

БЕЗПЕКА АВІАЦІЇ

УДК 628.517.2:656.71.053.7(045)

№ Б 0519.0-046-002.15

О.І. Запорожець, О.В. Коновалова

АКУСТИЧНИЙ ЗАХИСТ ПРИМІЩЕНЬ СЛУЖБОВО-ТЕХНІЧНОЇ ТЕРИТОРІЇ АЕРОПОРТУ ВІД АВІАЦІЙНОГО ШУМУ

Розглянуто задачі акустичного захисту будівель і споруд робочої зони аеропорту. Задача створення акустичного комфорту вирішується за допомогою вибору конструкції зовнішнього огородження з достатньою звукоізоляцією і раціональним внутрішнім плануванням.

Розрахунок очікуваних рівнів і спектрів авіаційного шуму в службових приміщеннях аеропорту від зовнішніх джерел виконується у такій послідовності:

- визначення очікуваних рівнів зовнішнього шуму в приміщеннях будівлі з урахуванням типового рішення конструкції зовнішнього огородження;
- порівняння одержаних значень рівнів шуму з нормативними значеннями для будівель, що вимагають підвищеного захисту від шуму;
- вибір конструкції зовнішнього огородження з умов необхідної звукоізоляції;
- перевірочний розрахунок відповідності спектра, проникаючого в приміщення, до допустимого;
- вибір додаткових заходів щодо захисту від авіаційного шуму.

При розрахунку шуму в службових приміщеннях аеропорту від зовнішніх джерел (переважно – авіаційних) потрібна така інформація:

- клас аеропорту;
- генеральний план аеропорту або схема розташування будівлі відносно розрахункових джерел шуму;
- типи літаків, що експлуатуються в аеропорту;
- дані по шуму і льотно-технічним характеристикам для кожного типу літака;
- маршрути прибуття і вильоту літаків;
- схема розташування повітряних суден на пероні і місцях стоянки;
- маршрути руління літаків на тязі власних двигунів;
- план будівлі з указанням розмірів зовнішніх конструкцій захисту від шуму;
- частотні характеристики ізоляції конструкцій захисту від шуму.

Очікувані рівні шуму в приміщенні розраховуються за формулою [1; 2]:

$$L_{\text{вн}} = L_{\text{нар}} - R + 10 \lg \frac{S_0(1 - \alpha_{\text{ср}})}{A} \quad (1)$$

де $L_{\text{вн}}$ – рівень звукового тиску в приміщенні в октавній смузі частот, дБ; $L_{\text{нар}}$ – рівень звукового тиску в октавній смузі частот на відстані 2 м від зовнішнього огородження, дБ; R – ізоляція повітряного шуму конструкцією зовнішнього огородження в октавній смузі частот, дБ; S_0 – загальна площа вікон або площа зовнішнього огородження, через яке проникає шум у приміщення, м^2 ; $\alpha_{\text{ср}}$ – середнє значення коефіцієнта звукопоглинання в приміщенні в октавній смузі частот; A – еквівалентна площа звукопоглинання в приміщенні в октавній смузі частот, м^2 .

Еквівалентна площа звукопоглинання в приміщенні в октавній смузі частот визначається як

$$A = \sum_{i=1}^n \alpha_i S_i + \sum_{j=1}^n A_j N_j,$$

де α_i – коефіцієнт звукопоглинання i -ї поверхні в октавній смузі частот; S_i – площа i -ї поверхні, м^2 ; A_j – еквівалентна площа звукопоглинання в октавній смузі частот штучного поглинача, м^2 ; N_j – кількість штучних поглиначів.

Вибір конструкції зовнішнього огороження будівлі проводиться, виходячи з розрахункових рівнів звуку L_A у фасада будівлі для різних експлуатаційних операцій літаків і допустимого рівня звуку в приміщенні $L_{\text{Доп}}$, що визначається відповідно до ОСТ 54.71.001-78 [1]. Необхідна звукоізоляція тоді може бути визначена за формулою

$$R_A = L_A - L_A^{\text{доп}} + 10 \lg \frac{S_e}{A}, \quad (2)$$

де A – еквівалентна поверхня поглинання в приміщенні (середня в діапазоні 125-500 Гц), м^2 .

Звукоізоляція фасаду або елементів фасаду визначається у відповідності до даних роботи [2] і розраховується за коефіцієнтами звукоізоляції повітряного шуму кожного елемента фасаду R_{wi} :

$$R_w = 10 \lg \left(\frac{\sum_i S_i}{\sum_i S_i 10^{-R_{wi}/10}} \right). \quad (3)$$

Індекс ізоляції повітряного шуму огорожуючою конструкцією визначається на основі розрахованої частотної характеристики ізоляції повітряного шуму [2, п. 2]. Відповідно до чинного міжнародного стандарту EN ISO 140-5 звукоізоляція фасаду або елементів фасаду визначається формулою:

$$R'_{45} = L_{\text{нар}} - L_{\text{вн}} + 10 \lg \left(\frac{S}{A} \right) - 1,5 \text{dB}. \quad (4)$$

Формула (4) отримана для випадку, коли джерелом звуку є гучномовець, і для припущення, що звук є випадковим, падає на стіну під кутом $\theta=45^\circ$, а звукове поле в приміщенні розсіяне. Однак для даної задачі формула (4) є неприйнятна через нестационарність розміщення і випромінювання джерел шуму в аеропорту.

Для довільного кута падіння θ і однорідних елементів конструкцій

$$R'_\theta = 10 \lg \left(\frac{m\omega}{2Z_0} \right)^2 \cos^2 \theta \quad (5)$$

де ω – кругова частота; m – маса на одиницю поверхні матеріалу; Z_0 – акустичний імпеданс повітря; θ – випадковий кут падіння.

Звукоізоляція суцільної стіни залежить від частоти звуку (див. формулу 5). При цьому розглядаються чотири характерних діапазони частот:

- у смузі низьких частот основним чинником є жорсткість матеріалу;
- із збільшенням частоти звукоізоляція змінюється завдяки різним ефектам резонансу;
- приблизно через октаву від найменшого резонансу набирає чинності закон маси, у цьому діапазоні звукоізоляція залежить від поверхневої щільності матеріалу і зростає на 6 дБ на октаву відповідно до формули (5);
- високі частоти спричиняють в стіні згинаючі пульсуючі коливання, швидкість яких зростає з частотою.

Довжина хвилі таких пульсуючих коливань співпадає з довжиною хвилі випадкового звуку на частоті, при якій швидкість коливань в матеріалі досягає значення швидкості звуку в повітрі. На цій частоті хвилі поєднуються і посилюють одна одну при співпаданні фаз, що різко знижує звукоізоляцію стіни. Цей ефект звичайно відбувається на частоті 1-4 кГц, в діапазоні найбільшої чутливості вуха людини.

У відповідності до вимог стандартів ASTM E-90, ASTM E-143 [3] величина звукопередачі TL через одношарову панель може бути обчислена з необхідним рівнем точності через масу на одиницю поверхні m і модуль жорсткості E панелі. На низьких і середніх частотах величина звукопередачі TL розраховується згідно із законом маси:

$$TL = 20 \lg(mf) - 48.$$

На високих частотах ефект резонансу знижує величину звукопередачі:

$$TL = 20\log(mf) + 10\log(\eta f / f_c) - 44,$$

де η – коефіцієнт зниження величина звукопередачі в зв'язку з резонансним ефектом; f_c – критична частота, яка визначається в залежності від модуля жорсткості E .

Розроблена програма розрахунку різних конструкцій стін (рис. 1). Результати виконаних досліджень показують широкий вплив існуючих і можливих конструкцій на параметри звукоізоляції. Наприклад, для двошарових стін і перегородок вище від частоти резонансу f_0 перегородки (шари: маса-повітря-маса), що визначається значеннями мас панелі і повітряної порожнини, звукоізоляція зростає на 18 дБ за 1 октаву. Коли глибина порожнини стає близькою до довжини хвилі на частоті f_1 , форма коливань порожнини з'єднує властивості панелей і звукоізоляція збільшується на 12 дБ за 1 октаву. Жорсткі з'єднання діють як звукові мости між двома панелями, і звукоізоляція обмежується постійним значенням, вищим за закон маси, ΔR і збільшується тільки на 6 дБ за 1 октаву.

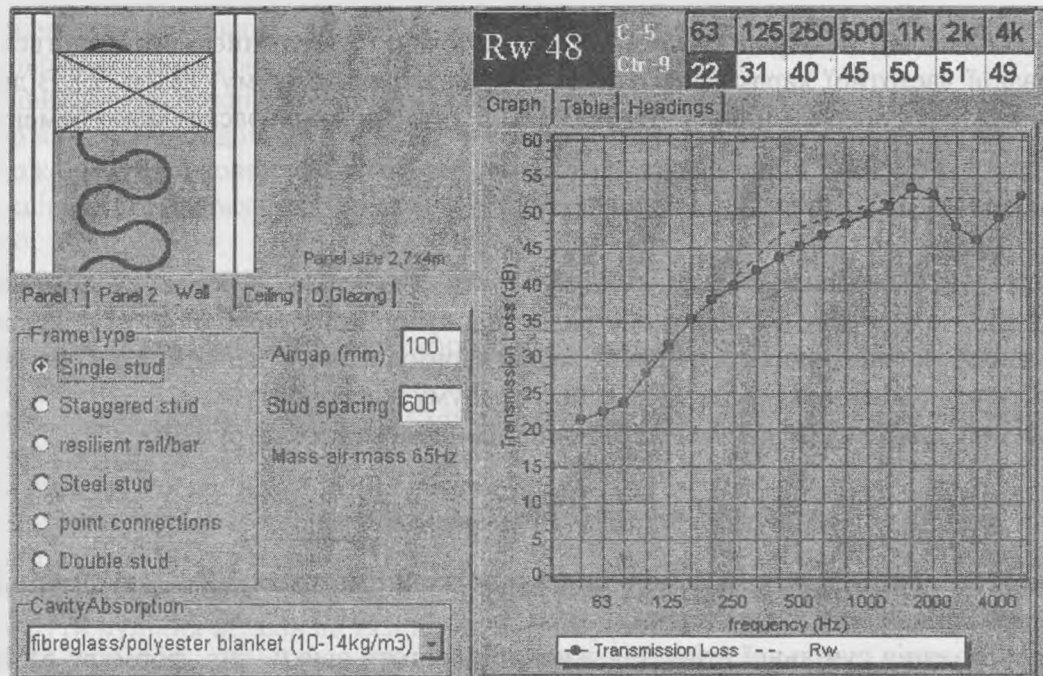


Рис. 1. Звукоізоляція двошарової перегородки з гіпсокартонних панелей товщиною 12,5 мм

Властивості загасання звуку для різних елементів фасаду і загалом для будівлі можуть відрізнятися від розрахованих за формулами (1)–(5) або отриманих в лабораторних умовах, завдяки впливу таких факторів:

Ефект кута падіння звуку. Умови розрахунку, а так само вимірювання звукоізоляції в лабораторних умовах розглядають розсіяне звукове поле, в якому звук є випадковим за напрямом випромінювання і розповсюдження, тобто спостерігається приблизно рівномірний розподіл звукових хвиль для всіх можливих кутів падіння. У реальних умовах джерело шуму (літак) має певну спрямованість випромінювання і, як наслідок, падіння звуку здійснюється для певних кутів, а інтенсивність звуку змінюється з часом і з кутом падіння.

Спрямованість шуму повітряного судна сприяє зміні звуку з часом. Хоч для сучасних типів повітряних суден характерна менша спрямованість звукового випромінювання, цей фактор є значним.

Вплив відстані до джерела шуму (повітряного судна) і швидкості його руху Інтенсивність звуку змінюється згодом тому, що повітряне судно переміщається. Фактична зміна залежить від швидкості руху повітряного судна і відстані до маршруту польоту.

На рис. 2 показана очікувана зміна рівня звуку з часом для ненаправленого джерела, яке рухається на відстані 240 м з швидкістю 70 км/год. Нульове значення часу на цьому графіку відповідає положенню повітряного судна близько до будинку. Пік рівня звуку реального повітряного судна за амплітудою значно міняється з частотою і затримується з часом відносно найближчого положення повітряного судна (відносно нуля на вісі часу).

Орієнтація фасаду будівлі до маршруту польоту. Загальна звукова енергія, що падає на фасад або його елемент, так само залежить від орієнтації будівлі відносно курсу польоту повітряного судна. У реальній ситуації цей ефект ускладнюється впливом дифракції звуку навколо кутів будівлі. На рис. 3 наведено порівняння значення зниження шуму NR для стін у двох кімнатах. Стіни маскування розташовані перед лицьовими стінами кожної кімнати. Для кімнати В літак заходить на посадку і звук знижується більше, ніж для кімнати, перед стіною якої він пролітає. Це обумовлює вищі значення NR для кімнати В, ніж очікувалося. Натурні вимірювання відрізняються від результатів, які підраховуються лабораторних умов вимірювань, у смугах 125 і 1600 Гц.

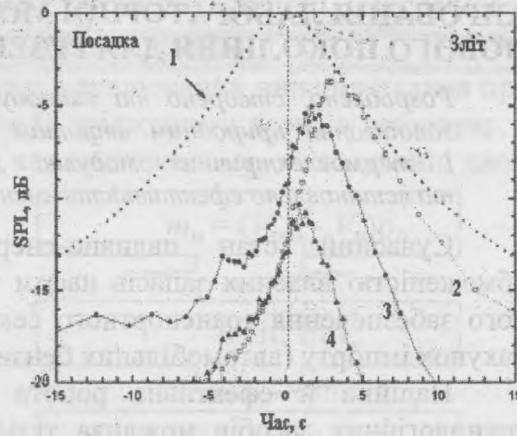


Рис. 2. Зміна рівня звуку з часом для ненаправленого акустичного джерела:
1- залежність $10 \lg(1/r^2)$; 2- частота звукової хвилі 125 Гц; 3- частота звукової хвилі 500 Гц; 4- частота звукової хвилі 2000 Гц

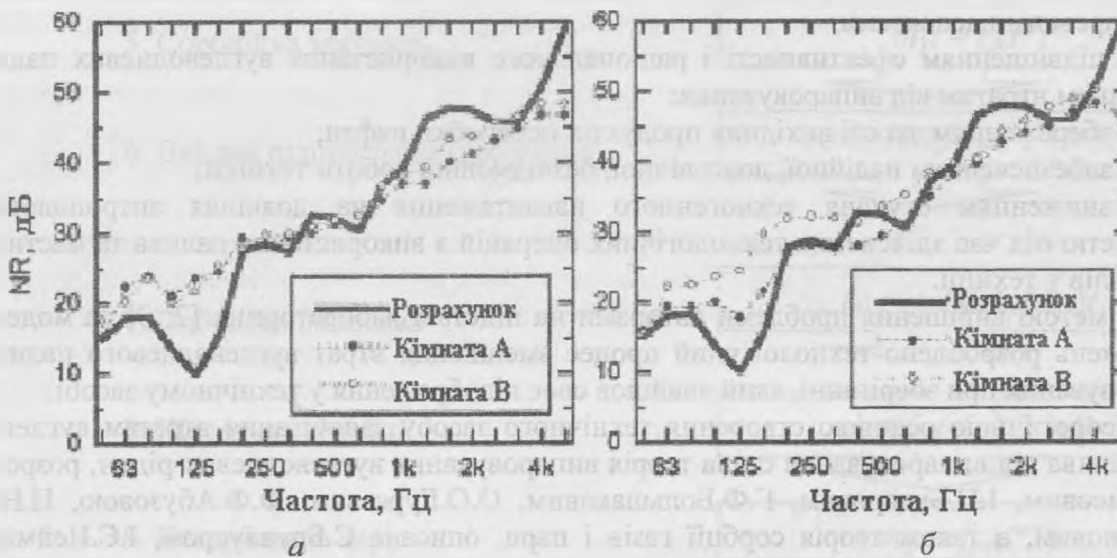


Рис. 3. Порівняння розрахункових і вимірних значень зниження шуму NR для стін, які знаходяться лицьовою стороною до прольотів літаків (а) і до літаків перед посадкою та під час зльоту (б)

Для прогнозування зниження звуку окремим фасадом (його окремими елементами і будівлею загалом) необхідно визначити вплив кожного з розглянутих факторів, однак на цей час практично неможливо повністю пояснити їх ефект для фактичних прольотів повітряного судна. Питання точного впливу цих факторів, а також впливи інших ефектів (інтерференції звуку від декількох джерел шуму, екранування фасадів) вимагають подальшого дослідження.

Список літератури

1. ОСТ 54.71.001-78. Шум/ Общие требования безопасности труда в эксплуатационных предприятиях ГА. - М.: Госстандарт СССР.
2. Руководство по расчету и проектированию звукоизоляции ограждающих конструкций НИИСФ Госстроя СССР. - М.: Стройиздат, 1983. - 64 с.
3. Standard test Method for Laboratory Measurement of Airborne Sound Transmission Loss of Building Partition and Elements. ASTM E413-73. American Society for Testing and Materials, 1916 Race Street, Philadelphia, PA 19103, U S A.

Стаття надійшла до редакції 24.09.01.