

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Київський національний університет будівництва і архітектури

О.Г. Вільсон

## **Шум: вплив, профілактика, захист**

Конспект лекції  
для іноземних студентів  
усіх спеціальностей денної та заочної форм навчання

Київ 2019

УДК 658.382.2

В41

Рецензент: І.В. Клімова, канд. техн. наук, доцент

*Затверджено на засіданні кафедри охорони праці і навколишнього середовища, протокол № 7 від 24 березня 2017 року.*

**Вільсон О.Г.**

В41 Шум: вплив, профілактика, захист: конспект лекції [укр. та рос. мовами] / О.Г. Вільсон. – Київ: КНУБА, 2019. – 52 с.

Містить загальні теоретичні відомості про виробничий шум та методи захисту від нього.

Содержит общие теоретические сведения о производственном шуме и методах защиты от него.

Призначено для студентів-іноземців усіх спеціальностей денної та заочної форм навчання.

УДК 658.382.2

© О.Г. Вільсон, 2019

© КНУБА, 2019

## ЗМІСТ

<b>Вступ</b> .....	4
<i>Лекція. Шум: вплив, профілактика, захист</i> .....	5
1. Загальні теоретичні відомості.....	5
2. Класифікація шумів.....	12
3. Нормування виробничих шумів.....	14
4. Методи вимірювання шуму, інфразвуку та ультразвуку.....	16
5. Методи захисту від шуму.....	17
<b>Введение</b> .....	20
<i>Лекция. Шум: воздействие, профилактика, защита</i> .....	21
1. Общие теоретические положения.....	21
2. Классификация шумов.....	29
3. Нормирование производственных шумов.....	31
4. Методы измерения шума, инфразвука и ультразвука.....	33
5. Методы защиты от шума.....	33
<b>Список літератури</b> .....	37
<b>Додатки</b> .....	38

## Вступ

На сьогодні шум став одним із небезпечних факторів зовнішнього середовища через невідоме зростання виробництва. Це пов'язано з підвищенням потужності та продуктивності машин, їх застосуванням на усіх ділянках виробництва.

Відомо, що шум несприятливо впливає на людину. У робітників, які мають справу з гуркотливими машинами та механізмами, згодом виникають порушення слуху, що часто призводить до професійних захворювань.

Заходи щодо запобігання шкідливій дії шуму має бути спрямовано на зміну технології процесів і конструкції машин, заміну шумних агрегатів на безшумні тощо.

З огляду на це, завданням лекції є ознайомлення студентів з термінологією та фізичними властивостями шуму.

Оскільки рекомендоване видання призначено для іноземних студентів, для зручності викладу матеріалу лекцію наведено українською та російською мовами.

## ШУМ: ВПЛИВ, ПРОФІЛАКТИКА, ЗАХИСТ

### 1. Загальні теоретичні відомості

**Виробничий шум** – неупорядковані звукові (акустичні) коливання частинок у пружних середовищах (твердих, рідких, газоподібних), що поширюються у вигляді біжучих поздовжніх хвиль.

Швидкість поширення звуку визначають щільністю середовища ( $\rho$ ), її пружними властивостями.

Швидкість поширення звуку в повітряному середовищі, як і в інших газоподібних середовищах, не є постійною величиною, так як  $\rho$  залежить від температури середовища, і її обчислюють за формулою:

$$V_{нов.} = 20,04\sqrt{273 + T_c} \text{ (м/с)}, \quad (1)$$

де  $T_c$  – температура середовища, °С.

Відомо, що за температури повітря 21 °С швидкість поширення звуку становить 344 м/с. Під час збільшення температури на 1 °С швидкість звуку в повітряному середовищі збільшується на 0,61 м/сек.

Швидкість поширення звуку в інших матеріальних середовищах коливається в широких межах, так як щільність матеріалів різна. Різні швидкості проходження звуку в цих матеріалах. Так, наприклад, швидкість проходження звуку в гумі – 40 м/с, корку – 500 м/с, дереві – 3000 м/с, цеглі – 3600 м/с, бетоні – 4000 м/с, залізі – 5130 м/с, граніті – 6000 м/с.

Шум, залежно від матеріалу середовища, в якому він поширюється, має свої найменування: *повітряний* – у повітрі, газах; *гідролічний* – в рідинах, *корпусний (структурний)* – в конструкціях і т. ін.

У вільному просторі звук поширюється рівномірно всі сторони. Таке явище отримало назву «кульова хвиля». У цьому випадку енергія, яка створила звук, розподіляється рівномірно по поверхні кулі, радіус якої, а отже і площа її поверхні під час проходження звукової хвилі постійно збільшується, а енергія, що припадає на одиницю площі поверхні кулі, зменшується. Така форма звукового впливу має назву «геометрично розшифроване загасання».

При цьому було виявлено, що з подвоєнням радіуса кулі рівень звуку зменшується на 6 дБ, тобто вплив шуму обернено пропорційний величині радіуса.

У замкнутому просторі звук відбивається від огорожувальних конструкцій, що приводить до встановлення рівномірного його рівня в усьому просторі. У цьому випадку йдеться про утворення *дифузійного звукового поля*.

Під звуковим полем розуміють простір, в якому поширюється звук. Кожна точка звукового поля характеризується трьома показниками:

- 1)  $f$  – частотою звукових коливань (Гц);
- 2)  $I$  – інтенсивністю (силою) звуку ( $\text{Вт}/\text{м}^2$ , дБ);
- 3)  $P$  – звуковим тиском ( $\text{Н}/\text{м}^2$ , Па).

У слуховому сприйнятті звуків людиною частотою звукових коливань визначається *висота звуку*; інтенсивністю – гучність звуку. Однак є ще одна характеристика звукових коливань – це тембр. Його визначають сукупністю енергетичних характеристик сприйняття шуму слуховим апаратом людини, яку в акустиці називають *граничним або гармонічним спектром*.

Розглянемо наведені вище показники, що характеризують звукове поле.

### **1.1. Частота звукових коливань**

Звукові хвилі, що сприймаються людським вухом, мають широкий частотний діапазон – від 20 до  $20 \cdot 10^3$  Гц.

Звукові хвилі з частотою коливань менше 20 Гц знаходяться в діапазоні інфразвукових коливань, коливання в діапазоні від  $20 \cdot 10^3$  до  $10^9$  Гц визначають ультразвуковий діапазон, а коливання вище ніж  $10^9$  Гц визначають діапазон гіперзвуковий.

Слуховий апарат людини сприймає тільки чутні звукові коливання. Однак небезпечними є *й ультразвукові*, які впливають на організм людини через повітряне середовище або під час безпосереднього контакту з джерелом коливань.

Фізіологічний ефект від цього впливу такий:

- тепловий (вата запалюється);
- підвищення артеріального тиску і/або його різка зміна (в окремих випадках спостерігається зміна властивостей протоплазми);
- підвищення температури тіла.

В результаті впливу ультразвуку, швидкість поширення якого в тканинах організму людини коливається в межах від 1460 до 1610 м/с, різко підвищується стомлюваність, виникає головний біль, біль у вухах, порушується робота вестибулярного апарату, спостерігається розвиток неврозів, гіпотонії і т.ін.

Небезпечний для людини й інфразвук. Відомо, що окремі частини людського тіла, його органи мають власні коливання, значення яких потрапляють в інфразвуковий діапазон (табл. 1).

Таблиця 1

**Частотні характеристики  
власних коливань окремих частин тіла людини**

Назви частин тіла людини	Частота власних коливань (Гц)	Назви частин тіла людини	Частота власних коливань (Гц)
Очі	12–24	Голова	8–24
Горло	6–12	Лице, щелепи	4–24
Грудна клітина	2–12	Живіт	4–12
Ноги, руки	2–8	Поперекова частина хребта	4–14

За збігу частот коливань органів (частин) людського тіла і зовнішнього середовища (виробничого, природного) виникає резонансний вплив на органи людини. Це положення лягло в основу пояснення явища «летючого голландця» – наявність на морських (океанських) просторах справних кораблів, покинутих командами. Доведено, що штормове море генерує шум з частотою коливань близьких до коливань мозку людини. Резонанс цих коливань у свідомості людини призводить до відчуття жаху і вона прагне покинути корабель.

Слід зазначити, що виробничий шум сприймається не тільки слуховим апаратом, але і його центральною нервовою системою.

При цьому виникають професійні захворювання, що призводять до втрати слуху (туговухості). Характерними післядіями впливу шуму є: підвищена стомлюваність, загальна слабкість, дратівливість, ослаблення пам'яті, апатія, зниження гостроти зору, порушення роботи вестибулярного апарату, процесу обміну речовин та інші захворювання.

Частотну характеристику діапазонів акустичних коливань зображено на рис. 1.



Рис.1. Частотна характеристика звукового діапазону

Виробничий шум за частотною характеристикою поділяють на три види:

- низькочастотний – від 20 до 300 Гц;
- середньочастотний – від 300 до 1000 Гц;
- високочастотний – від 1000 до  $20 \cdot 10^3$  Гц.

Весь діапазон акустичних частот поділено, відповідно до ГОСТ 12.1.003-83 [2], на дев'ять октавних смуг від 31,5 до 8000 Гц, в яких верхнє граничне значення смуги ( $f_v$ ) удвічі більше нижнього граничного значення ( $f_n$ ). Найменування октавної смуги відповідає середньо геометричній величині частоти цієї лінії:

$$f_{cp} = \sqrt{f_n \cdot f_v} \quad (\text{Гц}). \quad (2)$$

При цьому октавна смуга характеризується співвідношенням  $f_v / f_n = 2,0$ . Граничні частоти октавних смуг наведено в табл. 2.

Таблиця 2

**Граничні частоти октавних смуг**

Октавна смуга	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Граничні частоти октавних смуг	22,5– 45	45– 90	90– 180	180– 355	355– 710	710– 1400	1400– 2800	2800– 5600	5600– 11800

Октавні смуги використовують під час дослідження широкосмугових шумів, тобто в разі зміни величини шуму в межах декількох октавних смуг.

Під час дослідження шумів, які змінюються в межах однієї октавної смуги – так званих *тональних шумів*, використовують *напівоктавні* ( $f_n/f_v = 1,41$ ) і/або *третиннооктавні* ( $f_n/f_v = 1,26$ ) смуги.

Сукупність енергетичних характеристик сприйняття шумів слуховим апаратом людини в дев'яти октавних смугах ( $31,5 - 8 \cdot 10^3$  Гц) визначає *граничний (гармонічний) спектр*.

Кожному граничному спектру відповідає «крива рівної гучності».

Для різних частот різний поріг чутності. Органи слуху людини найчутливіші до звуків з частотою від 700 до 6000 Гц. У цьому діапазоні частот вухо сприймає звуки інтенсивністю ( $I$ )  $10^{-12}$  Вт/м<sup>2</sup>. Як стандартну частоту порівняння в акустиці беруть 1000 Гц.



Граничний спектр позначають індексом рівня звукового тиску в октавній смузі «1000». Так, наприклад, ПС-80 означає, що граничний спектр визначено за рівня звукового тиску 80 дБ в октавній смузі «1000».

Область слухового сприйняття звуку людиною наведено на рис. 2.

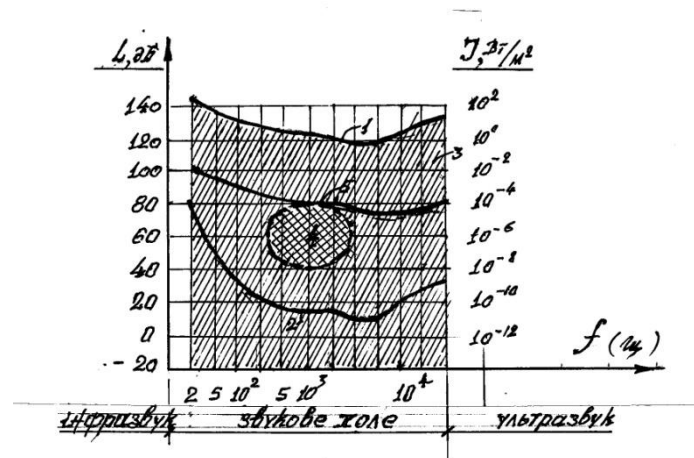


Рис. 2. Область слухового сприйняття звуку людиною:

- 1 – поріг більового відчуття; 2 – поріг чутності; 3 – область слухового сприйняття;  
4 – область людської мови; 5 – крива рівної гучності

Область слухового сприйняття звуку людиною лежить між кривою, що визначає *поріг чутності*, і кривою, що визначає *поріг більового відчуття*. Область людської мови характеризується частотою від 800 до 4000 Гц та рівнем інтенсивності звуку від 40 до 80 дБ і знаходиться всередині області слухового сприйняття звуку.

## 1.2. Інтенсивність звуку

*Інтенсивність звуку* – це щільність потоку енергії звукових хвиль, що визначає гучність (силу) звуку.

На практиці інтенсивність звуку змінюється в широких межах – приблизно на 15 порядків (у  $10^{15}$  разів). Оперувати числами, що лежать в такому діапазоні, складно. Слуховий апарат людини оцінює зміни сили звуку, звукового тиску, а не їх абсолютні значення, тому в акустиці усталено оперувати не абсолютними, а відносними – логарифмічними величинами, які назвають «рівень інтенсивності» –  $L_I$ , «рівень звукового тиску» –  $L_p$ , вимірюваними в децибелах (дБ).

*Рівень інтенсивності звуку*  $L_I$  – це міра чутливості органів слуху до звукових хвиль інтенсивністю  $I$ , величину якої визначають зі співвідношення:

$$L_I = 10 \lg I_i / I_0 \text{ (дБ)}, \quad (3)$$

де  $I_i$  – виміряна інтенсивність, яка визначається звуковою потужністю джерела звуку, що припадає на одиницю площі ( $\text{Вт}/\text{м}^2$ , дБ);

$I_0$  – стандартний поріг чутності, що дорівнює  $10^{-12}$  ( $\text{Вт}/\text{м}^2$ , дБ).

Під *акустичною потужністю* джерела звуку розуміють загальну кількість звукової енергії, що випромінюється джерелом звуку в навколишнє середовище за одиницю часу і визначають за формулою:

$$W = \int I dS \text{ (Вт)}, \quad (4)$$

де  $I$  – інтенсивність потоку звукової енергії в напрямку нормалі до елемента поверхні  $dS$  джерела звуку.

Слід пам'ятати,  $I$  – величина векторна, що визначає напрямок перенесення енергії у звуковому полі.

Як одиницю вимірювання рівня інтенсивності звуку  $L_I$  беруть 1 дБ – рівень інтенсивності звуку, що перевищує стандартний поріг чутності в 1,26 раза, тобто  $1 \text{ дБ} = 1,26 I_0$ .

Граничні значення інтенсивності звуку:

- стандартний поріг чутності  $I_0 = 10^{-12}$  дБ;

- поріг больового відчуття  $I_6 = 10^2$  дБ.

### 1.3. Звуковий акустичний тиск

Звуковий акустичний тиск ( $P$ ) – ефективне (середньоквадратичне) значення додаткового тиску (надлишкового над середнім тиском навколишнього середовища), що утворюється на ділянках проходження звукової хвилі.

Величину звукового тиску визначають за формулою:

$$P = \rho \cdot c \cdot \omega A \cdot \cos \omega t \text{ (Па, дБ)}, \quad (5)$$

де  $\rho$  – густина середовища ( $\text{кг}/\text{м}^3$ );

$c$  – швидкість звуку ( $\text{м}/\text{с}$ );

$\rho \cdot c$  – питомий акустичний опір середовища ( $\text{Н} \cdot \text{с}/\text{м}^3$ );

$\omega$  – кутова частота ( $\text{рад}/\text{с}$ );

$A$  – амплітуда коливань ( $\text{м}$ ).

В акустичних розрахунках використовують також:

$$P_{\max} = \rho \cdot c \cdot \omega A \text{ и } P_{\text{еф}} = P_{\max} / \sqrt{2}$$

де  $P_{\max}$  – максимальне значення звукового тиску;

$P_{\text{еф}}$  – ефективний звуковий тиск.

Фізіологічний вплив звуку на людину визначається його гучністю (силою звуку), величина якої пропорційна  $P^2$ :

$$I = P^2 / \rho \cdot c \text{ (дБ)}. \quad (6)$$

Величину рівня звукового тиску може бути визначено з відповідності:

$$L_p = 10 \lg P_i^2 / P_o^2 = 20 \lg P_i / P_o \text{ (Па)}, \quad (7)$$

де  $P_i$  – середньоквадратичний звуковий тиск у даній смузі частот.

Граничні значення величин звукового тиску:

- початкове значення звукового тиску в повітрі (відчутне)  
 $P_o = 2 \cdot 10^{-5}$  Па;

- середньоквадратичне значення звукового тиску, що відповідає порогу больового відчуття,  $P_6 = 2 \cdot 10^2$  Па.

Отже, згідно з рис. 2, область слухового сприйняття звуків людиною знаходиться у межах від порога чутності до порога больових відчуттів.

*Динамічний діапазон* чутних звуків визначають зі співвідношень:

$$L_I = 10 \lg I_i / I_o = 10 \lg 10^2 / 10^{-12} = 10 \lg 10^{14} = 140 \text{ (дБ)};$$

$$L_p = 20 \lg P_6 / P_o = 20 \lg 2 \cdot 10^2 / 2 \cdot 10^{-5} = 20 \lg 10^7 = 140 \text{ (дБ)}.$$

Таким чином, динамічний діапазон чутних звуків лежить у межах від 0 до 140 дБ.

Виходячи з викладеного вище, можна зробити висновок, що подвоєння величини інтенсивності звуку ( $I$ ) дає збільшення рівня інтенсивності ( $L_I$ ) на 3 дБ, а збільшення звукового тиску вдвічі призводить до збільшення рівня звукового тиску на 6 дБ.

Подвоєння гучності звуку суб'єктивно сприймається за збільшення рівня звуку на 10 дБ.

Як приклад, можна навести значення рівнів інтенсивності різних звуків на відстані 1,0 м від джерела: тупіт – 10–20 дБ, гучна мова – 60–70 дБ, вуличний шум – 70–80 дБ, шум електропотяга – 110 дБ, шум від реактивного двигуна літака – 130–140 дБ.

Під час впливу шуму інтенсивністю 30 дБ і більше починає змінюватися хімічна структура води.

Шум у 120 дБ призводить до руйнування слухового апарату людини; нестерпним для нього є шум інтенсивністю в 150 дБ; шум у 180 дБ, що протягом зміни впливає на метал, спричиняє до його втому.

За одночасного впливу на людину шумів від декількох джерел необхідно визначати їх сумарний вплив. Якщо це джерела з однаковим

рівнем звукового тиску, то в цьому випадку сумарний рівень звукового тиску можна визначити за формулою:

$$L_{\Sigma_{один}} = L_i + 10 \lg n \text{ (дБ)}, \quad (8)$$

де  $L_i$  – рівень звукового тиску одного джерела;

$n$  – кількість джерел.

Орієнтовну величину збільшення рівня звукового тиску за одночасного впливу двох джерел з різним рівнем звукового тиску можна визначити, використовуючи дані таблиці дод. 1 [4].

Так, наприклад, робітник знаходиться між двома джерелами шуму з однаковим рівнем звукового тиску (різниця рівнів звукового тиску ( $\Delta L_i$ ) дорівнює 0). Згідно з таблицею дод. 1, збільшення рівня звукового тиску становить 3,0 дБ. Якщо  $\Delta L_i$  – різниця рівнів звукового тиску і дорівнює 5, то збільшення становитиме 1,2 дБ. Якщо різниця  $\Delta L_i$  становитиме 20 дБ, то приросту  $\Delta L$  не буде, а сприйматиметься тільки більший рівень звукового тиску [4].

Якщо у приміщенні одночасно діє кілька джерел шуму з різними рівнями звукового тиску, то сумарний рівень впливу цих джерел можна визначити за формулою:

$$L_{\text{разн}} = 10 \lg \sum_{i=1}^n P_i^2 / P_0^2 = 10 \lg \sum_{i=1}^n 10^{L_p^i / 10} \text{ (дБ)}, \quad (9)$$

де  $n$  – кількість джерел шуму;

$L_p^i$  – вимірне значення рівня звукового тиску окремого джерела шуму;

$P_i$  – вимірне значення звукового тиску окремого джерела шуму.

## 2. Класифікація шумів

1. *За характером спектра* шуми поділяють:

- а) на широкопasmові з безперервним спектром шириною більше октави;
- б) вузькосmові або тональні, у спектрі яких є виражені дискретні тони (тональний характер шуму встановлюють вимірюванням випромінювання у третинооктавних смугах частот за перевищенням рівня шуму над сусідніми в одній смугі не менше ніж на 10 дБ).

2. *За часовими характеристиками* шуми поділяють:

- а) на постійні, рівень шуму яких за повний робочий день змінюється не більше ніж на 5 дБ;
- б) непостійні, рівень шуму яких за повний робочий день змінюється більше ніж на 5 дБ.

Непостійні шуми поділяють:

- а) на мінливі в часі (безперервна зміна рівня звуку в часі);
- б) переривчасті (ступенева зміна рівня звуку на 5дБ і більше; довжина тимчасових інтервалів – 1 с і більше);
- в) імпульсні (один або декілька звукових сигналів, кожен з яких триває менше 1 с, а зміна величини сигналу не менше ніж на 7 дБ).

Характеристикою *постійного шуму* на робочих місцях є рівень *звукового тиску* –  $L_p$  (у дБ) в октавних смугах із середньо геометричними частотами від 31,5 до 8000 Гц, тобто в чутному діапазоні частот.

Характеристикою *непостійного шуму* на робочих місцях є *інтегральний критерій* – еквівалентний (за енергією) рівень звуку в дБА ( $L_{A|екв}$ ), що представляє собою рівень постійного широкосмугового шуму, який має середньоквадратичний звуковий тиск, що і даний непостійний шум протягом певного інтервалу часу.

Як характеристики непостійного шуму допускають використовувати дозу шуму або відносну дозу шуму.

*Доза шуму (D)* – інтегральна величина, у якій враховано акустичну енергію, що впливає на людину, за певний період часу:

$$D = \int_0^T P_A^2(t) dt \quad (\text{Па}^2 \cdot \text{ч}). \quad (10)$$

Величину відносної дози шуму визначають зі співвідношення:

$$D_{отн} = D/D_{дон} \cdot 100 (\%), \quad (11)$$

де  $D_{дон}$  – допустима доза шуму ( $\text{Па}^2 \cdot \text{ч}$ ):

$$D_{дон} = P_{A доп}^2 \cdot T_{р.д.} \quad (\text{Па}^2 \cdot \text{ч}), \quad (12)$$

де  $P_{A доп}$  – значення звукового тиску, що відповідає допустимому рівню сили звуку;

$T_{р.д.}$  – тривалість робочого дня (год).

### 2.1. Класифікація інфразвуку

Класифікацію інфразвуку, згідно з [4], проводять за часовими характеристиками. Інфразвукові коливання поділяють:

- а) на постійні (рівень звукового тиску змінюється за одну хвилину спостережень не більше ніж на 10 дБ);
- б) непостійні (рівень звукового тиску змінюється за одну хвилину спостережень більше ніж на 10 дБ).

## 2.2. Класифікація ультразвуку

Ультразвук, відповідно до [4], класифікують за *способом передачі і частотним спектром*.

Ультразвук передається такими способами:

- а) через повітряний простір – повітряний;
- б) через тверде і рідке середовище на руки працюючих – контактний.

За спектром коливань ультразвук поділяють:

- а) на низькочастотний (від  $1,2 \cdot 10^4$  до  $1,0 \cdot 10^5$  Гц);
- б) високочастотний – передається тільки контактним шляхом (від  $1,0 \cdot 10^5$  до  $1,0 \cdot 10^9$  Гц).

## 3. Нормування виробничих шумів

Відповідно до [4], виробничі шуми нормують:

- за *граничним спектром* (основний метод під час дослідження постійних шумів);
- *рівнем звуку* в дБА, вимірним за шкалою А шумоміра.

Цей метод використовують для орієнтовної оцінки постійного і непостійного шуму, тому що в цьому випадку не визначається його спектр.

Рівень звуку пов'язаний з граничним спектром залежністю:

$$L_A = ПС + 5 \quad (\text{дБА}). \quad (13)$$

Вивчення шуму засновано на зіставленні вимірних величин *рівня звукового тиску*  $L_p$  з їх *допустимими значеннями* (допустимі рівні звукового тиску в октавних смугах частот; еквівалентні рівні звуку на робочих місцях наведено в дод. 2).

Якщо вимірні рівні звукового тиску в усіх смугах граничного спектра не перевищують нормативних значень, рівень шуму вважають допустимим, тобто можна виконувати роботи без засобів захисту. Якщо ж хоча б в одній зі смуг спектра є перевищення нормативного рівня, то потрібно використовувати засоби захисту.

Слід зазначити, що визначаючи еквівалентний рівень звуку, ми визначаємо *кількісну характеристику* (оцінку) шуму. *Якісну характеристику* (оцінку) шуму можна отримати лише у процесі спектрального аналізу.

### 3.1. Нормовані акустичні параметри шуму

Нормованими параметрами *постійного шуму* є величини рівнів звукового тиску в октавних смугах із середньгеометричними частотами 31,5–63–125–250–500–1000–2000–4000–8000 Гц у децибелах, які визначають за формулою:

$$L = 20 \lg P_i/P_0 \quad (\text{Па}). \quad (14)$$

Орієнтовні гігієнічні параметри постійного широкосмугового шуму на робочих місцях дозволено вимірювати в дБА (за шкалою «А») і визначати за формулою:

$$L_A = 20 \lg P_A/P_0 \quad (\text{Па}), \quad (15)$$

де  $P_A$  – ефективне значення звукового тиску.

Середній рівень звукового тиску або октавних рівнів звукового тиску визначають відповідно до таблиці дод. 1 [4].

Нормованими параметрами *непостійного шуму* (що мінливі у часі, переривчасті) є інтегральний рівень – еквівалентний (за енергією) і максимальний рівень шуму в дБА.

Для імпульсного шуму нормованим є еквівалентний рівень шуму в дБА<sub>екв</sub> і максимальний рівень шуму в дБА<sub>і</sub>.

Для характеристики виробничого шуму на робочих місцях потрібно використовувати дозу шуму або відносну дозу шуму.

### 3.2. Нормовані параметри інфразвуку

Параметрами *постійного інфразвуку* на робочих місцях є рівні звукового тиску в октавних смугах з частотами 2 – 4 – 8 – 16 Гц (у децибелах).

Для непостійного інфразвуку нормованим параметром є загальний еквівалентний рівень звукового тиску за шкалою «лінійна» шумоміра у дБ<sub>линн</sub>.

Для орієнтовної оцінки постійного інфразвуку допускають використання рівнів звукового тиску за шкалою «лінійна» і «А» шумоміра:

- а)  $L_{\text{линн}} - L \leq 10$  дБ – інфразвук практично відсутній;
- б)  $10 \text{ дБ}/L_{\text{линн}} - L \leq 20$  дБ – інфразвук невиразний;
- в)  $L_{\text{линн}} - L \leq 20$  дБ – інфразвук виразний.

### 3.3. Нормовані параметри ультразвуку

Параметрами ультразвуку в повітряному середовищі робочої зони є рівні звукового тиску в дБ у третинооктавних смугах з частотами 12,5–16,0–20,0–25,0–31,5–40,0–63,0–80,0–100 кГц.

У процесі передачі ультразвуку контактним шляхом параметром ультразвуку є пікове значення віброшвидкості (м/с) в частотному діапазоні від 0,1 до 10,0 МГц або його логарифмічний рівень у дБ, який визначають за формулою:

$$L_v = 20 \lg V'/V_0 \text{ (дБ)}, \quad (16)$$

де  $V'$  – пікове значення віброшвидкості, м/с;

$V_0$  – опорне значення віброшвидкості ( $V_0 = 5 \cdot 10$  м/с).

Для ультразвуку під час контактної передачі як нормований параметр допускають використовувати інтенсивність (Вт/см<sup>2</sup>).

## 4. Методи вимірювання шуму, інфразвуку та ультразвуку

Методи вимірювання шуму поділяють на дві категорії:

- а) стандартні – певні у міжнародних, державних і галузевих стандартах;
- б) нестандартні – спеціальні, які розробляють для вирішення спеціальних завдань.

Стандартні методи поділяють на точні, технічні, орієнтовні.

Для вимірювання шуму застосовують шумоміри, смугові фільтри, вимірювальні мікрофони, аналізатори, самописці, магнітофони та інші прилади. Ці прилади повинні бути повірені в органах Держстандарту, тобто сертифіковані.

Вимірювання шуму – це вимірювання стандартних шумових характеристик джерел шуму, якими є:

- а) рівень звукового тиску ( $L_p$ ) в октавних або третинооктавних смугах частот у контрольних точках (дБ);
- б) рівень інтенсивності звуку ( $L_I$ ), який вимірюється шумоміром з частотною характеристикою «А» в контрольних точках (дБ·А);
- в) рівень звукової потужності ( $L_w$ ) в октавних і третинооктавних смугах частот (дБ).

Вимірювання шуму проводять на постійних робочих місцях у приміщеннях, на території підприємства, на промислових спорудах та машинах/у кабінах, на пультах управління і т. ін.

Результати вимірювань мають характеризувати шумові впливи за час робочої зміни (робочого дня).

Нормативи виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку наведено в дод. 2.



## 5. Методи захисту від шуму

Захисту від шуму досягають:

- розробкою шумобезпечної техніки;
- застосуванням засобів колективного та індивідуального захисту;
- розробкою комплексу будівельно-акустичних методів.

Заходи захисту від шуму потрібно передбачати під час розробки технологічних процесів; конструювання, виготовлення та експлуатації машин, механізмів та обладнання; проектування і будівництва виробничих будівель і споруд; організації конкретного робочого місця.

Стосовно захищеного об'єкта розглядають засоби і методи колективного та індивідуального захисту.

Стосовно ж джерела шуму вирішують два завдання:

1. Зниження рівня шуму в джерелі його виникнення (це найрадикальніший метод боротьби з шумом);

2. Зниження рівня шуму на шляхах його поширення.

Залежно від використання додаткових джерел енергії засоби захисту від шуму можна розділити на дві групи:

1. Пасивні (додаткових джерел енергії не потрібно);

2. Активні (використовують додаткові джерела енергії).

Залежно від способу реалізації засоби колективного захисту від шуму поділяють на акустичні, архітектурно-планувальні та організаційно-технічні.

Залежно від принципу дії акустичні засоби захисту поділяють на засоби, що забезпечують звукопоглинання (звукоізоляцію), звуковідбивання (акустичні екрани), активний захист (передбачено застосування глушників шуму).

Зниження рівня шуму на шляхах його поширення досягається комплексом будівельно-акустичних заходів, до яких належать раціональні планувальні рішення (наприклад, захист відстанню), звуковідбивання, звукоізоляція, звукопоглинання.

Ефективність цих методів визначається величинами відповідних коефіцієнтів:

$$\alpha = \frac{I_{\text{погл.}}}{I_{\text{пад}}}; \beta = \frac{I_{\text{відб.}}}{I_{\text{пад}}}; \gamma = \frac{I_{\text{прош.}}}{I_{\text{пад}}}, \quad (14)$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт звукопоглинання;

$\beta$  – коефіцієнт звуковідбивання;

$\gamma$  – коефіцієнт звукопроходження;  
 $I_{пад}$  – інтенсивність падаючого звуку;  
 $I_{погл}$  – інтенсивність поглиненого звуку;  
 $I_{відб}$  – інтенсивність відбитого звуку;  
 $I_{прош}$  – інтенсивність пройдених звуків.

За одночасного використання зазначених методів сума коефіцієнтів має дорівнювати одиниці:

$$\alpha + \beta + \gamma = 1,0. \quad (15)$$

Звукоізолювальну здатність огорож визначають за формулою:

$$L_{озр} = 10 \lg t/\tau, \quad (16)$$

де  $\tau \leq 10^{-3}$  – величина, обернено пропорційна масі матеріалу.

Однією з характеристик якості будівельного об'єкта є рівень захисту людини від шуму. Це стосується всіх будівельних об'єктів, на яких або поблизу яких знаходяться люди, і є необхідним під час виконання робіт, відпочинку і сну [4].

Сутність цих вимог полягає в розгляді питань щодо зменшення впливу на людину акустичних умов середовища, в якому певну роль відіграють будівельні об'єкти, і складається з таких аспектів:

- захист від шуму, який надходить у приміщення ззовні;
- захист від повітряного шуму, який надходить із сусідніх приміщень;
- захист від ударного шуму;
- захист від шуму, спричиненого працюючим обладнанням;
- захист від шуму у приміщеннях з надмірною реверберацією;
- захист від шуму, джерела якого знаходяться всередині будівельного об'єкта або поєднані з ним.

Основні положення цього ДБН наведено у дод. 4.

## Контрольні запитання

1. Яка природа шуму, що утворюється в повітряному середовищі?
2. Який діапазон частот охоплює граничний спектр (Гц)?
3. Що характеризує «граничний спектр» шуму?
4. Які методи санітарно-гігієнічних нормувань постійних шумів?
5. Яку характеристику шуму в суб'єктивному сприйнятті людиною визначають як висоту звуку?
6. Яку характеристику шуму в суб'єктивному сприйнятті людиною визначають як гучність звуку?
7. Яку характеристику шуму в суб'єктивному сприйнятті людиною визначають як тембр звуку?
8. Чому дорівнює поріг чутності звукового тиску (Па)?
9. Чому дорівнює динамічний діапазон чутних звуків?
10. Які методи захисту від шуму Вам відомі?
11. Які з названих частотних характеристик шуму визначають інфразвукові коливання?
12. Яка частина звукових коливань належить до звукового спектра?
13. У виробничому приміщенні встановлено 10 стаканів. Рівень шуму кожного з них дорівнює 60 дБ. Визначте сумарний рівень шуму (дБ).
14. На стадіоні присутні 100 000 чоловік. Рівень шуму кожного вболівальника досягає 70 дБ. Визначте сумарний рівень шуму (дБ) на стадіоні з розрахунку, що усі вболівальники закричали одночасно?
15. Матеріал, який сприйняв звукову хвилю, має коефіцієнт відбиття ( $\beta$ ) 0,50 і коефіцієнт проходження ( $\tau$ ) 0,35. Визначте коефіцієнт поглинання цього матеріалу.

## Введение

На сегодня шум стал одним из опасных факторов внешней среды через постоянный рост производства. Это связано с повышением мощности и производительности машин, их применением на всех участках производства.

Известно, что шум неблагоприятно влияет на человека. В рабочих, имеющих дело с грохочущими машинами и механизмами, впоследствии возникают нарушения слуха, что часто приводит к профессиональным заболеваниям.

Меры по предотвращению вредного воздействия шума должны быть направлены на изменение технологии процессов и конструкции машин, замену шумных агрегатов на бесшумные и тому подобное.

Учитывая это, задачей лекции является ознакомление студентов с терминологией и физическими свойствами шума.

Поскольку рекомендованное издание предназначено для иностранных студентов, для удобства лекцию изложено на украинском и русском языках.

## ШУМ: ВОЗДЕЙСТВИЕ, ПРОФИЛАКТИКА, ЗАЩИТА

### 1. Общие теоретические сведения

**Производственный шум** – неупорядочные звуковые (акустические) колебания частиц в упругих средах (твёрдых, жидких, газообразных), распространяющиеся в виде бегущих продольных волн.

Скорость распространения звука определяется плотностью среды ( $\rho$ ), её упругими свойствами.

Скорость распространения звука в воздушной среде, как и в других газообразных средах, не является постоянной величиной, так как  $\rho$  зависит от температуры среды, и её определяют по формуле:

$$V_{\text{воз.}} = 20,04\sqrt{273 + T_c}, \text{ (м/с)}, \quad (1)$$

где  $T_c$  – температура среды, °С.

Известно, что при температуре воздуха 21 °С скорость распространения звука равна 344 м/с. При увеличении температуры на 1°С скорость звука в воздушной среде увеличивается на 0,61 м/с.

Скорость распространения звука в других материальных средах колеблется в широких пределах, так как плотность материалов различна. Различна и скорость прохождения звука в этих материалах. Так, например, скорость прохождения звука в резине – 40 м/с, пробке – 500 м/с, дереве – 3000 м/с, кирпиче – 3600 м/с, бетоне – 4000 м/с, железе – 5130 м/с, граните – 6000 м/с.

Шум в зависимости от материала среды, в которой он распространяется, имеет свои наименования: *воздушный* – в воздухе, газах; *гидравлический* – в жидкостях, *корпусный (структурный)* – в конструкциях и т. д.

В свободном пространстве звук распространяется равномерно во все стороны; это явление получило название «шаровая волна». В этом случае энергия, создавшая звук, распределяется равномерно по поверхности шара, радиус которого, а следовательно, и площадь поверхности при прохождении звуковой волны постоянно увеличивается, а энергия, приходящая на единицу площади поверхности шара, уменьшается. Такая форма звукового воздействия получила название «геометрически расширяющееся затухание».

При этом было выявлено, что с удвоением радиуса шара уровень звука уменьшается на 6 дБ, то есть воздействие шума обратно пропорционально величине радиуса.

В замкнутом пространстве звук отражается от ограждающих конструкций, что приводит к установлению равномерного его уровня во всем пространстве. В этом случае говорят об образовании *диффузного звукового поля*. Под звуковым полем понимают пространство, в котором распространяется звук. Каждая точка звукового поля характеризуется тремя показателями:

- 1)  $f$  – частотой звуковых колебаний (Гц);
- 2)  $I$  – интенсивностью (силой) звука ( $\text{Вт}/\text{м}^2$ , дБ);
- 3)  $P$  – звуковым давлением ( $\text{Н}/\text{м}^2$ , Па).

В слуховом восприятии звуков человеком частотой звуковых колебаний определяется *высота звука*; интенсивностью – громкость звука. Однако есть еще одна характеристика звуковых колебаний, которая определяет красоту звуковых колебаний – это тембр. Он определяется совокупностью энергетических характеристик восприятия шума слуховым аппаратом человека, который в акустике получил наименование *предельного* или *гармонического спектра*.

Рассмотрим приведенные выше показатели, характеризующие звуковое поле.

### ***1.1. Частота звуковых колебаний***

Звуковые волны, воспринимаемые человеческим ухом, имеют широкий частотный диапазон – от 20 до  $20 \cdot 10^3$  Гц.

Звуковые волны с частотой колебаний менее 20 Гц находятся в диапазоне инфразвуковых колебаний, колебания в диапазоне от  $20 \cdot 10^3$  до  $10^9$  Гц определяют ультразвуковой диапазон, а колебания выше  $10^9$  Гц определяют диапазон гиперзвуковой.

Слуховой аппарат человека воспринимает только слышимые звуковые колебания. Однако опасными для организма человека являются и *ультразвуковые колебания*, которые воздействуют на организм человека через воздушную среду или при непосредственном контакте с источником колебаний.

Физиологический эффект от этого воздействия такой:

- тепловой (вата воспламеняется);

- повышение артериального давления и/или его резкое изменение (в отдельных случаях наблюдается изменение свойств протоплазмы);

- повышение температуры тела.

В результате воздействия ультразвука, скорость распространения которого в тканях организма человека колеблется в пределах от 1460 до 1610 м/с, резко повышается утомляемость, возникают головные боли, боли в ушах, появляются нарушения работы вестибулярного аппарата, наблюдается развитие неврозов, гипотонии и т. д.

Не безопасен для человека и инфразвук. Известно, что отдельные части человеческого тела, его органы обладают собственными колебаниями, значения которых попадают в инфразвуковой диапазон (табл. 1).

*Таблица 1*

**Частотные характеристики  
собственных колебаний отдельных частей тела человека**

Наименование частей тела человека	Частота собственных колебаний (Гц)	Наименование частей тела человека	Частота собственных колебаний (Гц)
Глаза	12–24	Голова	8–24
Горло	6–12	Лицо, челюсти	4–24
Грудная клетка	2–12	Живот	4–12
Ноги, руки	2–8	Поясничная часть позвоночника	4–14

При совпадении частот колебаний органов (частей) человеческого тела и внешней среды (производственной, естественной) возникает резонансное воздействие на органы человека. Это положение лежит в основе объяснения явления «летучего голландца» – наличие на морских (океанических) просторах исправных кораблей, покинутых командами. Доказано, что штормовое море генерирует шум с частотой колебаний близких к собственным колебаниям мозга человека. Резонанс этих колебаний вызывает в сознании человека состояние ужаса и он стремится покинуть корабль.

Следует отметить, что производственный шум воспринимается не только слуховым аппаратом, но и его центральной нервной системой.

При этом возникают профессиональные заболевания, определяющие потерю слуха (тугоухость). Характерными последствиями воздействия шума являются: повышенная утомляемость, общая слабость, раздражительность, ослабление памяти, апатия, снижение остроты зрения, нарушение работы вестибулярного аппарата, процесса обмена веществ и другие заболевания.

Частотную характеристику диапазонов акустических колебаний изображено на рис. 1.

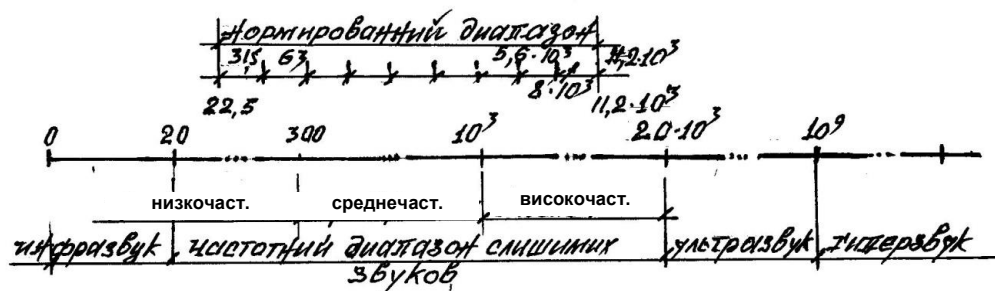


Рис. 1. Частотная характеристика звукового диапазона

Производственный шум звукового диапазона по частотной характеристике делят на три вида:

- низкочастотный – от 20 до 300 Гц;
- среднечастотный – от 300 до 1000 Гц;
- высокочастотный – от 1000 до  $20 \cdot 10^3$  Гц.

Весь диапазон акустических частот разделен. в соответствии с ГОСТ 12.1.003–83 [2], на девять октавных полос, имеющих наименования от 31,5 до 8000 (Гц), в которых верхнее граничное значение полосы ( $f_в$ ) в два раза больше нижнего граничного значения ( $f_н$ ). Наименование октавной полосы соответствует среднегеометрической величине частоты данной полосы:

$$f_{cp} = \sqrt{f_n \cdot f_в} \quad (\text{Гц}). \quad (2)$$

При этом октавная полоса характеризуется соотношением  $f_в/f_н = 2,0$ . Предельные частоты октавных полос приведено в табл. 2.

Таблица 2

### Предельные частоты октавных полос

Октавная полоса	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Предельные частоты октавных полос	22,5 –45	45– 90	90– 180	180– 355	355– 710	710– 1400	1400– 2800	2800– 5600	5600– 11800

Октавные полосы используются при исследовании широкополосных шумов, то есть в случае изменения величины шума в пределах нескольких октавных полос.



При исследовании шумов, которые изменяются в пределах одной октавной полосы – так называемых *тональных шумов*, используются *полуоктавные* ( $f_n/f_0 = 1,41$ ) и/или *третьоктавные* ( $f_n/f_0 = 1,26$ ) полосы.

Совокупность энергетических характеристик восприятия шумов слуховым аппаратом человека в девяти октавных полосах ( $31,5 - 8 \cdot 10^3$  Гц) определяет *предельный (гармоничный) спектр*.

Каждому предельному спектру соответствует «*кривая равной громкости*».

Для различных частот различен порог слышимости. Органы слуха человека наиболее чувствительны к звукам с частотой от 700 до 6000 Гц. В этом диапазоне частот ухо воспринимает звуки интенсивностью ( $I$ )  $10^{-12}$  Вт/м<sup>2</sup>. В качестве *стандартной частоты сравнения* в акустике принята частота ( $f$ ) 1000 Гц.

Предельный спектр обозначают индексом уровня звукового давления в октавной полосе «1000». Так, например, ПС-80 обозначает, что предельный спектр определен при уровне звукового давления 80 дБ в октавной полосе «1000».

Область слухового восприятия звука человеком приведена на рис. 2.

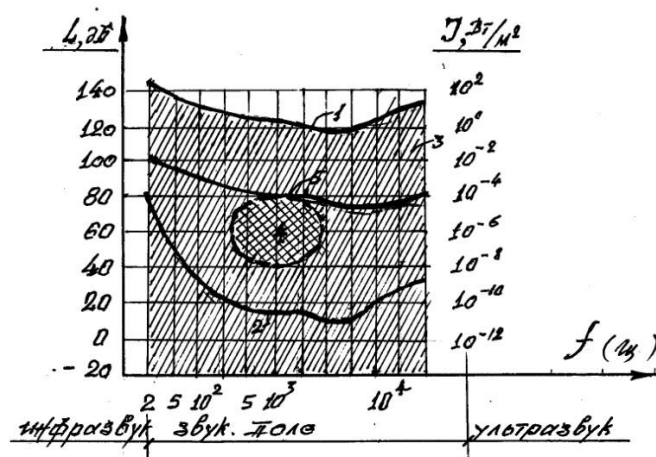


Рис. 2 Область слухового восприятия звука человеком:

- 1 – порог болевого ощущения; 2 – порог слышимости;
- 3 – область слухового восприятия; 4 – область человеческой речи;
- 5 – кривая равной громкости

Область слухового восприятия звука человеком лежит между кривой, определяющей *порог слышимости*, и кривой, определяющей *порог болевого ощущения*. Область человеческой речи характеризуется частотой от 800 до 4000 Гц, уровнем интенсивности звука от 40 до 80 дБ и находится внутри области слухового восприятия звука.

## 1.2. Интенсивность звука

*Интенсивность звука* – это плотность потока энергии звуковых волн, определяющая громкость (силу) звука.

На практике интенсивность звука изменяется в широких пределах – примерно на 15 порядков (в  $10^{15}$  раз). Оперировать числами, лежащими в таком диапазоне, сложно. Слуховой аппарат человека оценивает изменения силы звука, звукового давления, а не их абсолютные значения, поэтому в акустике принято оперировать не абсолютными, а относительными – логарифмическими величинами, именуемыми «уровень интенсивности» –  $L_I$ , «уровень звукового давления» –  $L_p$ , измеряемыми в децибелах (дБ).

*Уровень интенсивности звука*  $L_I$  – это мера чувствительности органов слуха к восприятию звуковых волн интенсивностью  $I$ , величина которого определяется из соотношения:

$$L_I = 10 \lg I_i / I_0 \text{ (дБ)}, \quad (3)$$

где  $I_i$  – измеренная интенсивность звука, определяемая звуковой мощностью источника звука, приходящаяся на единицу площади ( $\text{Вт}/\text{м}^2$ , дБ);

$I_0$  – стандартный порог слышимости, равный  $10^{-12}$  ( $\text{Вт}/\text{м}^2$ , дБ).

Под *акустической мощностью* источника звука понимают общее количество звуковой энергии, излучаемое источником звука в окружающую среду за единицу времени и определяют по формуле:

$$W = \int I dS \text{ (Вт)}, \quad (4)$$

где  $I$  – интенсивность потока звуковой энергии в направлении нормали к элементу поверхности  $dS$  источника звука.

Следует помнить, что  $I$  – величина векторная, определяющая направление переноса энергии в звуковом поле.

В качестве единицы измерения уровня интенсивности звука  $L_I$  принят 1 дБ – уровень интенсивности звука, превышающий стандартный порог слышимости в 1,26 раза, то есть  $1 \text{ дБ} = 1,26 I_0$ .

Пороговые значения интенсивности звука:

- стандартный порог слышимости  $I_0 = 10^{-12}$  дБ;
- порог болевого ощущения  $I_6 = 10^2$  дБ.

### 1.3. Звуковое акустическое давление

Звуковое акустическое давление ( $P$ ) – эффективное (среднеквадратическое) значение добавочного давления (избыточного над средним давлением окружающей среды), образующегося на участках прохождения звуковой волны.

Величину звукового давления определяют по формуле:

$$P = \rho \cdot c \cdot \omega A \cdot \cos \omega t \quad (\text{Па, дБ}), \quad (5)$$

где  $\rho$  – плотность среды (кг/м<sup>3</sup>);

$c$  – скорость звука (м/с);

$\rho \cdot c$  – удельное акустическое сопротивление среды (Н с/м<sup>3</sup>);

$\omega$  – угловая частота (рад/с);

$A$  – амплитуда колебаний (м).

В акустических расчетах используют также:

$$P_{\max} = \rho \cdot c \cdot \omega A \quad \text{и} \quad P_{\text{эфф}} = P_{\max} / \sqrt{2}$$

где  $P_{\max}$  – максимальное значение звукового давления;

$P_{\text{эфф}}$  – эффективное звуковое давление.

Физиологическое воздействие звука на человека определяется его громкостью (силой звука), величина которой пропорциональна  $P^2$ :

$$I = P^2 / \rho \cdot c \quad (\text{дБ}). \quad (6)$$

Отсюда величину уровня звукового давления можно определить из соотношения:

$$L_p = 10 \lg P_i^2 / P_o^2 = 20 \lg P_i / P_o \quad (\text{Па}), \quad (7)$$

где  $P_i$  – среднеквадратическое звуковое давление в данной полосе частот.

Пороговые значения величин звукового давления:

- исходное значение звукового давления в воздухе (ощутимое):

$$P_o = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Па};$$

- среднеквадратическое значение звукового давления, соответствующее порогу болевого ощущения:  $P_6 = 2 \cdot 10^2$  Па.

Итак, согласно рис. 2, область слухового восприятия звуков человеком находится в пределах от порога слышимости до порога болевых ощущений. Отсюда динамический диапазон слышимых звуков может быть определен из соотношений:

$$L_I = 10 \lg I_6 / I_o = 10 \lg 10^2 / 10^{-12} = 10 \lg 10^{14} = 140 \text{ (дБ)};$$

$$L_p = 20 \lg P_6 / P_o = 20 \lg 2 \cdot 10^2 / 2 \cdot 10^{-5} = 20 \lg 10^4 = 140 \text{ (дБ)}.$$

Таким образом, динамический диапазон слышимых звуков лежит в пределах от 0 до 140 дБ.

Исходя из изложенного выше, можно сделать вывод, что удвоение величины интенсивности звука ( $I$ ) дает увеличение уровня интенсивности ( $L_I$ ) на 3 дБ, а увеличение звукового давления вдвое приводит к увеличению уровня звукового давления на 6 дБ.

Удвоение громкости звука субъективно воспринимается при увеличении уровня звука на 10 дБ.

В качестве примера можно привести значения уровней интенсивности различных звуков на расстоянии 1,0 м от источника: топот – 10–20 дБ, громкая речь – 60–70 дБ, уличный шум – 70–80 дБ, шум электропоезда – 110 дБ, шум, создаваемый реактивным двигателем самолета – 130–140 дБ.

При воздействии шума интенсивностью 30 дБ и более начинает изменяться химическая структура воды.

Шум в 120 дБ приводит к разрушению слухового аппарата человека; непереносимым для него является шум интенсивностью в 150 дБ; шум в 180 дБ, действующий в течении смены на металл, ведет к его усталости.

При одновременном воздействии на человека шумов от нескольких источников необходимо определять их суммарное воздействие. Если это источники с одинаковым уровнем звукового давления, то в этом случае суммарный уровень звукового давления может быть определен по формуле:

$$L_{\text{один}}^{\Sigma} = L_i + 10 \lg n \text{ (дБ)}, \quad (8)$$

где  $L_i$  – уровень звукового давления одного источника;

$n$  – количество источников.

Ориентировочную величину увеличения уровня звукового давления при одновременном воздействии двух источников с разным уровнем звукового давления можно определить, используя данные таблицы прилож. 1 [4].

Так, например, рабочий находится между двумя источниками шума с равным уровнем звукового давления (разница уровней звукового давления равна ( $\Delta L_i$ ) равна 0). Согласно таблице прилож. 1, увеличение уровня звукового давления составляет 3,0 дБ. Если разница уровней звукового давления  $\Delta L_i$  будет равна 5, увеличение составит 1,2 дБ. Если разница  $\Delta L_i$  - составит 20 дБ, то прироста  $\Delta L$  не будет, а будет восприниматься только больший уровень звукового давления.

Если в помещении одновременно действует несколько источников шума с разными уровнями звукового давления, то суммарный уровень воздействия этих источников можно определить по формуле:

$$L_{\text{разн}} = 10 \lg \sum_{i=1}^n P_i^2 / P_0^2 = 10 \lg \sum_{i=1}^n 10^{L_p^i / 10} \quad (\text{дБ}), \quad (9)$$

где  $n$  – количество источников шума;

$L_p^i$  – измеренное значение уровня звукового давления отдельного источника шума;

$P_i$  – измеренное значение звукового давления отдельного источника шума.

## 2. Классификация шумов

1. По характеру спектра шумы подразделяют:

а) на широкополосные с непрерывным спектром шириной больше октавы;

б) узкополосные или тональные, в спектре которых есть выраженные дискретные тона (тональный характер шума устанавливается измерением излучения в третьоктавных полосах частот по превышению уровня шума в одной полосе над соседними не меньше чем на 10 дБ).

2. По временным характеристикам шумы подразделяют:

а) на постоянные, уровень шума которых за полный рабочий день изменяется не более, чем на 5 дБ;

б) непостоянные, уровень шума которых за полный рабочий день изменяется более чем на 5 дБ.

Непостоянные шумы подразделяют:

а) на колеблющиеся во времени (непрерывное изменение уровня звука во времени);

б) прерывистые (ступенчатое изменение уровня звука на 5дБ и более; длина временных интервалов – 1 с и больше);

в) импульсные (один или несколько звуковых сигналов, каждый из которых длится меньше 1 с, а изменение величины сигнала не меньше, чем на 7 дБ).

Характеристикой *постоянного шума* на рабочих местах является *уровень звукового давления* –  $L_p$  (в дБ) в октавных полосах со среднегеометрическими частотами от 31,5 до 8000 Гц, то есть в слышимом диапазоне частот.

Характеристикой *непостоянного шума* на рабочих местах является *интегральный критерий* – эквивалентный (по энергии) уровень звука в дБА ( $L_{A(экв)}$ ), представляющий собой уровень постоянного широкополосного шума, имеющего то же среднеквадратическое звуковое давление, что и данный непостоянный шум в течении определенного интервала времени.

В качестве характеристики непостоянного шума допускается использовать дозу шума или относительную дозу шума.

*Доза шума (D)* – интегральная величина, в которой учитывают акустическую энергию, воздействующую на человека, за определенный период времени:

$$D = \int_0^T P_A^2(t) dt \quad (\text{Па}^2 \cdot \text{ч}). \quad (10)$$

Величину относительной дозы шума определяют из соотношения:

$$D_{отн} = D/D_{доп} \cdot 100 (\%), \quad (11)$$

где  $D_{доп}$  – допустимая доза шума ( $\text{Па}^2 \cdot \text{ч}$ ):

$$D_{доп} = P_{A_{доп}}^2 \cdot T_{р.д.} \quad (\text{Па}^2 \cdot \text{ч}), \quad (12)$$

где  $P_{A_{доп}}^2$  – значение звукового давления, соответствующее допустимому уровню силы звука;

$T_{р.д.}$  – продолжительность рабочего дня (ч).

### **2.1. Классификация инфразвука**

Инфразвук, согласно [4], классифицируют по временным характеристикам. Инфразвуковые колебания подразделяют:

- а) на постоянные (уровень звукового давления изменяется за одну минуту наблюдений не более чем на 10 дБ);
- б) непостоянные (уровень звукового давления изменяется за одну минуту наблюдений более чем на 10 дБ).

### **2.2. Классификация ультразвука**

Ультразвук, согласно [4], классифицируют по *способу передачи* и *частотному спектру*.

Ультразвук передается следующими способами:

- а) через воздушное пространство – воздушный;
- б) через твердую и жидкую среду на руки работающих – контактный.

По спектру колебаний ультразвук подразделяют:

- а) на низкочастотный (от  $1,2 \cdot 10^4$  до  $1,0 \cdot 10^5$  Гц);
- б) высокочастотный – передается только контактным путем (от  $1,0 \cdot 10^5$  до  $1,0 \cdot 10^9$  Гц).

### 3. Нормирование производственных шумов

Согласно [4], производственные шумы нормируют:

- по *предельному спектру* (основной метод при исследовании постоянных шумов);
- нормирование *уровня звука* в дБА, то есть измеренного по шкале А шумомера.

Этот метод используют для ориентировочной оценки постоянного и непостоянного шума, так как в этом случае не определяется его спектр.

Уровень звука связан с предельным спектром зависимостью:

$$L_A = ПС + 5 \quad (\text{дБА}). \quad (13)$$

Изучение шума основано на сопоставлении измеренных величин *уровня звукового давления*  $L_p$  с их *допустимыми значениями* (допустимые уровни звукового давления в октавных полосах частот; эквивалентные уровни звука на рабочих местах приведены в прилож. 2).

Если измеренные уровни звукового давления во всех полосах предельного спектра не превышают нормативных значений, уровень шума считается допустимым, то есть можно выполнять работы без средств защиты. Если же хотя бы в одной из полос спектра есть превышение нормативного уровня, то необходимо использовать средства защиты.

Следует отметить, что определяя эквивалентный уровень звука, мы определяем *количественную характеристику* (оценку) шума. *Качественную характеристику* (оценку) шума можно получить лишь при использовании спектрального анализа.

#### 3.1. Нормируемые акустические параметры шума

Нормируемыми параметрами *постоянного шума* являются величины уровней звукового давления в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 31,5–63–125–250–500–1000–2000–4000–8000 Гц в децибелах, которые определяют по формуле:

$$L = 20 \lg P_i / P_0 \quad (\text{Па}). \quad (14)$$

При ориентировочной гигиенической оценке параметры постоянного широкополосного шума на рабочих местах разрешается измерять в дБА (измеренного по шкале «А») и определять по формуле:

$$L_A = 20 \lg P_A / P_0 \quad (\text{Па}), \quad (15)$$

где  $P_A$  – эффективное значение звукового давления.

Средний уровень звукового давления или октавных уровней звукового давления определяется в соответствии с таблицей прилож. 1 [4].

Нормируемыми параметрами *непостоянного шума* (колеблющегося во времени, прерывистого) являются интегральный уровень – эквивалентный (по энергии) и максимальный уровень шума в дБА.

Для импульсного шума нормируемым является эквивалентный уровень шума в дБА<sub>экв</sub> и максимальный уровень шума в дБА<sub>i</sub>.

Для характеристики производственного шума на рабочих местах следует использовать дозу шума или относительную дозу шума.

### **3.2. Нормируемые параметры инфразвука**

Параметрами *постоянного инфразвука* на рабочих местах являются уровни звукового давления в октавных полосах с частотами 2–4–8–16 Гц (в децибелах).

Для непостоянного инфразвука нормируемым параметром является общий эквивалентный уровень звукового давления по шкале «линейная» шумомера в дБ<sub>лин</sub>.

Для ориентировочной оценки постоянного инфразвука допускается использовать уровни звукового давления по шкале «линейная» и «А» шумомера:

- а)  $L_{лин} - L \leq 10$  дБ – инфразвук практически отсутствует;
- б)  $10 \text{ дБ}/L_{лин} - L \leq 20$  дБ – инфразвук невыразительный;
- в)  $L_{лин} - L \leq 20$  дБ – инфразвук выразительный.

### **3.3. Нормируемые параметры ультразвука**

Параметрами ультразвука в воздушной среде рабочей зоны являются уровни звукового давления в дБ в третьоктавных полосах с частотами 12,5–16,0–20,0–25,0–31,5–40,0–63,0–80,0–100 кГц.

При передаче ультразвука контактным путем параметром ультразвука является пиковое значение виброскорости (м/с) в частотном диапазоне от 0,1 до 10,0 МГц или его логарифмический уровень в дБ, который определяют по формуле:

$$L_v = 20 \lg V'/V_0 \quad (\text{дБ}), \quad (16)$$

где  $V'$  – пиковое значение виброскорости, м/с;

$V_0$  – опорное значение виброскорости ( $V_0 = 5 \cdot 10$  м/с).

Для ультразвука при контактной передаче в качестве нормируемого параметра допускается использовать интенсивность (Вт/см<sup>2</sup>).



#### 4. Методы измерения шума, инфразвука и ультразвука

Методы измерения шума подразделяют на две категории:

а) стандартные – определенные в международных, государственных и отраслевых стандартах;

б) нестандартные – специальные, которые разрабатываются для решения специальных задач.

Стандартные методы, в свою очередь, подразделяют на точные, технические, ориентировочные.

Для измерения шума применяют шумомеры, полосовые фильтры, измерительные микрофоны, анализаторы, самописцы, магнитофоны и другие приборы. Они должны быть поверены в органах Госстандарта, то есть сертифицированы.

Измерение шума включает измерение стандартных шумовых характеристик источников шума, которыми являются:

а) уровень *звукового давления* ( $L_p$ ) в октавных или третьоктавных полосах частот в контрольных точках (дБ);

б) уровень *интенсивности звука* ( $L_I$ ), измеренный шумомером с частотной характеристикой «А» в контрольных точках (дБ·А);

в) уровень *звуковой мощности* – ( $L_w$ ) в октавных и третьоктавных полосах частот (дБ).

Измерение шума проводят на постоянных рабочих местах в помещениях, на территории предприятия, на промышленных сооружениях и машинах (в кабинах, на пультах управления и т. д.).

Результаты измерений должны характеризовать шумовые воздействия за время рабочей смены (рабочего дня).

Нормативы производственного шума, ультразвука и инфразвука приведены в прилож. 2.

#### 5. Методы защиты от шума

Защита от шума достигается:

- разработкой шумобезопасной техники;
- применением средств коллективной и индивидуальной защиты;
- разработкой комплекса строительно-акустических методов.

Меры по защите от шума должны предусматриваться при разработке технологических процессов; конструировании, изготовлении и эксплуатации машин, механизмов и оборудования; проектировании и строительстве производственных зданий и сооружений; при организации конкретного рабочего места.

По отношению к защищаемому объекту рассматривают средства и методы коллективной и индивидуальной защиты.

По отношению к источнику шума решают два задания:

1. Снижение уровня шума в источнике его возникновения (это наиболее радикальный метод борьбы с шумом);
2. Снижение уровня шума на путях его распространения.

В зависимости от использования дополнительных источников энергии средства защиты от шума можно разделить на две группы:

1. Пассивные (дополнительные источники энергии не требуются);
2. Активные (используются дополнительные источники энергии).

В зависимости от способа реализации средства коллективной защиты от шума подразделяются на акустические, архитектурно-планировочные и организационно-технические.

В зависимости от принципа действия акустические средства защиты подразделяются на средства, обеспечивающие звукопоглощение (звукоизоляцию), звукоотражение (акустические экраны), активную защиту (предполагается применение глушителей шума).

Снижение уровня шума на путях его распространения достигается комплексом строительно-акустических мероприятий, включающих рациональные планировочные решения (например, защита расстоянием), звукоотражение, звукоизоляцию, звукопоглощение.

Эффективность этих методов определяется величинами соответствующих коэффициентов:

$$\alpha = \frac{I_{\text{погл}}}{I_{\text{пад}}}; \beta = \frac{I_{\text{отраж.}}}{I_{\text{пад}}}; \gamma = \frac{I_{\text{прош.}}}{I_{\text{пад}}}, \quad (14)$$

где  $\alpha$  – коэффициент звукопоглощения;

$\beta$  – коэффициент звукоотражения;

$\gamma$  – коэффициент звукопрохождения;

$I_{\text{пад}}$  – интенсивность падающего звука;

$I_{\text{погл}}$  – интенсивность поглощенного звука;

$I_{\text{отраж}}$  – интенсивность отраженного звука;

$I_{\text{прош}}$  – интенсивность прошедших звуков.

При одновременном использовании указанных методов сумма коэффициентов должна быть равна единице:

$$\alpha + \beta + \gamma = 1,0. \quad (15)$$

Звукоизолирующая способность ограждений может быть определена по формуле:

$$L_{\text{озр}} = 10 \lg t/\tau, \quad (16)$$

где  $\tau \leq 10^{-3}$  – величина обратно пропорциональная массе материала.

Одной из характеристик качества строительного объекта является уровень защиты человека от шума. Это требование относится ко всем строительным объектам, в которых или вблизи от которых находятся люди, и включает необходимость выполнения надлежащих акустических требований во время выполнения работ, отдыха и сна [4].

Сущность основного требования «защита от шума» заключается в рассмотрении вопросов относительно уменьшения влияния на человека акустических условий среды, в которой определенную роль играют строительные объекты, и включает такие аспекты:

- защита от воздушного шума, который поступает в помещение извне строительного объекта;
- защита от воздушного шума, который поступает из соседних помещений;
- защита от ударного шума;
- защита от шума, вызванного работающим оборудованием;
- защита от шума в помещениях с избыточной реверберацией;
- защита от шума, источники которого находятся внутри строительного объекта или объединенные с ним.

Основные положения этого ДБН приведены в прилож. 4.

## Контрольные вопросы

1. Какова природа шума, образующегося в воздушной среде?
2. Какой диапазон частот охватывает предельный спектр (Гц)?
3. Что характеризует «предельный спектр» шума?
4. Какие методы санитарно-гигиенических нормирований постоянных шумов?
5. Какова характеристика шума в субъективном восприятии человека определяется как высота звука?
6. Какова характеристика шума в субъективном восприятии человека определяется как громкость звука?
7. Какова характеристика шума в субъективном восприятии человека определяется как тембр звука?
8. Чему равен порог слышимости звукового давления (Па)?
9. Чему равен динамический диапазон слышимых звуков?
10. Какие методы защиты от шума Вам известны?
11. Какие из названных частотных характеристик шума определяют инфразвуковые колебания?
12. Какая часть звуковых колебаний относится к звуковому спектру?
13. В производственном помещении установлено 10 стаканов. Уровень шума каждого из них равна 60 дБ. Определите суммарный уровень шума (дБ).
14. На стадионе присутствовали 100 000 человек. Уровень шума каждого болельщика достигает 70 дБ. Определите суммарный уровень шума (дБ) на стадионе в расчете на то, что все болельщики закричали одновременно?
15. Материал, который воспринял звуковую волну, имеет коэффициент отражения ( $\beta$ ) 0,50 и коэффициент прохождения ( $\tau$ ) 0,35. Определите коэффициент поглощения этого материала.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Шум. Терміни та визначення: ДСТУ 2325–93. – [Чинний від 1995-01-01]. – Київ: Держстанрт України, 1995. – 21 с. – (Національні стандарти України).
2. Шум. Общие требования безопасности: ГОСТ 12.1.003–83\* ССБТ. (Изм. 1989 г.). – [Введён 01.07.1989]. – М: Стандартиформ, 2007. – 11 с.
3. Державні санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку: ДСН 3.3.6.037–99. – [Чинні від 1999-12-01]. – Київ, 1999. – 47 с.
4. Захист від шуму. Основні вимоги до будівель та споруд: ДБН В.1.2–10–2008. – [Чинні від 2008-10-01]. – Київ, 2008. – 10 с.
5. Будинки і споруди. Проектування висотних і громадських будинків: ДБН В.2.2–24:2009. – [Чинні від 2009-08-10]. – Київ, 2009. – 161 с.
6. ССБП. Охорона праці і промислова безпека у будівництві. Основні положення: ДБН А.3.2–2–2009. – [Чинні від 2012-05-01]. – Київ, 2009. – 94 с.
7. Гандзюк М.П. Основи охорони праці / М.П Гадзюк, Є.П. Желібо, М.О. Халімовський. – Київ: Каравела, 2003. – 408 с.
8. Основи охорони праці/за ред. К.А. Ткачука і М.О. Халімовського. – Київ: Основа, 2003. – 472 с.
9. Дослідження параметрів виробничого шуму і методів захисту: методичні вказівки до виконання лабораторної роботи / уклад.: О.Г. Вільсон, В.Т. Кравчук. – Київ: КНУБА, 2000. – 22 с.

Середній рівень шуму ( $LA_{сер.}$ , дБА) та середні октавні рівні звукового тиску ( $L_{сер.}$  дБ) обчислюють за допомогою табл. 8 [4].

Таблиця

**Визначення середнього рівня шуму  
або октавних рівнів звукового тиску**

Різниця двох рівнів, які додають, дБА або дБ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20
Додаток до вищого рівня, дБ	3,0	2,5	2,0	1,8	1,5	1,2	1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,2	0

Додавання рівнів за таблицею проводять у такому порядку:

- 1) обчислюють різницю рівнів, які додають;
- 2) визначають додаток до вищого рівня відповідно до таблиці;
- 3) додають додаток до вищого рівня;
- 4) аналогічні дії проводять з одержаною сумою та третім рівнем і т. ін.

Від одержаної суми « $n$ » віднімають  $10 \lg n$ , одержуючи середній рівень.

Якщо різниця між найбільшим і найменшим вимірними рівнями не перевищує 5 дБ, то середнє значення  $LA_{сер.}$   $L_{сер.}$  дорівнює середньому арифметичному значенню усіх вимірних рівнів.

Еквівалентний рівень шуму, дБА (рівень звукового тиску, дБ) обчислюють у такій послідовності.

1. Визначають поправки  $LA_i$ , дБА,  $L_i$ , дБ до значень вимірних рівнів шуму  $LA_i$  або октавних рівнів звукового тиску  $L_i$  залежно від тривалості шуму відповідно до табл. 9 [4].

Таблиця 1

### Обчислення еквівалентного рівня переривчастого шуму

Тривалість ступенів переривчастого шуму, хв/% за зміну	480 100	420 88	360 75	300 65	240 50	150 38	120 25	60 12	30 6	15 3	6 1
Поправка $L$ , дБА, $L$ , дБ	0	0,6	1,2	2,0	3,0	4,2	6,0	9,0	12,0	15,1	19,1

2. Обчислюють різницю  $LA_i - LA_j$ ,  $L_i - L_j$  для кожного ступеня шуму.

3. Додають енергетично одержані рівні шуму кожного ступеня за таблицею дод. 1.

Ця сума і є еквівалентним рівнем переривчастого шуму.

Приклад розрахунку еквівалентного рівня переривчастого шуму:

Умова:  $L_1A = 110$  дБА протягом 30 хв;

$L_2A = 98$  дБА протягом 130 хв;

$L_3A = 75$  дБА протягом 320 хв.

За табл. 1 дод. 2 визначаємо  $LA$  для кожного найближчого значення рівня:

$$L_1A = 12,0 \text{ дБА};$$

$$L_2A = 6,0 \text{ дБА};$$

$$L_3A = 2,0 \text{ дБА}.$$

Визначаємо величини  $LA_i - LA_j$  для кожного рівня:

$$110 \text{ дБА} - 12,0 \text{ дБА} = 98,0 \text{ дБА};$$

$$98 \text{ дБА} - 6,0 \text{ дБА} = 92,0 \text{ дБА};$$

$$75 \text{ дБА} - 2,0 \text{ дБА} = 73,0 \text{ дБА}.$$

Визначаємо енергетичну суму рівнів за таблицею дод. 1:

$$98 \text{ дБА} - 92,0 \text{ дБА} = 6,0 \text{ дБА}.$$

За різниці рівнів 6,0 дБА додаток  $LA = 1$  дБА. Цю різницю додаємо до більшого рівня:

$$98 \text{ дБА} + 1,0 \text{ дБА} = 99,0 \text{ дБА.}$$

Визначаємо різницю між сумою двох перших рівнів та третім:

$$99 \text{ дБА} - 73,0 \text{ дБА} = 26,0 \text{ дБА}$$

За різниці рівнів 26,0 дБА додаток  $LA = 0$ , який додаємо до більшого рівня:

$$99 \text{ дБА} + 0 = 99,0 \text{ дБА.}$$

Еквівалентний рівень – 99 дБА.

**Обчислення еквівалентного рівня шуму, який коливається у часі** наведено в дод. 3 [4].

**Методи розрахунку доз шуму** наведено в дод. 4 [4].



Таблиця 2

Номер пор.	Вид трудової діяльності, робоче місце	Рівні звукового тиску в дБ в октавних смугах з середньгеометричними частотами, Гц									Рівні шуму та еквівалентні рівні шуму, дБА, дБА <sub>екв.</sub>
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Підприємства, установи, організації											
1	Творча діяльність, керівна робота з підвищеними вимогами, наукова діяльність, конструювання та проектування, програмування, викладання та навчання, лікарська діяльність; дирекції, проектно-конструкторські бюро, робочі місця розрахувачів, програмістів обчислювальних машин у лабораторіях для теоретичних робіт та обробки даних, прийому хворих у медпунктах	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50
2	Висококваліфікована робота, що потребує зосередження, адміністративно-керівна діяльність, вимірювальні та аналітичні роботи у лабораторії: робочі місця у приміщеннях цехового керівного апарату, контор, лабораторій	93	79	70	63	58	55	52	50	49	60

Продовження дод. 2

Продовження табл. 2

3	Робота з акустичними сигналами, які часто надходять, робота, що потребує постійного слухового контролю, операторська робота за точним графіком з інструкцією, диспетчерська робота: робочі місця у приміщеннях диспетчерської служби, кабінетах і приміщеннях спостереження та дистанційного керування (зв'язок по телефону), друкарських бюро, на дільницях точного складання, на телефонних та телеграфних станціях, у приміщеннях майстрів, у залах обробки інформації на обчислювальних машинах без дисплея та у приміщеннях операторів-акустиків	96	83	74	68	63	60	57	55	54	65
4	Робота, що потребує зосередження, робота з підвищеними вимогами до процесів спостереження та дистанційного керування виробничими циклами: робочі місця за пультами у кабінетах нагляду та дистанційного керування без телефонного зв'язку; у приміщеннях лабораторій з шумним устаткуванням, шумними агрегатами обчислювальних машин	103	91	83	77	73	70	68	66	64	75
5	Виконання усіх видів робіт (крім перелічених у пп. 1-4 та аналогічних їм) на постійних робочих місцях у виробничих приміщеннях на території підприємств	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

Під час розробки відомчих нормативів допустимі рівні шуму для окремих видів трудової діяльності потрібно встановлювати з урахуванням важкості та напруженості праці відповідно до табл. 3.

Таблиця 3

Класи, умови та характер праці	Допустима важкість	Шкідлива та небезпечна важкість праці		
		1 ступінь	2 ступінь	3 ступінь
Рівень шуму, дБА				
Допустима напруженість	80	до 80	75	до 75
Швидкість та небезпечність напруженості				
1 ступінь	70	до 70	65	до 65
2 ступінь	60	до 60	-	-
3 ступінь	50	до 50	-	-

Допустимий рівень ультразвукового тиску в третинооктавних смугах з середньгеометричними частотами 12,5; 16; 25; 31,5–100 кГц та вище на робочих місцях від ультразвукових установок наведено у табл. 4.

Таблиця 4

Середньгеометричні частоти третинооктавних смуг, кГц	12,5	16	20	25	31,5–100,0
Допустимі рівні тиску, дБ	80	90	100	105	110

Допустимий рівень ультразвукового тиску в октавних смугах з середньгеометричними частотами 16; 31,5; 63 кГц та вище наведено у табл. 5.

Таблиця 5

Середньгеометричні частоти третинооктавних смуг, кГц	16	31,5	63 та вище
Допустимі рівні тиску, дБ	88	106	110

Максимальна величина ультразвуку у зонах, призначених для контакту рук оператора з робочими органами приладів та устаткування, протягом восьмигодинного робочого дня не повинна перевищувати значень, які вказано у табл. 6.

Таблиця 6

Параметр, що нормується	Допустима величина
Віброшвидкість	$1,6 \times 10^{-2}$ м/с
Логарифмічний рівень віброшвидкості	110 дБ
Інтенсивність	0,1 Вт/см

Характеристиками інфразвуку на робочих місцях, що нормуються, є рівні звукового тиску в октавних смугах частот з середньгеометричними частотами: 2; 4; 8; 16 Гц у дБ. Допустимі рівні наведено у табл. 7.

Таблиця 7

Допустимі рівні звукового тиску у дБ в октавних смугах з середньгеометричними частотами, Гц				Загальний рівень звукового тиску, дБ <sub>Лін</sub>
2	4	8	16	
105	105	105	105	110

У проектній документації для будівництва висотних будинків, відповідно до ДБН В.1.2-24:2009 [6] має бути розділ «Захист від шуму та вібрації». Цей розділ повинен містити розрахунки очікуваних рівнів звукових потоків (звуків) у приміщеннях від зовнішніх та внутрішніх джерел:

1. Допустимі рівні звуків для житлових і громадських будинків наведено в табл. 8.1.
2. Граничні спектри залежно від рівня звуку наведені в табл. 8.2.
3. Поправочні коефіцієнти під час оцінювання звукового режиму наведено в табл. 8.3.
4. Допустимі рівні інфраструктури на території висотних будинків наведено в табл. 8.4.

## **Нормативи виробничого шуму, ультразвучу та інфразвучу**

Допустимі рівні звукового тиску в октавних смугах частот еквівалентні рівні звуку на робочих місцях наведених в табл. 1 [4].

Допустимі рівні звукового тиску в октавних смугах частот, рівні шуму й еквівалентні рівні шуму на робочих місцях для тонального та імпульсного шуму беруть на 5 дБ менше за значення, що вказані у табл. 2 [4].

Для шуму, утворюваного у приміщенні установками кондиціонування повітря, вентиляції та повітряного опалення, допустимі рівні звукового тиску в октавних смугах частот, рівні шуму та еквівалентні рівні звукового тиску на робочих місцях встановлюють на 5 дБ менше ніж рівні шуму у приміщенні, якщо останні не перевищують значень табл. 2 [4]. Поправку для тонального та імпульсного шуму при цьому не враховують.

Максимальний рівень шуму, що коливається у часі та передається, не повинен перевищувати 110 дБА. Максимальний рівень для імпульсного шуму не повинен перевищувати 125 дБА.

## **Методи вимірювання шуму, інфразвучу та ультразвучу**

Вимірювання шуму проводять на постійних робочих місцях у приміщеннях, на території підприємств, на промислових спорудах та машинах (в кабінах, на пультах управління і т. ін.).

Результати вимірювань повинні характеризувати шумовий вплив за час робочої зміни (робочого дня).

Встановлюють таку тривалість вимірювання непостійного шуму:

- для переривчастого шуму, за час повного робочого циклу з урахуванням сумарної тривалості перерв з рівнем фонового шуму;
- для шуму, що коливається у часі, допускають загальну тривалість вимірювання – 30 хв. безперервно або вимірювання складається з трьох циклів по 10 хв.;
- для імпульсного шуму – 30 хв.

Вимірювання шуму в октавних смугах проводять за допомогою шумоміра, який відповідає чинним вимогам Держстандарту України і має посвідчення про перевірку.

Еквівалентні рівні шуму вимірюють інтегруючими шумомірами та шумоінтеграторами.

Допускається використовувати індивідуальні дозиметри шуму з параметром еквівалентності ( $q$ ) 3. Це число децибел, що додають до рівня шуму, за зменшення часу його дії удвічі для збереження тієї ж дози шуму.

Прилади має бути перевірено в органах Держстандарту.

До та після вимірювань проводять акустичну або електричну калібровку вимірювальних приладів. Різниця в калібровці не повинна перевищувати 1 дБ.

Під час проведення вимірювань мікрофон потрібно розташовувати на висоті 1,5 м над рівнем підлоги чи робочого майданчика (якщо роботу виконують стоячи) чи на висоті і відстані 15 см від вуха людини, на яку діє шум (якщо роботу виконують сидячи чи лежачи). Мікрофон потрібно зорієнтувати у напрямку максимального рівня шуму та віддалити не менше ніж на 0,5 м від оператора, який проводить вимірювання.

За швидкості руху повітря більше ніж 1 м/с на місці, де проводять вимірювання, мікрофон має бути захищено протиповітряним пристроєм.

Рівні шуму та октавні рівні звукового тиску постійного шуму потрібно виміряти у кожній точці не менше трьох разів.

Для наочного графічного зображення розподілу рівнів шуму у виробничих приміщеннях рекомендують складати карти шуму.

Вимірювання інфразвуку проводять на постійних робочих місцях (біля органів керування машин, пультів, у кабінах і т. ін.) або в робочих зонах обслуговування під час роботи обладнання у характерному режимі.

У кабінах самохідних та транспортно-технологічних машин вимірювання проводять за відчинених та зачинених вікон, при цьому мікрофон розміщують на відстані 15 см від вуха працюючого.

Час спостереження у процесі вимірюванні октавних рівнів звукового тиску має відповідати величинам, які наведено у таблиці.

*Таблиця*

**Мінімальний та рекомендований час  
вимірювання за частотного аналізу інфразвуку**

	Помилка оцінки рівнів, дБ	Час вимірювання (с) в октавних смугах середньгеометричних частот, Гц			
		2	4	8	16
Мінімальний	+3	30	15	8	4
Рекомендований	+1	300	150	80	40

*Ультразвук* у повітряному середовищі вимірюють на відстані 0,5 м від контуру устаткування та не менше ніж 2 м від навколишніх поверхонь. Вимірювання потрібно проводити не менш ніж у чотирьох контрольних точках по контуру устаткування; при цьому, відстань між точками вимірювання не повинна перевищувати 1 м. Ультразвук, який поширюється, вимірюють шляхом визначення пікового значення віброшвидкості на поверхнях, призначених для контакту з руками оператора. Вимірювання проводять інтерферометром у точці максимального випромінювання. Вимірювання рівнів ультразвуку потрібно проводити не менше трьох разів у кожній октавній смузі у кожній точці. У процесі вимірювання непостійних рівнів звукового тиску відліки проводять за максимальних значень.

### Основна вимога «захист від шуму»

Ця вимога стосується всіх будівельних об'єктів, у яких або поблизу яких перебувають люди, і включає поняття належних акустичних вимог щодо роботи, відпочинку і сну.

Сутність основної вимоги «захист від шуму» полягає у розгляді питань щодо зменшення впливу на людину акустичних умов середовища, в якому певну роль відіграють будівельні об'єкти. До цієї вимоги належать такі аспекти:

- захист від повітряного шуму, який надходить у приміщення ззовні будівельного об'єкта;
- захист від повітряного шуму, який надходить із сусідніх приміщень;
- захист від ударного шуму;
- захист від шуму, спричиненого працюючим устаткуванням;
- захист від шуму в приміщеннях з надмірною реверберацією;
- захист від шуму, джерела якого знаходяться всередині будівельного об'єкта або поєднані з ним.

Заходи щодо захисту від шуму машин, механізмів, транспортних засобів тощо, а також захисту працівників на робочих місцях, рівні шуму яких обмежуються допустимими величинами, визначаються іншими нормативними документами.

### Фізичні величини для визначення акустичних характеристик

Для визначення акустичних характеристик будівельних об'єктів, приміщень і прилеглих територій використовують такі основні фізичні величини:

$V$  – об'єм приміщення,  $\text{м}^3$ ;

$S$  – площа огорожувальної конструкції, крізь яку проникає шум,  $\text{м}^2$ ;

$S_{\text{огор}}$  – сумарна площа поверхонь огорожувальних конструкцій приміщення,  $\text{м}^2$ ;

$A$  – еквівалентна площа звукопоглинання у приміщенні,  $\text{м}^2$ ;

$\alpha$  – ревербераційний коефіцієнт звукопоглинання поверхонь приміщення, безрозмірний.

$T$  – час реверберації звуку в приміщенні, с;

$L$  – рівень звукового тиску, дБ (відносно "порогової" величини звукового тиску  $2 \cdot 10^{-5}$  Па).

Захист від повітряного шуму, що проникає у приміщення ззовні, визначають за величиною ізоляції повітряного шуму  $R'$ , дБ, зовнішніми огороженнями приміщення, яку розраховують у смутах частот за формулою:



$$R' = L_1 - L_2 + 10 \lg \left( \frac{4S \cos \theta}{A} \right), \quad (1)$$

де  $L_1$  і  $L_2$  – середні рівні звукового тиску, у смугах частот, відповідно, перед фасадом будівлі і в приміщенні, де сприймається шум, дБ;

$S$  – площа огородження, крізь яке проникає шум, м<sup>2</sup>;

$A$  – еквівалентна площа звукопоглинання у приміщенні, куди проникає шум, м<sup>2</sup>;

$\theta$  – кут падіння звуку, що випромінюється гучномовцем, установленим ззовні будинку, на площину даного огородження, град.

Захист від повітряного шуму, що проникає в дане приміщення із сусіднього з джерелом шуму, визначається величиною ізоляції повітряного шуму  $R'$  (дБ), внутрішньою перегородкою, яка розділяє ці приміщення, і розраховується в смугах частот за формулою:

$$R' = L_1 - L_2 + 10 \lg \frac{S}{A}, \quad (2)$$

де  $L_1$  і  $L_2$  – середні рівні звукового тиску у смугах частот, відповідно, у приміщенні з джерелом шуму і яке захищають від шуму;

$S$  – площа перегородки, крізь яку проникає шум, м<sup>2</sup>;

$A$  – еквівалентна площа звукопоглинання у приміщенні, що захищають від шуму, м<sup>2</sup>.

Шум ударного походження, який виникає в результаті динамічних впливів на елементи споруд (пересування предметів або рух людей по підлозі, східцях тощо), і передається з одного приміщення в інше, визначають величиною зведеного рівня ударного шуму  $L'_n$  (дБ) у приміщенні розраховують у смугах частот за формулою:

$$L'_n = L_1 + 10 \lg \frac{A}{A_0}, \quad (3)$$

де  $L_1$  – середній рівень звукового тиску (дБ) у приміщенні під час роботи на перекритті стандартної ударної машини;

$A$  – еквівалентна площа звукопоглинання у приміщенні, де сприймається шум, м<sup>2</sup>;

$A_0 = 10$  м<sup>2</sup> – величина стандартного звукопоглинання.

Величину еквівалентного звукопоглинання у приміщенні визначають у смугах частот за формулою:

$$A = \frac{0,16 \cdot V}{T}, \quad (4)$$

де  $V$  – об'єм приміщення, м<sup>3</sup>;

$T$  – час реверберації звуку в приміщенні, с.

Реверберація (від лат. «reverberare» – відбивати) – наявність постійного затухаючого звуку («післязвуччя») в закритому приміщенні внаслідок повторних відбивань після того, як джерело звуку припинило звучати; час реверберації характеризує акустичні властивості приміщень.

Звукоізоляція зовнішніх і внутрішніх огорожувальних конструкцій будівельних об'єктів від повітряного і ударного шуму може бути виражена одночисловими показниками – індексами звукоізоляції.

Індекси звукоізоляції є нормованими параметрами звукоізоляції огорожень будинків і їх визначають за відомими частотними характеристиками  $R'$  і  $L'_n$  методом порівнювання з відповідними стандартними оціночними характеристиками звукоізоляції.

Під час захисту від шуму в приміщеннях з джерелами шуму і надмірною реверберацією звуку, в першу чергу, зменшують інтенсивність відбитого звуку від поверхонь приміщення застосуванням спеціальних облицювань поверхонь огорожень приміщення ефективними звукопоглинальними конструкціями. При цьому в приміщенні збільшується еквівалентна площа звукопоглинання  $A$  і як наслідок – зменшується час реверберації  $T$ .

Еквівалентну площу звукопоглинання в приміщенні визначають у смугах частот за формулою:

$$A = \sum S_j \alpha_j + \sum A_j, \quad (5)$$

де  $S_j$  і  $\alpha_j$  – площі окремих поверхонь огорожувальних конструкцій ( $\text{м}^2$ ) з відповідними величинами ревербераційного коефіцієнта звукопоглинання  $\alpha_j$ ;

$A_j$  – еквівалентна площа звукопоглинання ( $\text{м}^2$ ) окремих предметів у даному приміщенні (меблі, обладнання тощо).

Під час захисту від шуму, джерела якого знаходяться всередині будівельного об'єкта, керуються, в основному, такими показниками як рівень звукового тиску в смугах частот ( $L_p$ , дБ) або одночисловими показниками (коригований рівень звуку ( $L_A$ , дБА), або коригований еквівалентний рівень звуку ( $L_{A \text{ еке}}$ , дБА), вимірними у відповідних місцях на прилеглій території.

Методи проектування й оцінювання таких споруд повинні бути сумісними з методами оцінювання акустичних характеристик виробів, використаних у цих спорудах.

### **Перевірка дотримання основної вимоги «захист від шуму» стосовно будівельних об'єктів**

Оцінку акустичних характеристик та перевірку дотримання основної вимоги здійснюють з застосуванням:

- методів розрахунку, що дають можливість визначити акустичні характеристики будівельних об'єктів на підставі їх технічних характеристик;
- методів, які ґрунтуються на основі випробувань щодо визначення необхідних параметрів, проведених на прототипах або моделях з основними параметрами, ідентичними натурному об'єкту;
- методів описових, які ґрунтуються на аналізі реалізованих проектів, що вважають задовільними;
- методів перевірки, які ґрунтуються на натурних випробуваннях під час будівництва об'єкта та після його завершення.

#### ***Розрахункові методи***

Методи розрахунку акустичних характеристик будівельних об'єктів або їх елементів використовують під час проектування і визначення необхідних технічних характеристик будівельних виробів.

Методи розрахунку акустичних характеристик стосуються таких аспектів:

- ізоляція повітряного шуму, що надходить ззовні будівельного об'єкта;
- ізоляція повітряного шуму, що надходить з іншого суміжного приміщення;
- ізоляція від передавання ударного шуму;
- визначення рівнів звукового тиску, спричиненого працюючим устаткуванням;
- визначення часу реверберації звуку або еквівалентної площі звукопоглинання у приміщенні;
- визначення рівня звукового тиску ззовні будівельного об'єкта, коли джерела шуму знаходяться всередині будівельного об'єкта або поєднані з ним.

Акустичні характеристики будівельних об'єктів чи їх елементів можуть бути виражено рядом одночислових показників, кожен з яких характеризує ступінь захисту від шуму відносно певного аспекта з числа наведених у розділі 4.

Одночислові акустичні показники будівельних об'єктів має бути виражено у погоджений спосіб в одиницях, які прийнято у нормативних документах на виробі.

### ***Лабораторні методи***

Акустичні вимірювання проводять на елементах (конструкціях) будівельних об'єктів із використанням зразків натурних розмірів (стіни, перекриття, підлоги, стелі, покрівлі, вікна тощо), а також інженерного обладнання (наприклад, вентиляційні системи).

Під час використання для випробувань зразків елементів будівельних об'єктів натурних розмірів їх конструктивне рішення має відповідати проектним рішенням або, за наявності замін, тим, що застосовані під час будівництва.

### ***Описові методи***

Описові методи ґрунтуються на аналізі акустичних характеристик будівельних об'єктів за реалізованими проектами в частині акустичних характеристик застосованих будівельних виробів.

Акустичні характеристики застосованих у проектних рішеннях будівельних виробів мають відповідати тим, що запроваджені чинними нормативними документами категорії Б.

### ***Методи, які ґрунтуються на натурних випробуваннях (під час та після будівництва)***

Залежно від рівня вимог до будівельного об'єкта застосовують інженерний (високої складності) і оглядовий (менш точний) методи натурних випробувань.

Застосування як інженерного, так і оглядового методів натурних випробувань дають можливість визначати:

- ступінь ізоляції шуму, джерело якого знаходиться ззовні будівельного об'єкта;
- ступінь ізоляції шуму між суміжними приміщеннями;
- ступінь ізоляції ударного шуму;
- рівні звукового тиску, спричиненого працюючим устаткуванням;
- час реверберації звуку та еквівалентну площу звукопоглинання в приміщенні;
- рівні звукового тиску ззовні будівельного об'єкта, якщо джерела шуму знаходяться всередині будівельного об'єкта або поєднані з ним.

Навчальне видання

**ВІЛЬСОН** Олександр Георгійович

# **Шум: вплив, профілактика, захист**

Конспект лекції

Редагування та коректура *В.С. Ясінської*  
Комп'ютерне верстання *А.П. Морозюк*

Підписано до друку                      Формат 60 × 84<sub>1/16</sub>  
Ум. друк. арк. 3,02 Обл.-вид. арк. 3,25  
Електронний документ. Вид. № 20/І-18  
Видавець і виготовлювач  
Київський національний університет будівництва і архітектури

Повітрофлотський проспект, 31, Київ, Україна, 03680

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру суб'єктів  
видавничої справи ДК № 808 від 13.02.2002 р.

