec{F}$$

Поширення звуку в газах відбувається при фазовій швидкості:

$$c = \sqrt{\frac{K}{\rho}},$$

яка для звичайних в акустиці амплітуд є частотно незалежною, тобто поширення звуку в повітрі не залежить від дисперсії.

Диференціальне рівняння псевдоциліндричної хвилі та його розв'язок.

Розглянемо тепер закономірності поширення шуму від декількох джерел, наприклад, від транспортних потоків. При використанні вище названого модельного представлення, транспортні потоки «випускають» псевдоциліндричні хвилі, диференціальне рівняння яких має такий вигляд:

$$\frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = c^2 \left[\frac{1}{r^n} \left(\frac{\partial}{\partial r} \left(r^n \frac{\partial p}{\partial r} \right) \right) \right] = c^2 \left(\frac{n}{r} \frac{\partial p}{\partial r} + \frac{\partial^2 p}{\partial r^2} \right)$$

При $n = 1$ будемо мати рівняння поширення циліндричних хвиль. При $n = 2$ – рівняння поширення сферичних хвиль. Дане рівняння після відповідних перетворень представляється у вигляді рівняння, спорідненого рівнянню Бесселя:

$$0 = rp'' + np' + k^2rp,$$

де k – хвильове число, $k = \frac{w}{c}$

Його рішенням є вираз:

$$p = p_0 r^{\frac{1-n}{2}} \cdot H_{\frac{1-n}{2}}^{(1)} kr,$$

де $H_{\frac{1-n}{2}}^{(1)}$ – функція Ханкеля першого роду $\frac{1-n}{2}$ -го порядку, яка представляється у вигляді двох швидкозбіжних рядів. На відміну від інших беселевих функцій, функція Ханкеля дійсного порядку приймає комплексне значення при додатному аргументі. Практична роль цієї функції полягає в тому, що вона прямує до 0 при $x \rightarrow \infty$ ($H_v^{(1)}(x)$ – коли уявна частина додатна, $H_v^{(2)}(x)$ – коли уявна частина від'ємна).

Аналіз факторів впливу на поширення шуму.

1. Відображення від поверхні землі

Згідно теорії поширення звукових хвиль вздовж рубежу розділу повітряної та нескінченно пористої середовищ, необхідно враховувати вплив інтерференції прямого і відбитого від поверхні землі променів. Звуковий тиск в точці M визначається такою формулою:

$$\frac{p}{p_0} = \frac{e^{ik_1 r_1}}{k_1 r_1} + R_p \frac{e^{ik_1 r_2}}{k_1 r_2} + (1 - R_p) \frac{e^{ik_1 r_2}}{k_1 r_2} \cdot F \quad (1)$$

де k_1, k_2 – хвильове число для поширюваного звуку в повітрі та в землі відповідно,

r_1, r_2 – довжина шляху прямого і відбитого променів,

R_p – коефіцієнт відбиття плоскої хвилі.

$$R_p = \frac{\sin \theta - \beta \left(1 - \frac{k_1^2}{k_2^2} \cdot \cos \theta\right)^{0,5}}{\sin \theta + \beta \left(1 - \frac{k_1^2}{k_2^2} \cdot \cos \theta\right)^{0,5}}$$

$$\beta = \frac{z_1}{z_2},$$

де z_1 – акустичний імпеданс повітря;

z_2 – специфічний імпеданс поверхні землі;

F – комплексна функція, що описує взаємодію фронту хвилі з поверхнею, імпеданс якої скінчений:

$$F = 1 + 2i\omega^{0,5} e^{-\omega} \int_{-i\omega^{-0,5}}^{\infty} e^{-\omega^2} d\omega,$$

$$\omega = 0,5ik_1r_1(\sin\theta + \beta)^2;$$

Перший та другий доданки рівняння (1) представляють відповідно пряму і відбиту хвилі. Третій член представляє так звану земну хвилю. При $\omega \ll 1$ вона майже не згасає, при $\omega \gg 1$ загасання складає 6 Дб при кожному подвоєнні відстані. На невеликих відстанях від джерела шуму звукове поле формується прямим і відбитим хвилями на відстанях, що значно перевищують висоту джерела і точки прийому. Воно визначається третім членом рівняння (1). Отже, використовуючи рівняння та значення імпедансів для різних покриттів, можна розраховувати змінення рівня шуму внаслідок впливу різного роду покриттів поверхні та без урахування дивергенції і поглинання повітрям.

Однак, для розрахунків зашумленості території від транспортних потоків наведені вирази тільки умовно придатні, тому що основною характеристикою шуму транспортних потоків прийнятий частотно скоригований за шкалою «А» енергетично еквівалентний рівень шуму. Якщо в основу покласти безліч октавних та три октавних рівнів, то не представляє труднощі знаходження k і R_p , а сумарний рівень в точці прийому «М» визначається енергетичним підсумовуванням. Щоб уникнути цей трудомісткий спосіб у ряді джерел існують порашовані емпіричні залежності, що враховують в достатній мірі вплив покриття поверхні землі.

2. Відбиття від будівель і споруд

У реальних умовах джерела шуму і точки прийому сусідують, як правило, з якимись будівлями і спорудами. У такому випадку частина звукової енергії відбивається від їх поверхонь. Для розрахунку рівнів шуму в цих умовах застосовується метод уявних джерел. При односторонній забудові рівень звуку в точці «М» відповідно визначається енергетичним підсумовуванням рівнів звуку від реального та уявного джерел. Так як в реальних умовах транспортний потік не завжди можна розглядати як джерело нескінченної довжини, вводиться поняття про кути видимості дійсного φ_s і уявного φ'_s джерел. Зниження рівня звуку внаслідок обмеженості довжини лінійної ділянки визначається формулою:

$$\Delta L_A(\varphi) = 10 \cdot \lg(\varphi/180)$$

В умовах односторонньої забудови внесок відбитої хвилі у рівень звуку в точці «М» визначається з виразу:

$$\Delta L_A = 10 \cdot \lg \frac{1 + 0,8 \varphi'_s / \varphi_s}{(2D_R/D_0 + 1)^F}$$

де якщо $F = 1.52$, то поверхня акустично м'яка;

якщо $F = 1.0$, то поверхня акустично жорстка;

0,8 – коефіцієнт відбиття з урахуванням розсіювання та поглинання звуку на фасаді будівлі.

3. Дифракція на перешкодах

На початку теорія дифракції розвивалася в оптиці, лише потім була застосована для всіх хвильових процесів. На жаль, апроксимація в оптичній дифракції не гарантує таку ж точність в акустиці, так як в акустиці відношення довжин хвиль до відстані від джерела перешкоди набагато більше, ніж в оптиці.

Висновки. Містобудівна практика ще не володіє універсальними науково обґрунтованими методиками оцінки шумового режиму, що, по-перше, не дозволяє використовувати фактор шуму в складній містобудівній оцінці та, по-друге, ускладнює вибір комплексу шумозахисних заходів.

Всі використовувані методики ґрунтуються на численних експериментальних даних, що не дозволяє розглядати їх як універсальні.

Проаналізовано математичний апарат з метою оцінки його можливостей для опису фізичного процесу поширення звуку.

Література

- 1) Грінченко В.Т., Вовк І.В., Маципура В.Т. Основи акустики – К. : Наукова думка, 2007. – 640с.
- 2) Тейлор Р. Шум. Пер. з англ. Д.І. Арнольда – М. : Мир, 1978. – 308с.
- 3) Скучик Е. Основы акустики. – М. : Мир, 1976. – 520с.
- 4) Стретт Дж.В. Теория звука. – М. : ГИТТЛ, 1955. – 504с.

Аннотация

В статье рассматриваются аналитические выражения, которые описывают распространение шума на застроенных территориях: разбор и анализ уравнений для разных типов волн в зависимости от местонахождения источника шума и точки приема.

Ключевые слова: плотность среды, упругость среды, псевдоцилиндрическая волна, интерференция, импеданс.

Abstract

The article reviews the analytical expressions that describe the expansion of noise in built up areas: dissection and analysis of the equations for different types of waves depending on the location of the noise source and the receiving point.

Keywords: density of the environment, elasticity of the environment, pseudocylindrical wave, interference, impedance.