

ПРОБЛЕМИ МОДЕЛЮВАННЯ АКУСТИЧНОГО ПРОСТОРУ ПРИМІЩЕНЬ

*Глінський В. В., ст. (гр. КП-81мп, ФПМ КПІ ім. Ігоря Сікорського);
Полукаров Ю. О., к.т.н., доцент (каф. ОППЦБ КПІ ім. Ігоря Сікорського)*

Головною метою даної статті є оцінити важливість моделювання акустичного простору у приміщеннях на етапі їх проектування або реконструкції, а також розглянути основні підходи до моделювання акустичного простору. Є актуальною можливість, наприклад, оцінити рівень шумового забруднення офісних та житлових приміщень, що розміщені поряд з джерелами шуму різних типів – сусідніми приміщеннями, ланками транспортної мережі, промисловими підприємствами, стадіонами, тощо.

Ступінь впливу шуму на людину залежить від його рівня, характеру та тривалості впливу, а також індивідуальних особливостей людини. Основний вплив шуму доводиться на слуховий апарат людини. Тривала дія шуму високої інтенсивності може поступово призвести до поступової втрати слуху – починаючи з високих частот і поступовим поширенням на більш низькі.

Окрім безпосереднього впливу на орган слуху, шум може змінювати процеси вищої нервової діяльності, призводячи до підвищеної втомлюваності, зниженої працездатності, роздратованості, апатії, послаблення уваги та пам'яті, тощо. Таким чином, шум сприяє зниженню продуктивності та виникненню нещасних випадків.

Несприятлива дія навіть незначних за рівнем шумів сильніше проявляється у години відпочинку. Тому, згідно з законом України «Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення», у житлових масивах діє заборона порушення тиші з двадцять другої до восьмої години, а шум при здійсненні будь-якої діяльності не повинен перевищувати рівнів, встановлених санітарними нормами для відповідного часу доби. Крім того, «проведення ремонтних робіт, що супроводжуються шумом, забороняється у робочі дні з двадцять першої до восьмої години, а у святкові та неробочі дні – цілодобово». Окремим винятком є лише згода мешканців усіх прилеглих квартир.

ДБН В.1.1-31:2013 та ДСН 3.3.6.037-99 є головними документами, що встановлюють норми допустимих рівнів шуму на робочих місцях, територіях та приміщеннях будинків різного призначення, правила проектування засобів захисту від шуму та методику оцінки шумового режиму [1,2].

За тривалістю шум поділяють на постійний та непостійний. Рівень звуку постійного шуму змінюється в часі не більше ніж на 5 дБ. До непостійного шуму належить мінливий, імпульсний та переривчастий. У мінливого шуму рівень звуку безперервно змінюється у часі. Імпульсний та переривчастий шуми характеризуються рівнем звуку, який змінюється ступінчасто, з тривалістю сталого рівня до однієї секунди та щонайменше однієї секунди, відповідно.

Як наслідок, при нормуванні шуму використовують два підходи. Параметрами постійних шумів, що нормуються, є рівні звукового тиску в октавних смугах частот (октавах). Октава – діапазон частот, найвища з яких у два рази більша за найнижчу. Виділяють дев'ять октав із наступними середньо геометричними частотами: 31,5, 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 та 8000 Гц. Нормування постійного шуму за відсутності інформації про його спектр та непостійного шуму проводиться за максимальним рівнем звуку у дБА. Наприклад, допустимий рівень шуму в житлових приміщеннях в нічний час доби становить 30 дБ і 40 дБ – в денний.

Моделювання акустичного простору до реалізації проекту дозволяє більш ефективно підбирати звукоізолюючі матеріали та конструкції, враховуючи норми та стандарти.

Більшість методів моделювання акустики приміщень розглядають розповсюдження звуку у вигляді променів. Метод трасування променів (ray tracing) почали застосовувати ще в 60-х роках минулого століття в тривимірній графіці для отримання реалістичних зображень, згодом його стали застосовувати в обробці звуку. В загальному випадку, розповсюдження звуку дійсно аналогічне променям світла, що виходять з джерела, проходять крізь повітря, відбиваються від поверхонь і досягають отримувача. Однак швидкість поширення та довжина хвиль у світла і звуку відрізняється. Як наслідок, для людини світло поширюється миттєво, а значно менша швидкість звуку (340 м/с у повітрі) є причиною таких явищ як луна та реверберація. Довжина хвилі світла (400-740 нм) надзвичайно мала і її слід брати до уваги лише в окремих випадках. Водночас довжина звукових хвиль, що сприймаються людиною, може досягати розмірів фізичних об'єктів (від 0,017 до 17 м). Перешкоди на шляху звуку призводять до значного затухання високочастотної складової, при цьому низькі частоти можуть проходити перешкоду без помітного згасання. Наприклад, ми можемо чути людину, яка говорить за рогом і є для нас поза межами прямої видимості, проте звук буде приглушеним. Тому ми змушені враховувати явище дифракції.

Інші два променевих методи моделювання – метод уявних джерел (image-source method) та метод трасування пучків променів (beam tracing). Метод трасування пучків є розширенням методу трасування променів в тому сенсі, що променям надають об'єм.

Метод уявних при віддзеркаленні «променя» звуку створює вторинне джерело «позаду» поверхні віддзеркалення. Це джерело буде розташоване на прямій, що перпендикулярна до поверхні, та на тій же відстані до неї, що й оригінальне джерело. Якщо нове джерело є віддзеркаленням від однієї поверхні, воно називається віддзеркаленням першого порядку. Промінь, який віддзеркалюється від декількох поверхонь, буде представленим уявним джерелом вищих порядків. Всі джерела, і оригінал, і уявні, випромінюють один і той же сигнал одночасно, а результуюча імпульсна характеристика (тобто, рівень звуку в часі) отримується додаванням сигналів від кожного джерела, з врахуванням затримки та затухання відповідно до відстані між джерелом та

отримувачем. Частотна характеристика сигналу кожного уявного джерела буде додатково змінена відповідно до характеристики поверхні віддзеркалення.

На практиці, при віддзеркаленні зберігається не вся енергія звуку, частина буде розсіяна випадковим чином в інших напрямках, і моделювання методом уявних джерел не враховує це явище. Кутруф показав, що лише ранні віддзеркалення є здебільшого дзеркальними, після кількох віддзеркалень основна частина звукової енергії розсіюється [3]. Тому пропонується використовувати уявні джерела лише для початкових віддзеркалень, а для пізніх, розсіяних, – інші моделі, наприклад трасування променів.

Окрім променевих методів, дослідники застосовують хвильові методи, наприклад метод скінчених елементів (finite-element, FEM), метод граничних елементів (boundary element, BEM) та метод скінченої різниці у часі та просторі (finite-difference-time-domain, FDTD). Однак через значну обчислювальну складність такі методи не є практичними в застосуванні до всього діапазону частот, що сприймає людина, і не підходять для обчислень у реальному часі.

Отже, моделювання акустичного простору приміщень є важливим принаймні для оцінки рівня шумового забруднення, а також спрощення підбору матеріалів та конструкцій на етапі проектування або реконструкції цих приміщень. Для моделювання акустики в приміщеннях доцільно використовувати методи, що розглядають поширення звуку як деяких променів.

Література

1. Захист територій, будинків і споруд від шуму [Текст] : ДБН В.1.1-31:2013 – Київ : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2013 – (Державні будівельні норми України).
2. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку [Текст]: ДСН 3.3.6.037-99 – Київ : Міністерство охорони здоров'я України. Головне санітарно-епідеміологічне управління, 1999 – (Державні санітарні норми).
3. Н. Kuttruff. Room Acoustics [Текст] – CRC Press, 2000.