

Кожний матеріал характеризується коефіцієнтом звукопоглинання α .

Коефіцієнт звукопоглинання α – відношення енергії, що поглинається поверхнею, до енергії, що надходить на поверхню.

Звукопоглинаючими матеріалами вважаються матеріали, що мають $\alpha > 0,2$

еквівалентна площа поглинання A – площа поверхні, m^2 , що має коефіцієнт поглинання $\alpha = 1$, яка поглинає стільки ж звукової енергії, що і дана поверхня площею S або окремий предмет. Використовується для штучних звукопоглиначів (у т.ч. людина, стіл):

$$A_i = \alpha_i S_i.$$

Середній коефіцієнт звукопоглинання приміщення $\alpha_{\text{сеп}}$ – середнє значення дифузного коефіцієнта поглинання звукової енергії у приміщенні. Визначається за формулою (20) [1]:

$$\alpha_{\text{сеп}} = \frac{A_{\Sigma}}{S_{\Sigma}} \quad (20)$$

де A_{Σ} - загальна еквівалентна площа звукопоглинання залу.

Час реверберації у залах розраховується за формулою (21) [1]:

$$T = 0,163 \frac{V}{S_{\Sigma} \varphi(\alpha_{\text{сеп}}) + nV} \quad (21)$$

де V – об'єм залу, m^3 ;

S_{Σ} – загальна площа внутрішніх поверхонь залу, m^2 ;

$\varphi(\alpha_{\text{сеп}}) = -\ln(1 - \alpha_{\text{сеп}})$ – функція від середнього коефіцієнту звукопоглинання приміщення. (Можна визначити за дод. 2 [1];

n – звукопоглинання повітрям. Залежить від частоти звуку та вологості повітря. Для частот менші 1000 Гц $n = 0 \text{ м}^{-1}$. Для $f = 2000$ Гц визначається за дод.1 [1].

Приложение I

Значение коэффициента α , м^{-1} , для учета поглощения звука воздухом при температуре 20 °С

Относительная влажность воздуха, %	Значение коэффициента α , м^{-1} , на частоте звука, Гц	
	2000	4000
30	0,0119	0,0379
40	0,0104	0,0287
50	0,0096	0,0244
60	0,009	0,0224
70	0,0085	0,0213
80	0,0081	0,0204
90	0,008	0,02

Примечание. Если относительная влажность воздуха в помещении не задана, следует принимать ее равной 60%.

Тепер наша задача буде полягати у тому, щоб підібрати остаточне оздоблення залу таким чином, щоб час реверберації відповідав оптимальному на кожній розрахунковій частоті.

Вихідні умови для розрахунку часу реверберації

1. Рекомендовані значення часу реверберації на частотах:

$$T_{\min}^{125}, \quad T_{\max}^{125}, \quad T_{\min}^{500}, \quad T_{\max}^{500}, \quad T_{\min}^{2000}, \quad T_{\max}^{2000}.$$

Визначення меж допустимого часу реверберації

Частота 500 Гц: $T_{\min} = 0,85T_{opt}$; $T_{\max} = 1,15T_{opt}$

Частота 125 Гц: $T_{\min} = 0,85T_{opt}$; $T_{\max} = 1,15T_{opt} \cdot 1,2 = 1,38 T_{opt}$

Частота 2000 Гц: $T_{\min} = 0,85T_{opt} \cdot 0,9 = 0,765T_{opt}$; $T_{\max} = 1,15T_{opt}$

T_{opt} - за ДБН В.2.2-16:2019.

2. Попереднє опорядження залу – значення коефіцієнтів звукопоглинання кожного матеріалу, що застосовується у залі, включаючи крісла слухачів, аудиторну дошку, вікна (у аудиторії), кіноекран (у кінотеатрі), проріз сцени та оркестрову яму (у концертному залі) тощо (Додатки 3 та 4). Їх об'єм використання:

№ пп.	Найменування матеріалу	Об'єм	Значення коефіцієнту звукопоглинання α_i (еквівалентної площі звукопоглинання A_i , м ²) на часті, Гц		
			125	500	2000
1	Стіни <i>акустично нейтральні ділянки</i> <i>акустично шкідливі ділянки</i> <i>акустично корисні ділянки</i>	_____ м ²			
2	Стеля	_____ м ²			
3	Підлога	_____ м ²			
4	Крісла	_____ шт.			
...	...				

Визначення необхідної загальної еквівалентної площі звукопоглинання

З формули для розрахунку часу реверберації

$$T = 0,163 \frac{V}{S_{\Sigma} \varphi(\alpha_{сер}) + nV}$$

де

$$\varphi(\alpha_{сер}) = -\ln(1 - \alpha_{сер})$$

можна вивести формулу для визначення загальної еквівалентної площі звукопоглинання залу

$$A_{\Sigma} = \left(1 - e^{-\frac{(0,163-Tn)V}{TS_{\Sigma}}} \right) \cdot S_{\Sigma}.$$

Якщо замість T підставити рекомендовані значення часу реверберації на частотах, то можна отримати межі необхідної загальної площі звукопоглинання

$$A_{\min}^{125}; \quad A_{\max}^{125}; \quad A_{\min}^{500}; \quad A_{\max}^{500}; \quad A_{\min}^{2000}; \quad A_{\max}^{2000}.$$

На практиці роблять трошки по іншому.

Спочатку визначають значення функції $\varphi(\alpha_{\text{сеп}})$

$$\varphi(\alpha_{\text{сеп}}) = \frac{(0,163-Tn)V}{TS_{\Sigma}}.$$

Потім за додатком 2 знаходять значення $\alpha_{\text{сеп}}$.

Приложение 2

Значение функции $\varphi(\bar{\alpha}) = -\ln(1-\bar{\alpha})$

$\bar{\alpha}$	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,1	0,1	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,19	0,2	0,21
0,2	0,22	0,24	0,25	0,26	0,27	0,29	0,3	0,32	0,33	0,34
0,3	0,36	0,37	0,39	0,4	0,42	0,43	0,45	0,46	0,48	0,49
0,4	0,51	0,53	0,54	0,56	0,58	0,6	0,62	0,64	0,65	0,67
0,5	0,69	0,71	0,73	0,76	0,78	0,8	0,82	0,84	0,87	0,89
0,6	0,92	0,94	0,97	0,99	1,02	1,05	1,08	1,11	1,14	1,17
0,7	1,2	1,24	1,27	1,31	1,35	1,39	1,43	1,47	1,51	1,56
0,8	1,61	1,66	1,72	1,77	1,83	1,9	1,97	2,04	2,12	2,21

Нарешті за формулою

$$A_{\Sigma} = \alpha_{\text{сєр}} S_{\Sigma}$$

знаходять значення необхідної загальної еквівалентної площі звукопоглинання.

Частота f , Гц	Рекомендований час реверберації T , с	Об'єм залу, V , м ³	Загальна площа внутрішніх поверхонь, S , м ²	Коефіцієнт звукопоглинання повітрям η , м ⁻¹	Значення функції $\varphi(\alpha_{\text{сєр}})$	Середній коефіцієнт звукопоглинання $\alpha_{\text{сєр}}$	Необхідна загальна площа звукопоглинання A_{Σ} , м ²
125				0			
500							
2000				0,009			

Розрахунок фактичної еквівалентної площі звукопоглинання

Фактичне звукопоглинання складається з трьох частин: постійне звукопоглинання, змінне та додаткове.

Постійне звукопоглинання створюється за рахунок поглинання звуку внутрішніми поверхнями залу. Воно розраховується за формулою

$$A_{\text{const}} = \sum_{i=1}^n \alpha_i S_i .$$

При цьому при визначенні звукопоглинання підлогою слід враховувати лише площу підлоги, що не зайняти слухачами.

№ пп.	Поверхні та матеріали	Площа S_i , м ²	Коефіцієнт звукопоглинання α_i на частоті, Гц	Еквівалентна площа звукопоглинання A_i на частоті, Гц

Змінне звукопоглинання – це звукопоглинання слухачами та кріслами. При цьому приймається заповнення залу на 70%.

$$A_{var} = A_c N_c + A_k N_k$$

№ пп.	Об'єкт звукопоглинання	Кількість N_i, m^2	Еквівалентна площа звукопоглинання A_i одним об'єктом на частоті, Гц			Еквівалентна площа звукопоглинання A_i/N_i на частоті, Гц		

Додаткове звукопоглинання створюється за рахунок проникнення звукових хвиль у різні щілини, отвори, коливання різних гнучких елементів, світильниками тощо. Визначається за формулою

$$A_{add} = \alpha_{add} S_{\Sigma} ,$$

де α_{add} – коефіцієнт додаткового звукопоглинання, який рекомендується приймати на частоті 125 Гц – 0,09 и на частотах 500-2000 Гц – 0,05.

Важливо! В залежності від конкретних обставин, що обумовлюють степінь звукопоглинання, наведені значення можуть бути збільшені до 30% (при значній степені вираження умов) та зменшені до 30% (при малій степені вираження умов).

Додаткове звукопоглинання можна визначати у таблиці для постійного звукопоглинання.

Фактичне звукопоглинання на частотах визначається за формулою

$$A_{\phi} = A_{const} + A_{var} + A_{add}.$$

Корегування внутрішнього опорядження залу

Повинно виконуватися умови:

$$A_{\min}^{125} \leq A_{\phi}^{125} \leq A_{\max}^{125};$$

$$A_{\min}^{500} \leq A_{\phi}^{500} \leq A_{\max}^{500};$$

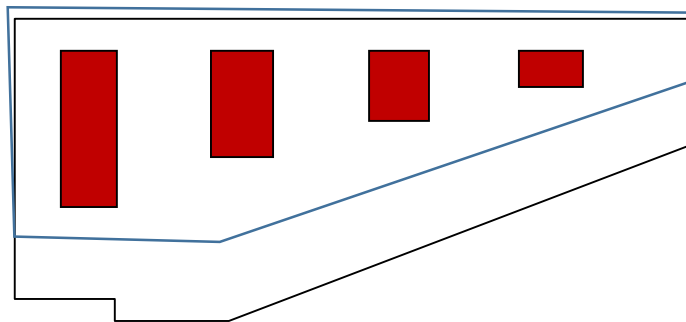
$$A_{\min}^{2000} \leq A_{\phi}^{2000} \leq A_{\max}^{2000}.$$

Якщо це не виконується, то необхідно корегувати опорядження.

Нехай нам необхідно збільшити звукопоглинання у залі.

Перше, що слід проаналізувати – можливість використання більш м'яких крісел. Це зменшить залежність від кількості слухачів у залі.

Якщо цієї можливості немає, то тоді використовуються звукопоглинальні матеріали, які розташовуються на акустично нейтральних поверхнях (зазвичай на ділянках стін). При цьому їх слід розміщати рівномірно по поверхні окремими плямами.



Як визначити необхідну загальну площу таких матеріалів?

Нехай коефіцієнт звукопоглинального матеріалу буде $\alpha_{зв}$

Нам необхідно підвищити фактичну еквівалентну площу звукопоглинання у залі на величину

$$\Delta A = A_{\text{opt}} - A_{\phi}.$$

Позначимо площу акустично нейтральної частини S_1 , її коефіцієнт звукопоглинання α_1

Позначимо S_x площу звукопоглинального матеріалу, що необхідно знайти. Тоді вірне наступне рівняння

$$\Delta A = A_{\text{opt}} - (A_{\text{const}} + A_{\text{var}} + A_{\text{add}}).$$

Оскільки

$$A_{\text{const}} = \sum_{i=1}^{n-1} \alpha_i S_i + \alpha_1 S_1$$

Звідки

$$\alpha_{\text{зв}} S_x = A_{\text{opt}} - (\sum_{i=1}^{n-1} \alpha_i S_i + \alpha_1 (S_1 - S_x) + A_{\text{var}} + A_{\text{add}}).$$

З цього рівняння можна знайти необхідну площу матеріалу.

Нажаль коли ми це робимо на одній частоті, то змінюються значення звукопоглинання на інших.

Розрахунок фактичного часу реверберації і його аналіз

Далі розрахунок робиться за формулою

$$T = 0,163 \frac{V}{S_{\Sigma} \alpha_{\text{сер}} + nV}$$

де

$$\alpha_{\text{сер}} = \frac{A_{\phi} \text{ відкореговане}}{S_{\Sigma}}.$$

При цьому робиться додатковий розрахунок для частоти 500 Гц в залежності від проценту заповнення залу слухачами.

Форми табл. див. у посібнику (табл. 8, 9).

Результати розрахунків оформлюються у вигляді графіків.

Розрахунок артикуляції

У залах, призначених для сприйняття речі основну увагу необхідно приділяти чіткості та розбірливості речі. Критерій оцінки розбірливості речі – складова («слоговая» – рус.) артикуляція P , яка оцінюється процентом вірно розпізнаних складів.

Артикуляція вважається

відмінною, якщо $P \geq 85\%$;

доброю, якщо $75 \leq P < 85\%$;

задовільною, при $65 \leq P < 75\%$;

незадовільною, при $P < 65\%$.

Розрахунок артикуляції у проектах

$$P = 96K_1K_2K_3K_4.$$

Розраховується в залежності від проценту заповнення залу слухачами і будується графік.