

Змістовий модуль 3. Основи архітектурної акустики.
Лекція № 8. Тема №3.1. Основні поняття і величини архітектурної акустики.

Питання теми.

1. Прикладна акустика. Сигнали й шуми.
2. Фізичні характеристики звукового поля.
3. Фізіологічні характеристики звуку.

1. Прикладна акустика. Сигнали й шуми.

Різноманітні завдання прикладної акустики можна віднести до однієї із двох основних проблем, що відрізняються кінцевою метою рішень.

Завдання, що ставляться до першої проблеми, ставлять метою створити умови для повноцінного сприйняття звуку слухачами; збереження, а іноді й посилення звуку є необхідною умовою для цього. Звук у таких випадках є носієм корисної інформації - *сигналом*.

Завдання, що відносяться до другої проблеми, ставлять метою ослаблення або придушення звуків, які заважають слуховому сприйняттю, нормальній роботі й відпочинку людину. Такі звуки називаються *шумами*.

Відповідно до диференціації звуків на сигнали й шуми зручно розділити курс прикладної акустики в області будівництва й архітектури на наступні дві взаємно зв'язані частини, що різняться кінцевими цілями й технічними прийомами рішень:

- *архітектурна акустика*, що має метою забезпечити оптимальні умови сприйняття мови, співу, музики в приміщеннях і на відкритім повітрі;
- *будівельна акустика*, основним завданням якої є розробка архітектурно-конструктивних заходів для придушення або ослаблення шуму.

Незважаючи на деяку умовність прийнятої диференціації курсу прикладної акустики, такий поділ дозволяє більш систематично викласти зміст курсу акустики в області будівництва й архітектури.

2. Фізичні характеристики звукового поля

Звукові коливання поширюються у вигляді поздовжніх хвиль, характеризуючись об'ємними деформаціями стиснення й розрідження середовища. Область поширення звукових хвиль називається *звуковим полем*.

Фізичний стан середовища у звуковім полі характеризується *звуковим тиском* і *коливальною швидкістю*.

Під *звуковим тиском* p мають на увазі різницю між миттєвим значенням повного тиску й середнім тиском середовища при відсутності звукових хвиль. Одиниця звукового тиску дин/див², або бар.

У фазі стиску тиск позитивний, у фазі розрідження - негативно.

Коливальна швидкість v оцінюється миттєвим значенням швидкості руху часток середовища при поширенні в ній звукових хвиль. Одиниця виміру

коливальної швидкості — см/сек. Якщо частка середовища рухається в напрямку поширення фронту хвилі, то коливальна швидкість позитивна, у зворотному випадку негативна.

Поширення хвильового процесу характеризується переносом звукової енергії. Потік енергії в, що біжить звуковій хвилі визначається *вектором Умова* й виражається формулою

$$U = pv .$$

Середнє в часі значення вектора Умова називається **силою звуку**. **Сила звуку** представляє середню кількість звукової енергії, що проходить в 1 сек через одиницю поверхні, перпендикулярної до напрямку поширення звукових хвиль. Сила звуку вимірюється в $\text{ерг/см}^2\text{сек}$. Силу звуку зручно виражати через звуковий тиск p , який оцінюється показанням вимірювального приладу, з'єднаного в ланцюзі з підсилювачем мікрофона

$$I = pv = \frac{p^2}{\rho C}$$

де ρ - щільність середовища;
 C - швидкість поширення звуку в ній.

Враховуючи величезний діапазон звукових тисків, з якими доводиться мати справа на практиці, а також внаслідок здатності людського вуха оцінювати не абсолютне, а відносну зміну звукового тиску, у прикладній акустиці прийнято оцінювати силу звуку й звуковий тиск у відносних логарифмічних одиницях - **децибелах**.

Вимірювані в такий спосіб величини називаються **рівнями сили звуку**.

Поняття **рівень сили звуку** зв'язане з порівнянням сили звуку якого-небудь джерела I із силою звуку на порозі чутності I_0 для тону частотою 1000 гц. Згідно з Міжнародною угодою $I_0 = 10^{-9}$ $\text{ерг/см}^2\text{сек} = 10^{-16}$ Вт/см^2 . Це дає уявлення про високу чутливість вуха людини, яке фіксує настільки малі звукові коливання.

Рівень сили L_f виражається формулою

$$L = 10 \lg \frac{I_f}{I_0} \text{ дб,}$$

де I_f - сила звуку, рівень якого визначається на даній частоті;
 I_0 - сила звуку на порозі чутності.

Рівень звукового тиску

$$L_p = 10 \lg \frac{p^2}{p_0^2} = 20 \lg \frac{p}{p_0}$$

де p - ефективний тиск звукового сигналу;
 p_0 - ефективний тиск, що відповідає I_0 .

Рівень сили звуку й рівень звукового тиску - фізичні величини, що характеризують інтенсивність звукового поля.

Збільшення сили звуку в 1, 26 рази створює практично помітний приріст відчуття його гучності. Для оцінки приросту гучності звуків доцільно користуватися логарифмічною шкалою, у якій кожний наступний щабель у певну кількість раз більше попередньої.

Натуральний ряд цифр (1, 2, 3, 4, ...) у логарифмічній шкалі відповідає збільшенню кожного щабля шкали в 10 раз: $\lg 10 = 1, \lg 100 = 2, \lg 1000 = 3$ і т. д. Якщо яка-небудь величина більше іншої в 10 разів, те прийнято вважати, що вона за рівнем більше на один бел. Бел - одиниця рівня сили звуку; практичною одиницею служить децибел, рівний $\frac{1}{10}$ бела.

Згідно з теоремою Фур'є складний звук можна представити у вигляді суми простих синусоїдальних складових, відрізняються частотою й амплітудами коливання. Залежність амплітуд окремих синусоїдальних складових шуму від частоти коливань називають **спектром шуму**.

Середнє людське вухо здатне сприймати звуки частотою від 16 до 20 000 гц. Спектр звуку може бути *лінійчатим* і *суцільним*. При суцільному спектрі вводять поняття рівня спектра B , який представляє рівень сили звуку в смузі частот 1гц. Звуки, у яких рівень спектра B постійний при всіх частотах, називають **білим шумом**.

Смуга звуку характеризується граничними частотами: f_1 - нижньою й f_2 - верхньою; шириною $\Delta f = f_2 - f_1$ й середньою частотою $f_{cp} = \sqrt{f_1 f_2}$. Смуга, у якої відношення $\frac{f_2}{f_1} = 2$, називається октавою; якщо $\frac{f_2}{f_1} = 1,26$, те ширина смуги рівна $\frac{1}{3}$ октави.

У табл. 1 приводяться загальноприйняті октавні смуги звуку.

Таблиця 1

Принятый ряд октавных полос звука

Граничные частоты полосы в гц	38—75	75—150	150—300	300—600	600—1200	1200—2400	2400—4800	4800—9600
Средняя частота в гц	50	100	200	400	800	1600	3200	6400

3. Фізіологічні характеристики звукового поля і звуку

Вухо людини має різну чутливість до звуків різної частоти й рівня. Суб'єктивну якість відчуття називають *гучністю*. Гучність залежить від сили звуку, його спектрального состава, умов сприйняття звуку, а також від тривалості його впливу. Наближена залежність, що зв'язує відчуття гучності із силою звуку, що впливає на людину, визначається психологічним законом Вебера-Фехнера. Згідно із цим законом вухо людини оцінює не абсолютні, а відносні зміни інтенсивності зовнішнього подразнення. Це значить, що збільшення ΔL деякої гучності визначається відносною зміною сили звуку I , тобто

$$\Delta L = \text{const} \frac{\Delta I}{I}.$$

Для кількісної оцінки гучності застосовується метод суб'єктивного порівняння вимірюваного звуку з еталонним звуком. Змінюючи рівень еталонного звуку, можна добитися того, що вимірюваний і еталонний звуки будуть сприйматися рівногучними. Згідно з Міжнародною угодою за еталонний звук прийнятий синусоїдальний тон із частотою 1000 Гц у формі плоскої звукової хвилі; при цьому слухач звернений особою до джерела еталонного тону.

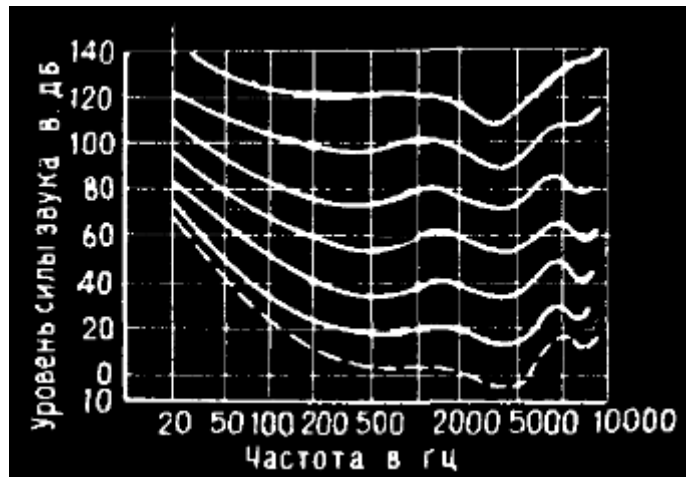
Вимірювана цим способом величина L називається *рівнем гучності*.

Одиницею гучності служить *фон* (ϕ). Число фонів, що оцінює рівень гучності якого-небудь звуку, однаково із числом децибелів, що вимірюють рівень звукового тиску рівногучного еталонного тону

$$L = 20 \lg \frac{p_{эм}}{2 \cdot 10^{-4}} \phi,$$

де $p_{эм}$ - звуковий тиск, створюване в точці виміру джерелом еталонного тону після досягнення однакової гучності.

На основі багатьох вимірів рівнів гучності чистих тонів різних частот залежно від рівнів звукового тиску Д. Робинсоном і Р. Дадсоном були побудовані криві рівної гучності (ізофони) (мал. 1). Кожна із цих кривих представляє геометричне місце точок, що зображують тони різних частот, але з однаковою гучністю.



Мал. 1. Криві рівної гучності (за даними Д. Робинсона й Р. Дадсона). Нижня пунктирна лінія становить частотну характеристику слухового порога

З характеру кривих рівної гучності видне наступне:

- 1) чутливість вуха людини зі збільшенням частоти підвищується;
- 2) рівень звукового тиску й рівень гучності практично чисельно рівні в області частот від 500 до 2000 гц.

Поряд з оцінкою звуку рівнем гучності в практиці є потреба в способі оцінки, що дозволяє визначати відносини гучностей з невеликою кратністю. Це, зокрема, впливає з того факту, що при зміні рівня гучності на 10 ф у ту або іншу сторону гучність збільшується або зменшується вдвічі. Величиною, що дозволяє судити про співвідношення гучностей різних звуків за Міжнародною згодою, обрана **гучність**, обумовлена по формулі

$$S = 2^{\frac{L-40}{10}} .$$

Одиниця гучності - **сон**. Гучністю, рівної 1 сону, має звук з рівнем гучності L , рівним 40 ф. По формулі неважко визначити, що гучність змінюється в 2 рази при збільшенні рівня гучності на 10 фон (з 40 до 50 фон).

На мал. 2 приводяться шкали гучності й рівня гучності, а також приклади деяких звуків і шумів.



Мал. 2. Шкали рівня гучності звуку (у фонах) і гучності (у сонах)

Повсякденний досвід показує, що чутність мовлення й музики в приміщеннях звичайно утрудняється при наявності сторонніх звуків. Сторонні

звуки змінюють поріг чутності, обумовлений мінімальним рівнем звукового тиску, при яким звук даної частоти чуємо.

Якщо маскований сигнал має досить вузький спектр, то кількісною мірою ефекту маскування прийнято вважати величину, що показує, на скільки децибелів підвищується поріг чутності маскованого тону над порогом його сприйняття в тиші. Ця величина називається **маскуванням** і виражається в децибелах. Численні спостереження по вивченню ефекту маскування одного синусоїдального тону певної частоти іншим показали, що найбільшим ефектом, що маскує, мають звуки низької частоти й найменшим звуки високої частоти.

Ефект маскування складних сигналів (наприклад, мовлення) оцінюється зниженням розбірливості мовлення при наявності шуму стосовно розбірливості мовлення в умовах тиші.

Питання для самоконтролю

1. Які звуки називають сигналами, а які – шумами?
2. Що вивчають будівельна та архітектурна акустика?
3. Наведіть основні фізичні характеристики звукового поля.
4. Наведіть основні фізіологічні характеристики звукового поля і звуку.

Список літератури

1. Гусев Н.М., Климов П.П. Строительная физика. М.: Стройиздат, 1965. – розділ II, глава 1 (с. 101 – 105).
2. Вавилин В.Ф. Строительная физика. Учеб. пособие / В.Ф.Вавилин, С.А.Коротаев, Н.М.Кузнецов. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2002. – ч. 3, §§ 3.1 (с. 56 – 59).
3. Архитектурная физика. Учеб. для вузов/ В.К.Лицкевич, Л.И.Макриненко, И.В.Мигалина и др.; Под. ред. Н.В.Оболенского. М.: Архитектура-С, 2007. – ч. III, глава 7 (с. 286 – 303).
4. Стецкий С.В. Строительная физика: Краткий курс лекций / - М: Изд-во МГСУ, 2014. - Эл. из-ие. §§7 (с. 48 - 52).