

KTr2.120

PGS. TS BÙI VĂN TRÂN

MÔI TRƯỜNG ÂM THANH

TRONG CÔNG TRÌNH KIẾN TRÚC



NHÀ XUẤT BẢN XÂY DỰNG



THƯ VIỆN
HUBT

TÀI LIỆU PHỤC VỤ THAM KHẢO NỘI BỘ

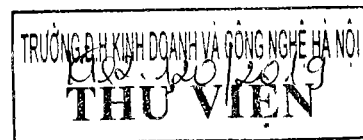
PGS. TS. BÙI VẠN TRÂN

MÔI TRƯỜNG ÂM THANH TRONG CÔNG TRÌNH KIẾN TRÚC

(Tái bản)



**NHÀ XUẤT BẢN XÂY DỰNG
HÀ NỘI - 2009**





**THƯ VIỆN
HUBT**

TÀI LIỆU PHỤC VỤ THAM KHẢO NỘI BỘ

LỜI NÓI ĐẦU

Gần đây một số công trình xây dựng như: phòng hòa nhạc, nhà thi đấu đa năng, rạp chiếu phim..., sau khi khánh thành và đưa vào sử dụng phát hiện ra một số yếu tố kỹ thuật không đạt yêu cầu và mục tiêu đề ra. Cụ thể là việc tổ chức văn nghệ, chiếu phim không thể thực hiện được vì bên trong rất ồn, dội âm, khán giả không nghe rõ được.

Có thể nói hiện tượng trên đây nói lên khá rõ rằng hiện nay một bộ phận không nhỏ những người thiết kế kiến trúc hoặc là chưa nắm vững những kiến thức cơ bản của môn khoa học Âm học kiến trúc, hoặc là chưa thể áp dụng nhuần nhuyễn những kiến thức này trong việc thiết kế cụ thể, hoặc là còn ngại va chạm với những tính toán có phần rắc rối đối với người kiến trúc sư.

Để góp phần khắc phục tình trạng trên đây, tác giả đã biên soạn quyển sách **Môi trường âm thanh trong công trình kiến trúc** sao cho phù hợp với logic nhận thức nhất và thiết thực nhất có thể, với mong muốn cung cấp cho bạn đọc những kiến thức cần thiết nhất trong việc thiết kế và thi công các công trình xây dựng có đòi hỏi về chất lượng âm thanh.

Tuy nhiên, dù đã cố gắng nhưng chắc rằng quyển sách không tránh khỏi những thiếu sót, tác giả rất mong người đọc vui lòng góp ý về nội dung và hình thức quyển sách, để trong lần tái bản sau sẽ được hoàn hảo hơn.

Tác giả





**THƯ VIỆN
HUBT**

TÀI LIỆU PHỤC VỤ THAM KHẢO NỘI BỘ

Chương 1

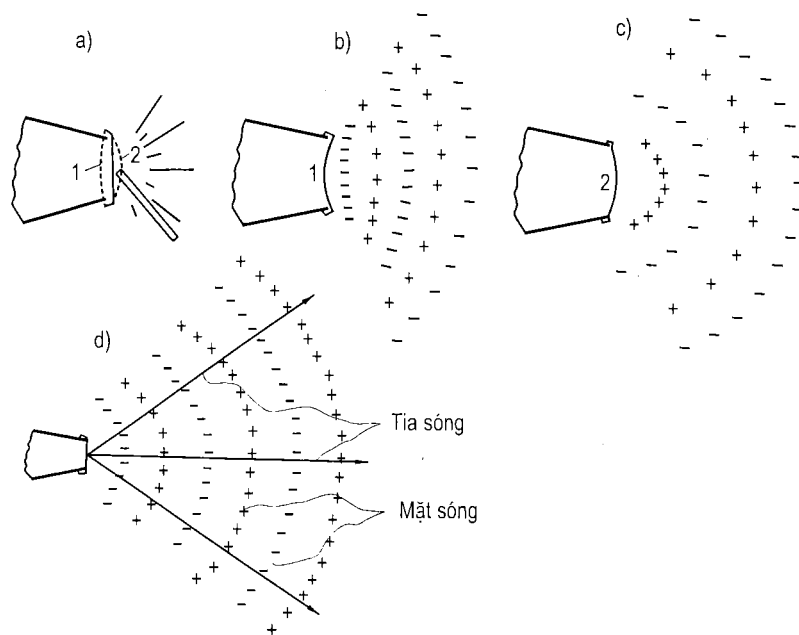
ÂM THANH VÀ TIẾNG ỒN

§1. BẢN CHẤT CỦA ÂM THANH VÀ TIẾNG ỒN, NHỮNG ĐẶC TRƯNG VẬT LÝ CỦA CHÚNG

1.1. Sóng cơ học

1.1.1. Sự phát sinh của sóng cơ học

Khi gõ dùi trống vào mặt trống, màng trống dao động, nghĩa là nó có thể lần lượt chiếm tất cả các vị trí, từ vị trí 1 đến vị trí 2 xung quanh vị trí cân bằng của nó (hình 1.1a).



Hình 1.1. Sự phát sinh sóng cơ học (bởi màng trống chẳng hạn)

Khi màng trống chiếm vị trí 1, những hạt không khí ở gần nó (phía ngoài mặt trống) dần xa nhau ra, áp suất ở đây giảm xuống thấp hơn áp suất khí quyển, tạo ra vùng áp suất âm ($\Delta p = p - p_{kq} < 0$), trên hình 1.1b nó được thể hiện bằng dấu $-$.

Không khí là môi trường đàn hồi, vì vậy vùng không khí liền kề với vùng áp suất âm phải là vùng áp suất dương ($\Delta p = p - p_{kq} > 0$), ở đó các hạt không khí dịch sát vào nhau, trên hình 1.1b vùng này được kí hiệu bằng dấu $+$.

Những vùng áp suất dương và áp suất âm lan dần ra xa khỏi mặt trống với một tốc độ xác định phụ thuộc vào đặc tính của không khí.

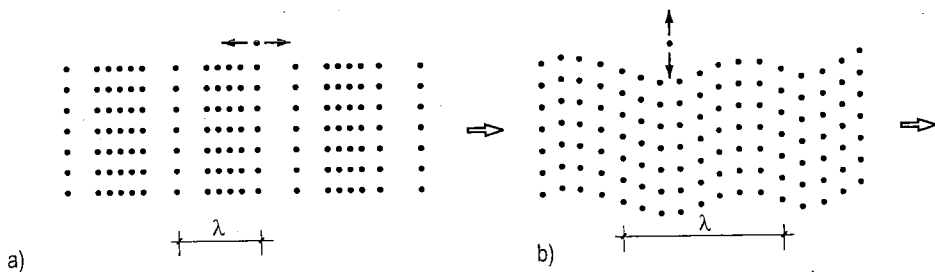
Khi màng trống chiếm vị trí 2, tình hình diễn ra ngược lại: những vùng áp suất âm trước đây trở thành những vùng áp suất dương và những vùng áp suất dương trước đây trở thành những vùng áp suất âm (hình 1.1c).

Nhịp biến đổi áp suất này hoàn toàn trùng với nhịp dao động của màng trống.

Bắt đầu từ một khoảng cách nào đấy tới màng trống những vùng áp suất âm và áp suất dương xen kẽ nhau sẽ có dạng hình cầu với tâm là tâm của màng trống (hình 1.1d).

Bằng cách đó, *sóng cơ học* (hay còn gọi là sóng đàn hồi) được tạo ra trong bầu khí quyển.

Sóng cơ học có thể là *sóng dọc*, khi các hạt vật chất của môi trường dao động cùng hướng với hướng lan truyền sóng âm (hình 1.2a) hay là *sóng ngang* khi các hạt vật chất dao động vuông góc với hướng lan truyền sóng âm (hình 1.2b).



Hình 1.2. Sóng dọc (a) và sóng ngang (b); \longleftrightarrow và \updownarrow vectơ tốc độ dao động của các hạt vật chất của môi trường; \Rightarrow Chiều lan truyền sóng.

Trong chất khí (không khí chẳng hạn) chỉ có sóng dọc, trong chất rắn đồng nhất bất kỳ biến dạng ban đầu nào cũng đều gây ra đồng thời hai dạng sóng: sóng dọc và sóng ngang.

Trong những vật rắn có kích thước bình thường sóng dọc là chính, còn sóng ngang thì tương đối yếu có thể bỏ qua. Tốc độ lan truyền của sóng "hầu như dọc" này khá gần với tốc độ lan truyền của sóng dọc.

1.1.2. Đặc trưng vật lý của sóng cơ học

- *Tia sóng và mặt sóng*: Những mũi tên trên hình 1.1d chỉ chiều lan truyền của sóng và được gọi là *tia sóng*. Tất cả những điểm trong môi trường lan truyền sóng (ở đây là môi trường không khí) có áp suất bằng nhau tạo thành một bề mặt gọi là *mặt sóng*. Mặt sóng có thể là phẳng, cầu, trụ tròn hoặc bất kỳ hình dạng nào khác tùy theo đặc điểm của sóng và của môi trường. Tia sóng luôn luôn vuông góc với mặt sóng (hình 1.1d).

- *Tốc độ lan truyền sóng*: Như đã nói ở 1.1.1, những vùng áp suất âm và áp suất dương lan truyền dần ra xa mặt trống với một tốc độ xác định gọi là *tốc độ lan truyền sóng*, kí hiệu là C và tính bằng m/s.

Tốc độ lan truyền sóng phụ thuộc vào đặc điểm của môi trường lan truyền sóng. Trong bảng 1.1 cho một vài giá trị của C.

Bảng 1.1. Giá trị của C trong vài loại môi trường thường gặp

Môi trường lan truyền sóng cơ học	C, m/s
Không khí khô ở 0°C	331
15°C	340
20°C	343
Nước 15°C	1447
Nước ấm	1520
Nước biển	1510 ÷ 1550
Băng	3200
Gỗ	1000 ÷ 4000
Cao su	50
Điện diển	500
Gạch	3000 ÷ 3700
Bê tông cốt thép	4000 ÷ 4500
Đá granit	6000
Đồng	≈ 3500
Chì	1.300
Nhôm	6.400
Sắt non	5.050
Thép	6.100
Kính	4000 ÷ 6000

- Tốc độ dao động của hạt vật chất của môi trường:

Xét tia sóng 1 trong hình 1.1d.

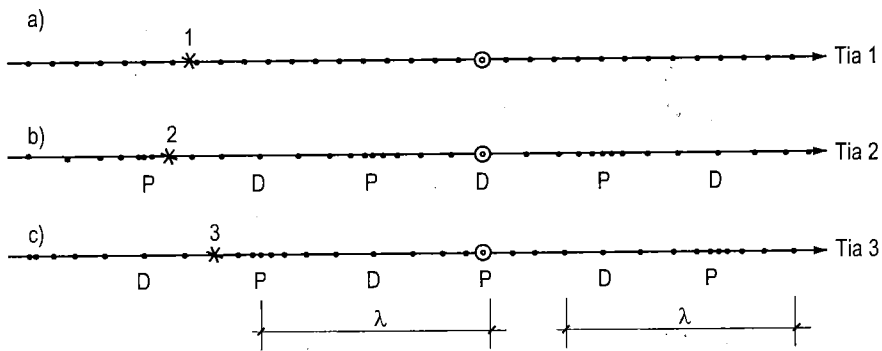
Tại thời điểm chưa có sóng cơ học, các hạt không khí phân bố đều dọc theo tia 1 (hình 1.3a).

Tại thời điểm đã có sóng cơ học, các hạt không khí bị dồn lại ở một số vùng nào đó và bị dãn ra ở những vùng khác (hình 1.3b).

Tại vùng mà các hạt vật chất bị dồn lại ta có vùng áp suất dương, kí hiệu là P.

Tại vùng mà các hạt vật chất bị dãn ra ta có vùng áp suất âm, kí hiệu là D.

Sau một khoảng thời gian xác định, tất cả diễn ra ngược lại (hình 1.3c).



Hình 1.3. Dao động của các hạt vật chất của môi trường trong trường hợp chỉ có sóng dọc:
 a) Tại thời điểm chưa có sóng; b) Tại thời điểm có sóng; c) Tại thời điểm đi liền sau thời điểm b đúng một nửa chu kỳ dao động của hạt vật chất; P: vùng áp suất dương; D vùng áp suất âm.

Trong khi có những vùng biến chuyển từ P sang D và từ D sang P kế tiếp nhau thì ngay trên tia 1 cũng có những vùng mà ở đó những hạt vật chất không dịch chuyển (những hạt hình vòng tròn trên hình 1.3). Ở những vùng khác hạt vật chất dịch chuyển qua lại xung quanh vị trí trung bình của nó (chẳng hạn như hạt vật chất hình sao dịch chuyển từ vị trí 1 trên hình 1.3a sang vị trí 2 trên hình 1.3b rồi lại sang vị trí 3 trên hình 1.3c, sau đó từ điểm 3 trở về điểm 1, và cứ thế tiếp tục. Ta nói rằng những hạt vật chất đó *dao động* xung quanh vị trí cân bằng của chúng với một tốc độ nào đó gọi là *tốc độ dao động của hạt vật chất của môi trường*, kí hiệu là v và tính bằng đơn vị m/s.

Như vậy, ta cần phân biệt C (m/s) - tốc độ lan truyền sóng - với v (m/s) - tốc độ dao động của hạt vật chất của môi trường.

- *Chu kỳ sóng*: Đó là khoảng thời gian cần thiết để hoàn thành một dao động từ P sang D rồi lại trở về P, hoặc từ D sang P rồi lại trở về D, nó được kí hiệu là T và tính bằng đơn vị s (giây).

- *Tần số sóng*: Đó là số lượng các dao động được thực hiện trong một giây, được kí hiệu là f và tính bằng đơn vị héc, kí hiệu là Hz. (Héc là tần số 1 dao động trong 1 giây).

Giữa chu kì T và tần số f có liên hệ:

$$T = \frac{1}{f} \Rightarrow f = \frac{1}{T} \quad (1.1)$$

- *Bước sóng*: Đó là khoảng cách giữa hai hạt vật chất dao động cùng pha gần nhau nhất, kí hiệu là λ và tính bằng đơn vị mét.

Giữa các đại lượng bước sóng λ , tốc độ lan truyền sóng C , chu kì T và tần số f có liên hệ sau:

$$\lambda = CT \Rightarrow \lambda = \frac{C}{f} \quad (1.2)$$

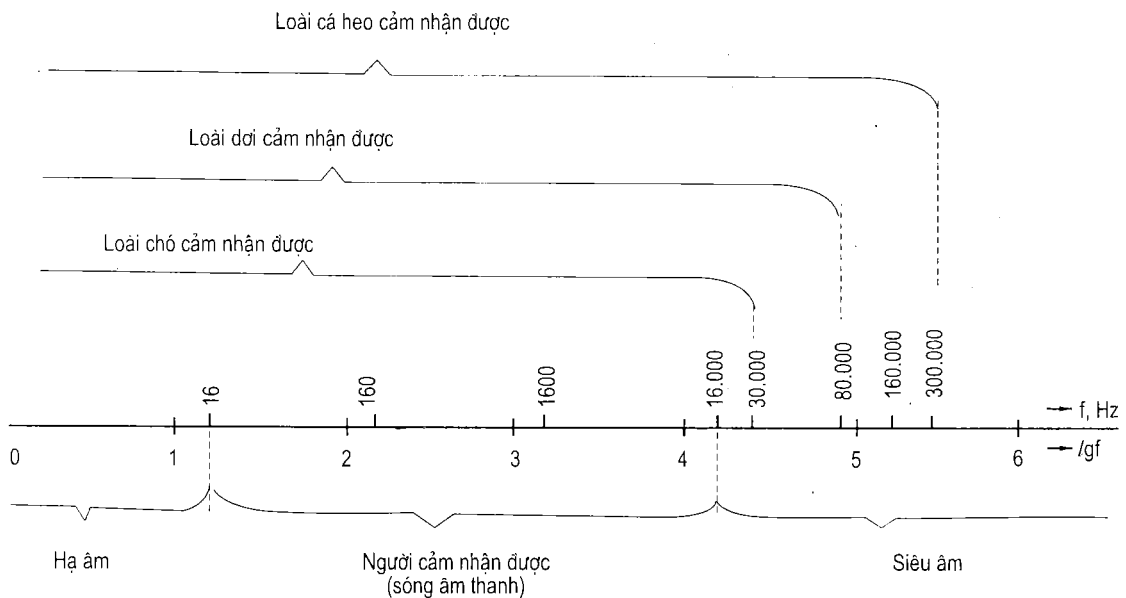
1.2. Sóng âm thanh (thường gọi tắt sóng âm).

Nói chung sóng cơ học có thể phát sinh trên bất kì tần số nào, nhưng nếu nó phát sinh trên những tần số từ 16 Hz đến 20.000 Hz thì tai người có thể cảm nhận được. Vì vậy những sóng cơ học trong phạm vi tần số này được gọi là *sóng âm thanh* hay thường gọi tắt *sóng âm*. Tín hiệu mà sóng này gây ra cho tai người gọi là *âm thanh*.

Do đó, *âm thanh là một tín hiệu mà sóng cơ học có tần số từ 16 Hz đến 20.000 Hz gây ra cho tai người.*

1.2.1. Các khoảng tần số được quan tâm

Như trên đã nói, nếu sóng cơ học phát sinh trong khoảng tần số từ 16 Hz đến 20.000 Hz thì tai người có thể cảm nhận được (hình 1.4), và nó được gọi là *sóng âm*.

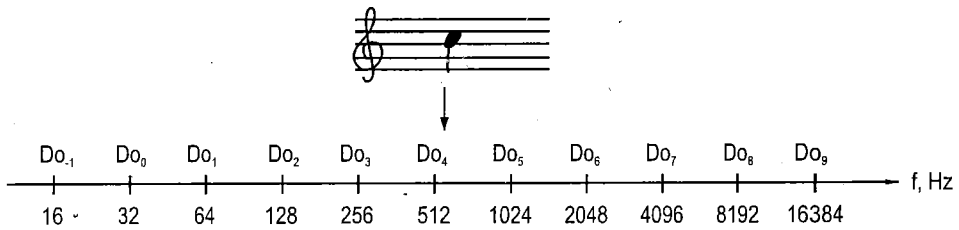


Hình 1.4. Các khoảng tần số do người và vài loài vật khác nhau cảm nhận được

Sóng cơ học phát sinh trên những tần số nhỏ hơn 16 Hz gọi là *hạ âm*, sóng cơ học phát sinh trên những tần số lớn hơn 20.000 Hz gọi là *siêu âm*.

Cũng cần biết rằng loài chó có khả năng cảm nhận những sóng cơ học từ vùng hạ âm đến 30.000 Hz, loài dơi từ vùng hạ âm đến 80.000 Hz và loài cá heo - từ vùng hạ âm đến 300.000 Hz.

Các nhà âm nhạc (nhạc sĩ, nhạc công, v.v...) quan tâm đến tất cả các tần số trong khoảng từ 16 Hz đến 16.000 Hz. Họ chia khoảng này thành 10 khoảng nhỏ, mỗi khoảng nhỏ được gọi là *ốc-ta* (khái niệm "ốc-ta" sẽ được đề cập chi tiết ở mục 3-4 của chương này). Trên hình 1.5, mỗi ốc-ta được giới hạn bởi 2 nốt nhạc Do.



Hình 1.5. Khoảng tần số âm được các nhà âm nhạc quan tâm

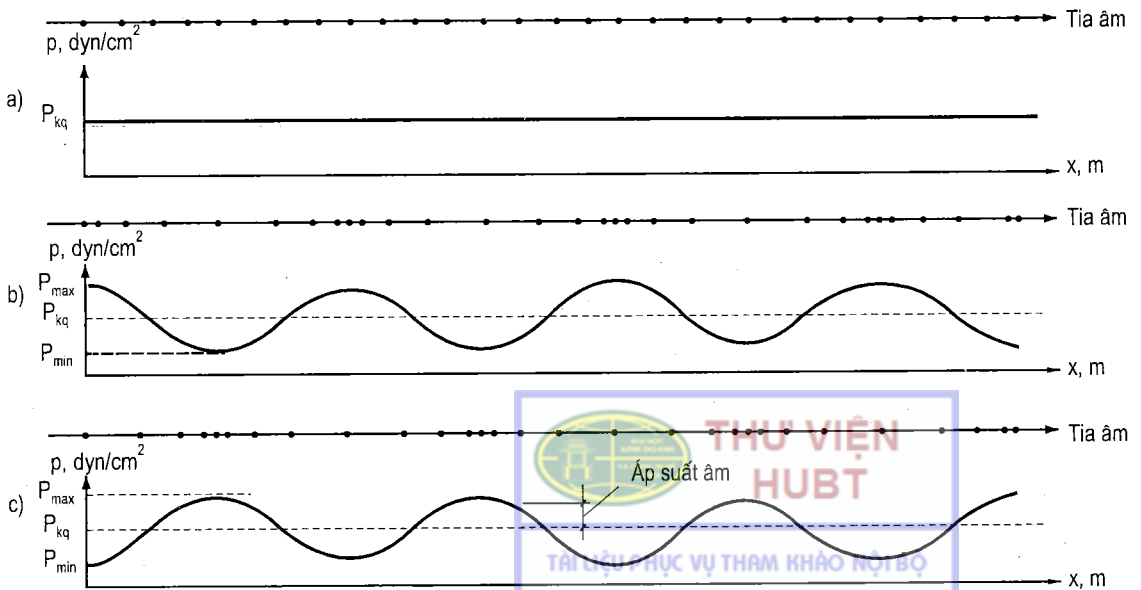
Các nhà xây dựng (kiến trúc sư, kỹ sư xây dựng...) quan tâm đến khoảng tần số từ 125 Hz đến 4000 Hz, đôi khi từ 100 Hz đến 6400 Hz. Họ chia các âm thanh trong khoảng tần số này thành 3 dải:

- Dải âm trầm: f từ 100 đến 400 Hz.
- Dải âm trung: f từ 400 đến 1600 Hz.
- Dải âm cao: f từ 1600 đến 6400 Hz.

Tiếng nói của người nằm trong khoảng tần số từ 100 đến 1.000 Hz: tiếng nói đàn ông từ 100 Hz đến 500 Hz, tiếng nói phụ nữ từ 250 Hz đến 1000 Hz.

1.2.2. Đặc trưng vật lý của sóng âm

- **Áp suất âm:** Xét tia âm 1 trong hình 1.1d. Tại thời điểm chưa có sóng âm các hạt không khí phân bố đều dọc theo tia âm, và áp suất tại bất cứ điểm nào trên tia âm cũng đều bằng áp suất khí quyển (hình 1.6a).



Hình 1.6. Áp suất âm, những đường cong áp suất âm dọc theo một tia âm tại một thời điểm xác định: a) Khi chưa có sóng âm; b) Khi có sóng âm; c) Thời điểm đi liền sau thời điểm b đúng một nửa chu kỳ.

Tại thời điểm có sóng âm, hình thành những vùng áp suất dương (áp suất lớn hơn áp suất khí quyển) và những vùng áp suất âm (áp suất bé hơn áp suất khí quyển), nếu kẻ đường cong áp suất ta được hình 1.6b và 1.6c.

- *Áp suất âm tức thời*: Là hiệu giữa áp suất tại điểm đang xét và tại thời điểm đang xét khi có sóng âm với áp suất khí quyển p_{kq} (hình 1.6c)

- *Áp suất âm hiệu dụng*: Tai người không cảm nhận được áp suất âm tức thời mà chỉ cảm nhận được áp suất âm hiệu dụng, kí hiệu là p_{hd} , được xác định bằng biểu thức sau:

$$p_{hd} = \frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} \sqrt{(p_t - p_{kq})^2} dt = \frac{P_{max}}{\sqrt{2}} \quad (1-3)$$

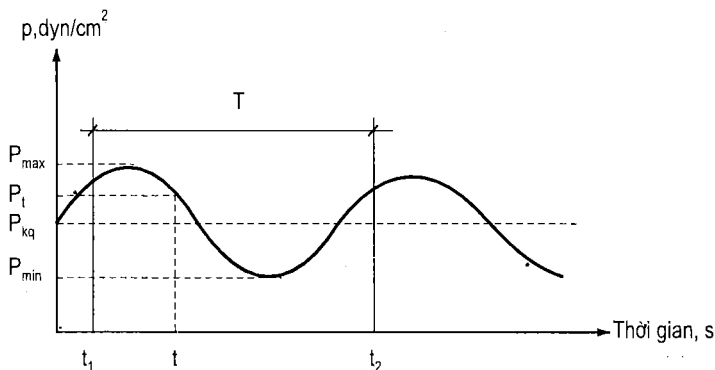
Trong đó:

p_t - áp suất âm tức thời tại thời điểm t ;

p_{kq} - áp suất khí quyển;

T - chu kì sóng âm, s.

t_1 và t_2 - thời điểm đầu và thời điểm cuối của một chu kỳ sóng âm (hình 1.7).



Hình 1.7. Đường cong áp suất âm tại 1 điểm của môi trường theo thời gian

Công thức (1-3) cho thấy: tai người không phân biệt được áp suất là âm (làm cho màng nhĩ chuyển dịch về phía bên ngoài đầu) hay là dương (làm cho màng nhĩ chuyển dịch về phía bên trong đầu) mà chỉ quan tâm đến việc chuyển dịch đó mạnh hay yếu mà thôi.

Từ đây, khi nói đến "áp suất âm" ta hiểu ngay rằng đó là "áp suất âm hiệu dụng" xác định theo công thức (1-3).

Áp suất âm được kí hiệu là p , được tính bằng Pa hoặc bằng dyn/cm^2 ($1 \text{ dyn/cm}^2 = 10^{-1} \text{ Pa}$) hoặc bằng miliba ($1 \text{ miliba} = 10^2 \text{ Pa}$).

Giữa áp suất âm p với tốc độ lan truyền sóng âm C và với tốc độ dao động của hạt vật chất v có liên hệ sau:

$$p = \rho C v$$

(1-4)

Trong đó:

ρ - khối lượng đơn vị của môi trường lan truyền sóng;

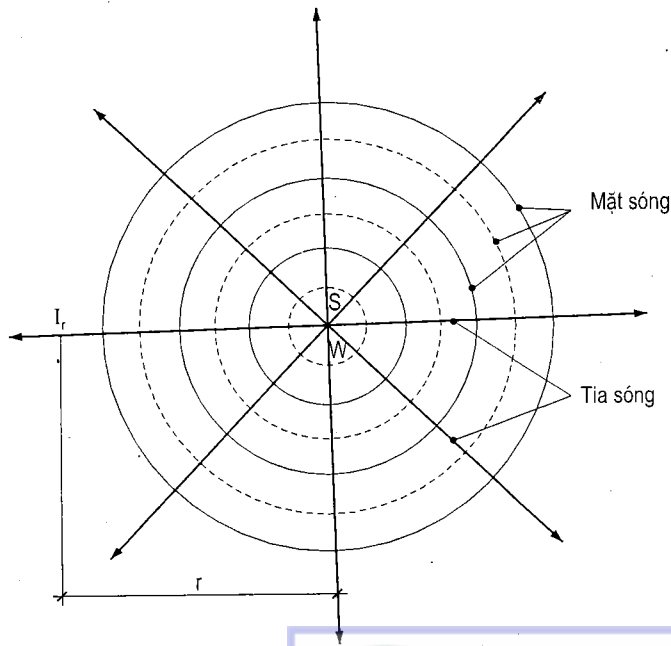
Nếu ρ tính bằng kg/m^3 , C và v tính bằng m/s thì p sẽ có đơn vị là Pa.

Nếu ρ tính bằng g/cm^3 , C và v tính bằng cm/s thì p sẽ có đơn vị là dyn/cm^2 .

Với âm thanh có tần số $f = 1000 \text{ Hz}$ (được gọi là âm chuẩn), tai người chỉ có thể nghe thấy nếu áp suất âm của nó vượt quá $2 \cdot 10^{-4} \text{ dyn/cm}^2$ hay $2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$. Các trị số $p_0 = 2 \cdot 10^{-4} \text{ dyn/cm}^2 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$ gọi là áp suất âm ở ngưỡng nghe của âm thanh chuẩn.

Cũng với âm thanh chuẩn ($f = 1000 \text{ Hz}$), nếu áp suất âm của nó vượt quá 630 dyn/cm^2 hay 63 Pa thì màng nhĩ bị đau. Các trị số $p_d = 630 \text{ dyn/cm}^2 = 63 \text{ Pa}$ gọi là áp suất âm ở ngưỡng đau.

- Công suất âm: Xét một nguồn âm đặt tại S phát ra những sóng âm sao cho những sóng này lan truyền đều theo mọi hướng (hình 1.8).



Hình 1.8. Giải thích những khái niệm công suất âm và cường độ âm

Công suất âm là năng lượng mà sóng âm đưa qua toàn bộ mặt sóng trong một đơn vị thời gian, nó được kí hiệu là W và được tính bằng oát (w).

Cường độ âm: Là năng lượng mà sóng âm đưa qua một đơn vị bề mặt của mặt sóng (tức là bề mặt vuông góc với tia âm) trong một đơn vị thời gian, nó được kí hiệu là I và tính bằng w/cm^2 .

Nếu nguồn âm là nguồn điểm, khí quyển đồng nhất và đẳng hướng và nếu bỏ qua khả năng hấp thụ năng lượng âm của không khí, cường độ âm tại điểm cách nguồn S một khoảng r được xác định như sau:

$$I_r = \frac{W}{4\pi r^2} \quad (1-5)$$

Để thấy rằng giữa cường độ âm I, áp suất âm p và tốc độ dao động của hạt vật chất (ở đây là hạt không khí) v có liên hệ sau:

$$I = pv \quad (1-6)$$

Từ phương trình (1-4) rút ra:

$$v = \frac{p}{\rho C}$$

Do đó:

$$I = pv = p \cdot \frac{p}{\rho C} \Rightarrow I = \frac{p^2}{\rho C} \quad (1-7)$$

Biểu thức (1-7) cho thấy: Với một môi trường cho trước (ρ và C cho trước) cường độ âm tỉ lệ thuận với bình phương áp suất âm, hệ số tỉ lệ là $\frac{1}{\rho C}$.

Trên đây, ngưỡng nghe và ngưỡng đau đều đã được thể hiện qua áp suất âm, chúng có thể được thể hiện qua cường độ âm.

Áp dụng công thức (1-7) cho trường hợp môi trường lan truyền âm là không khí ($\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$ và $C = 343 \text{ m/s}$) ta có: $I = 0,00243p^2$

Nếu thể hiện ngưỡng nghe và ngưỡng đau bằng cường độ âm, ta có:

- Cường độ âm ở ngưỡng nghe bằng:

$$I_0 = 0,00243 p_0^2 = 0,00243 \times (2 \times 10^{-5})^2 \approx 10^{-12} \text{ w/m}^2 = 10^{-16} \text{ w/cm}^2$$

- Cường độ âm ở ngưỡng đau bằng:

$$I_d = 0,00243 p_d^2 = 0,00243 \times 63^2 \approx 10 \text{ w/m}^2 = 10^{-3} \text{ w/cm}^2$$

Từ ngưỡng nghe đến ngưỡng đau, cường độ âm biến thiên từ 10^{-16} đến 10^{-3} w/cm^2 , vậy cường độ âm ở ngưỡng đau lớn hơn cường độ âm ở ngưỡng nghe một số lần là:

$$\frac{I_d}{I_0} = \frac{10^{-3}}{10^{-16}} = 10^{13} \text{ lần}$$

Con số này quá lớn, không thuận tiện trong tính toán, đồng thời không cần thiết cho độ nhạy của tai người.

Nếu thể hiện ngưỡng nghe và ngưỡng đau qua áp suất âm, ta có:

$$\frac{p_d^2}{p_o^2} = \frac{(63)^2}{(2 \times 10^{-5})^2} = 10^{13} \text{ lần}$$

ta có kết quả đúng như trên.

10^{13} - đó là một con số khổng lồ, không thuận tiện cho tính toán cho các phép đo âm thanh. Mặt khác, theo kết quả nghiên cứu của triết gia người Đức Fechner G.T, thì cảm giác của con người, trong đó có cảm giác về âm thanh, không tỉ lệ thuận trực tiếp với cường độ của yếu tố kích thích mà tỉ lệ thuận với lô-ga-rit của những cường độ ấy.

- *Mức âm vật lý của âm thanh:*

Với hai lí do trên đây, các nhà khoa học đã đề xuất khái niệm "mức âm vật lý" của âm thanh, nó được kí hiệu là L, tính bằng đê-xi-ben, viết tắt dB, và được xác định như sau:

$$L = 10 \lg \frac{I}{I_o} \text{ dB} \quad (1-8)$$

Trong đó:

I - cường độ của âm thanh xem xét, w/cm^2 ;

I_o - cường độ của âm thanh ở ngưỡng nghe, với âm thanh chuẩn ($f = 1000 \text{ Hz}$)

$$I_o = 10^{-16} w/cm^2.$$

Thí dụ 1.1. Xác định mức âm vật lý của âm thanh chuẩn có cường độ $I = 10^{-10} w/cm^2$.

Giải:

$$L = 10 \lg \frac{I}{I_o} = 10 \lg \frac{10^{-10}}{10^{-16}} = 60 \text{ dB}$$

Thí dụ 1.2. Xác định mức âm vật lý của âm thanh chuẩn ở ngưỡng đau.

Giải: Với âm thanh chuẩn, mức âm vật lý ở ngưỡng đau là $10^{-3} w/cm^2$.

$$L = 10 \lg \frac{I_d}{I_o} = 10 \lg \frac{10^{-3}}{10^{-16}} = 130 \text{ dB}$$

Những thí dụ trên cho thấy, với khái niệm "mức âm vật lý", những phép tính và phép đo về âm thanh đã "gọn nhẹ" đi bao nhiêu lần.

Mức âm vật lý của âm thanh có thể được thể hiện qua cường độ âm (công thức 1.8), cũng có thể được thể hiện qua áp suất âm. Tính đến công thức (1-7), có thể viết:

$$L = 10 \lg \frac{I}{I_o} = 10 \lg \frac{p^2 / \rho C}{p_o^2 / \rho C} \Rightarrow L = 20 \lg \frac{p}{p_o} \quad (1-9)$$

Đơn vị của L vẫn là dB.

Trong đó:

p - áp suất của âm thanh đang xét;

p_0 - áp suất của âm thanh ở ngưỡng nghe, với âm chuẩn $p_0 = 2 \times 10^{-4}$ dyn/cm² hay bằng 2×10^{-5} Pa.

Thí dụ 1.3: Hãy xác định mức âm vật lý của một âm thanh có áp suất $p = 4$ dyn/cm².

Giải:

$$L = 20 \lg \frac{p}{p_0} = 20 \lg \frac{4}{2 \times 10^{-4}} = 86 \text{ dB}$$

Thí dụ 1.4: Xác định mức âm vật lý của âm thanh ở ngưỡng nghe.

$$L = 20 \lg \frac{p_d}{p_0} = 20 \lg \frac{630}{2 \times 10^{-4}} = 130 \text{ dB}$$

- *Mức âm vật lý hiệu chỉnh của âm thanh:*

Tai người nhạy cảm khác nhau với những âm thanh có tần số khác nhau, nhạy cảm nhất với những âm thanh trung, ít nhạy cảm hơn với những âm thanh trầm và cao. Trong khi đó máy đo mức âm vật lý của âm thanh lại không "biết" đến đặc điểm nói trên của tai người. Để số đo trên máy phù hợp hơn với độ nhạy cảm của tai người, cần phải hiệu chỉnh.

Có 4 phương thức hiệu chỉnh là A, B, C, D, mỗi phương thức phù hợp với một vùng mức âm vật lý xác định, tuy nhiên để đơn giản hóa bài toán mà sai số vẫn có thể chấp nhận được, đặc biệt là trong lĩnh vực kiến trúc - xây dựng người ta chỉ dùng phương thức A; mức âm vật lý sau khi hiệu chỉnh theo phương thức A có đơn vị tính là dB(A). Giá trị của số hiệu chỉnh A được cho trong bảng 1-2.

Bảng 1-2. Giá trị của số hiệu chỉnh A

Tần số, Hz	125	250	500	1000	2000	4000
Số hiệu chỉnh A, dB	-16,1	-8,6	-3,2	0	+1,2	+1

Thí dụ 1.5: Xác định mức âm vật lý hiệu chỉnh của một âm thanh có tần số $f = 500$ Hz và có mức âm vật lý tính theo công thức (1-8) là 80 dB.

Giải:

Theo bảng 1-2, với tần số 500 Hz giá trị của số hiệu chỉnh là - 3,2 dB. Vậy, mức âm vật lý hiệu chỉnh của âm thanh này là: $80 - 3,2 = 76,8$ dB(A)

1.3. Những dạng khác nhau của âm thanh và tiếng ồn

Trong những tài liệu viết về âm thanh có nhiều cách phân biệt âm thanh với tiếng ồn nhưng cách phân biệt sau đây là đơn giản và đầy đủ nhất:

Âm thanh là bất kì tín hiệu nào mà sóng âm gây ra cho tai người. Tiếng ồn là những tín hiệu âm thanh có hại hoặc vô ích đối với tai người.

Tuy nhiên phải thấy rằng trong nhiều trường hợp sự phân biệt này cũng chỉ là tương đối.

Âm thanh gồm những loại sau đây:

- **Âm đơn:** Đó là âm thanh phát ra trên một tần số duy nhất, bởi một âm thoa chẳng hạn, vì vậy để thể hiện nó trên đồ thị chỉ cần một cặp thông số là đủ, hoặc (I, f) , hoặc (L, f) , hoặc (p, f) (hình 1.9a).

- **Âm phức hợp:** Đó là âm thanh phát ra trên rất nhiều tần số khác nhau cùng một lúc, vì vậy để thể hiện nó trên đồ thị, một cặp thông số là không đủ, mà phải cần đến khái niệm *phổ âm*.

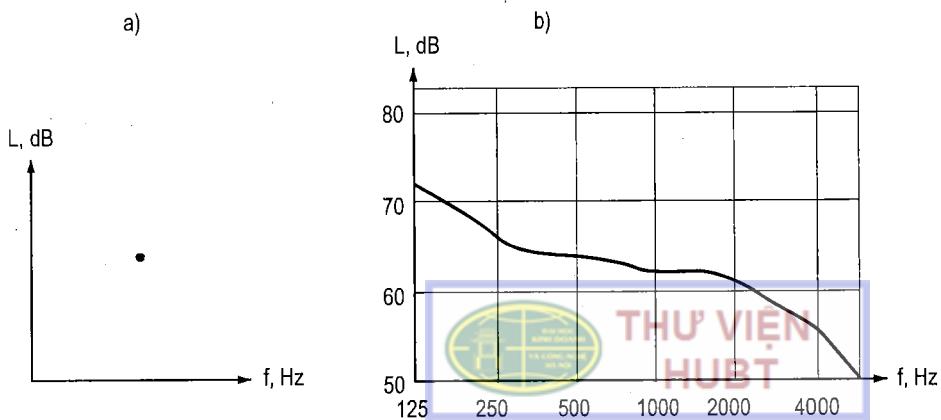
Phổ của một âm phức hợp có thể là một bảng hay một đường cong biểu diễn mối liên quan giữa các cặp thông số I và f , L và f , hoặc p và f của âm thanh này.

Bảng 1.3 dưới đây là phổ của tiếng ồn giao thông ghi được trên một trong những đường phố của Pari (thủ đô nước Pháp).

Bảng 1.3. Phổ của tiếng ồn giao thông
(ghi được trên một trong những đường phố của Pari:)

Tần số, Hz	125	250	500	1000	2000	4000
Mức âm vật lý, dB(A)	71	70	66	65	63	57

Trên hình 1.9 thể hiện phổ của một âm đơn (hình 1.9a) và của một âm phức hợp (1.9b).

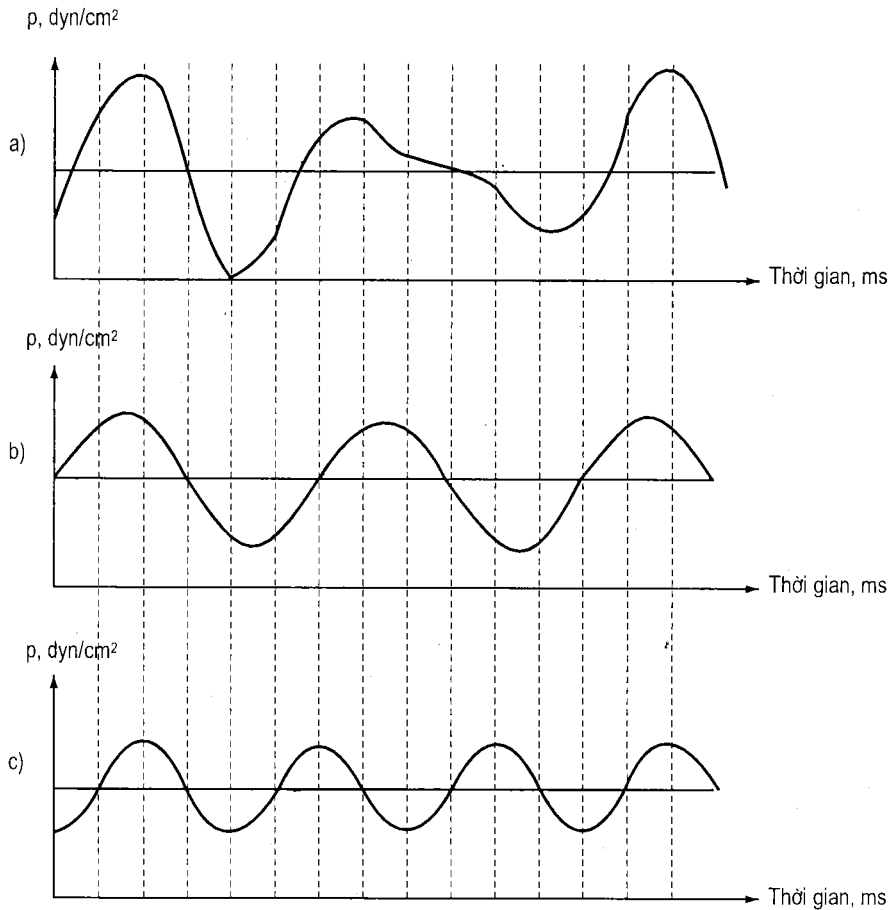


Hình 1.9. Phổ âm: a) Của một âm đơn; b) Của một âm phức hợp

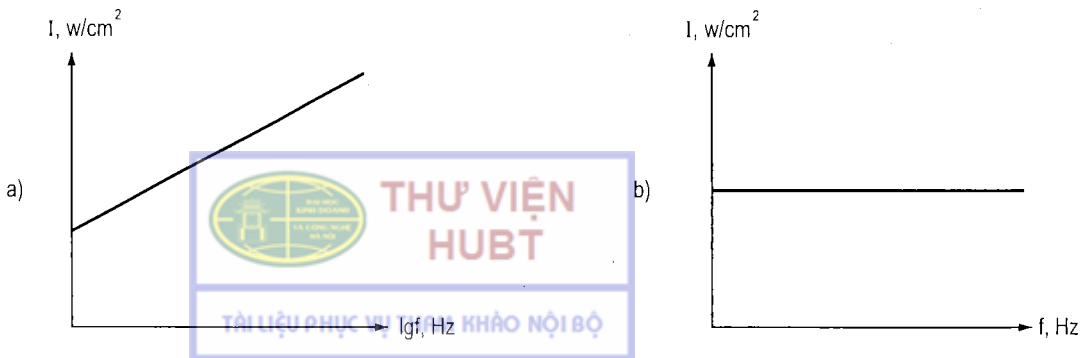
Bất kỳ âm phức hợp nào cũng đều có thể phân tích ra thành ít hay nhiều âm đơn, tùy theo mức độ phức tạp của chúng. Trên hình 1.10 giới thiệu sóng của một âm phức hợp (a) được phân tích thành 2 âm đơn (b và c).

- **Âm hồng:** Là một dạng đặc biệt của âm phức hợp, trong đó quan hệ giữa I và lgf (hoặc giữa L và lgf , hoặc giữa p và lgf) là quan hệ tuyến tính (hình 1.11a).

- **Âm trắng:** Là một dạng đặc biệt khác của âm phức hợp, trong đó cường độ âm I (hoặc mức âm vật lý L , hoặc áp suất âm p) không thay đổi theo tần số f (hình 1.11b).



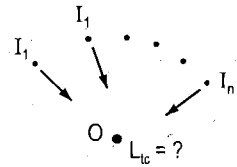
Hình 1.10. Phân tích âm phức hợp (a) thành 2 âm đơn (b và c).



Hình 1.11. Phổ của âm hồng (a) và âm trắng (b)

1.4. Cộng và trừ mức âm vật lý từ nhiều nguồn ồn khác nhau

Bài toán đặt ra như sau: có n nguồn ồn, cường độ âm của mỗi nguồn là I_1, I_2, \dots, I_n , sóng âm của chúng đến điểm O gần như đồng thời (hình 1.12). Hãy xác định mức âm vật lý tổng cộng do n nguồn ồn đó gây ra tại O .



Hình 1.12. Xác định mức âm vật lý tổng cộng tại điểm O .

Bài toán được giải lần lượt như sau:

- Cường độ âm tổng cộng I_{tc} tại O :

$$I_{tc} = I_1 + I_2 + \dots + I_n = \sum_{i=1}^n I_i \quad (1-10)$$

- Mức âm vật lý tổng cộng L_{tc} tại O :

$$L_{tc} = 10 \lg \frac{I_{tc}}{I_0} = 10 \lg \frac{\sum_{i=1}^n I_i}{I_0} \quad (1-11)$$

Đã biết $I_0 = 10^{-16} \text{ w/cm}^2$.

Nếu biết trước các I_i của các nguồn ồn thì mức âm tổng cộng L_{tc} tại O sẽ được xác định dễ dàng bằng công thức (1-11). Nhưng trong thực tế, các máy đo âm thanh không ghi cường độ âm I mà chỉ ghi mức âm vật lý L . Vậy, nếu biết trước các L_i thì L_{tc} sẽ được xác định như thế nào?

Từ biểu thức (1-8) rút ra:

$$\frac{I}{I_0} = 10^{0,1L} \Rightarrow \frac{\sum_{i=1}^n I_i}{I_0} = \sum_{i=1}^n 10^{0,1L_i} \quad (1-12)$$

Từ (1-11) và (1-12) rút ra:

$$L_{tc} = 10 \lg \sum_{i=1}^n 10^{0,1L_i} \quad (1-13)$$

Thí dụ 1.6. Có 6 tiếng ồn dội đến điểm O từ 6 nguồn khác nhau gần như đồng thời. Tại điểm O mức âm vật lý của từng nguồn ồn riêng lẻ là: $L_1 = 70 \text{ dB(A)}$; $L_2 = 66 \text{ dB(A)}$; $L_3 = 75 \text{ dB(A)}$; $L_4 = 80 \text{ dB(A)}$; $L_5 = 78 \text{ dB(A)}$ và $L_6 = 73 \text{ dB(A)}$. Hãy tính mức âm vật lý tổng cộng tại O do 6 nguồn ồn trên gây ra.

Giải. Theo công thức (1-13) ta có:

$$L_{tc} = 10 \lg (10^7 + 10^{6,6} + 10^{7,5} + 10^8 + 10^{7,8} + 10^{7,3}) = 83,6 \text{ dB(A)}$$

Trường hợp đặc biệt, nếu n tiếng ồn từ n nguồn ồn có cùng một mức âm vật lý (nghĩa là $L_1 = L_2 = \dots = L_n = L$):

$$L_{tc} = 10\lg(10^{0,1L} \times n) = 10\lg 10^{0,1L} + 10\lg n$$

Mà $10\lg 10^{0,1L}$ chính là L , vậy:

$$L_{tc} = L + 10\lg n$$

Thí dụ 1.7. Hãy xác định mức âm vật lý tổng cộng của tiếng ồn do 2 máy liên kế đang hoạt động (mỗi máy có $L = 65$ dB(A) gây ra.

Giải:

$$L_{tc} = 65 + 10\lg 2 = 68 \text{ dB(A)}$$

Trong thực tế, nếu mức âm vật lý của một trong 2 tiếng ồn dôi đồng thời đến một điểm nào đấy lớn hơn mức âm vật lý của tiếng ồn kia trên 10 dB thì tiếng ồn thứ nhất hoàn toàn át tiếng ồn thứ hai.

Thí dụ 1.8. Xác định một cách thực tế mức âm vật lý tổng cộng do 2 tiếng ồn 100 dB(A) và 88 dB(A) gây ra.

Giải:

$100 - 88 = 12 \text{ dB(A)} > 10 \text{ dB}$, vậy tiếng ồn thứ nhất hoàn toàn át tiếng ồn thứ hai, mức âm vật lý tổng cộng sẽ là 100 dB(A).

1.5. Mức âm vật lý tổng hợp của một âm phức hợp

Trong thực tế chống ồn cho nhà cửa, không hiếm khi gặp những trường hợp phải biết mức âm vật lý của một âm phức hợp.

Mức âm vật lý của một âm phức hợp được xác định bằng công thức sau:

$$L_{th} = 10\lg \sum_f 10^{0,1L_f} \quad (1-15)$$

Trong đó:

L_{th} - mức âm vật lý tổng hợp của âm phức hợp;

L_f - mức âm vật lý của âm đơn ở tần số f có mặt trong âm phức hợp.

Thí dụ 1.9. Xác định mức âm vật lý tổng hợp của âm phức hợp ghi được trên một trong những đường phố của Pari (xem bảng 1.3).

Giải:

Theo công thức (1-15) ta có:

$$L_{th} = 10\lg(10^{7,1} + 10^7 + 10^{6,6} + 10^{6,5} + 10^{5,7}) = 75,08 \text{ dB(A)}$$

§2. NGUỒN ÂM. LAN TRUYỀN SÓNG ÂM TRONG KHÔNG KHÍ. TRUYỀN SÓNG ÂM QUA KẾT CẤU NGĂN CÁCH. PHẢN XẠ VÀ HẤP THỤ SÓNG ÂM

2.1. Nguồn âm

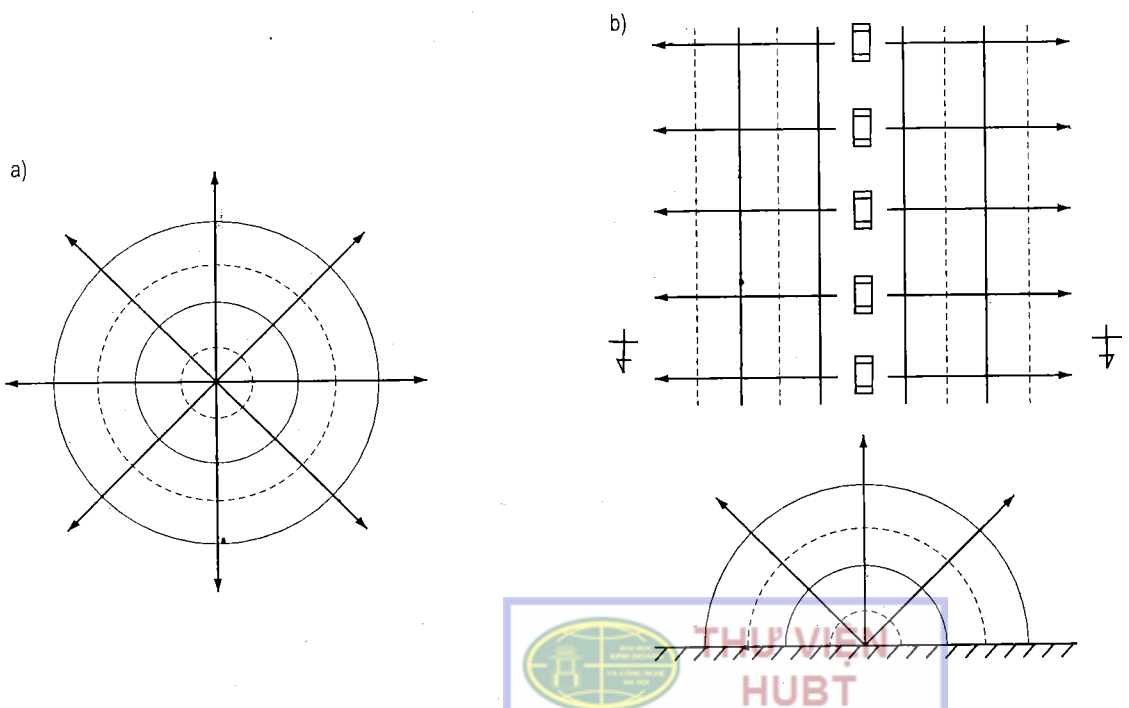
Nguồn âm là bất kì vật thể nào phát ra sóng âm: người đang nói, loa đang phát thanh, máy đang chạy, lá rì rào trước gió, v.v...

Có 2 dạng nguồn âm: nguồn điểm và nguồn đường.

- *Nguồn điểm* là những nguồn mà kích thước của nó rất nhỏ so với khoảng cách từ nguồn đến tai người nghe: người đang nói, loa đang phát thanh, cụm nhà máy cơ khí đối với người đứng cách nó cỡ trăm mét trở lên, ô tô đang chạy, v.v...

Nguồn điểm có thể là cố định (người đang nói, máy đang chạy...) hay di động (ô tô, tàu hỏa đang chạy, máy bay đang bay, v.v...)

Trong khí quyển đồng nhất và đẳng hướng nguồn điểm phát ra những sóng âm hình cầu (hình 1.13a).



Hình 1.13. Sóng cầu phát ra bởi một nguồn điểm trong bầu khí quyển được giả định là đồng nhất và đẳng hướng (a) và sóng trụ tròn phát ra bởi một nguồn đường trong bầu khí quyển được giả định là đồng nhất và đẳng hướng (b).

- *Nguồn đường* là tập hợp của nhiều nguồn điểm xếp thành đường thẳng: một dãy dài ô tô đang chạy, một dãy máy đang hoạt động...

Trong khí quyển đồng nhất và đẳng hướng nguồn đường phát ra những sóng âm hình trụ tròn (hình 1.13b).

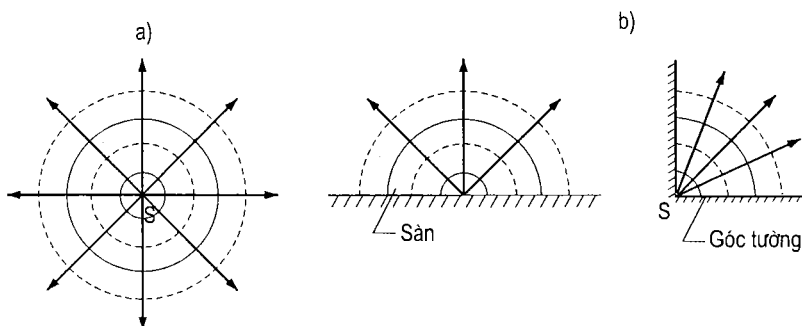
Từ một khoảng cách nào đó đủ lớn, dù là sóng cầu hay sóng trụ tròn cũng đều có thể được xem là sóng phẳng (mặt sóng là những mặt phẳng và tia sóng là những tia song song vuông góc với những mặt phẳng này), khi đó thay vì sóng cầu hay sóng trụ tròn ta có sóng phẳng.

Trong thực tế, khí quyển hầu như không bao giờ đồng nhất và đẳng hướng: gió và nhiệt độ làm cho hai tính chất này mất đi, trong trường hợp này, với nguồn điểm, mặt sóng không còn là cầu nữa và với nguồn đường mặt sóng không còn là trụ tròn nữa mà méo mó đi.

2.2. Lan truyền sóng âm trong không khí

Có 2 dạng lan truyền sóng âm trong không khí: Truyền âm toàn hướng và truyền âm định hướng.

Truyền âm toàn hướng xảy ra khi khí quyển thoáng về mọi phía (hình 1.14a). Truyền âm định hướng xảy ra khi khí quyển bị giới hạn bởi những vật cản nào đó (hình 1.14b).



Hình 1.14. Hai dạng lan truyền sóng âm:

a) Lan truyền âm toàn hướng; b) Lan truyền âm định hướng

2.2.1. Truyền âm toàn hướng

Xét một nguồn điểm phát ra những sóng âm có công suất W và sóng âm được lan truyền đi dưới dạng toàn hướng (hình 1.14a). Nếu không kể đến khả năng hấp thụ năng lượng âm của không khí thì cường độ âm tại điểm cách nguồn một khoảng r sẽ bằng:

$$I_r = \frac{W}{4\pi r^2}$$

Nếu W tính bằng oát, r bằng cm thì I_r sẽ tính bằng w/cm^2 .

Mức âm vật lý của âm thanh tại điểm cách nguồn một khoảng r bằng:

$$L_r = 10 \lg \frac{I_r}{I_0} \Rightarrow L_r = 10 \lg \frac{W}{4\pi r^2 I_0}$$

Tại điểm cách nguồn ồn một khoảng $R = 2r$, cường độ âm bằng:

$$I_R = \frac{W}{4\pi R^2} = \frac{W}{4\pi(2r)^2} = \frac{W}{4\pi r^2 \times 4} = \frac{I_r}{4}$$

Biểu thức trên cho thấy: nếu khoảng cách từ điểm xem xét đến nguồn âm gấp đôi thì cường độ âm tại điểm xem xét giảm 4 lần.

Tại điểm cách nguồn âm một khoảng $R = 2r$ mức âm vật lý của âm thanh bằng:

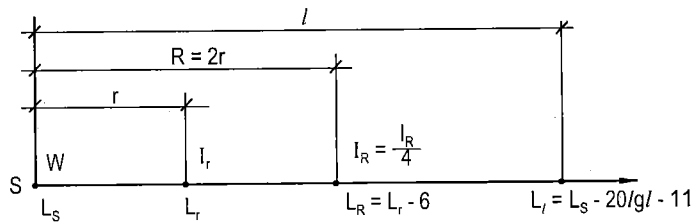
$$L_R = 10 \lg \frac{I_R}{I_0} = 10 \lg \frac{I_r}{4I_0} = 10 \lg \frac{I_r}{I_0} - 10 \lg 4$$

mà $10 \lg \frac{I_r}{I_0}$ chính là bằng L_r , và $10 \lg 4 = 6$, vậy:

$$L_R = L_r - 6 \text{ (dB)}$$

Kết quả tính trên cho thấy:

Với nguồn điểm, nếu khí quyển đồng nhất và đẳng hướng, truyền âm toàn hướng và bỏ qua sự hấp thụ sóng âm của không khí thì khi khoảng cách từ điểm xét đến nguồn âm tăng gấp đôi, mức âm vật lý tại điểm xem xét sẽ giảm đi 6 dB (hình 1.15).



Hình 1.15. Xác định mức âm vật lý của âm thanh tại điểm cách nguồn âm một khoảng nào đó trong trường hợp truyền âm toàn hướng

Nói chung, để xác định mức âm vật lý của âm thanh tại điểm cách nguồn một khoảng l bất kỳ trong trường hợp truyền âm toàn hướng, có thể dùng công thức đơn giản hóa sau đây:

$$L_l = L_s - 20 \lg l - 11 \quad (1-16)$$

Trong đó:

- L_l - mức âm vật lý của âm thanh ở một điểm cách nguồn âm một khoảng l , dB;
- L_s - mức âm vật lý của nguồn âm, được xác định như sau:

$$L_s = 10 \lg \frac{W}{W_0} \quad (1-17)$$

Trong đó:

W - công suất của nguồn âm, w;

$W_0 = 10^{-12}$ w (1pico-oát) - công suất tham chiếu;

l - khoảng cách từ điểm xem xét tới nguồn âm, m.

Thí dụ 1.10. Xác định mức âm vật lý của âm thanh tại điểm cách nguồn âm 9 m, nguồn âm là nguồn điểm có công suất $W = 3,16 \times 10^{-4}$ w (khí quyển đồng nhất và đẳng hướng, bỏ qua khả năng hấp thụ sóng âm của không khí, truyền âm là toàn hướng).

Giải:

Theo công thức (1-17):

$$L_s = 10 \lg \frac{W}{W_0} = 10 \lg \frac{3,16 \times 10^{-4}}{10^{-12}} = 85 \text{ dB}$$

Theo công thức (1-16):

$$L_r = 85 - 20 \lg 9 - 11 = 54,9 \text{ (dB)}$$

2.2.2. Truyền âm định hướng

Trong truyền âm định hướng (nguồn âm vẫn là nguồn điểm), mức âm vật lý của âm thanh tại điểm cách nguồn một khoảng l được xác định như sau:

$$L_r = L_s - 20 \lg l - 11 + G \quad (1-18)$$

Trong đó: G - chỉ số định hướng, giá trị của nó được xác định theo bảng 1.4.

Bảng 1.4. Giá trị của chỉ số định hướng G

Vị trí của nguồn âm	G , dB
Trong không khí thoáng về mọi phía, ở giữa phòng	0
Trên một bức tường nào đó của phòng	3
Tại góc giữa hai bức tường của phòng	6
Tại góc giữa 3 bề mặt (hai tường và 1 trần, hoặc 2 tường và 1 sàn)	9

Thí dụ 1.11. Xác định mức âm vật lý của âm thanh tại điểm cách nguồn âm 9 m; nguồn là nguồn điểm có mức âm vật lý $L_s = 85$ dB, đặt giữa mặt tường trong phòng (thời gian âm vang giả định bằng 0).

Giải:

Theo bảng 1.4 có $G = 3$ (dB).

Theo công thức (1-18):

$$L_9 = 85 - 20\lg 9 - 11 + 3 = 57,9 \text{ (dB)}.$$

2.3. Xuyên qua, phản xạ và hấp thụ sóng âm bởi kết cấu ngăn cách

Khi sóng âm đập tới bề mặt của kết cấu ngăn cách, nó truyền đến bề mặt này một năng lượng âm xác định, gọi là *năng lượng tới*.

Một phần của năng lượng tới này được bề mặt phản xạ lại, gọi là *năng lượng phản xạ*. Tỷ số giữa năng lượng phản xạ và năng lượng tới gọi là *hệ số phản xạ* của bề mặt, kí hiệu là β và được xác định như sau:

$$\beta = \frac{E_r}{E_t}$$

Trong đó:

E_r - năng lượng âm phản xạ;

E_t - năng lượng âm tới.

β - biến thiên từ 0 đến 1 tùy theo tính chất của vật liệu làm nên kết cấu và tùy theo tần số của sóng âm.

Một phần khác của năng lượng tới vào trong nội bộ kết cấu để rồi hoặc là khuếch tán ở trong đấy hoặc là xuyên qua kết cấu để bức xạ ra phòng bên kia (hình 1.16).

Tổng của năng lượng khuếch tán trong nội bộ kết cấu và năng lượng xuyên qua kết cấu gọi là *năng lượng bị hấp thụ*. Tỷ số giữa năng lượng bị hấp thụ với năng lượng tới được gọi là *hệ số hút âm* của bề mặt kết cấu, nó được kí hiệu là α và được xác định như sau:

$$\alpha = \frac{E_h}{E_t} \quad (1-20)$$

Trong đó:

E_h - năng lượng bị hấp thụ;

E_t - năng lượng âm tới;

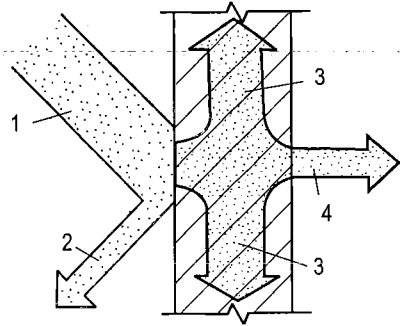
$$E_h = E_t - E_r$$

α biến thiên từ 0 đến 1 tùy theo tính chất của vật liệu làm nên kết cấu.

Rõ ràng là:

$$\alpha + \beta = 1 \quad (1-21)$$

Giá trị của α rất quan trọng cho việc thiết kế trang âm cho các loại phòng, được cho trong phụ lục 1.



Hình 1.16. Xuyên qua, phản xạ và hấp thụ sóng âm của kết cấu:

1. Năng lượng tới; 2. Năng lượng phản xạ; 3. Năng lượng khuếch tán trong nội bộ kết cấu; 4. Năng lượng xuyên qua; 3+4. Năng lượng bị hấp thụ.



Tỉ số giữa năng lượng xuyên qua kết cấu với năng lượng tới gọi là *hệ số xuyên âm* của kết cấu, kí hiệu là τ và xác định như sau:

$$\tau = \frac{E_x}{E_t} \quad (1-22)$$

Trong đó: E_x - năng lượng xuyên qua kết cấu.

2.4. Vật liệu và cấu kiện hút âm

Có 4 dạng vật liệu và cấu kiện hút âm:

- Vật liệu có lỗ rỗng để trần.
- Tấm mỏng dao động,
- Vật liệu có lỗ rỗng được bảo vệ bằng tấm có đục lỗ.
- Lọ cộng hưởng.

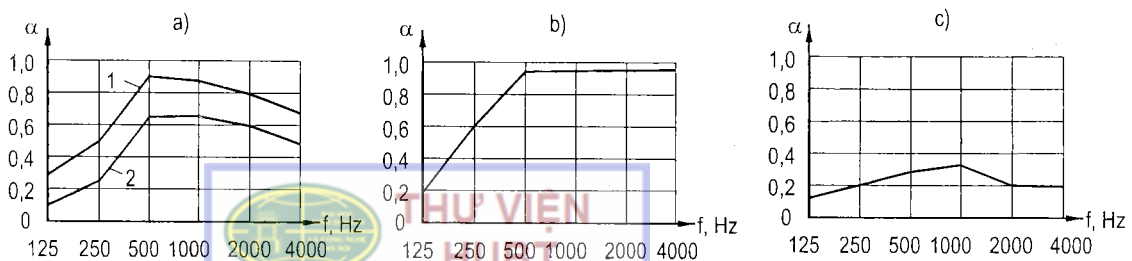
2.4.1. Vật liệu có lỗ rỗng

Bên trong dạng vật liệu này có nhiều lỗ rỗng, thành của những lỗ rỗng ấy là vật liệu (len, sợi amiăng, dăm bào, sợi thực vật, bông khoáng v.v...). Năng lượng âm tới khi đã lọt vào các lỗ rỗng sẽ làm cho các hạt không khí trong đó dao động. Về phần mình, dao động này của các hạt không khí gây ra ma sát giữa chúng và thành của lỗ rỗng. Bằng cách này một phần năng lượng âm biến thành năng lượng nhiệt và khuếch tán trong lòng khối vật liệu. Tần số của âm tới càng cao, tần số dao động của các hạt không khí trong lỗ rỗng càng lớn, ma sát càng nhiều; càng có nhiều năng lượng âm biến thành năng lượng nhiệt và do đó khả năng hấp thụ sóng âm của vật liệu sẽ càng lớn.

Chính vì vậy mà vật liệu dạng này hút âm mạnh đối với những sóng âm có tần số cao và hút âm yếu đối với những sóng âm có tần số thấp.

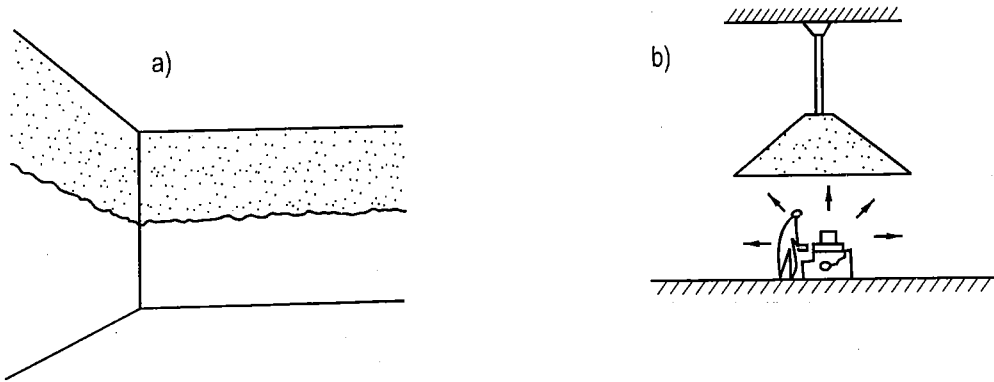
Mẫu vật liệu dạng này càng dày càng hút âm mạnh.

Hình 1.17 thể hiện giá trị của hệ số hút âm của một vài loại vật liệu có lỗ rỗng thường gặp.



Hình 1.17. Giá trị của hệ số hút âm α phụ thuộc vào tần số sóng âm của một vài loại vật liệu có lỗ rỗng để trần: a) Tấm ép bằng dăm bào dài: 1. dày 50 mm, 2. dày 25 mm; b) Tấm ép bằng bông khoáng (bông thủy tinh, bông si-lic, bông đá, ...) dày 10 ÷ 20 cm; c) Tấm ép bằng sợi thực vật dày ≤ 12 mm.

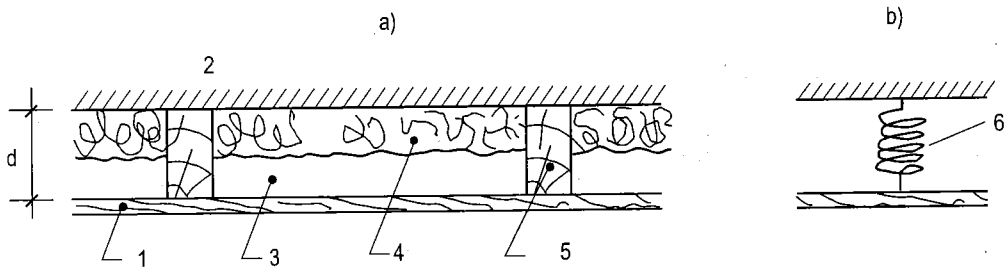
Những cấu kiện hút âm bằng vật liệu có lỗ rỗng để trần có thể là dạng bề mặt hoặc dạng khối (hình 1.18).



Hình 1.18. Cấu kiện hút âm dạng bề mặt (a) và dạng khối (b)

2.4.2. Tấm mỏng dao động

Xét một tấm mỏng đàn hồi đặt cách mặt tường vài cm (hình 1.19). Lớp không khí trong khoảng giữa mặt tường và tấm mỏng sẽ ứng xử với sóng âm tới như một chiếc lò xo, một đầu gắn vào mặt tường và đầu kia gắn vào tấm mỏng.



Hình 1.19. Cấu kiện hút âm dưới dạng tấm mỏng dao động: a) Cấu tạo; b) Sơ đồ hút âm:

1. Tấm mỏng dao động (tấm gỗ, tấm phibro ximăng, ...);
2. Tường;
3. Lớp không khí;
4. Tấm bằng vật liệu rỗng;
5. Khung bằng những thanh gỗ hoặc nhựa hoặc kim loại;
6. Lò xo.

Mỗi hệ thống "tấm mỏng - khung", tùy theo cấu trúc và cách cố định, có "tần số bản thân" riêng, tần số này có thể được xác định như sau:

$$f_{bt} = \frac{600}{\sqrt{G \cdot d}} \quad (1-23)$$

Trong đó:

- f_{bt} - tần số bản thân của hệ thống, Hz;
- G - khối lượng bề mặt của tấm mỏng, kg/m^2 ;
- d - khoảng cách giữa mặt tường và tấm mỏng, cm.
- 600 với đơn vị Hz ($\text{kg} \cdot \text{cm} : \text{m}^2$)^{0,5} - hằng số thực nghiệm.

Thí dụ 1.12. Tấm mỏng bằng gỗ có $\rho = 600 \text{ kg/m}^3$ dày 1,2 cm đặt cách tường một khoảng $d = 5 \text{ cm}$. Xác định tần số bản thân của hệ thống "tấm mỏng - khung" này.

Giải:

Với $\rho = 600 \text{ kg/m}^3$ tấm mỏng có:

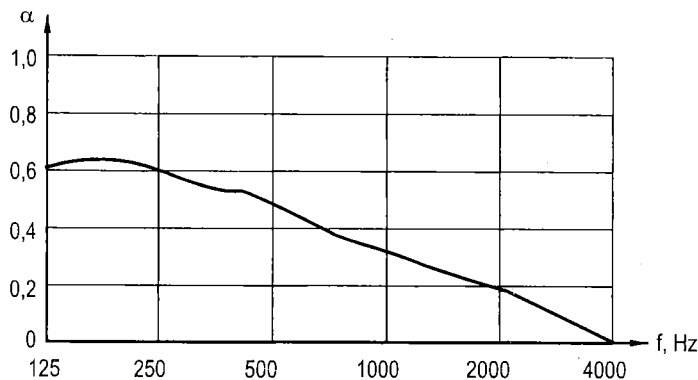
$$G = \frac{600}{100} \times 1,2 = 7,2 \text{ kg/m}^2$$

$$f_{bt} = \frac{600}{\sqrt{7,2 \times 5}} = 100 \text{ Hz}$$

Nếu tần số của sóng âm tới bằng tần số bản thân của hệ "tấm mỏng - khung" thì xảy ra hiện tượng gọi là "cộng hưởng", vì vậy tần số bản thân của hệ còn được gọi là *tần số cộng hưởng*, kí hiệu là f_{ch} . Khi xảy ra hiện tượng cộng hưởng năng lượng âm tới phải mất đi một phần đáng kể để làm cho tấm mỏng dao động, nghĩa là nó bị tấm mỏng hấp thụ nhiều.

Tính toán trong thí dụ 1-12 cho thấy: tần số cộng hưởng của hệ "tấm mỏng - khung" thường là rất bé, vì vậy dạng cấu kiện này chỉ hút mạnh những sóng âm tần số thấp và hút rất yếu những sóng âm tần số cao, nó được sử dụng để hút những sóng âm từ 50 đến 300Hz.

Hình 1.20 giới thiệu đường cong đặc trưng của dạng cấu kiện này.



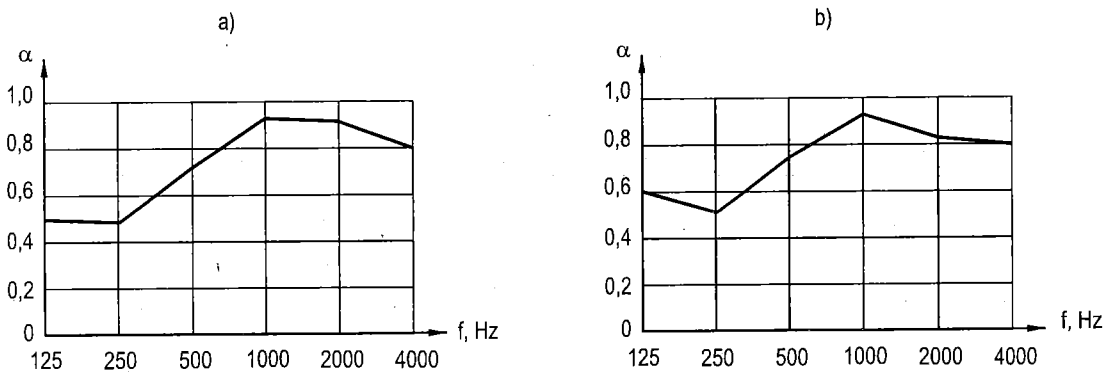
Hình 1.20. Đường cong " $\alpha - f$ " của một tấm mỏng dao động (tấm amiăng ximăng $1,2 \times 1,2 \text{ m}$ dày 5 mm đặt cách tường $10 \div 20 \text{ cm}$).

2.4.3. Vật liệu có lỗ rỗng được bảo vệ bởi tấm mỏng có đục lỗ

Như vừa nói trên đây, vật liệu có lỗ rỗng để trần hút mạnh sóng âm tần số cao và hút yếu sóng âm tần số thấp, ngược lại, tấm mỏng dao động hút mạnh sóng âm tần số thấp và hút yếu sóng âm tần số cao. Vậy mà trong thực tế nhiều khi người thiết kế trang âm cần một thứ cấu kiện vừa hút mạnh sóng âm tần số cao lại vừa hút mạnh sóng âm tần số

thấp. Nhu cầu này của người thiết kế làm ra đòi cấu kiện "vật liệu có lỗ rỗng được bảo vệ bằng tấm mỏng có đục lỗ". Trong loại cấu kiện này, vật liệu có lỗ rỗng được bảo vệ hút mạnh sóng âm tần số cao, còn tấm mỏng bảo vệ thì hút mạnh sóng âm tần số thấp, như vậy toàn bộ cấu kiện sẽ hút mạnh sóng âm cả tần số cao lẫn tần số thấp.

Hình 1.21 giới thiệu hai đường cong " $\alpha - f$ " của hai cấu kiện hút âm loại này.



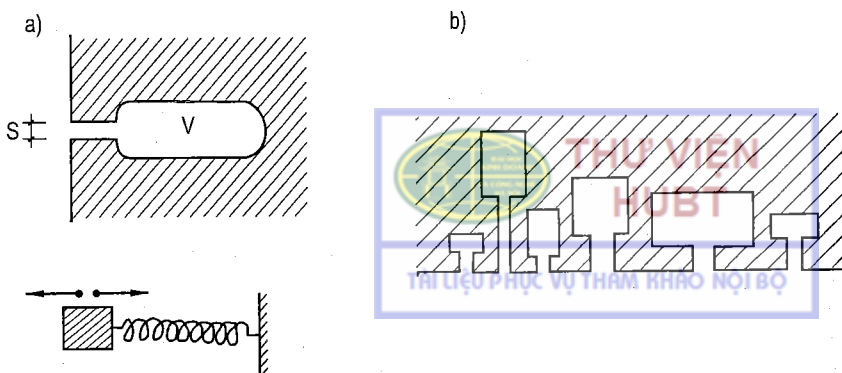
Hình 1.21. Đường cong " $\alpha - f$ " của hai cấu kiện hút âm vật liệu rỗng được bảo vệ bằng tấm mỏng có đục lỗ: a) Tấm mỏng khoáng có $\rho = 15 \div 40 \text{ kg/m}^3$, dày 25 mm đặt sau tấm thạch cao có đục lỗ, lớp không khí dày 20 cm, đường kính các lỗ 4 mm; b) Như trường hợp a, tấm mỏng khoáng đặt sau tấm tôn có đục lỗ 10%

Như vậy, về mặt hút âm cấu kiện dạng vật liệu rỗng đặt sau tấm mỏng dao động nằm giữa hai dạng vật liệu và cấu kiện vừa nói đến trên kia.

Về mặt cấu tạo, những cấu kiện hút âm này có thể bố trí theo dạng phẳng hay dạng khối (hình 1.18).

2.4.4. Lọ cộng hưởng

Những dạng chính của lọ cộng hưởng dựa trên nguyên tắc "lọ cộng hưởng Helmholtz". Khi sóng âm lọt vào bên trong cái lọ đó nó sẽ làm cho khối không khí bên trong lọ dao động như một chiếc lò xo (hình 1.22).



Hình 1.22. Lọ cộng hưởng: a) Tương đương giữa lọ cộng hưởng dạng Helmholtz với hệ "lò xo - khối lượng"; b) Lọ cộng hưởng bố trí thành nhóm.

Dao động này làm cho khối không khí cọ xát vào thành lọ, xuất hiện hiện tượng ma sát làm cho thành lọ nóng lên, và đến đây nhiệt năng do ma sát gây ra sẽ khuếch tán vào trong vật liệu của kết cấu. Như vậy là với lọ cộng hưởng năng lượng của sóng âm tới đã biến thành cơ năng và nhiệt năng khuếch tán vào trong vật liệu. Người ta nói: lọ cộng hưởng đã hút âm.

Lọ cộng hưởng sẽ hút mạnh nhất sóng âm nào có tần số bằng tần số bản thân của khối không khí trong lọ, khi đó ta có hiện tượng cộng hưởng. Khi xảy ra hiện tượng cộng hưởng, phần năng lượng sóng âm bị biến thành cơ năng và nhiệt năng là lớn nhất, tức là lọ cộng hưởng hút âm mạnh nhất.

Tần số bản thân của lọ cộng hưởng có thể được xác định bằng công thức gần đúng:

$$f_{bt} \approx 5500 \frac{S}{\sqrt{V.v}} \quad (1-24)$$

Trong đó:

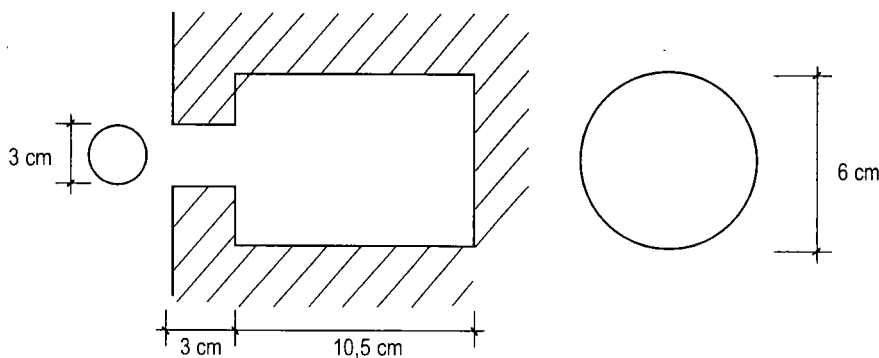
f_{bt} - tần số bản thân của lọ cộng hưởng, Hz;

S - diện tích tiết diện phần cổ, cm^2 ;

v - thể tích phần cổ, cm^3 ;

V - thể tích phần bụng, cm^3 .

Thí dụ 1.13. Một lọ cộng hưởng có hình dáng và kích thước như trên hình 1.23. Xác định tần số bản thân f_{bt} của nó.



Hình 1.23. Hình dáng và kích thước của lọ cộng hưởng

Giải:

Diện tích tiết diện phần cổ: $S = \pi \times 1,5^2 = 2,25\pi$

Thể tích phần cổ: $v = 2,25\pi \times 3 = 6,75\pi$

Thể tích phần bụng: $V = \pi \times 3^2 \times 10,5 = 94,5\pi$.

Theo công thức (1-24) có:

$$f_{bt} = 5500 \frac{2,25\pi}{\sqrt{6,75\pi \times 94,5\pi}} = 490 \text{ Hz}$$

Lượng hút âm của mỗi lọ cộng hưởng khi xảy ra hiện tượng cộng hưởng được xác định theo công thức sau:

$$A_o = \frac{C^2}{2\pi f_{bt}^2} \quad (1-25)$$

Trong đó:

A_o - lượng hút âm của lọ cộng hưởng, m^2 ;

C - tốc độ lan truyền sóng âm trong không khí, thường lấy 343 m/s;

f_{bt} - tần số bản thân của lọ cộng hưởng (xác định theo công thức (1-24), Hz).

Thí dụ 1.14. Xác định lượng hút âm của lọ cộng hưởng đã xét trong thí dụ 1.13 tại tần số cộng hưởng của nó:

Giải: Theo công thức (1-25) có:

$$A_o = \frac{343^2}{2\pi \cdot 490^2} = 0,078 \text{ m}^2$$

Muốn làm tăng khả năng hút âm của lọ cộng hưởng với những sóng âm có tần số khác tần số cộng hưởng ta nhồi các loại bông khoáng vào phần bụng của nó hoặc bố trí trên cùng một kết cấu nhiều lọ cộng hưởng có kích thước khác nhau. Lọ cộng hưởng có thể bố trí từng cái riêng lẻ hay bố trí thành từng nhóm (hình 1.22b).

Tuy nhiên, lọ cộng hưởng cần phải được sử dụng hết sức cẩn thận: nếu chúng có nhiều hình dáng và kích thước khác nhau (càng nhiều càng tốt) thì chất lượng âm trong phòng sẽ tốt, nếu chúng chỉ có một kiểu (một hình dáng và một kích thước) thì chỉ có một tần số âm duy nhất bị hút mạnh còn các tần số khác không bị ảnh hưởng gì, điều này gây ra hiện tượng "méo âm", nghĩa là phổ của âm thanh mà người nghe thu nhận được không giống với phổ của âm thanh do nguồn âm phát ra.

2.5. Hấp thụ sóng âm bởi các yếu tố khác

Ngoài 4 dạng vật liệu và cấu kiện hút âm vừa nói đến trên đây, còn phải kể đến khả năng hút âm của ghế, của thính giả và của không khí trong phòng.

2.5.1. Hấp thụ sóng âm của ghế và khán thính giả

Ghế trong phòng biểu diễn có thể bằng gỗ cứng, bằng kim loại, nhưng thông thường nhất là bằng vật liệu xốp bọc vải, bằng đệm, đệm càng dày khả năng hấp thụ sóng âm của ghế càng lớn.

Với khán, thính giả khả năng hấp thụ sóng âm phụ thuộc vào tầm vóc và vào cách ăn mặc của họ.

Khả năng hấp thụ sóng âm của ghế và của khán thính giả có thể được tính bằng hai cách:

Cách 1. Theo cách này, xem ghế và người như những cấu kiện dạng khối, lượng hút âm của mỗi "cấu kiện" được xác định bằng *diện tích hút âm tương đương*, kí hiệu là a , đơn vị là m^2 . Giá trị của diện tích hút âm tương đương này được cho trong phụ lục 1, mục 9.1. Thí dụ, trong phụ lục 1 mục 9.1 ta thấy ghi như sau: thính giả với tần số âm 500 Hz có $a = 0,4 m^2$.

Điều đó có nghĩa là: mỗi khán thính giả hấp thụ một lượng năng lượng âm tương đương với lượng năng lượng âm do một bề mặt có diện tích $0,4 m^2$ và có hệ số hút âm $\alpha = 1$ hấp thụ được.

Cách 2. Theo cách này người ta xem bề mặt, trên đó bố trí ghế và người như những bề mặt hút âm dạng phẳng thông thường, hệ số hút âm α của những bề mặt loại này được cho trong phụ lục 1, mục 9.2

Trong nhiều trường hợp người ta tìm cách tạo ra những chiếc ghế sao cho lượng hút âm α của ghế khi không có người ngồi bằng đúng lượng hút âm của ghế khi có người ngồi. Làm như thế là để cố giữ cho chất lượng âm của phòng không thay đổi khi số lượng khán thính giả trong phòng thay đổi.

2.5.2. Hấp thụ sóng âm của không khí

Những công thức (1-5), (1-16) và (1-18) cho phép xác định cường độ âm và mức âm vật lý của âm thanh tại một điểm cách nguồn âm một khoảng nào đó. Để rút ra những công thức này người ta giả định rằng khả năng hấp thụ sóng âm của không khí bằng 0. Trong thực tế, trong quá trình thiết kế trang âm cho các loại phòng, nhất là những phòng có kích thước lớn ta không thể làm như vậy, đặc biệt là đối với những sóng âm tần số cao.

Nói chung, khả năng hút âm của không khí phụ thuộc vào 3 yếu tố: nhiệt độ, độ ẩm của không khí và tần số âm.

Ở nhiệt độ bình thường ($t = 20^\circ C$) sự phụ thuộc của khả năng hút âm của không khí vào độ ẩm của nó và vào tần số của âm thanh được thể hiện trong bảng 1.5.

Bảng 1.5. Độ suy giảm của sóng âm do không khí gây ra, dB/100 m.

Tần số âm, Hz	Độ ẩm không khí, %					
	40	50	60	70	80	90
500	0,19	0,18	0,16	0,16	0,15	0,14
1000	0,46	0,42	0,40	0,38	0,36	0,34
2000	1,13	1,04	0,98	0,92	0,88	0,84
4000	3,12	2,65	2,44	2,31	2,22	2,14
6000	6,15	4,97	4,31	3,97	3,77	3,63

Thí dụ 1.15. Nguồn âm điểm phát ra một âm thanh ở tần số 4000 Hz với mức âm vật lý $L_s = 85$ dB. Âm thanh này lan truyền toàn hướng trong không khí có nhiệt độ $t = 20^\circ\text{C}$ và độ ẩm $\varphi = 60\%$. Hãy xác định mức âm vật lý của âm thanh này tại điểm cách nguồn một khoảng $l = 50$ m.

Giải:

- Mức âm vật lý của âm thanh tại điểm cách nguồn âm $l = 50$ m không kể đến sự hút âm của không khí (công thức 1.16).

$$L_t = L_s - 20\lg l - 11 = 85 - 20\lg 50 - 11 = 40 \text{ dB}$$

- Mức âm vật lý của âm thanh tại điểm nói trên có kể đến sự hút âm của không khí (xem bảng 1.5).

$$L'_t = 40 - \frac{2,44}{100} \times 50 = 38 \text{ dB}$$

§3. ĐẶC TRƯNG SINH LÝ CỦA ÂM THANH

3.1. Mức âm sinh lý

Âm thanh có thể gây ra cho tai người một cảm giác "mạnh" hay "yếu", điều này phụ thuộc đồng thời vào hai yếu tố: tần số và mức âm vật lý của nó.

3.1.1. Mức âm sinh lý của âm đơn

Sau khi nghiên cứu trên rất nhiều người về sự cảm nhận của họ đối với những âm đơn, hai nhà khoa học Fletcher và Munson đã xác lập vào năm 1930 những "đường cong đồng mức âm" hay còn gọi *đường cong đồng cảm giác âm* hay còn gọi "*đường cong đồng mức âm sinh lý*". Sau đó hai nhà khoa học Robinson và Dadson đã xác lập những đường cong về cơ bản giống như những đường cong nói trên nhưng có chỉnh sửa một đôi chỗ. Những đường cong này hiện nay đã được quốc tế công nhận và dùng làm tiêu chuẩn (hình 1.24).

Mức âm sinh lý của âm thanh kí hiệu là N và tính bằng đơn vị "phôn".

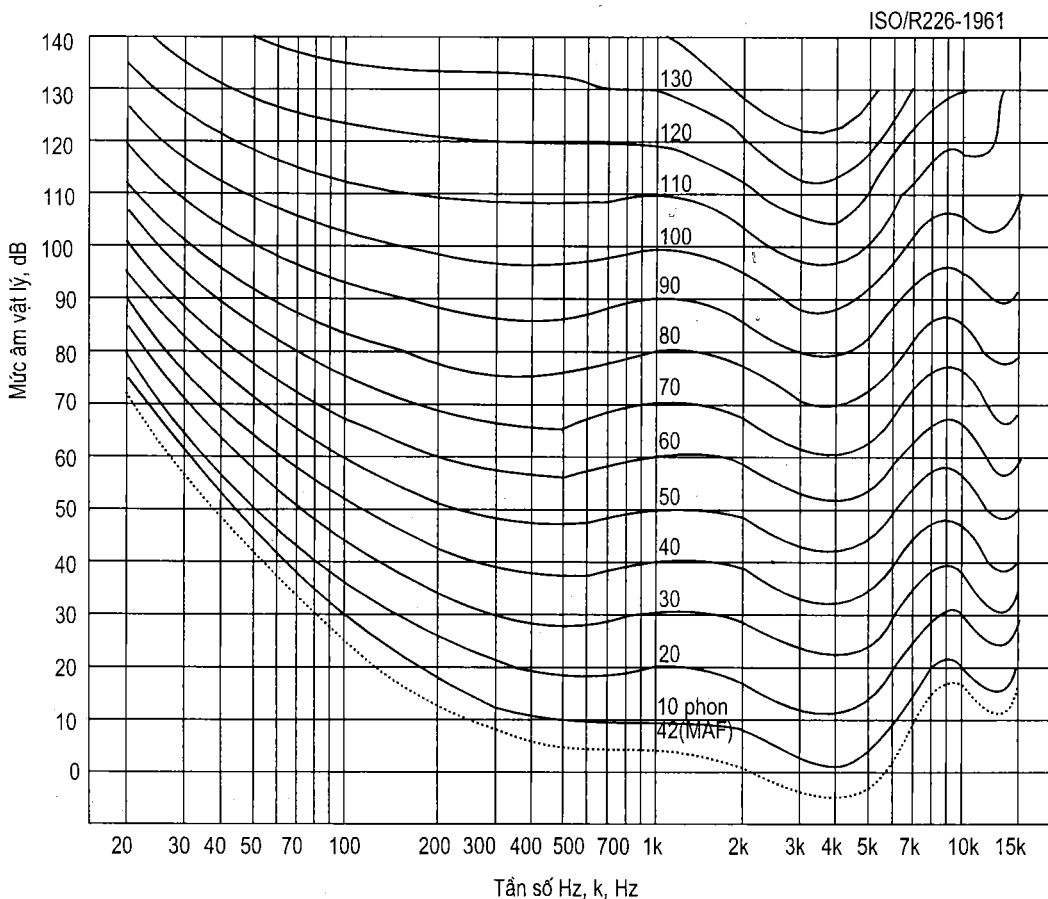
Trên hình 1.24, trục hoành chỉ tần số âm, Hz, trục tung chỉ mức âm vật lý, dB. Mỗi đường cong nối tất cả những điểm $(L - f)$ gây ra cùng một cảm giác to nhỏ của âm thanh cho tai người.

Hình 1.24 cho thấy:

- Với tất cả những âm thanh có tần số 1000 Hz (âm chuẩn), nếu mức âm vật lý bằng n dB thì mức âm sinh lý cũng bằng n phôn;

- Với những âm thanh có tần số khác 1000 Hz, quan hệ giữa mức âm vật lý (dB) với mức âm sinh lý (phôn) phụ thuộc vào đặc điểm của tai người. Về phần mình, tai người

nhạy cảm nhất với những âm thanh trong dải tần số từ 2000 đến 5000 Hz, còn với âm thanh ở những tần số khác nó ít nhạy cảm hơn. Thí dụ: âm thanh có tần số $f = 2000$ Hz và có mức âm vật lý $L = 90$ dB thì có mức âm sinh lý $N = 100$ phôn, còn âm thanh có tần số $f = 50$ Hz mặc dù mức âm vật lý vẫn là 90 dB nhưng mức âm sinh lý chỉ có 73 phôn.



Hình 1.24. Biểu đồ "đường cong đồng mức âm sinh lý" của âm thanh

3.1.2. Mức âm sinh lý của âm phức hợp

Nếu việc xác định mức âm sinh lý của một âm đơn là khá đơn giản (chỉ cần biểu đồ trên hình 1.24) thì việc xác định đại lượng này cho một âm phức hợp phức tạp hơn nhiều. Hiện nay có ít nhất 6 phương pháp để giải bài toán này, trong đó phương pháp Stevens là thuận tiện hơn cả. Nội dung của phương pháp này như sau:

- Đầu tiên đo mức âm vật lý của âm thanh tại mỗi dải trong 8 dải ốc-ta mà tần số trung tâm của mỗi dải là 62,5; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000 và 8000 Hz.
- Xác định chỉ số đồng mức xon S cho mỗi dải ốc-ta nhờ hình 1.25.
- Xác định chỉ số đồng mức xon tổng cộng của âm thanh bằng công thức:

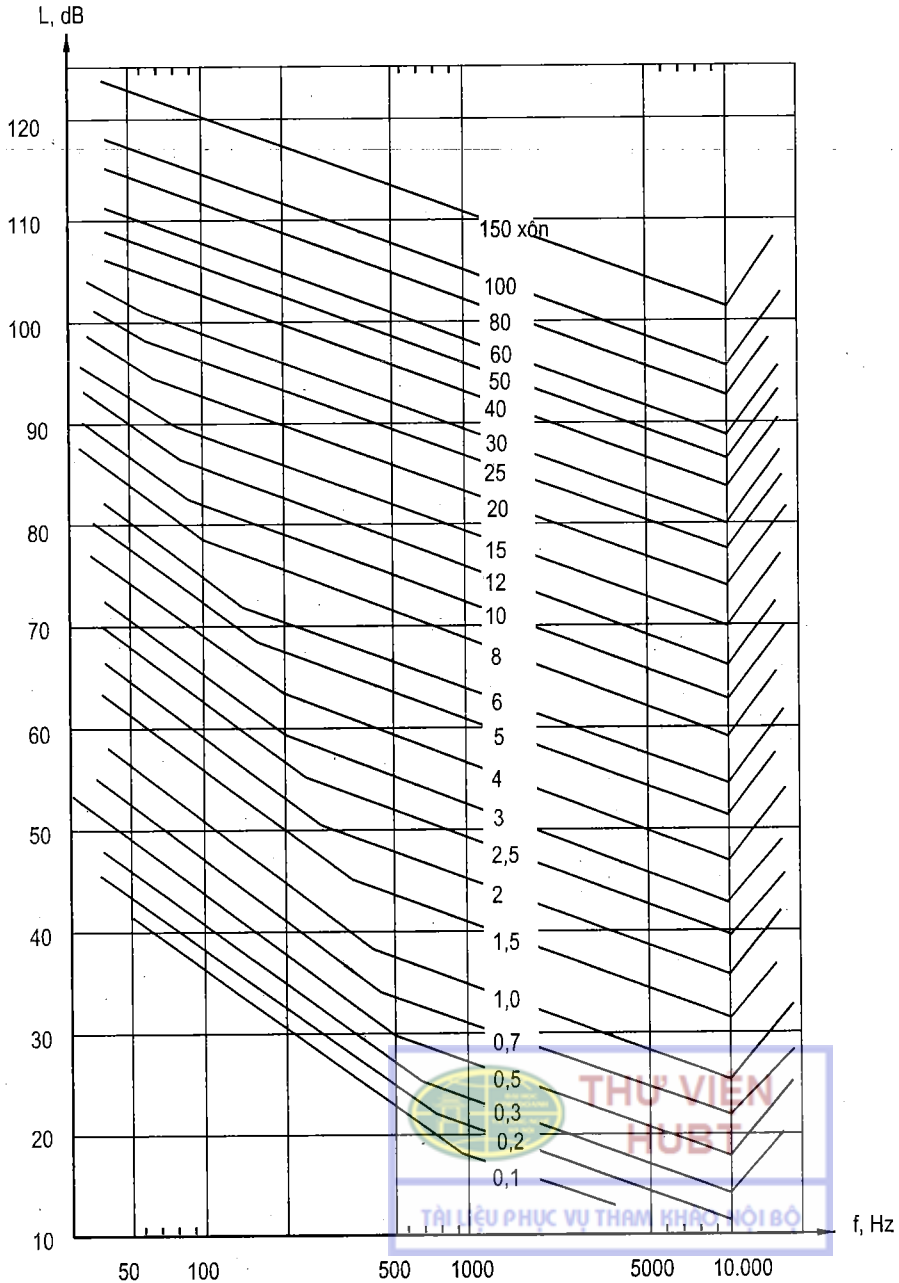
$$S_i = S_m + 0,3 (S_7 - S_m) \quad (1-26)$$

Trong đó:

S_i - chỉ số đồng mức xon tổng cộng của âm thanh, xon;

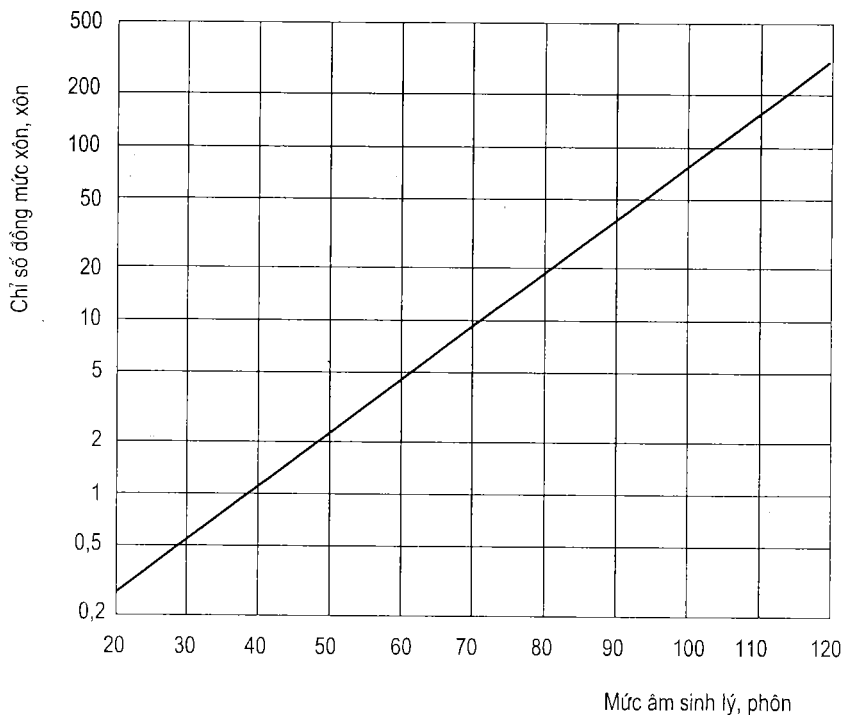
S_m - chỉ số đồng mức xon lớn nhất trong 8 chỉ số của 8 dải ớc-ta;

S_7 - tổng của chỉ số đồng mức xon của 7 dải ớc-ta còn lại.



Hình 1.25. Xác định chỉ số đồng mức xon S cho mỗi dải ớc-ta

- Cuối cùng xác định mức âm sinh lý của âm thanh nhờ biểu đồ hình 1.26.



Hình 1.26. Biểu đồ để xác định mức âm sinh lý của âm phức hợp

Thí dụ 1.16. Xác định mức âm sinh lý của một âm phức hợp mà phổ âm của nó được thể hiện trong bảng sau:

Tần số trung tâm của các dải ốc-ta, Hz	62,5	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Mức âm vật lý, dB	25	40	52	60	63	55	54	53

Giải:

- Xác định chỉ số đồng mức xon cho mỗi dải ốc-ta nhờ hình 1.25 (kết quả ghi trong bảng sau):

Tần số trung tâm của các dải ốc-ta, Hz	62,5	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Chỉ số đồng mức xon, xon	0	0,4	2,0	4,1	5,8	4,1	4,6	5,2

- Chỉ số đồng mức xon lớn nhất: $S_m = 5,8$ xon.

- Tổng chỉ số đồng mức xon của 7 dải ốc-ta còn lại:

$$S_7 = 0 + 0,4 + 2,0 + 4,1 + 4,1 + 4,6 + 5,2 = 20,4$$

- Chỉ số đồng mức xon tổng cộng của âm phức hợp:

$$S_i = 5,8 + 0,3 (20,4 - 5,8) = 10,2 \text{ xon.}$$

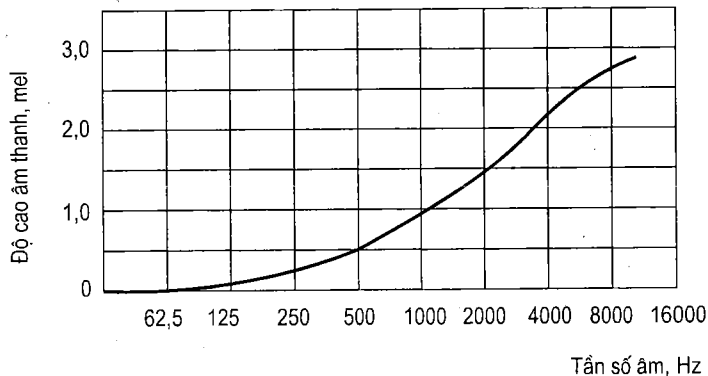
- Mức âm sinh lý của âm thanh: Trên hình 1.26, tương ứng với chỉ số đồng xôn $S_1 = 10,2$ xôn ta tìm được mức âm sinh lý $N = 73$ phôn.

3.2. Độ cao âm thanh

Tai người có đặc tính cảm nhận một âm thanh là cao nếu tần số của nó lớn, là thấp nếu tần số của nó nhỏ.

Độ cao này gọi là *độ cao âm thanh*, nó được tính bằng một đơn vị chủ quan gọi là *mel*. Nếu số lượng mel tăng gấp đôi thì độ cao âm thanh cũng tăng gấp đôi.

Quan hệ giữa số lượng mel và tần số âm không tuyến tính mà tuân theo đường cong trên hình 1.27.



Hình 1.27. Đường cong quan hệ giữa độ cao âm thanh tính bằng mel với tần số của nó tính bằng Hz cho những âm đơn có mức âm vật lý 60 dB.

Với những âm phức hợp độ cao âm thanh không chỉ phụ thuộc vào tần số chủ đạo (là tần số mà ở đấy tập trung nhiều năng lượng âm nhất) của nó - nếu nó có một tần số như thế - mà còn phụ thuộc vào tất cả các âm đơn thành phần của nó và phụ thuộc vào phổ của nó nữa.

3.3. Âm sắc

Âm sắc của một âm phức hợp là một dấu hiệu cho phép ta phân biệt tiếng nói của người đàn ông với tiếng nói của người phụ nữ, tiếng đàn violon với tiếng sáo trúc, v.v..., mặc dù chúng có cùng một độ cao âm thanh.

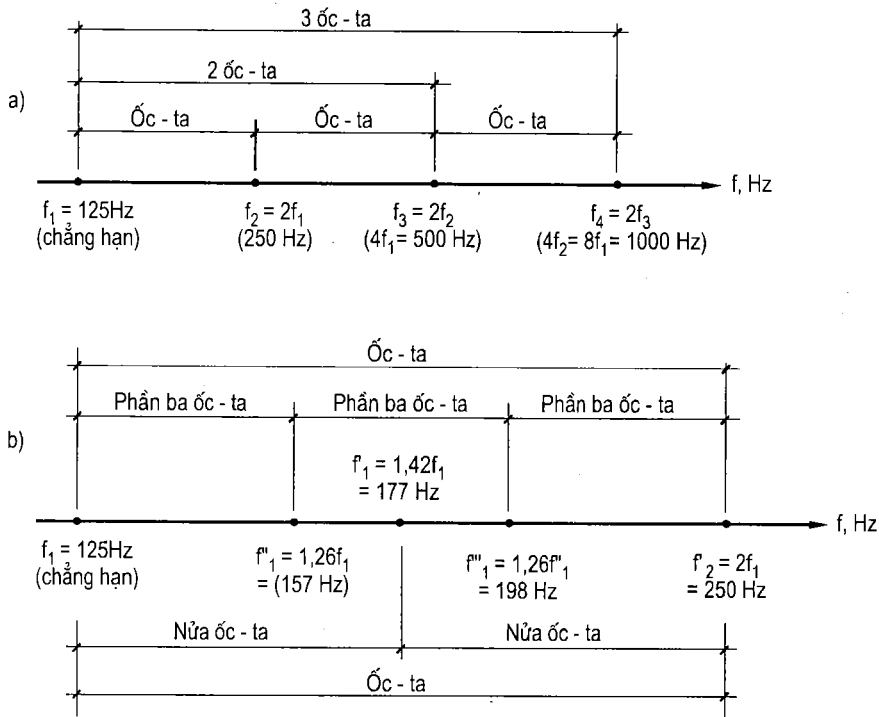
Âm sắc của một âm phức hợp được xác định đồng thời bởi 3 yếu tố sau:

- Số lượng các âm đơn thành phần trong âm phức hợp;
- Cường độ của các âm đơn thành phần;
- Pha của các âm đơn thành phần.

3.4. Ốc-ta

Tai người có một đặc tính nữa: hai âm thanh, trong đó tần số của âm này gấp đôi tần số của âm kia, có thể hoàn toàn hòa hợp với nhau.

Khoảng tần số từ f_1 đến $f_2 = 2f_1$ được gọi là ốc-ta, như vậy khoảng tần số từ f_1 đến $f_3 = 4f_1$ tương ứng với 2 ốc-ta, khoảng tần số từ f_1 đến $f_4 = 8f_1$ tương ứng với 3 ốc-ta, v.v... (hình 1.28a).



Hình 1.28. Ốc-ta (a), nửa ốc-ta và phần ba ốc-ta (b).

Khoảng tần số từ f_1 đến $f'_1 = \sqrt{2}f_1 = 1,42f_1$ được gọi là "nửa ốc-ta" (hình 1.28b).

Khoảng tần số từ f_1 đến $f''_1 = \sqrt[3]{2}f_1 = 1,26f_1$ được gọi là "phần ba ốc-ta" (hình 1.28b).

3.5. Hiệu ứng che lấp của âm thanh

Hình 1.24 cho thấy: tai người bắt đầu cảm nhận được âm thanh từ khi mức âm vật lý của nó vượt quá giá trị 70 dB với tần số 20 Hz, 40 dB với tần số 50 Hz, 22 dB với tần số 100 Hz, 0 dB với tần số 1000 Hz v.v...

Cần biết rằng điều trên đây không phải đúng cho bất kỳ trường âm thanh nào mà chỉ đúng với trường âm thanh trong đó mức âm vật lý của nền ồn nhỏ hơn hoặc bằng 30 dB. Trong những môi trường ồn hơn (mức âm vật lý của nền ồn $> 30\text{dB}$) độ nhạy của tai người giảm, vì vậy ngưỡng nghe phải tăng lên cao hơn. Hiệu ứng này gọi là *hiệu ứng che lấp* của tiếng ồn.

Nếu mức âm vật lý của tiếng ồn không cao lắm hiệu ứng che lấp là tạm thời, nghĩa là khi tiếng ồn biến mất độ nhạy của tai trở lại bình thường. Nhưng nếu mức âm vật lý của tiếng ồn quá cao tai người có thể điếc vĩnh viễn.

Chương 2

THIẾT KẾ ÂM THANH CHO CÁC LOẠI PHÒNG

§1. TIÊU CHÍ ĐỂ ĐÁNH GIÁ CHẤT LƯỢNG CỦA PHÒNG VỀ MẶT ÂM THANH

Về mặt âm thanh các loại phòng chia ra làm 3 loại: phòng dành cho tiếng nói, phòng dành cho âm nhạc và phòng có chức năng hỗn hợp.

Trong những phòng dành cho tiếng nói (đấu trường thời La Mã cổ, phòng hội nghị, phòng họp báo, phòng học,...) tiếng nói đến tai người nghe phải rõ.

Trong những phòng dành cho âm nhạc (nhạc giao hưởng, nhạc thính phòng,...) tiếng nhạc đến tai người nghe phải có những chất lượng chính như: tính sâu lắng, tính sống động, tính nồng ấm, tính rõ ràng và tính cân bằng.

Trong những phòng có chức năng hỗn hợp (nhà hát nhạc kịch, tuồng, chèo v.v...) âm thanh đến tai người nghe phải có đồng thời tất cả những chất lượng vừa nêu trong hai trường hợp trên.

Để bảo đảm cho phòng có được những chất lượng âm thanh nêu trên cần phải thiết kế phòng sao cho đạt được 7 tiêu chí sau đây:

1. Trường âm trong phòng phải là trường âm khuếch tán đều, năng lượng âm tại bất kì điểm nào trong phòng cũng phải đủ;
2. Không có tiếng vọng;
3. Không có những vùng hội tụ âm và những vệt âm;
4. Thời gian âm vang thiết kế phải phù hợp với thời gian âm vang tối ưu;
5. Cấu trúc của những âm phản xạ đầu tiên phải phù hợp với cấu trúc tối ưu;
6. Độ rõ của tiếng nói tại bất kì điểm nào trong phòng cũng đều phải vượt quá trị số tối hạn của nó;
7. Tiếng ồn nền không được vượt quá trị số tối hạn của nó.

Dưới đây sẽ lần lượt xét 7 tiêu chí nêu trên.

1.1. Phân bố năng lượng âm trong phòng

Một thính giả ngồi ở bất kì điểm nào trong phòng cũng đều nhận được hai loại âm thanh sau đây:

- *Âm trực tiếp*: Truyền trực tiếp từ nguồn âm (diễn giả, ca sĩ, dàn nhạc giao hưởng...) đến tai người nghe;

- *Âm phản xạ*: Truyền từ các bề mặt phản xạ trong phòng đến tai người nghe.

Khán thính giả trước hết phải nhận được càng nhiều âm trực tiếp càng tốt, sau đó, tại những nơi năng lượng âm trực tiếp thiếu, cần phải tăng cường năng lượng âm bằng cách hướng đến đó những âm phản xạ; Tỷ số giữa âm trực tiếp và âm phản xạ biến thiên từ vị trí này đến vị trí khác trong phòng phụ thuộc vào những đặc tính âm học của phòng.

Về phần mình, các nhạc công, các diễn viên, dù ở trên sân khấu hay trong hố nhạc cũng đều phải nghe được lẫn nhau và nghe được âm thanh do chính mình phát ra.

1.1.1. Âm trực tiếp

Trong không khí thoáng về mọi phía, một người nghe ở khoảng cách l từ nguồn âm nhận được mức âm vật lý L_l của âm trực tiếp, xác định bằng công thức đã biết ở mục 2.2.1 chương 1:

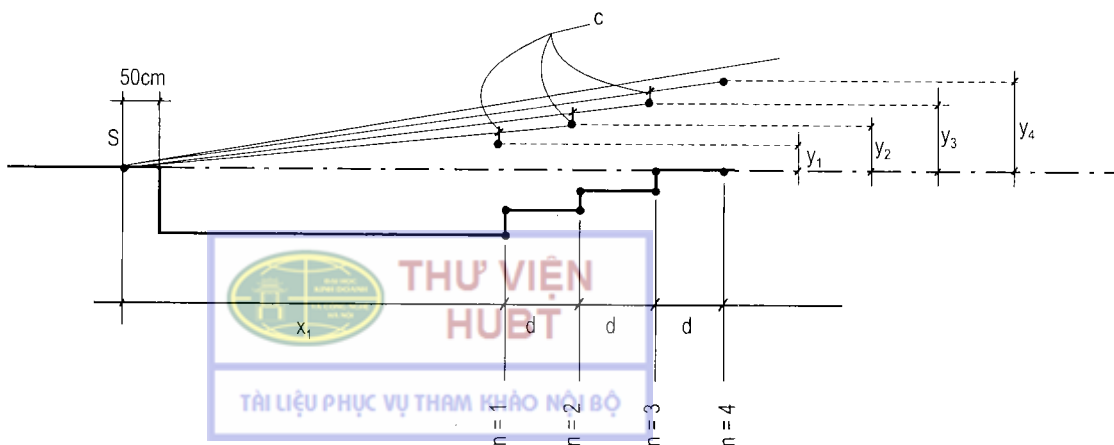
$$L_l = L_s - 20\lg l - 11$$

Trong phòng, nguồn âm được xem như đặt trên tường sau sân khấu, vì vậy phải kể đến chỉ số định hướng $G = 3$ dB (xem bảng 1.4), do đó:

$$L_l = L_s - 20\lg l - 11 + 3 \Rightarrow$$

$$L_l = L_s - 20\lg l - 8 \text{ dB} \quad (2-1)$$

Để bảo đảm cho âm trực tiếp đến được tai khán thính giả cần phải bảo đảm cho họ một tầm nhìn thoáng. Để làm được việc đó phải thiết kế độ dốc của sàn sao cho *độ nâng tia nhìn c* (tức là khoảng cách đứng từ mắt người ngồi ở dãy ghế thứ n đến tia nhìn của người ngồi ở dãy ghế thứ $n + 1$) bằng từ 6 đến 15 cm tùy theo chức năng của phòng và tùy theo cách bố trí ghế so le hay không so le (hình 2.1).



Hình 2.1.

Để thỏa mãn yêu cầu này, độ dốc của sàn có thể xác định theo công thức do tác giả đề nghị như sau:

$$y_n = \frac{(y_{n-1} + c)[x_1 + (n-1)d]}{x_1 + (n-2)d} \quad (2-2)$$

Trong đó:

- y_n - độ cao của mắt người ngồi ở dãy ghế thứ n so với mặt phẳng sân khấu, m ;
- y_{n-1} - độ cao của mắt người ngồi ở dãy ghế liền trước dãy ghế thứ n so với mặt phẳng sân khấu, m ;
- c - độ nâng tia nhìn, đó là khoảng cách đứng từ mắt người ngồi ở dãy ghế n tới tia nhìn của người ngồi ở dãy ghế $n + 1$;
- x_1 - khoảng cách ngang từ nguồn âm đến mắt người ngồi ở dãy ghế đầu tiên, m ;
- d - khoảng cách giữa 2 dãy ghế liền kề, m .

Thí dụ 2.1. Hãy xác định giá trị của các y_n (cho các dãy ghế ở sàn) nếu $x_1 = 5 m$; $d = 0,9 m$; $c = 0,1 m$ và $y_1 = 0,1 m$ (xem hình 2.1).

Giải: Áp dụng công thức (2-2):

$y_1 = 0,1 m$ (cho trước):

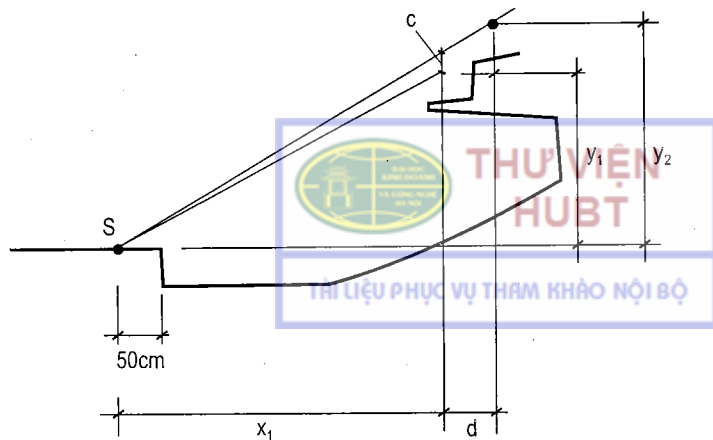
$$y_2 = \frac{(0,1 + 0,1)[5 + (2-1) \times 0,9]}{5 + (2-2) \times 0,9} = 0,236 m$$

$$y_3 = \frac{(0,236 + 0,1)[5 + (3-1) \times 0,9]}{5 + (3-2) \times 0,9} = 0,387 m$$

...

Có được các y_n rồi, đem y_n trừ đi $1,1 m$ ta có được độ cao của bậc cấp, trên đó đặt dãy ghế thứ n , so với mặt phẳng sân khấu.

Thí dụ 2.2. Hãy xác định giá trị của các y_n cho các dãy ghế ở ban công nếu $y_1 = 3 m$; $x_1 = 15 m$; d và c như trong thí dụ 2.1 (hình 2.2).



Hình 2.2. Tính toán độ dốc sàn cho ban công

Giải: Áp dụng công thức (2-2):

$$y_1 = 3 \text{ m.}$$

$$y_2 = \frac{(3+0,1)[15+(2-1)\times 0,9]}{15+(2-2)\times 0,9} = 3,286 \text{ m}$$

$$y_3 = \frac{(3,286+0,1)[15+(3-1)\times 0,9]}{15+(3-2)\times 0,9} = 3,578 \text{ m}$$

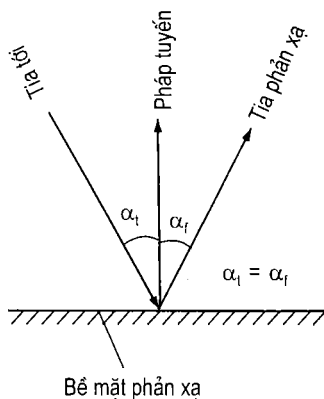
...

Để có độ cao của các bậc cấp trên ban công, cũng lấy các y_n trừ đi 1,1 m.

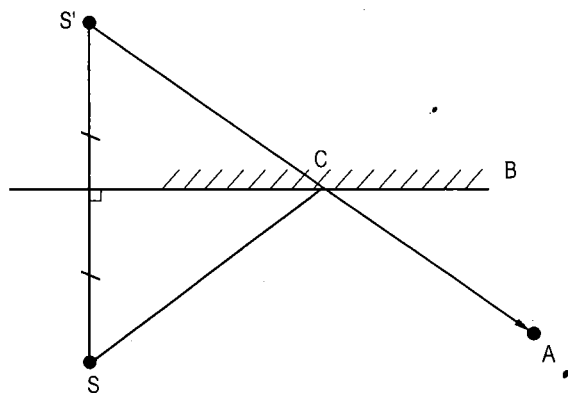
1.1.2. Âm phản xạ

Để bảo đảm cho âm phản xạ đến được vị trí mong muốn, người ta dùng nguyên lý âm hình học, cụ thể là:

- Tia âm tới, tia âm phản xạ và pháp tuyến của bề mặt phản xạ nằm trong cùng một mặt phẳng.
- Góc tới α_i bằng góc phản xạ α_r (hình 2.3).



Hình 2.3. Nguyên lý âm hình học



Hình 2.4. Tìm tia âm phản xạ đến vị trí A

Thí dụ 2.3. Có nguồn âm S, bề mặt phản xạ B và khán thính giả ngồi ở vị trí A (hình 2.4). Hãy tìm tia âm phản xạ từ bề mặt phản xạ đến khán thính giả này.

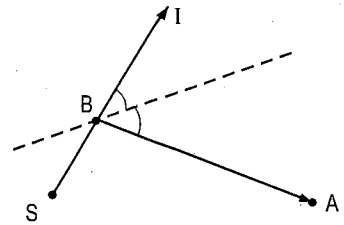
Giải:

Trước hết xác định điểm S' - ảnh của S qua bề mặt B. Nối S'A. C là điểm cắt của S'A và bề mặt. Tia âm SCA chính là tia xuất phát từ nguồn S, đập vào bề mặt B và phản xạ đến vị trí A.

Thí dụ 2.4. Có một nguồn âm S, một tấm phản xạ âm, một khán (thính) giả ngồi ở vị trí A và một điểm B trên tấm phản xạ âm. Hãy xác định vị trí của tấm phản xạ âm sao cho tia âm SI đến được điểm A sau khi phản xạ từ tấm này.

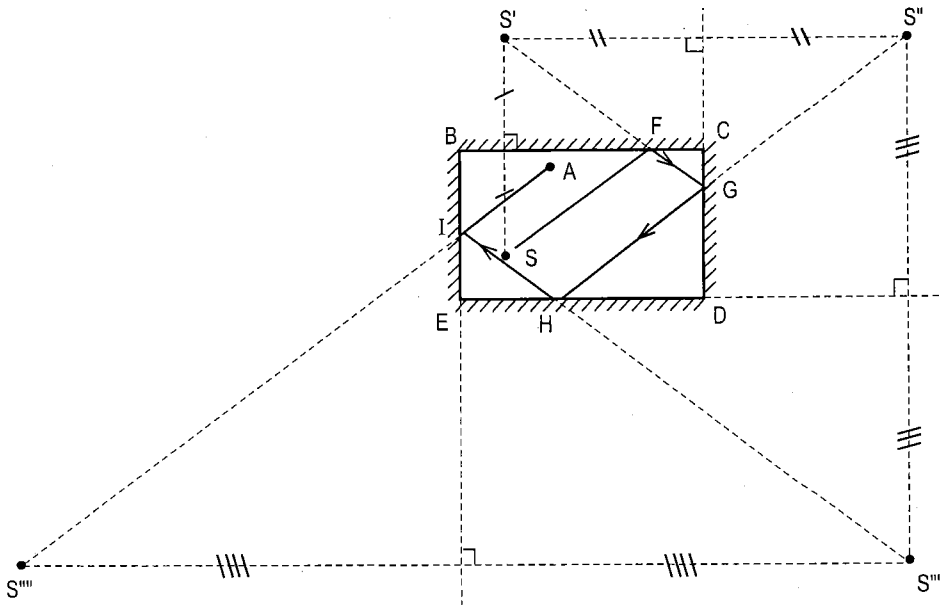
Giải:

Nối AB. Đường phân giác của góc IBA (đường chấm chấm) chính là vị trí của tấm phản xạ âm mà ta cần tìm (hình 2.5).



Hình 2.5. Xác định vị trí của tấm phản xạ âm

Thí dụ 2.5. Có một nguồn âm S, một khán (thính) giả ngồi ở vị trí A (S và A đều nằm trong cùng mặt phẳng ngang) và bốn bức tường BC, CD, DE và EB (hình 2.6). Hãy xác định tia âm xuất phát từ nguồn âm S và đến được A sau khi phản xạ lần lượt từ bốn bức tường nói trên.



Hình 2.6. Xác định đường đi của tia âm sau khi phản xạ từ bốn bức tường

Giải:

Lần lượt xác định các điểm S' (ảnh của S qua bức tường BC), S'' (ảnh của S' qua bức tường CD), S''' (ảnh của S'' qua bức tường DE) và S'''' (ảnh của S''' qua bức tường EB). Nối S''''A có điểm I, nối S''''I có điểm H, nối S''''H có điểm G, nối S''''G có điểm F.

Đường gãy SFGHIA chính là đường đi của tia âm xuất phát từ S đến điểm A sau bốn lần phản xạ trên 4 bức tường như trên hình 2.6.

Mức âm vật lý của âm phản xạ tại một điểm nào đó trong phòng sau lần phản xạ đầu tiên được xác định như sau:

$$L_{r,1} = L_s - 20 \lg R - 8 - 10 \lg \frac{1}{1-\alpha} \text{ dB} \quad (2-3)$$

Trong đó:

$L_{f,1}$ - mức âm vật lý của âm phản xạ tại điểm đang xét sau lần phản xạ đầu tiên, dB;

L_S - mức âm vật lý của nguồn âm, dB;

R - đường đi của âm phản xạ từ nguồn đến điểm đang xét, m;

α - hệ số hút âm của bề mặt phản xạ tại điểm xảy ra hiện tượng phản xạ.

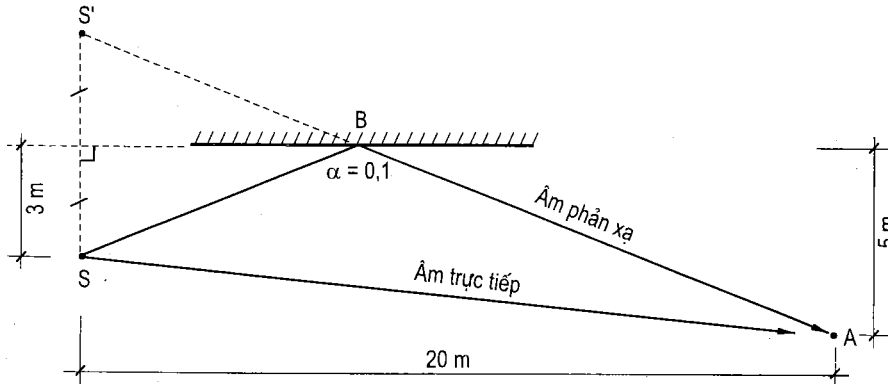
Thí dụ 2.6. Trên hình 2.4 có $L_S = 80$ dB, $R = \overline{SC} + \overline{CA} = 15$ m. Hệ số hút âm của bề mặt B tại điểm C là $\alpha = 0,4$. Hãy xác định mức âm vật lý của âm phản xạ tại A sau lần phản xạ đầu tiên.

Giải. Áp dụng công thức (2-3):

$$L_{f,1} = 80 - 20 \lg 15 - 8 - 10 \lg \frac{1}{1 - 0,4} = 48,5 \text{ dB}$$

Mức âm vật lý tổng cộng của âm trực tiếp và âm phản xạ lần phản xạ đầu tiên (với điều kiện âm này không cách quá xa âm trực tiếp để có thể gây ra tiếng vọng) được xác định bằng công thức (1-13).

Thí dụ 2.7. Nguồn âm S có $L_S = 80$ dB, khán (thính) giả ngồi ở A, hệ số hút âm của tường tại điểm xảy ra hiện tượng hút âm $\alpha = 0,3$; S và A cùng nằm trong một mặt phẳng ngang (hình 2.7).



Hình 2.7. Cho thí dụ 2.7:

- Xác định mức âm vật lý của âm phản xạ tại điểm A sau lần phản xạ đầu tiên;
- Xác định mức âm vật lý tổng cộng của âm trực tiếp và âm phản xạ này tại điểm A.

Giải:

- Đường đi của âm phản xạ (theo hình 2.7):

$$\overline{SB} + \overline{BA} = \overline{S'A} = \sqrt{\overline{S'A}^2} = \sqrt{8^2 + 20^2} = 21,54 \text{ m}$$

Mức âm vật lý của âm phản xạ (theo công thức 2.3):

$$L_r = 80 - 20 \lg 21,54 - 8 - 10 \lg \frac{1}{1-0,3} = 45,3 \text{ dB}$$

b) Đường đi của âm trực tiếp:

$$SA = \sqrt{20^2 + 2^2} = 20,1 \text{ m}$$

Áp dụng công thức (2-1):

$$L_A = 80 - 20 \lg 20,1 - 8 = 45,9 \text{ dB.}$$

Áp dụng công thức (1-13):

$$L_{tc,A} = 10 \lg(10^{4,53} + 10^{4,59}) = 48,6 \text{ dB}$$

1.1.3. Mức âm vật lý tổng cộng trong trường hợp trường âm đồng đều và khuếch tán

Trường âm đồng đều là trường âm mà trong đó năng lượng âm phân bố gần như đồng đều tại tất cả các vị trí. Trường âm khuếch tán là trường âm mà bất kỳ một vị trí nào trong đó cũng đều nhận được năng lượng âm hầu như bằng nhau và không lệch pha từ mọi phía.

Trong trường âm đồng đều và khuếch tán, nếu nguồn âm đã hoạt động đủ lâu sẽ hình thành trạng thái cân bằng năng lượng âm. Trong trường hợp này mức âm vật lý tổng cộng của âm thanh tại một vị trí nào đó trong phòng được xác định bằng công thức:

$$L_{tc,l} = L_S - 20 \lg l - 8 + 10 \lg \left[1 + 50 \frac{l^2(1-\bar{\alpha})}{S\bar{\alpha}} \right] \quad (2-4)$$

Trong đó:

$L_{tc,l}$ - mức âm vật lý tổng cộng tại điểm cách nguồn l mét, dB;

L_S - mức âm vật lý của nguồn, xác định theo công thức (1-17);

S - diện tích tổng cộng của tất cả các bề mặt hút âm trong phòng, m^2 ;

$\bar{\alpha}$ - hệ số hút âm trung bình của tất cả các cấu kiện hút âm dạng phẳng và dạng khối trong phòng, xác định như sau:

$$\bar{\alpha} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i \alpha_i + \sum_{j=1}^m N_j a_j}{S} \quad (2-5)$$

$\sum_{i=1}^n S_i \alpha_i$ - lượng hút âm của tất cả n cấu kiện dạng phẳng, m^2 ;

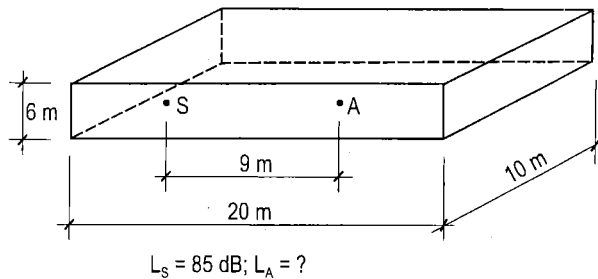
$\sum_{j=1}^m N_j a_j$ - lượng hút âm của tất cả m cấu kiện dạng khối, m^2 .

Số hạng thứ tư trong vế phải của công thức (2-4) thể hiện sự tăng cường năng lượng âm bởi các bề mặt phản xạ trong phòng.

Trong mọi trường hợp đều phải bảo đảm sao cho mức âm vật lý tổng cộng tại bất kì vị trí nào trong phòng lớn hơn mức ồn nền 8÷10 dB (mức ồn nền trong phòng thường lấy giá trị 30 dB).

Thí dụ 2.8. Một phòng có thể tích $20 \times 10 \times 6 \text{ m}^3$. Nguồn âm đặt trên một trong bốn bức tường của phòng và phát ra âm thanh có mức âm vật lý $L_s = 85 \text{ dB}$ (hình 2.8). Hệ số hút âm trung bình của phòng $\bar{\alpha} = 0,4$.

Hãy xác định xem liệu mức âm vật lý tổng cộng ở điểm A cách nguồn một khoảng $l = 9 \text{ m}$ có đủ hay không, biết rằng mức ồn nền bằng 40 dB.



Hình 2.8. Cho thí dụ 2.8

Giải:

Diện tích hút âm tổng cộng:

$$S = 20 \times 6 \times 2 + 10 \times 6 \times 2 + 20 \times 10 \times 2 = 760 \text{ m}^2$$

Mức âm vật lý tổng cộng tại điểm A xác định theo công thức (2-4):

$$L_{t,c,9} = 85 - 20 \lg 9 - 8 + 10 \lg \left[1 + 50 \frac{9^2 (1 - 0,4)}{760 \times 0,4} \right] = 67,5 \text{ dB}$$

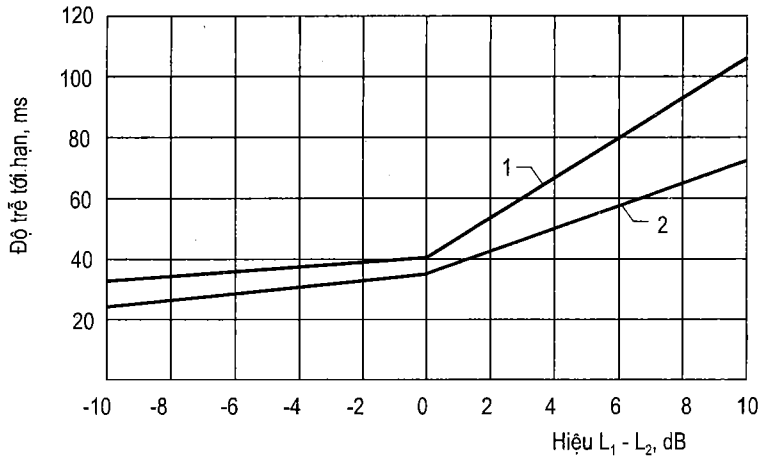
$67,5 > 40 + 10 = 50 \text{ dB} \Rightarrow$ năng lượng âm tại điểm A là đủ.

1.2. Tiếng vọng

Một trong những đặc điểm của tai người là: nếu hai âm thanh giống nhau cùng đến tai người sao cho khoảng cách thời gian giữa âm đến trước và âm đến sau chưa vượt quá một giá trị nào đấy, tai người sẽ cảm nhận như một âm thanh duy nhất, tuy có to hơn một chút và kéo dài hơn một chút. Còn nếu khoảng cách thời gian này vượt quá giá trị nói trên, tai người sẽ cảm nhận như hai âm riêng biệt, khoảng cách thời gian giữa hai âm đến trước và đến sau trong trường hợp này được gọi là *độ trễ tới hạn*.

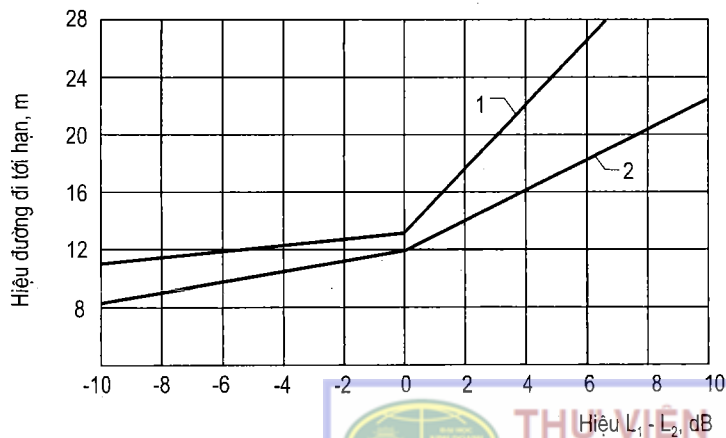
Trong trường hợp vượt quá độ trễ tới hạn, nếu âm đến trước là âm trực tiếp, âm đến sau là âm phản xạ thì âm đến sau được gọi là *tiếng vọng*.

Giá trị của độ trễ tới hạn phụ thuộc vào hiệu giữa hai mức âm vật lý của âm đến trước và âm đến sau, được cho trên hình 2.9.



Hình 2.9. Liên hệ giữa độ trễ tới hạn với hiệu giữa hai mức âm vật lý của âm đến trước và âm đến sau: 1. Cho âm nhạc; 2. Cho tiếng nói.

Để việc thiết kế trang âm được dễ dàng hơn người ta biến mối quan hệ "độ trễ tới hạn - hiệu giữa hai mức âm vật lý" trên hình 2.9 thành mối quan hệ "hiệu đường đi tới hạn - hiệu mức âm vật lý" của hai âm đến trước và đến sau với lưu ý rằng tốc độ lan truyền sóng âm trong không khí là 343 m/s (hình 2.10).



Hình 2.10. Liên hệ giữa "hiệu đường đi tới hạn" với hiệu giữa hai mức âm vật lý của âm đến trước và âm đến sau

Thí dụ 2.9. Một nguồn âm phát ra tiếng nói, một khán (thính) giả A và một bề mặt phản xạ như trên hình 2.7. Hãy xác định xem, liệu đối với khán (thính) giả A có hiện tượng tiếng vọng hay không? (nhận rằng mức âm vật lý của âm trực tiếp cao hơn mức âm vật lý của âm phản xạ 2 dB).

Giải: Trong thí dụ 2.7 đã xác định được:

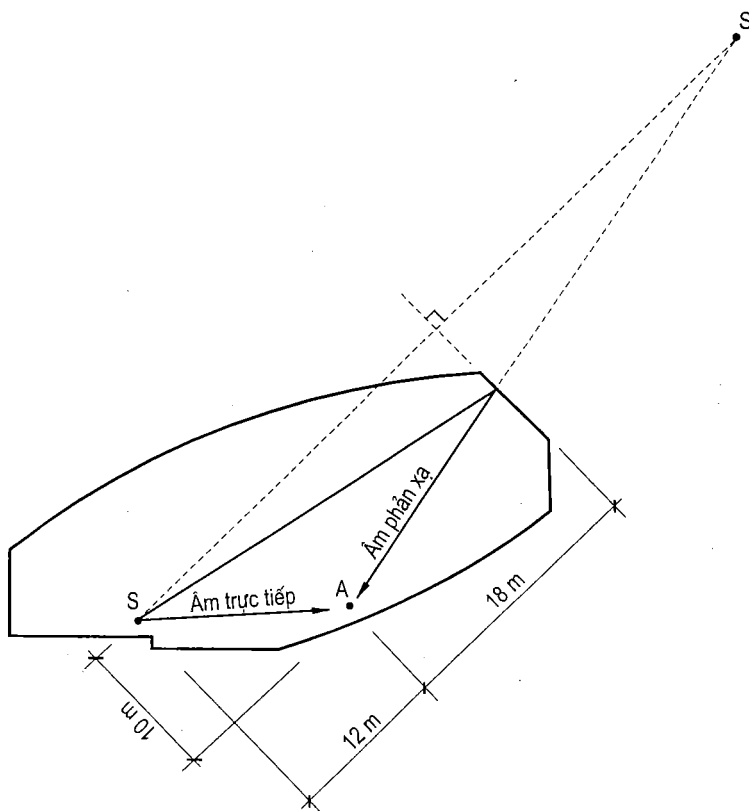
Đường đi của âm trực tiếp: $SA = 20,1 \text{ m}$.

Đường đi của âm gián tiếp: $SBA = 21,54 \text{ m}$.

Hiệu giữa 2 đường đi: $21,54 - 20,1 = 1,44 \text{ m}$.

Hiệu đường đi tới hạn: Trên hình 2.10, với $L_1 - L_2 = 2 \text{ dB}$ và với tiếng nói (đường 2) ta có: hiệu đường đi tới hạn = 14 m ; $1,44 \text{ m} < 14 \text{ m} \Rightarrow$ Không có tiếng vọng cho khán (thính) giả A.

Thí dụ 2.10. Bài toán giống như trong thí dụ 2.9 nhưng nguồn âm phát ra âm nhạc, các vị trí S, A và bề mặt phản xạ được thể hiện trên hình 2.11 (nhận rằng mức âm vật lý của âm trực tiếp cao hơn mức âm vật lý của âm phản xạ 3 dB).



Hình 2.11. Cho thí dụ 2.10

Giải:

Đường đi của âm trực tiếp: $SA = \sqrt{10^2 + 12^2} = 15,6 \text{ m}$.

Đường đi của âm phản xạ: $S'A = \sqrt{10^2 + 48^2} = 49 \text{ m}$.

Hiệu giữa hai đường đi: $49 - 15,6 \text{ m} = 33,4 \text{ m}$.

Hiệu đường đi tới hạn: Trên hình 2.10, với $L_1 - L_2 = 3$ dB và với âm nhạc (đường 1), có: hiệu đường đi tới hạn = 30 m; $33,4 \text{ m} > 30 \text{ m} \Rightarrow$ có tiếng vọng cho khán (thính) giả A.

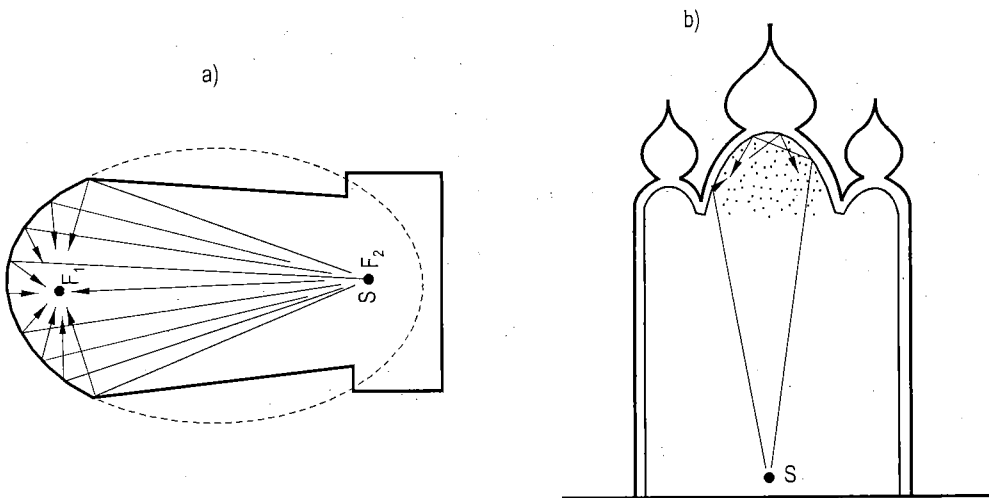
1.3. Tiếng vọng lặp

Trong thực tế nhiều khi ta gặp hiện tượng sau: một người đứng giữa những bề mặt phản xạ âm mạnh hét lên một tiếng "a", sau đó nghe nhiều tiếng "a" khác kế tiếp nhau khá lâu, càng về sau càng yếu dần và cuối cùng tắt hẳn. *Tiếng vọng lặp* là do âm thanh phát ra từ nguồn rồi phản xạ lại từ nhiều bề mặt xa gần khác nhau, âm phản xạ nào có đường đi ngắn hơn thì đến trước, âm phản xạ nào có đường đi dài hơn thì đến sau. Hiện tượng này thường gặp khi nguồn âm ở giữa một thung lũng tương đối hẹp xung quanh là núi, khi nguồn âm ở giữa hai bức tường phản xạ âm có vị trí tương đối thích hợp, khi nguồn âm ở trong nhà thờ hoặc những công trình kiến trúc có mái vòm cong thích hợp, v.v..

Hiện tượng tiếng vọng lặp cũng rất nguy hiểm cho chất lượng âm thanh của phòng.

1.4. Vùng hội tụ âm. Vết cam

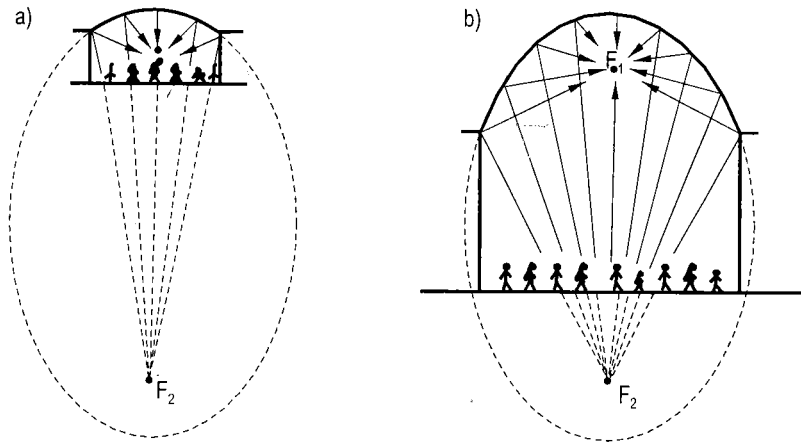
Vùng hội tụ âm xảy ra khi có những kết cấu bao che cong và phản xạ âm đủ mạnh để đưa sóng âm đến vùng xung quanh tiêu điểm của những mặt cong đó (hình 2.12):



Hình 2.12. Vùng hội tụ âm: a) Trong mặt bằng; b) Trong mặt cắt.

Nếu vùng hội tụ âm ở ngoài vùng có mặt của khán (thính) giả, tác hại còn ít, nhưng nếu nó ở ngay trong vùng có mặt khán giả, nó sẽ làm cho chất lượng âm thanh của phòng trở nên tồi tệ.

Hiện tượng hội tụ âm chủ yếu là vấn đề hình dạng của phòng. Để tránh nó, có thể hoặc là tránh dùng những kết cấu ngăn cách dạng cong hoặc là dùng những dạng cong sao cho tiêu điểm của chúng nằm càng xa vùng có mặt khán (thính) giả càng tốt (hình 2.13).



Hình 2.13. Tràn có dạng e-lip hoặc e-lip-xo-it: a) Tiêu điểm F_1 nằm trong vùng có mặt khán giả: rất nguy hiểm; b) Tiêu điểm F_1 nằm ngoài vùng có mặt khán giả: ít nguy hiểm hơn.

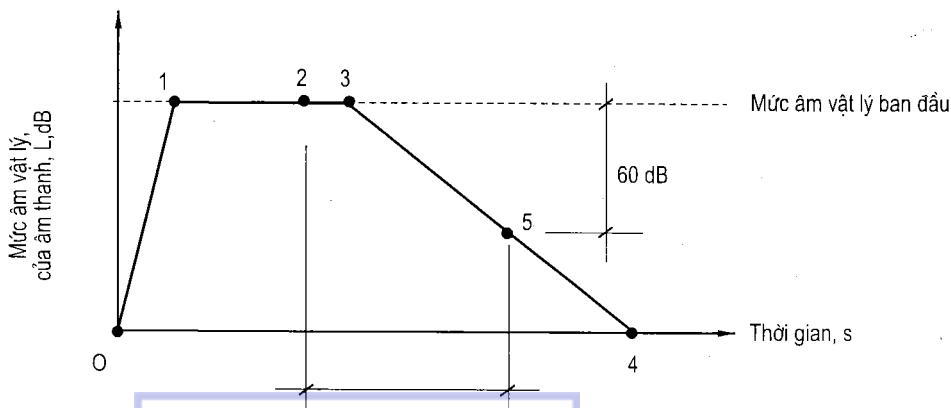
Vệt âm là những vùng mà ở đó người ta nghe thấy âm thanh yếu hơn ở những nơi khác trong phòng. Hầu như chắc chắn rằng, nếu trong phòng không có vùng hội tụ âm thì cũng không có vệt âm.

1.5. Thời gian âm vang

1.5.1. Khái niệm

Thuật ngữ "thời gian âm vang" được nhà khoa học Wallace C. Sabine đề ra năm 1900.

Giả định trong phòng có một máy phát điện, mở máy, máy chạy và đạt đến công suất tối đa một cách tức thời (thời điểm O trên hình 2.14).



Hình 2.14. Những thời điểm đáng lưu ý từ lúc khởi động nguồn âm đến khi âm thanh không còn nghe thấy nữa. O: thời điểm khởi động nguồn âm:

1. Thời điểm mức âm vật lý của âm thanh đạt đến giá trị ổn định ban đầu;
2. Thời điểm tắt nguồn âm;
3. Thời điểm mức âm vật lý của âm thanh bắt đầu giảm;
4. Thời điểm âm thanh hoàn toàn không còn nghe thấy;
5. Thời điểm mức âm vật lý của âm thanh giảm đi 60 dB so với mức âm vật lý ổn định lúc đầu.

Một khán (thính) giả ngồi ở một điểm bất kỳ trong phòng nhận được đầu tiên là âm trực tiếp, sau đó là những âm phản xạ đầu tiên, sau đó nữa là những âm phản xạ thứ hai, thứ ba, thứ tư .v.v... cho đến khi năng lượng âm tổng cộng trong phòng đạt đến giá trị ổn định ban đầu của nó (thời điểm 1).

Những âm phản xạ này nối tiếp nhau rất mau để có thể làm thành một âm thanh kéo dài liên tục. Mức âm vật lý của âm thanh không đạt đến giá trị ổn định ban đầu của nó một cách tức thời mà là trong một khoảng thời gian, khoảng thời gian này ngắn hay dài tùy thuộc vào những đặc điểm của phòng về mặt âm học (đoạn thẳng 01).

Máy phát điện dừng đột ngột (thời điểm 2). Năng lượng âm không giảm tức thời mà giá trị ổn định ban đầu của nó còn tiếp tục tồn tại trong một khoảng thời gian rất ngắn, khoảng một phần mấy của giây (đoạn 23). Sau thời điểm 3 bắt đầu quá trình giảm dần năng lượng âm cho đến thời điểm mà ở đó âm thanh không còn nghe được nữa (đoạn 34).

Thời gian âm vang là khoảng thời gian tính từ lúc tắt máy (thời điểm 2) đến thời điểm mức âm vật lý của âm thanh giảm đi 60 dB so với mức âm vật lý ổn định ban đầu (thời điểm 5). Nó được ký hiệu là T và tính bằng đơn vị giây (s).

1.5.2. Thời gian âm vang thiết kế của phòng

Người ta phân biệt thời gian âm vang thiết kế của phòng với thời gian âm vang tối ưu sẽ được đề cập ở mục 1.5.3.

Thời gian âm vang thiết kế của phòng có thể được xác định bằng một trong hai công thức sau đây:

* Công thức Sabine:

$$T = 0,16 \frac{V}{A} \quad (2-6)$$

Trong đó:

T- thời gian âm vang, s;

V - thể tích của phòng, m³;

A - lượng hút âm tổng cộng của tất cả các cấu kiện hút âm trong phòng, bao gồm những cấu kiện dạng bề mặt và những cấu kiện dạng khối (xem tử số trong vế hai của công thức 2-4), m².

Đây là công thức đơn giản nhất, có thể dùng khi giá trị của hệ số hút âm trung bình $\bar{\alpha}$ [xác định bằng công thức (2-4)] nhỏ hơn 0,15 và khả năng hút âm của không khí không đáng kể.

Trong những phòng rộng lớn, ở đây khả năng hút âm của không khí không thể bỏ qua, T được xác định theo công thức:

$$T = 0,16 \frac{V}{A + nV} \quad (2-7)$$

Giá trị của n phụ thuộc vào nhiệt độ và độ ẩm của không khí trong phòng, được cho trong bảng 2.1.

Bảng 2.1. Giá trị của n ở nhiệt độ không khí bình thường ($t = 20^\circ\text{C}$) phụ thuộc vào độ ẩm của nó

Độ ẩm tương đối của không khí, $\varphi\%$	Giá trị của n khi tần số âm bằng	
	2000 Hz	4000 Hz
40	0,0104	0,0287
50	0,0096	0,0244
60	0,0090	0,0224
70	0,0085	0,0213
80	0,0081	0,0204
90	0,0080	0,0200

Thí dụ 2.11. Một phòng hòa nhạc có thể tích $V = 15.000 \text{ m}^3$, lượng hút âm tổng cộng $A = 1.000 \text{ m}^2$.

Xác định thời gian âm vang T của phòng cho âm thanh có tần số $f = 4000 \text{ Hz}$ trong điều kiện bình thường của không khí ($t = 20^\circ\text{C}$, $\varphi = 70\%$), biết rằng hệ số hút âm trung bình của tất cả các bề mặt trong phòng $\bar{\alpha} < 0,15$.

Giải:

Vì $\bar{\alpha} < 0,15$ nên có thể dùng công thức (2-7) mà không sợ kết quả tính có sai số lớn.

Theo bảng 2.1, với độ ẩm không khí $\varphi = 70\%$ và tần số âm $f = 4000 \text{ Hz}$ có $n = 0,0213$

Theo công thức (2-7):

$$T = 0,16 \times \frac{15.000}{1000 + 0,0213 \times 15.000} = 1,82 \text{ (s)}$$

Nếu bỏ qua khả năng hút âm của không khí trong phòng, dùng công thức (2-6) ta có:

$$T = 0,16 \times \frac{15.000}{1000} = 2,4 \text{ (s)}$$

Khác biệt giữa hai cách tính là đáng kể.

* Công thức Norris - Eyring:

Trong trường hợp giá trị trung bình của hệ số hút âm ($\bar{\alpha}$) lớn hơn 0,15 sai số do công thức Sabine gây ra là đáng kể, khi đó phải chuyển sang dùng công thức Norris-Eyring:

$$T = 0,16 \frac{V}{-S \ln(1 - \bar{\alpha})} \quad (2-8)$$

Trong đó: S - diện tích tổng cộng của tất cả các bề mặt trong phòng, m².

$\bar{\alpha}$ - giá trị trung bình của hệ số hút âm của tất cả các bề mặt trong phòng, xác định theo công thức (2-5).

Công thức (2-8) phức tạp hơn một chút so với công thức (2-6), bù lại nó có thuận tiện là có thể dùng được cho tất cả các giá trị khác nhau của $\bar{\alpha}$.

Với những phòng lớn, trong đó khả năng hút âm của không khí là đáng kể, thay cho công thức (2-8) phải dùng công thức (2-9) dưới đây:

$$T = 0,16 \times \frac{V}{-S \ln(1 - \bar{\alpha}) + nV} \quad (2-9)$$

Giá trị của n được cho trong bảng 2.1.

Thí dụ 2.12. Một phòng họp có thể tích V bằng 4.000 m³, diện tích tổng cộng của tất cả các bề mặt trong phòng S = 600 m², giá trị trung bình của các hệ số hút âm trong phòng ở tần số f = 4000 Hz, $\bar{\alpha} = 0,6$. Hãy tính thời gian âm vang của phòng cho tần số âm này trong điều kiện không khí bình thường (nhiệt độ t = 20°C và độ ẩm $\varphi = 70\%$).

Giải:

Vì $\bar{\alpha} = 0,6 > 0,15$ nên ta phải dùng công thức (2-9).

Từ bảng 2.1 có n = 0,0213.

Theo công thức (2-9):

$$T = 0,16 \frac{4000}{-600 \ln(1 - 0,6) + 0,0213 \times 4000} = 1,0 \text{ (s)}$$

Nếu bỏ qua khả năng hút âm của không khí sẽ có kết quả là:

$$T = 0,16 \times \frac{4000}{-600 \ln(1 - 0,6)} = 1,16 \text{ (s)}$$

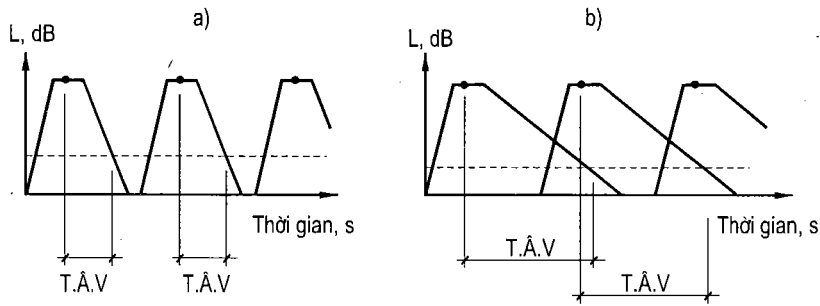
Khác biệt giữa hai kết quả tương đối lớn.

Lượng hút âm tổng cộng của tất cả các cấu kiện hút âm trong phòng A phụ thuộc vào tần số của sóng âm f (vì hệ số hút âm α phụ thuộc vào tần số sóng âm f). Vì vậy, theo các công thức (2-6), (2-7), (2-8) và (2-9) thời gian âm vang T của phòng cũng phụ thuộc vào tần số sóng âm f.

Nếu phòng có thời gian âm vang quá ngắn, âm thanh nghe được sẽ rõ nhưng khô và mất hẳn tính du dương (hình 2.15a).

Nếu phòng có thời gian âm vang quá dài âm thanh nghe được sẽ đạt tính du dương nhưng rối loạn và nghe không rõ (hình 2.15b).

Vì vậy, về mặt âm thanh, phòng phải được thiết kế sao cho thời gian âm vang thiết kế trùng với thời gian âm vang tối ưu mà thời gian âm vang tối ưu này lại phụ thuộc vào chức năng và thể tích của phòng.



Hình 2.15. Thời gian âm vang quá ngắn (a) và thời gian âm vang quá dài (b)

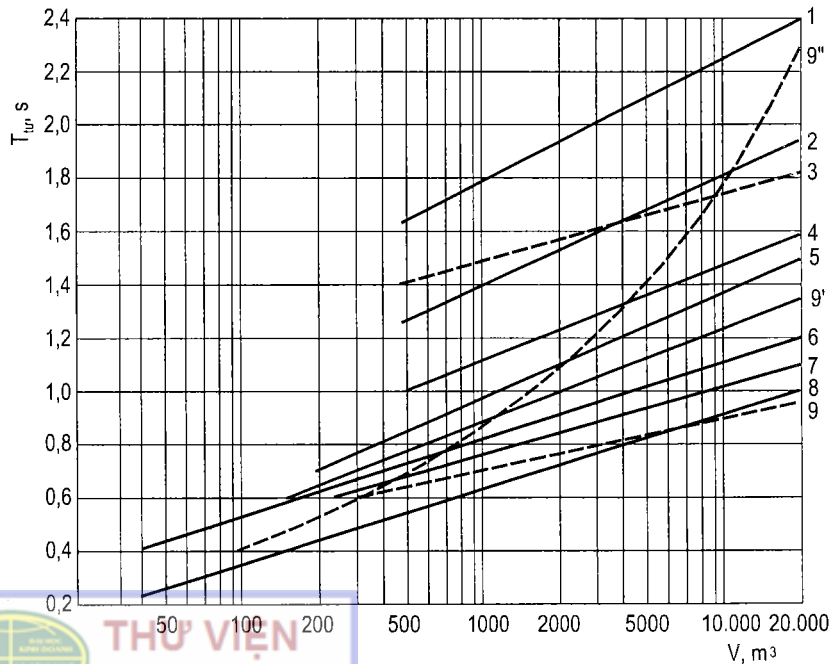
1.5.3. Thời gian âm vang tối ưu

Nói chung, thời gian âm vang tối ưu của phòng là thời gian âm vang mà nếu phòng có nó thì sẽ có được chế độ âm thanh tốt nhất. Khái niệm này được đề cập trong những công trình đầu tiên của W.C. Sabine, nó cho phép đạt được độ rõ tốt nhất của tiếng nói trong phòng. Sau đó, khi vấn đề độ rõ đã giải quyết xong rồi, Sabine bắt đầu nghiên cứu thời gian âm vang tối ưu cho việc nghe âm nhạc. Bằng rất nhiều phép đo trong những phòng hiện có với nhiều chức năng khác nhau, người ta vẽ được một mạng lưới gồm những đường thẳng thể hiện thời gian âm vang tối ưu cho tất cả những lĩnh vực sử dụng thông thường (hình 2.16).

Chú thích:

1. Đàn ống⁽¹⁾, nghe trực tiếp;
2. Nhạc giao hưởng, nghe trực tiếp;
3. Đàn ống, ghi âm;
4. Nhạc kịch, nghe trực tiếp;
5. Nhạc jazz và nhạc thánh phòng, nghe trực tiếp;
6. Tiếng nói, nghe trực tiếp;
7. Tiếng nói, ghi âm;
8. Đa chức năng, ghi âm;
9. Rạp chiếu bóng, đề nghị của A.C.Raes;
- 9'. Rạp chiếu bóng - đề nghị của tác giả;
- 9". Rạp chiếu bóng - tính theo công thức:

$$T_{uv} = 0,085 \sqrt[3]{V} \text{ của Louis Villard trong đó } V \text{ - thể tích của phòng, } m^3.$$



Hình 2.16. Thời gian âm vang tối ưu cho âm thanh có tần số $f = 1000 \text{ Hz}$ (âm chuẩn).

⁽¹⁾ Đàn ống - một nhạc cụ phát ra âm thanh nhờ gió, gồm nhiều ống kích thước khác nhau, với một hoặc nhiều bàn phím và một máy thổi để tạo gió, thường dùng trong nhà thờ.

Giá trị của thời gian âm vang tối ưu thể hiện trên hình 2.16 là cho những âm thanh có tần số $f = 1000$ Hz. Nhiều công trình nghiên cứu chỉ ra rằng để có một giá trị của thời gian âm vang hợp lý hơn, ta nên nhân những giá trị tìm được trên hình 2.16 với hệ số tương ứng cho trên hình 2.17. /25/

Thí dụ 2.13. Xét một phòng nhạc giao hưởng đã được đề cập trong thí dụ 2.11. Hãy kiểm tra với âm thanh có tần số $f = 4000$ Hz thời gian âm vang thiết kế có thỏa mãn yêu cầu hay không?

Giải

Theo hình 2.16, với $V = 15.000$ m³ và đường 2 (nhạc giao hưởng) giá trị của thời gian âm vang tối ưu cho tần số 1000 Hz là 1,86 (s).

Theo hình 2.17, với tần số 4.000 Hz và đường cong 1 (nhạc giao hưởng) hệ số để nhân là 0,9.

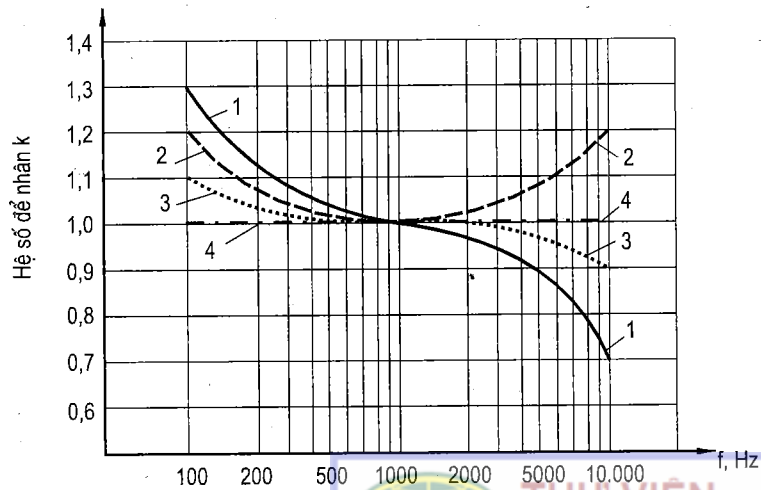
Do đó, thời gian âm vang tối ưu trong trường hợp này là:

$$T_{uv} = 1,86 \times 0,92 = 1,71 \text{ (s)}$$

$$T_{uv} \pm 10\% = 1,71 \pm 10\% = 1,54 \text{ và } 1,88 \text{ (s)}$$

Theo kết quả tính toán trong thí dụ 2.11, thời gian âm vang thiết kế là 1,82 (s).

$1,54 < 1,82 < 1,88$ (s): Thời gian âm vang thiết kế thỏa mãn yêu cầu.



Hình 2.17. Hệ số để nhân cho những phòng có chức năng khác nhau /25/.

1. Phòng hòa nhạc giao hưởng; 2. Phòng ghi âm; 3. Phòng dành cho tiếng nói;
4. Có thể chấp nhận được cho các phòng ghi âm cũng như cho các phòng tiếng nói.

1.6. Cấu trúc của những âm phản xạ đầu tiên

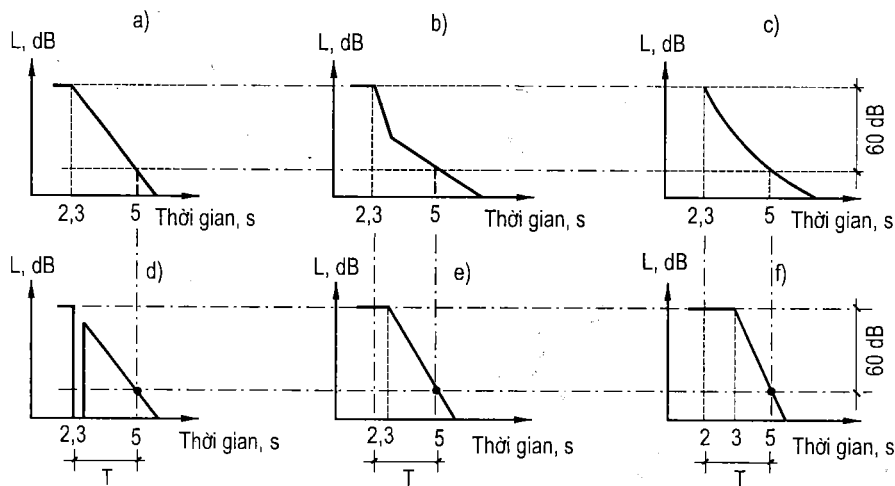
Ban đầu người ta công nhận rằng thời gian âm vang là tiêu chí duy nhất để đánh giá chất lượng âm thanh của phòng. Ngày nay, người ta càng thấy rằng sự thật không phải

như vậy bởi vì trong thực tế hai phòng có cùng một thời gian âm vang (và dĩ nhiên là có cùng chức năng sử dụng) có thể có những chất lượng âm học khác nhau. Sau đó người ta đã tìm được cách giải thích cho hiện tượng đó trong sự kiện rằng chất lượng âm thanh của phòng, ngoài thời gian âm vang còn phụ thuộc vào hình dạng của quá trình âm vang nữa.

Trong trường hợp tổng quát, có 6 hình dạng của quá trình âm vang như thể hiện trên hình 2.18.

Trong tất cả 6 dạng (hình 2.18) thời gian âm vang đều như nhau.

Trong dạng a) mức âm vật lý của âm thanh bắt đầu giảm ngay từ lúc nguồn âm dừng và giảm tuyến tính theo thời gian. Trong những phòng có dạng âm vang này âm thanh nghe tương đối "khô".



Hình 2.18. Sáu hình dạng có thể của quá trình âm vang:

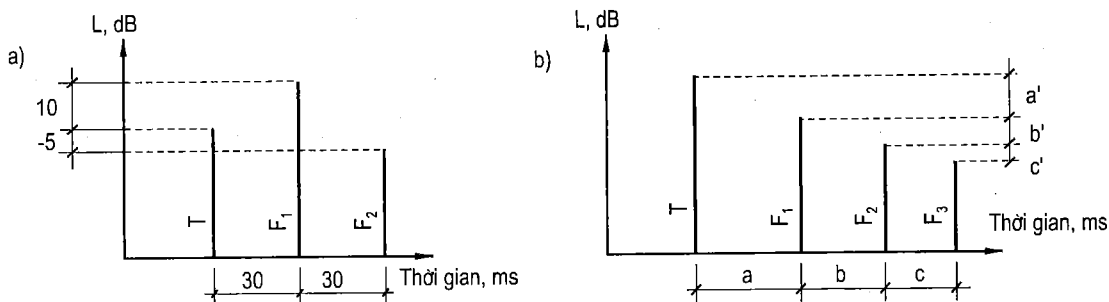
1. Thời điểm nguồn âm bắt đầu hoạt động; 2. Thời điểm nguồn âm bắt đầu ngừng hoạt động;
3. Thời điểm mức âm vật lý bắt đầu giảm.

Trong những dạng b) và c) mức âm vật lý của âm thanh cũng bắt đầu giảm từ lúc nguồn âm dừng nhưng sau đó không giảm tuyến tính theo thời gian mà giảm gần như đột ngột ở giai đoạn đầu và giảm chậm lại ở giai đoạn sau. Trong những phòng có một trong hai dạng âm vang này âm thanh nghe rất "khô".

Trong dạng d) có sự ngắt quãng giữa âm trực tiếp và âm phản xạ đầu tiên. Dạng âm vang này phải được coi là một khuyết tật, cần phải loại bỏ.

Trong những dạng e) và f) có một sự kéo dài ít hoặc nhiều của mức âm vật lý ban đầu sau khi nguồn âm dừng. Những dạng âm vang này được coi là tốt.

Xuất phát từ những phân tích đối với những dạng âm vang có thể (hình 2.18) và từ những giá trị của độ trễ tối hạn giữa âm trực tiếp và âm phản xạ (hình 2.9), nhiều tác giả đã đưa ra những kiến nghị khác nhau về cấu trúc tối ưu của những âm phản xạ đầu tiên như thể hiện trên hình 2.19.



Hình 2.19. Cấu trúc tối ưu của những âm phản xạ đầu tiên. a) Đề nghị của A.C.Raes; b) Đề nghị của A.N.Catrêrovich. T – âm trực tiếp; F_1 , F_2 và F_3 - các âm phản xạ 1, 2, 3.

$$a = \begin{cases} 20 \div 30 \text{ ms cho âm nhạc} \\ 10 \div 15 \text{ ms cho tiếng nói} \end{cases}; \quad b = \begin{cases} 10 \div 20 \text{ ms cho âm nhạc} \\ 5 \div 10 \text{ ms cho tiếng nói} \end{cases}; \quad c = \begin{cases} 15 \text{ ms cho âm nhạc} \\ 5 \text{ ms cho tiếng nói} \end{cases}$$

$$a' \leq 2 \text{ dB}; \quad b' \leq 1,5 \text{ dB}; \quad c' \leq 1,5 \text{ dB (không phân biệt)}$$

Nếu những giá trị đo được trong phòng phù hợp với những giá trị cho trên hình 2.19 thì cấu trúc của những phản xạ âm đầu tiên là tốt và chất lượng âm thanh của phòng là tốt. Nếu không, phải thiết kế lại.

1.7. Độ rõ của âm thanh

1.7.1. Khái niệm

Khái niệm *độ rõ của âm thanh* xuất hiện vào năm 1900 trong kết quả nghiên cứu của W.C. Sabine về chất lượng âm thanh của một hội trường thuộc trường Đại học Tổng hợp Havard ở Cambridge (Mỹ), trong hội trường này sinh viên nghe được rất ít những gì mà vị giáo sư nói từ trên bục giảng. Nhiều công trình nghiên cứu chỉ ra rằng độ rõ của âm thanh phụ thuộc vào 4 yếu tố sau đây:

- Mức âm vật lý của âm thanh: độ rõ của tiếng nói sẽ cực đại khi mức âm vật lý của âm thanh vào khoảng $60 \div 70$ dB, trước giá trị này độ rõ tăng khi mức âm vật lý tăng, sau giá trị này độ rõ giảm khi mức âm vật lý tăng (hình 2.20a).

- Thời gian âm vang của phòng: độ rõ giảm khi thời gian âm vang tăng (hình 20b);

- Tỷ số giữa mức âm vật lý của nền ồn và mức âm vật lý của âm thanh có ích: độ rõ giảm khi tỷ số này tăng (hình 2.20c).

- Hình dáng kiến trúc của phòng (hệ số k_4 trong bảng 2.2).

Bảng 2.2

Dạng phòng	K_4
Phòng nhỏ	1,06
Phòng có mặt bằng hình chữ nhật và hình quạt	1
Phòng lớn, phòng có tường và trần cong	0,9

1.7.2. Độ rõ thiết kế

Độ rõ thiết kế tại một vị trí nào đó trong phòng có thể được xác định theo một trong hai công thức sau:

- Cho các phòng họp và phòng chiếu bóng, dùng công thức Gôsookóp:

$$K_p = \frac{A}{16\pi(1-\bar{\alpha})^2} \left(\frac{1}{r_0^2} + \frac{1-\alpha_1}{r_1^2} + \frac{1-\alpha_2}{r_2^2} + \dots + \frac{1-\alpha_n}{r_n^2} \right) \quad (2-10)$$

Trong đó:

K_p - chỉ số độ rõ cho vị trí đang xét;

$A = \sum_{i=1}^n S_i \alpha_i + \sum_{j=1}^m N_j a_j$ - lượng hút âm tổng cộng trong phòng, m^2 (xem chú thích cho công thức 2-5);

r_0 - đường đi của âm trực tiếp, m;

r_1, r_2, \dots, r_n - lần lượt là đường đi của những âm phản xạ 1, 2, ...n đến vị trí đang xét trong quãng thời gian 50 ms sau khi đến của âm trực tiếp;

$\bar{\alpha}$ - hệ số hút âm trung bình, xác định theo công thức (2-5).

$\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ - hệ số hút âm của bề mặt kết cấu tương ứng với các tia âm phản xạ 1, 2, ..., n;

Nếu $K_p \geq 0,2$ thì độ rõ ở vị trí đang xét là tốt, nếu $K_p < 0,2$ thì độ rõ không đạt yêu cầu, phải thiết kế lại (trước hết là thay đổi lượng hút âm A bằng cách bố trí lại vật liệu và cấu kiện hút âm trong phòng, nếu vẫn chưa đạt thì sẽ thay đổi hình dạng kích thước của những tấm phản xạ âm trong phòng).

- Cho các phòng biểu diễn văn nghệ và đa chức năng dùng công thức Knudsen:

$$N = 100K_1 \times K_2 \times K_3 \times K_4 \quad (2-11)$$

Trong đó:

N - độ rõ của âm thanh;

K_1 - hệ số phụ thuộc vào mức âm vật lý của âm thanh tại vị trí đang xét (đồ thị trên hình 2.20a);

K_2 - hệ số phụ thuộc vào thời gian âm vang của phòng (đồ thị trên hình 2.20b);

K_3 - hệ số phụ thuộc vào tỉ số:

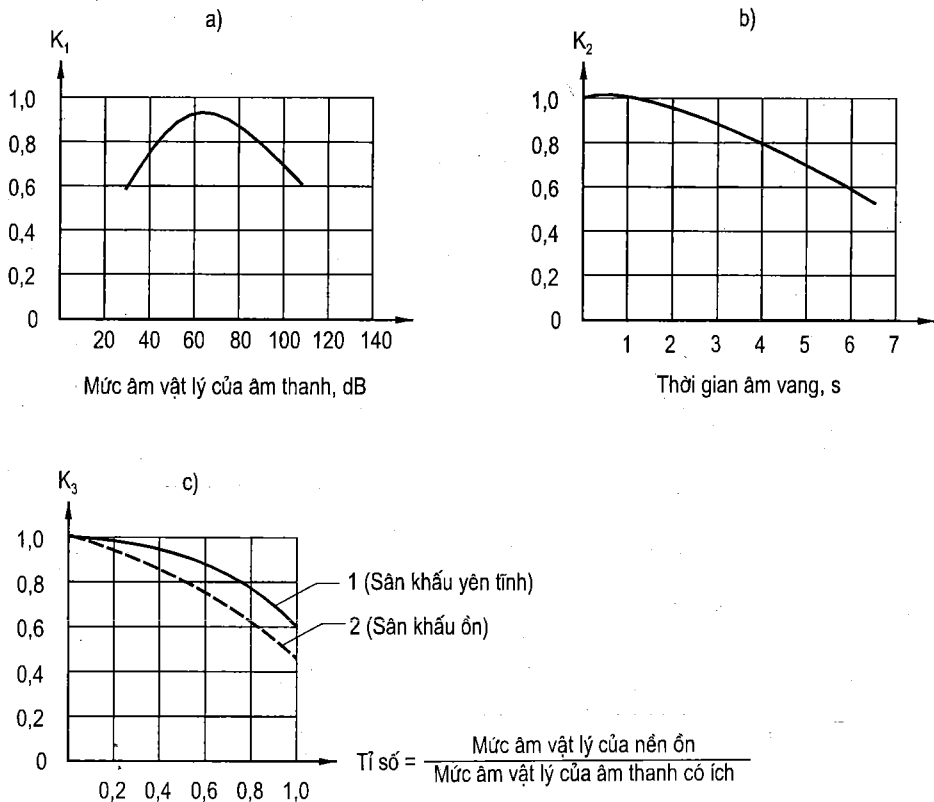


Mức âm vật lý của nền ồn
Mức âm vật lý của âm thanh có ích

xác định theo đồ thị trên hình 2.20c);

K_4 - hệ số phụ thuộc vào hình dạng kiến trúc của phòng, xác định theo bảng 2.2.

Nếu $N \geq 80$ độ rõ của âm thanh tại vị trí đang xét đạt yêu cầu, nếu $N < 80$ độ rõ không đạt yêu cầu.



Hình 2.20. Xác định các hệ số K_1 , K_2 và K_3 (trong công thức 2-11)

1.7.3. Độ rõ thực tế của phòng

Để xác định độ rõ thực tế của phòng người ta dùng 2 nhóm phương pháp lớn: nhóm những phương pháp thử nghiệm khách quan và nhóm những phương pháp thử nghiệm chủ quan. Trong nhóm phương pháp thử nghiệm khách quan, người ta dùng thiết bị để xác định các đại lượng như thời gian âm vang, độ rõ... tại các vị trí khác nhau khi phòng đã xây dựng xong, so sánh những số đo này với tiêu chuẩn, rồi từ đó đánh giá chất lượng âm của phòng. Trong nhóm phương pháp thử nghiệm chủ quan, người ta bố trí khán (thính) giả ngồi trong phòng, tiến hành những hoạt động thích hợp theo chức năng của phòng, sau đó yêu cầu các khán (thính) giả phát biểu ý kiến đánh giá. Để đánh giá độ rõ người ta làm như sau:

Trong phòng thử nghiệm (đã tồn tại trong thực tế), nhờ có một dãy am-phi chất lượng cao, người ta phát ra một tràng những từ vô nghĩa (được chọn lựa một cách ngẫu nhiên), một tập hợp các thính giả có tình trạng sức khỏe và khả năng nghe bình thường ngồi rải rác ngẫu nhiên trong phòng ghi lại những từ đó. Cuối buổi thử nghiệm người ta tính tỉ số phần trăm giữa những từ ghi đúng và toàn bộ số từ phát ra. Tỉ số này chính là *chỉ tiêu độ rõ*. Nếu chỉ tiêu này $\geq 80\%$ thì độ rõ của phòng đạt yêu cầu.

§2. THIẾT KẾ ÂM THANH CHO PHÒNG

Thiết kế âm thanh cho phòng được tiến hành tuân tự theo những bước sau:

1. Xác định thể tích ban đầu của phòng;
2. Xác định hình dáng và kích thước ban đầu của phòng;
3. Xác định thể tích thực tế của phòng;
4. Xác định số ghế thực tế của phòng;
5. Kiểm tra sơ bộ xem:
 - Phân bố của các tia âm trực tiếp và tia âm phản xạ có hợp lý không?
 - Trong phòng có hiện tượng tiếng vọng, hội tụ âm, vệt âm hay không?
6. Xác định thời gian âm vang tối ưu (T_{tu});
7. Xác định sơ bộ lượng hút âm tổng cộng yêu cầu ($A_{tc, yc}$);
8. Xác định lượng hút âm thay đổi (A_{td});
9. Xác định sơ bộ lượng hút âm cố định yêu cầu ($A_{cd, yc}$);
10. Bố trí sơ bộ vật liệu và cấu kiện hút âm trên các bề mặt trong phòng;
11. Tiến hành tính toán để xác định thời gian âm vang thiết kế (T_{tk});
12. Kiểm tra xem T_{tk} có trùng hợp với T_{tu} hay không?

Nếu gần bằng thì chuyển sang bước 13, nếu sai khác lớn thì phải thực hiện lại từ bước 10 đến bước 12. Các bước 10, 11, 12 được thực hiện trong bảng PL5-3.

13. Kiểm tra xem cấu trúc của những âm phản xạ đầu tiên có phù hợp với cấu trúc tối ưu hay không (bước này tương đối phức tạp, có thể bỏ qua và sẽ kiểm tra lại bằng cách thử nghiệm trên công trình thực sau này).

14. Kiểm tra xem năng lượng âm có đủ hay không.

15. Kiểm tra xem độ rõ có thỏa mãn yêu cầu hay không. Công việc này đối với phòng họp và phòng chiếu bóng là khá phức tạp (công thức 2.10), vì vậy có thể bỏ qua và sẽ kiểm tra lại bằng cách thử nghiệm trên công trình thực sau này, còn đối với các loại phòng biểu diễn văn nghệ và đa chức năng thì đơn giản hơn (công thức 2-11).

16. Bố trí những cấu kiện khuếch tán âm.

17. Thử nghiệm trên mô hình và trên công trình đã xây dựng xong.

Dưới đây sẽ trình bày chi tiết những bước nêu trên:

2.1. Xác định thể tích ban đầu của phòng

Để xác định thể tích ban đầu của phòng có thể tham khảo những số liệu trong các bảng 2-3, 2-4, 2-5 và 2-6.

Bảng 2.3. Vài số liệu để tham khảo trong việc xác định thể tích ban đầu của phòng theo kinh nghiệm của Liên Xô (cũ).

Chức năng của phòng	Thể tích cho mỗi khán giả, m ³ /người
Phòng hội họp	4
Nhà hát kịch nói	5
Nhà hát biểu diễn văn nghệ và đa chức năng	7 ÷ 9
Phòng biểu diễn nhạc giao hưởng (không có dàn ống, không có dàn hợp xướng lớn)	6

Bảng 2.4. Thể tích cực đại của phòng phụ thuộc vào nguồn âm theo đề nghị của W.Furrer/3/.

Nguồn âm	V _{max} của phòng, m ³
Diễn giả trung bình	3.000
Diễn giả nhiều kinh nghiệm	6.000
Hát đơn ca	10.000
Dàn nhạc giao hưởng lớn	20.000
Dàn hợp xướng	50.000

2.2. Xác định hình dạng và kích thước ban đầu của phòng

Hình dạng và kích thước của phòng phải thỏa mãn những yêu cầu sau đây:

a) Khoảng cách lớn nhất từ nguồn âm (trong những phòng thông thường, nguồn âm tính toán đặt ở mặt phẳng sân khấu, trên trục đối xứng và cách mép của nó một khoảng 50 cm) đến chỗ ngồi xa nhất không vượt quá giá trị tối hạn thường lấy 25 m cho những phòng dành cho tiếng nói, 40 m đối với những phòng dành cho âm nhạc, trừ những trường hợp đặc biệt.

Trong các bảng 2.5 và 2.6 giới thiệu giá trị của khoảng cách này cho một số phòng biểu diễn văn nghệ và biểu diễn nhạc giao hưởng được đánh giá là tốt.

Bảng 2.5. Những thông số chính về hình dạng và kích thước của một số phòng biểu diễn văn nghệ được đánh giá là tốt

Tên nhà hát	V, m ³	C, số người	V, m ³ /người	L _{max} , m	R _{sk} /R _p	S _{sk} /S _p
Nhà hát Hàn lâm nghệ thuật ở Maxcova	4800	1160	4,1	23	0,85	1/3
Nhà hát Vattxangốp ở Maxcova	4600	1050	4,4	26	0,85	1/3
Nhà hát của Cung Văn hóa và khoa học ở Vacxôvi	3680	776	4,7	21	0,7	1/3
Nhà hát Puskin ở Maxcova	4400	950	4,6	-	-	-

Các kí hiệu trong bảng 2.5:

V - thể tích của phòng, m³;

C - sức chứa của phòng;

v - thể tích cho mỗi một khán giả, m³/người;

L_{max} - khoảng cách cực đại từ nguồn âm đến chỗ ngồi xa nhất, m;

R_{SK} - chiều rộng của sân khấu, m;

R_p - chiều rộng của phòng, m;

S_{SK} - diện tích của sân khấu, m²;

S_p - diện tích của phòng, m².

b) Độ dốc của sàn và của ban công (có thể 1 hoặc 2, 3 ban công) được xác định theo yêu cầu nhìn thoáng, nghĩa là sao cho tia nhìn của khán (thính) giả ở bất kỳ hàng ghế nào cũng cao hơn mắt của khán thính giả ở hàng ghế liền trước đó một khoảng c (hình 2.1), giá trị của c thường lấy bằng 5 ÷ 7 cm trong trường hợp bố trí ghế so le và bằng 10 ÷ 15 cm trong trường hợp bố trí ghế không so le). Dùng công thức (2.2).

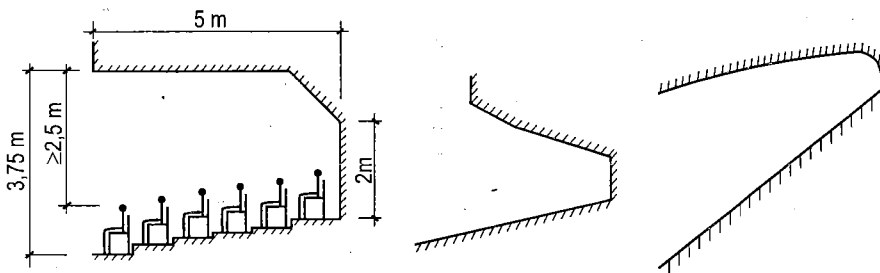
c) Hình dạng và kích thước của khoảng không gian dưới ban công được xác định sao cho năng lượng âm có thể đến đó một cách dễ dàng. Trên hình 2.21 trích từ sách của A.C. Raes/12/ giới thiệu một vài hình dạng và kích thước hợp lý của khoảng không gian này. Nói chung, không bao giờ được thiết kế khoảng không gian dưới ban công mà miệng của nó bé hơn đáy và số hàng ghế trong đó lớn hơn 6.

Bảng 2.6 Những thông số chính về hình dạng và kích thước của một số phòng biểu diễn nhạc giao hưởng được đánh giá là tốt

Tên của phòng nhạc giao hưởng	V, m ³	C, số người	v m ³ /người	L _{max} , m	P, m
Nhà hát hàn lâm quốc gia lớn ở Maxcova	13.000	2200	5,9	-	-
Phòng lớn của nhạc viện ở Maxcova	17.000	1900	8,9	47	11,5
Phòng nhạc giao hưởng Traicôpxki ở Maxcova	17.570	1560	11,3	-	
Cung lễ hội Hoàng gia	22.000	3445	6,4	38	14
Phòng nhạc giao hưởng Kanagovo (Nhật)	6150	1331	4,6	-	-
Phòng nhạc giao hưởng Gothenburg (Thụy Điển)	11.900	1371	8,7	-	-
Cung nhạc giao hưởng Boston (Mỹ)	18.000	2.631	7,1	45	10
Lenox Massachusetts Tangle Wood Music Shed (Mỹ)	42.500	6.000	7,1	47	15
Phòng biểu diễn âm nhạc ở New York	24.200	2.760	8,8	45	12,5
Phòng biểu diễn âm nhạc Solzburg (Áo)	15.500	2158	7,2	35	15

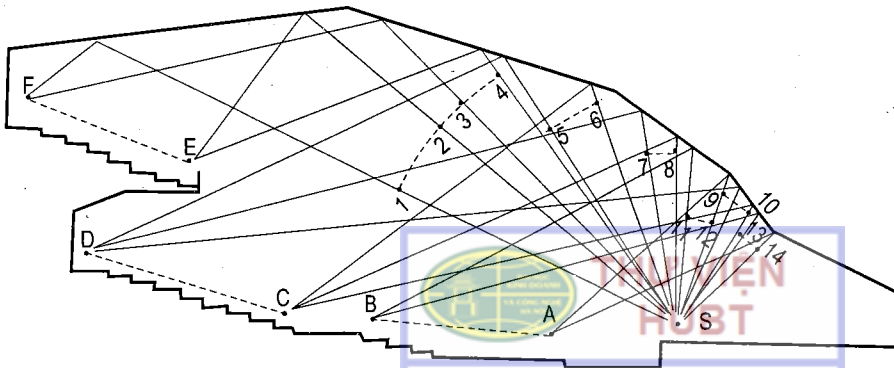
Phòng biểu diễn âm nhạc ở Chiacago	36.600	5081	7,2	55	-
Phòng biểu diễn âm nhạc hàn lâm ở Philadelphia	15.700	2.984	5,3	35	15
Phòng đa chức năng ở Cambridge (Mỹ). Dành cho biểu diễn âm nhạc	10.000	1.238	8,1	25	12
Phòng đa chức năng ở Caracas. Dành cho biểu diễn âm nhạc	25.000	2.060	9,4	-	-

Chú thích: V, C, v, L_{max} - như trong bảng 2.5.
 P - chiều sâu của sân khấu, m.



Hình 2.21. Một vài dạng và kích thước hợp lý của khoảng không gian dưới ban công (theo A. C. Raes [12])

d) Các bề mặt phản xạ âm phải được thiết kế sao cho chúng hướng những tia âm phản xạ đến những vị trí xa nhất, ở đây năng lượng âm trực tiếp không đủ. Trên hình 2.22 giới thiệu một thí dụ về thiết kế tương đối hợp lý những tấm phản xạ âm của trần để bảo đảm một sự phân bố đồng đều năng lượng âm trong một phòng biểu diễn âm nhạc.



Hình 2.22. Thí dụ về thiết kế tương đối hợp lý những tấm phản xạ âm của trần trong một phòng biểu diễn âm nhạc

Từ hình 2.22 thấy rằng những khán - thính giả ngồi trên ban công (vùng EF) nhận được những âm phản xạ trong phạm vi những góc phẳng 1-2 và 3-4; những khán - thính

giả ngồi trong khoảng không gian dưới ban công và ở phần sau của sàn (vùng CD) nhận được những âm phản xạ trong phạm vi những góc phẳng 5-6, 7-8 và 9-10 và những khán giả ngồi ở phần trước của sàn (vùng AB) nhận được những âm phản xạ trong phạm vi những góc phẳng 1-12 và 13-14.

e) Tiếng vọng có nguy cơ xảy ra ở những hàng ghế đầu bởi vì chính ở đó đường đi của âm trực tiếp nói chung là ngắn, hiệu giữa những đường đi của âm phản xạ và âm trực tiếp là đủ dài để vượt quá giá trị tối hạn cho trên đồ thị ở hình 2.10.

Để tránh hiện tượng tiếng vọng ở những hàng ghế đầu, không nên dùng những tấm phản xạ có khả năng hướng tia âm phản xạ đến đấy, và lại ở đây năng lượng âm trực tiếp thường là đã đủ. Nếu sử dụng những tấm phản xạ như đề cập ở đây là bắt buộc thì phải kiểm tra điều kiện nêu ở mục 1.2 của chương này.

g) Để tránh hiện tượng hội tụ âm và vệt âm trong phòng phải áp dụng những biện pháp đề cập ở mục 1.4 của chương này.

2.3. Xác định thể tích thực tế của phòng (V_w): Dựa trên kích thước thực tế đã xác định ở 2-2 để xác định thể tích thực tế của phòng.

2.4. Xác định số ghế thực tế của phòng: Dựa trên mặt bằng và mặt cắt mà xác định số ghế thực tế trong phòng.

2.5. Kiểm tra sơ bộ xem trong phòng các tia phản xạ phân bố có hợp lý không, có hiện tượng tiếng vọng, hội tụ âm và vệt âm hay không? Dựa trên mặt bằng và mặt cắt.

2.6. Xác định thời gian âm vang tối ưu ($T_{w, \text{opt}}$)

Dùng các đồ thị trên hình 2.16 và hình 2.17. Với chức năng xác định và thể tích V của phòng đã được xác định ở mục 2.1.1 của chương này, dùng đồ thị trên hình 2.16, xác định được $T_{w, \text{opt}}$ cho những âm thanh có tần số $f = 1000$ Hz. Cho những tần số khác 1000 Hz, nhân con số tìm được trên đây với một hệ số mà giá trị của nó được cho trên đồ thị của hình 2.17 (trong thiết kế âm thanh cho phòng, thường tính toán cho những tần số 125, 250, 500, 1000, 2000 và 4000 Hz, trừ những trường hợp đặc biệt).

Thí dụ 2.14. Hãy xác định thời gian âm vang tối ưu cho âm thanh ở tần số 125 Hz của một phòng biểu diễn âm nhạc có thể tích 1.000 m^3 .

Giải: Trên hình 2.16, cho phòng biểu diễn âm nhạc, dùng đường thẳng 2 (nhạc giao hưởng, nghe trực tiếp). Với $V = 1000 \text{ m}^3$ và đường thẳng 2 xác định được $T_{w, \text{opt}} = 1,4 \text{ s}$, giá trị này là cho tần số 1000 Hz.

Trên hình 2.17, với đường cong 1 (phòng biểu diễn âm nhạc), thấy rằng với tần số 125 Hz phải nhân giá trị vừa tìm được với hệ số 1,25, do đó:

$$T_{w, \text{opt}} = 1,4 \times 1,25 = 1,75 \text{ (s)}$$

Kết quả ghi vào bảng 2.7.

Bảng 2.7.

f. Hz	125	250	500	1000	2000	4000
T_{tr}, s	1,75	...	1,4			

2.7. Xác định sơ bộ lượng hút âm tổng cộng yêu cầu ($A_{tc,yc}$)

Từ công thức (2-6) rút ra:

$$A_{tc,yc} = 0,16 \frac{V_{tt}}{T_{tr}}, m^2 \quad (2-12)$$

Trong đó:

V_{tt} - thể tích thực tế của phòng, m^3 , đã xác định ở bước 2-3;

T_{tr} - thời gian âm vang tối ưu, s, đã xác định ở bước 2-6.

Vì T_{tr} phụ thuộc vào tần số âm nên $A_{tc,yc}$ cũng phụ thuộc tần số âm. Kết quả ghi vào bảng 2.8.

Bảng 2.8

f. Hz	125	250	500	1000	2000	4000
T_{tr}, s (từ bảng 2.7)	-	-	-	-	-	-
$A_{tc,yc}, m^2$	-	-	-	-	-	-

2.8. Xác định lượng hút âm thay đổi (A_{td})

Dùng công thức:

$$A_{td} = \sum_{j=1}^m N_j a_j \quad (2-13)$$

Trong đó:

N_j - số lượng các cá thể thứ j mà mỗi cá thể có cùng lượng hút âm a_j ;

a_j - lượng hút âm của mỗi cá thể (người, ghế...) m^2 /cá thể, tra ở điểm 9-1, phụ lục 1.

Nếu xem mặt sàn trên đó có bố trí người và ghế như một "kết cấu hút âm" phẳng với hệ số hút âm α thì A_{td} xác định theo công thức:

$$A_{td} = \sum_{i=1}^n S_i \alpha_i, m^2 \quad (2-14)$$

Trong đó:

S_i - diện tích của bề mặt thứ i có hệ số hút âm α_i ;

α_i - hệ số hút âm của bề mặt thứ i, tra ở điểm 9-2, phụ lục 1.

Vì α_j trong công thức (2-13) và α_i trong công thức (2-14) đều phụ thuộc vào tần số âm nên A_{td} cũng phụ thuộc vào tần số âm. Kết quả ghi trong bảng 2.9.

Bảng 2.9

f, Hz	125	250	500	1000	2000	4000
A_{td}, m^2						

2.9. Xác định sơ bộ lượng hút âm cố định yêu cầu ($A_{cd,yc}$)

Dùng công thức:

$$A_{cd,yc} = A_{tc,yc} - A_{td}$$

Trong đó:

$A_{tc,yc}$ - xem bảng 2.8;

A_{td} - xem bảng 2.9.

Kết quả tính ghi trong bảng 2.10.

Bảng 2.10

f, Hz	125	250	500	1000	2000	4000
$A_{tc,yc}, m^2$						
A_{td}, m^2						
$A_{cd,yc}, m^2$						

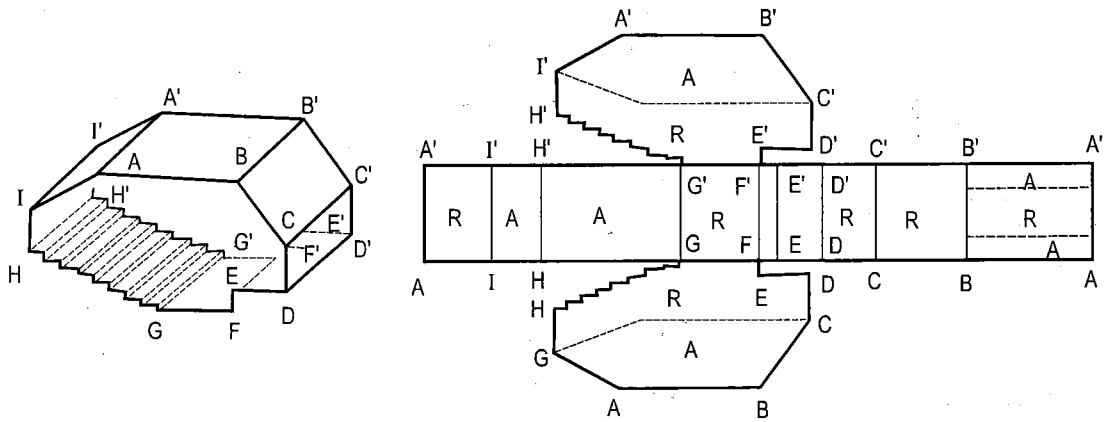
2.10. Bố trí sơ bộ vật liệu và cấu kiện hút âm trên các bề mặt trong phòng

Quá trình bố trí vật liệu và cấu kiện hút âm, phản xạ âm được tiến hành sao cho lượng hút âm cố định thiết kế ($A_{cd,tk}$) gần bằng lượng hút âm cố định yêu cầu ($A_{cd,yc}$) xác định được ở bảng 2.10.

Ngoài ra, trong tiến trình này phải chú ý đến 2 nguyên tắc sau đây:

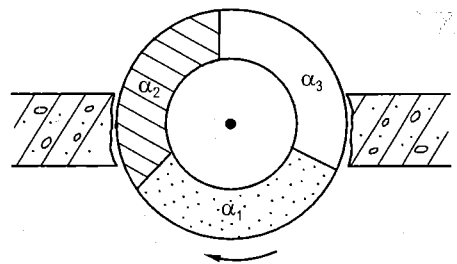
- Trong những phòng nghe trực tiếp chia các bề mặt hút âm và phản xạ âm ra càng nhỏ càng tốt nhằm tạo ra tính đồng nhất cao của trường âm trong phòng, ngược lại, trong những phòng biểu diễn có ghi âm không nên chia nhỏ các bề mặt hút âm và phản xạ âm nhằm tạo điều kiện thuận lợi cho việc cảm nhận của người nghe về vị trí và sự di chuyển của diễn viên hoặc ca sĩ trên sân khấu.

- Bố trí vật liệu và cấu kiện hút âm phản xạ âm theo sơ đồ trên hình 2.23 nhằm bảo đảm hiệu quả cao nhất.



Hình 2.23. Sơ đồ hợp lý của việc bố trí vật liệu và cấu kiện hút âm, phản xạ âm trên các kết cấu bao che trong phòng: A. Bề mặt hút âm mạnh; R. Bề mặt hút âm yếu hoặc phản xạ âm.

Đôi khi người ta cần thay đổi lượng hút âm trong phòng tùy theo hoạt động cụ thể của nó (hội nghị, biểu diễn văn nghệ, biểu diễn nhạc giao hưởng, v.v...), muốn vậy người ta dùng những kết cấu có thể thay đổi được vị trí của bề mặt hút âm, chẳng hạn như kết cấu hình trụ tròn thẳng đứng có thể xoay xung quanh trục của nó như trên hình 2.24.



Hình 2.24.

Cấu kiện hút âm làm từ 3 loại vật liệu hút âm khác nhau có hệ số hút âm $\alpha_1 \neq \alpha_2 \neq \alpha_3$; khi thì vật liệu có hệ số hút âm α_1 quay vào phòng, khi thì vật liệu có α_2, α_3 .

2.11. Tiến hành tính toán để xác định thời gian âm vang thiết kế (T_{tk}) của phòng

Từ công thức (2-9) của Norris - Eyring suy ra:

$$T_{tk} = 0,16 \frac{V_{tt}}{-S \ln(1 - \bar{\alpha}) + nV}$$

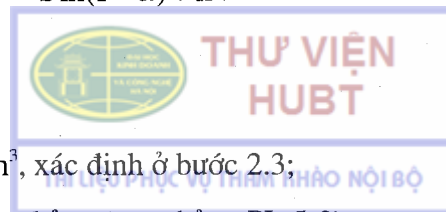
Trong đó:

T_{tk} - tính bằng s;

V_{tt} - thể tích thực tế của phòng, m^3 , xác định ở bước 2.3;

Các bước 2-10 và 2-11 được ghi trong bảng (xem bảng PL 5-3).

2.12. Kiểm tra xem T_{tk} (xác định ở bước 2.11) có trùng hợp với T_{ur} (xác định ở bước 2.6) hay không.



Bước này được thể hiện trên hình PL5-4. Ý nghĩa của các đường trên hình PL5-4 như sau:

Nếu $0,9T_{ur} \leq T_{ik} \leq 1,1T_{ur}$ thì được.

Nếu $T_{ik} < 0,9 T_{ur}$ hoặc $T_{ik} > 1,1T_{ur}$ thì không được, phải làm lại từ bước 2.10 đến bước 2.12.

2.13. Tính toán cấu trúc của những phản xạ âm đầu tiên

Trên nguyên tắc, phải tiến hành tính toán cho tất cả những vị trí trong phòng với tất cả các tần số liên quan, nhưng trên thực tế chỉ tiến hành cho những vị trí đặc trưng và cho tần số $f = 1000$ Hz. Có thể dùng đề nghị của A.N. Cattrerovich nêu ở hình 2.19b. Cần thực hiện lần lượt các bước sau đây:

2.13.1. Xác định giá trị của a , b và c

Trước hết, tìm tất cả các tia âm phản xạ có thể có từ tất cả các bề mặt đến vị trí đang xét. Sau đó xếp những tia âm phản xạ này theo thứ tự từ đoạn đường đi ngắn nhất đến đoạn đường đi dài nhất.

Tia âm phản xạ có đường đi ngắn nhất được đánh số 1, tia đến sau liền kề được đánh số 2 và tia tiếp theo được đánh số 3. Những tia âm đến sau nữa không tính.

Và a , b , c được xác định như sau:

$$a = \frac{\text{đường đi của âm phản xạ 1} - \text{đường đi của âm trực tiếp}}{0,343}$$

$$b = \frac{\text{đường đi của âm phản xạ 2} - \text{đường đi của âm phản xạ 1}}{0,343}$$

$$c = \frac{\text{đường đi của âm phản xạ 3} - \text{đường đi của âm phản xạ 2}}{0,343}$$

Trong những công thức trên, đường đi được tính bằng m; a , b và c được tính bằng milligiây (ms).

2.13.2. Xác định giá trị của a' , b' , c'

Trên hình 2.19b thấy rằng:

a' = mức âm vật lý của âm trực tiếp - mức âm vật lý của âm phản xạ 1.

b' = mức âm vật lý của âm phản xạ 1 - mức âm vật lý của âm phản xạ 2.

c' = mức âm vật lý của âm phản xạ 2 - mức âm vật lý của âm phản xạ 3.

Mặt khác, mức âm vật lý của âm trực tiếp được xác định bằng công thức (2-1), còn mức âm vật lý của các âm phản xạ thì được xác định bằng công thức(2-3).

Từ những công thức (2-1) và (2-3) rút ra:

$$a' = 20(\lg r_1 - \lg r_0) + 10 \lg \frac{1}{1 - \alpha_1}$$

$$b' = 20(\lg r_2 - \lg r_1) + 10 \left(\lg \frac{1}{1 - \alpha_2} - \lg \frac{1}{1 - \alpha_1} \right)$$

$$c' = 20(\lg r_3 - \lg r_2) + 10 \left(\lg \frac{1}{1 - \alpha_3} - \lg \frac{1}{1 - \alpha_2} \right)$$

Trong đó:

r_0 - đường đi của tia âm trực tiếp, m;

r_1, r_2, r_3 - đường đi của các tia âm phản xạ 1, 2, 3;

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ - hệ số hút âm của những bề mặt, từ đó phát ra các tia phản xạ 1, 2, 3.

Có được giá trị của a, b, c, a', b' và c' rồi, so sánh chúng với những giá trị tối ưu cho trên hình 2.19b. Nếu những điều kiện được thỏa mãn thì thôi, nếu chưa thì phải điều chỉnh lại thiết kế.

2.14. Kiểm tra xem năng lượng âm có đủ hay không

Trong thực tế, việc kiểm tra này cũng được thực hiện cho một số vị trí đặc trưng trong phòng với âm thanh tần số 1000 Hz. Quá trình kiểm tra được tiến hành theo những bước sau đây:

2.14.1. Xác định mức âm vật lý của âm trực tiếp tại điểm đang xét

Dùng công thức (2-1) đã biết:

$$L_{r_0} = L_s - \lg r_0 - 8 \text{ dB}$$

Trong đó:

L_s - mức âm vật lý của nguồn âm, giá trị của nó có thể lấy theo bảng 2.11.

L_{r_0} - mức âm vật lý của âm thanh tại điểm đang xét (cách nguồn âm một đoạn r_0).

r_0 - tính bằng m.

Bảng 2.11

Nguồn âm	L_s , dB	Nguồn âm	L_s , dB
Diễn giả	60	Đồng ca 38 người	94
Nhạc thính phòng, đồng ca	70	Dàn nhạc giao hưởng lớn	106
Nhạc giao hưởng	85	Dàn nhạc có đồng ca và độc tấu	114
Nhạc nhảy	85	Đàn ống	124

2.14.2. Xác định hiệu của các mức âm vật lý

- Giữa âm trực tiếp và âm phản xạ 1: a'
- Giữa âm phản xạ 1 và âm phản xạ 2: b'
- Giữa âm phản xạ 2 và âm phản xạ 3: c'

Việc xác định những giá trị này đã trình bày trong mục 2.1.2.

2.14.3. Xác định mức âm vật lý của các âm phản xạ

$$L_{r,1} = L_{r_0} - a'$$

$$L_{r,2} = L_{r_1} - b'$$

$$L_{r,3} = L_{r_2} - c'$$

Trong đó:

L_{r_0} - mức âm của âm trực tiếp (xem công thức ở mục 2.1.1);

$L_{r,1}$, $L_{r,2}$, $L_{r,3}$ - mức âm vật lý của âm phản xạ 1, âm phản xạ 2 và âm phản xạ 3.

2.14.4. Xác định mức âm vật lý tổng cộng ở điểm đang xét (L_{tc})

Theo công thức (1-13).

2.14.5. So sánh mức âm vật lý tổng cộng xác định được ở mục 2.14.4 với mức âm vật lý yêu cầu (L_{yc}). Nếu $L_{tc} \geq L_{yc}$ thì thôi, nếu $L_{tc} < L_{yc}$ phải điều chỉnh lại thiết kế.

Mức âm vật lý yêu cầu (L_{yc}) cho tất cả các vị trí trong phòng phải lớn hơn mức âm vật lý của tiếng ồn nền 10 dB. Mức âm vật lý của tiếng ồn nền thường lấy bằng 30 dB, vì vậy mức âm vật lý yêu cầu tại bất kì điểm nào trong phòng cũng phải $\geq 40 \div 50$ dB.

2.15. Kiểm tra độ rõ của âm thanh

Trong thực tế việc này được thực hiện tại một số vị trí đặc trưng của phòng cho âm thanh tần số 1000 Hz và với độ đầy của phòng 70%, nghĩa là số ghế có người ngồi chiếm 70% toàn bộ số ghế trong phòng (xem mục 1.7.2 của chương này).

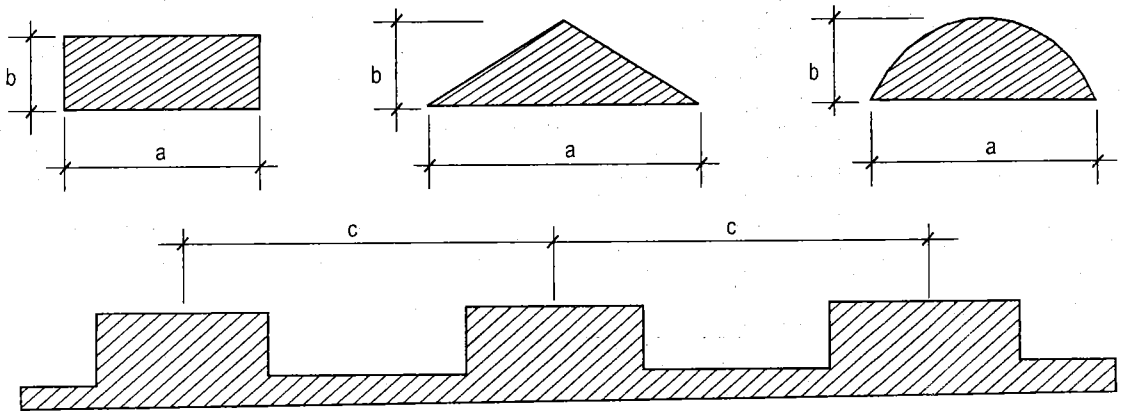
2.16. Bố trí những cấu kiện khuếch tán âm

Trong những phòng nghe trực tiếp (dù là tiếng nói hay tiếng nhạc) người ta dùng những cấu kiện khuếch tán âm với những hình dạng khác nhau như trụ chữ nhật, trụ tam giác, trụ bán nguyệt, khối tháp, khối nhị diện, chòm cầu, v.v... (hình 2.25) và kích thước khác nhau nhằm bảo đảm tính đồng nhất của trường âm.

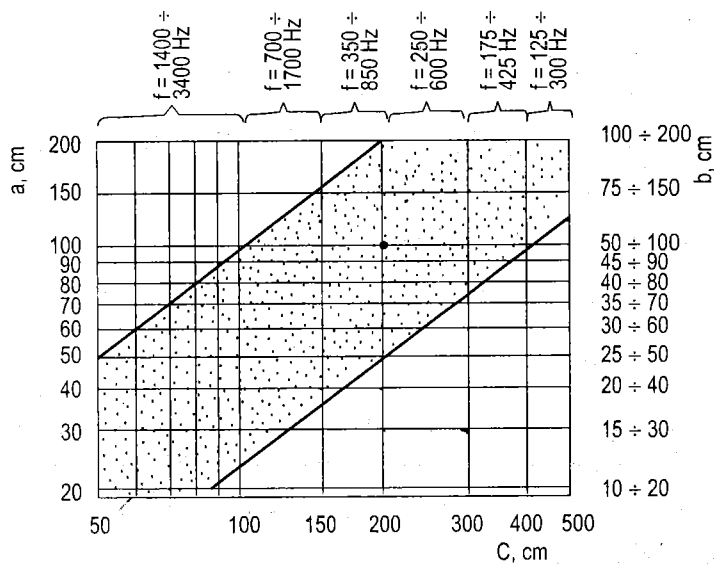
Hiệu quả khuếch tán âm của những cấu kiện này sẽ đáng kể nếu chúng được thiết kế theo những nguyên tắc sau đây:

- Số lượng các cấu kiện khuếch tán âm càng nhiều càng tốt,
- Số lượng kiểu dáng của các cấu kiện khuếch tán âm càng nhiều càng tốt;

- Kích thước của các cấu kiện khuếch tán âm càng khác nhau nhiều càng tốt;



Hình 2.25. Những hình khối khác nhau của cấu kiện khuếch tán âm



Hình 2.26. Biểu đồ xác định kích thước hợp lý của cấu kiện khuếch tán âm; a, b, c - xem hình 2.25.

Kích thước của cấu kiện khuếch tán âm có thể xác định theo biểu đồ hướng dẫn của Carl Hanus/11/trên hình 2.26.

Thí dụ 2.16. Xác định độ sâu b của những cấu kiện khuếch tán âm có dạng khối trụ tam giác, khoảng cách giữa chúng với nhau $c = 200$ cm và chiều rộng của mỗi cấu kiện $a = 100$ cm.

Giải: Trên hình 2.26 tìm được điểm tương ứng với $c = 200$ cm và $a = 100$ cm. Đọc được $b = 50 \div 100$ cm.

Trong những phòng biểu diễn có ghi âm, ngược lại, cần phải tránh, không dùng kết cấu khuếch tán âm (xem 2.2.5).

2.17. Thử nghiệm trên mô hình

Những tính toán từ 2-1 đến 2-16 (của chương này) chỉ cho kết quả gần đúng, sở dĩ như vậy là vì trong quá trình tính toán đã sử dụng rất nhiều dữ liệu và giả thuyết gần đúng, chẳng hạn như hệ số hút âm của các vật liệu và cấu kiện cho trong phụ lục 1, coi miệng sân khấu như một bề mặt có hệ số hút âm bằng 0,5, v.v...

Vì vậy, về nguyên tắc sau khi hoàn thành những tính toán lý thuyết người ta phải tiến hành thử nghiệm trên mô hình để xem trường âm trong mô hình đã đạt được những chất lượng như mong muốn hay chưa, từ đó biết cách điều chỉnh lại thiết kế. Trong khi làm mô hình phải tôn trọng nguyên tắc *giữ nguyên tương quan giữa kích thước của phòng với chiều dài của sóng âm thanh* (bước sóng), điều đó có nghĩa là: kích thước của phòng thu nhỏ bao nhiêu lần thì tần số của âm thanh phát ra trong mô hình phải tăng bấy nhiêu lần.

Tuy nhiên, việc mô hình hóa một phòng về mặt âm thanh là khá phức tạp, chỉ có những chuyên gia âm thanh chuyên sâu mới làm được, vì vậy trong thực tế bước này thường bỏ qua.

2.18. Thử nghiệm trên thực tế sau khi phòng đã xây dựng xong

Nếu bước 2.17 có thể bỏ qua được thì bước 2.18 là bắt buộc với tất cả các trường hợp.

Nội dung công việc của bước này như sau:

- Dùng những thiết bị và dụng cụ đo lường âm thanh khác nhau để đo các đại lượng mà ta quan tâm trong phòng như: thời gian âm vang thực tế, cấu trúc thực tế của những phản xạ âm đầu tiên, năng lượng âm tại các vị trí khác nhau trong phòng, độ rõ của âm thanh (chủ yếu là của tiếng nói), v.v... rồi đem giá trị đo được của những đại lượng đó so sánh với những giá trị tối ưu của chúng để có cách điều chỉnh thiết kế thích hợp.

- Điều chỉnh những bề mặt phản xạ âm, hút âm... cho đến khi đạt được yêu cầu.

Riêng việc thử nghiệm về độ rõ tiếng nói có thể tiến hành theo cách trình bày ở mục 1.7.3 của chương này.



Chương 3

CHỐNG ỒN CHO CÔNG TRÌNH KIẾN TRÚC

§1. TỔNG QUAN VỀ TIẾNG ỒN

1.1. Khái niệm

Về mặt vật lý tiếng ồn và âm thanh đều là những tín hiệu gây ra bởi những sóng cơ học (hay còn gọi sóng đàn hồi) có tần số từ 16 Hz đến 20.000 Hz cho tai người. Về mặt sinh lý âm thanh là những tín hiệu có ích còn tiếng ồn là những tín hiệu hoặc vô ích hoặc có hại cho con người.

Tính có hại của tiếng ồn được thể hiện như sau:

- Chúng có thể gây ra chứng điếc tạm thời và nếu mức âm vật lý vượt quá một ngưỡng nào đấy chúng có thể gây ra chứng điếc vĩnh viễn;
- Chúng có thể làm giảm năng suất lao động (chân tay hay trí óc) của con người;
- Chúng có thể gây phiền toái cho con người như làm mất ngủ, làm suy nhược thần kinh...

Vì vậy, trong khi thiết kế các công trình kiến trúc, cần phải tìm mọi cách chống lại tiếng ồn từ bất cứ nguồn ồn nào.

1.2. Phân loại tiếng ồn

Nói chung, tiếng ồn được phân loại theo hai dấu hiệu chính sau đây: phân loại theo vị trí của nguồn ồn và phân loại theo cách hình thành và lan truyền tiếng ồn.

Theo vị trí của nguồn ồn, tiếng ồn chia ra:

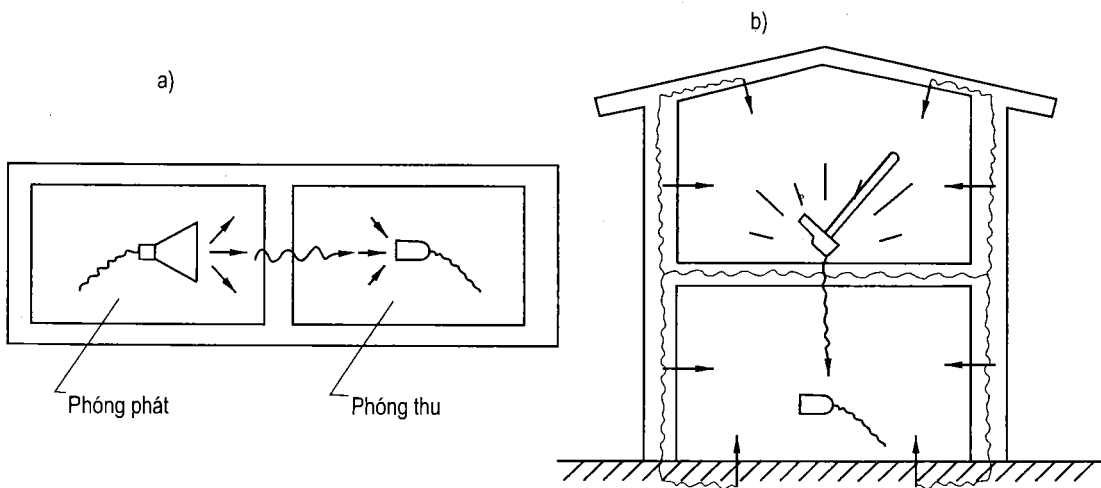
- Tiếng ồn từ những nguồn ồn bên ngoài nhà như tiếng ồn từ các hoạt động giao thông đường bộ, đường sắt, từ các sân bay, từ các máy móc hoạt động trên các công trường xây dựng hay trong các xưởng máy, xí nghiệp, tiếng ồn từ những hạt mưa hoặc mưa đá rơi xuống những kết cấu nhẹ của công trình như mái tôn fibro ximăng, mái tôn kẽm, mái tôn nhựa, v.v...

- Tiếng ồn từ những nguồn ồn bên trong nhà như tiếng ồn trong khi nói chuyện, khi mở radio, tivi, máy nghe đĩa hoặc cát-xet, những tiếng va chạm đập gõ vào tường vào sàn, những bước chân mạnh và sự xô dịch bàn ghế ở tầng trên, v.v...

Theo cách hình thành và lan truyền, tiếng ồn chia ra: *tiếng ồn không khí* và *tiếng ồn va chạm*. Đặc điểm của hai loại tiếng ồn này được thể hiện trong bảng 3.1.

Bảng 3.1. Những nét khác nhau giữa tiếng ồn không khí và tiếng ồn va chạm

Yếu tố khác nhau	Tiếng ồn không khí	Tiếng ồn va chạm
Đặc điểm hình thành	Hình thành trong không khí	Hình thành do sự va chạm giữa một vật rắn và một kết cấu của công trình (tiếng búa đóng đinh vào tường, tiếng xe dịch bàn ghế ở sàn tầng trên, tiếng bước chân ở sàn tầng trên, v.v...)
Đặc điểm lan truyền	Lan truyền chủ yếu trong không khí (hình 3.1a)	Lan truyền chủ yếu trong vật liệu (hình 3.1b)
Đặc trưng của nguồn ồn	Mức âm vật lý của nguồn, L_s dB.	- Lực truyền vào vật liệu trong vùng có va chạm. - Tốc độ dao động của môi trường rắn, trong đó lan truyền tiếng ồn.



Hình 3.1. Sơ đồ hình thành và lan truyền sóng âm không khí (a) và va chạm (b)

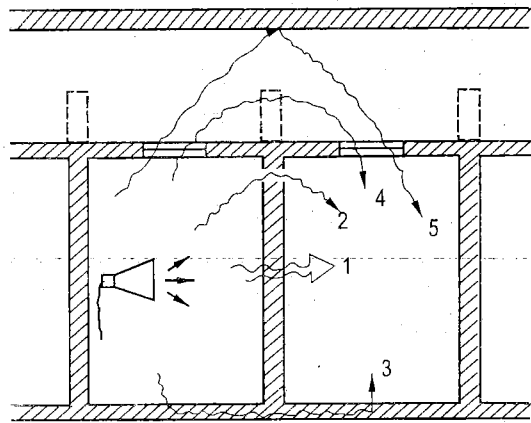
§2. CHỐNG ỒN KHÔNG KHÍ TỪ BÊN TRONG NHÀ

2.1. Sự lan truyền tiếng ồn không khí từ phòng này sang phòng khác

Nói chung, tiếng ồn lan truyền từ phòng phát sang phòng thu bằng 5 con đường như sau:

- Đường 1: Xuyên qua kết cấu ngăn cách, đường chủ yếu;
- Đường 2: Qua những khe hở trên kết cấu ngăn cách;
- Đường 3: Lan truyền dọc theo những kết cấu ngăn cách bao quanh gian phòng và bức xạ vào không gian của phòng thu.

- Đường 4: Qua những lỗ cửa;
- Đường 5: Tiếng ồn phát ra từ phòng phát, xuyên qua các lỗ cửa ra ngoài, phản xạ từ những kết cấu bao che của những ngôi nhà bên cạnh vào phòng thu.



Hình 3.2. Những con đường lan truyền tiếng ồn không khí từ phòng phát sang phòng thu

Với mỗi con đường lan truyền của tiếng ồn trên đây người ta dùng những biện pháp thích hợp:

- Với những con đường 1 và 2: biện pháp chống ồn được xem xét chi tiết ở mục 2.2.
- Với con đường 3: Nói chung, nếu kết cấu thỏa mãn yêu cầu đối với những con đường 1 và 2 thì nó cũng thỏa mãn yêu cầu đối với con đường 3;
- Với những con đường 4 và 5: Đây thuộc về vấn đề quy hoạch, nghĩa là để khắc phục những con đường lan truyền tiếng ồn này, phải bố trí hợp lý các lỗ cửa trên kết cấu bao che của mỗi ngôi nhà, và của những ngôi nhà trên khu xây dựng. Trong trường hợp cần thiết, có thể bố trí những chỗ lồi bổ sung (thể hiện bằng đường chấm chấm trên hình 3.2) để ngăn cản phần nào sự lan truyền tiếng ồn.

2.2. Tính toán và thiết kế cách âm cho kết cấu ngăn cách để chống tiếng ồn không khí (chủ yếu cho những kết cấu đứng)

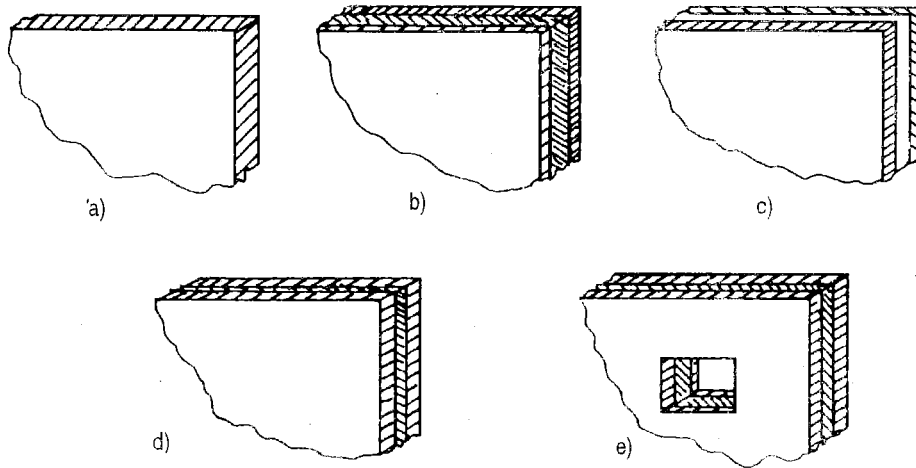
Để làm việc này có thể thực hiện lần lượt những bước sau đây:

- Bước 1: Giả định trước một kiểu kết cấu ngăn cách;
- Bước 2: Xác định "Chỉ số suy giảm mức âm" của kết cấu đã giả định;
- Bước 3: So sánh "Chỉ số suy giảm mức âm" vừa xác định ở bước 2 với "chỉ số cách âm tiêu chuẩn". Nếu số trước lớn hơn hoặc bằng số sau, kết cấu đã giả định là tốt (về mặt cách âm), nếu số trước bé hơn số sau phải giả định một kiểu kết cấu ngăn che khác và tính lại từ đầu.

Để xác định "chỉ số suy giảm âm" của kết cấu ngăn cách người ta chia kết cấu ra những loại sau đây:

- Kết cấu đơn một lớp (hình 3.3a);
- Kết cấu đơn nhiều lớp (hình 3.3b);
- Kết cấu đôi nhiều lớp, trong đó có lớp không khí (hình 3.3c).

Cả 3 loại kết cấu trên đều có thể là liên tục (hình 3.3d) hoặc không liên tục (hình 3.3e).



Hình 3.3. Những loại kết cấu khác nhau về mặt cách âm:

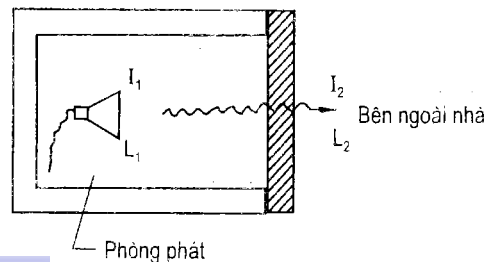
- a) Kết cấu đơn một lớp; b) Kết cấu đơn nhiều lớp; c) Kết cấu đôi nhiều lớp (ở giữa là lớp không khí); d) Kết cấu liên tục; e) Kết cấu không liên tục

2.2.1. Xác định "chỉ số suy giảm âm" của kết cấu đơn một lớp và liên tục

* Chỉ số suy giảm âm của kết cấu

Xét hai trường hợp: trường hợp giả định và trường hợp thực tế.

- Trường hợp giả định: kết cấu ngăn cách phòng phát (tiếng ồn) với bên ngoài (hình 3.4).



Hình 3.4. Kết cấu được khảo sát ngăn cách phòng phát (tiếng ồn) với bên ngoài

Ở bên ngoài không có bất kỳ bề mặt phản xạ âm nào.

I_1, I_2 - lần lượt là cường độ ồn trong phòng phát và cường độ ồn ở bên ngoài;

L_1, L_2 - lần lượt là mức ồn vật lý trong phòng phát và mức ồn vật lý ở bên ngoài.

"Chỉ số suy giảm âm" của kết cấu ngăn cách R được xác định như là hiệu giữa 2 mức ồn vật lý L_1 và L_2 :

$$R = L_1 - L_2 \text{ dB} \quad (3-1)$$

Ở chương 1, đã đề cập hệ số xuyên âm τ của kết cấu. Hãy tìm quan hệ giữa R và τ .

$$\tau = \frac{I_2}{I_1} \Rightarrow I_2 = I_1 \cdot \tau$$

Theo công thức đã có, được:

$$L_2 = 10 \lg \frac{I_2}{I_0} = 10 \lg \frac{I_1 \cdot \tau}{I_0} = 10 \lg \frac{I_1}{I_0} + 10 \lg \tau$$

Lại có:

$$10 \lg \frac{I_1}{I_0} = L_1.$$

Vậy:

$$L_2 = L_1 + 10 \lg \tau \Rightarrow L_1 - L_2 = -10 \lg \tau \Rightarrow 10 \lg \frac{1}{\tau} = L_1 - L_2$$

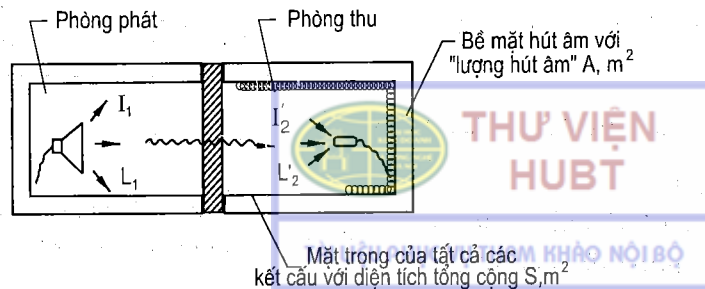
So sánh biểu thức này với công thức định nghĩa (3-1), ta có:

$$R = 10 \lg \frac{1}{\tau} \quad (3-2)$$

- Trường hợp thực tế:

Trong thực tế ta thường gặp trường hợp kết cấu ngăn cách phòng phát (tiếng ồn) với phòng thu có những bề mặt ít nhiều phản xạ âm. Một câu hỏi đặt ra: trong trường hợp này chỉ số suy giảm âm có còn giữ nguyên giá trị như trong trường hợp trước hay không? hay là tăng lên hoặc giảm xuống?

Để trả lời câu hỏi này, hãy xét chính kết cấu này ngăn cách phòng phát có những giá trị I_1 và L_1 như trước, với phòng thu có những giá trị I_2 và L_2 (không phải là không gian mở có những giá trị I_2 và L_2 như trường hợp trước), (hình 3.5).



Hình 3.5. Kết cấu được khảo sát ngăn cách phòng phát với phòng thu có những bề mặt ít nhiều phản xạ âm

Trong trường hợp này, phòng thu không còn là một bán không gian mở nữa mà là một phòng kín với diện tích tổng cộng của những mặt trong là S , khi đó lượng hút âm tổng cộng $A = \sum \alpha_i S_i$ sẽ bé hơn S ; chỉ trong trường hợp đặc biệt, khi mà tất cả các mặt trong hút âm lý tưởng (các $\alpha_i = 1$) ta mới có $A = S$.

Do tồn tại những mặt phản xạ âm trong phòng thu mà I_2 phải lớn hơn I_1 .

Những tính toán lý thuyết cho kết quả:

$$I_2 = I_1 \cdot \frac{S}{A}$$

Trường hợp đặc biệt $S = A \Rightarrow I_2 = I_1$, ta lại có trường hợp trước (giả định).

Từ những biến đổi toán học, rút ra được:

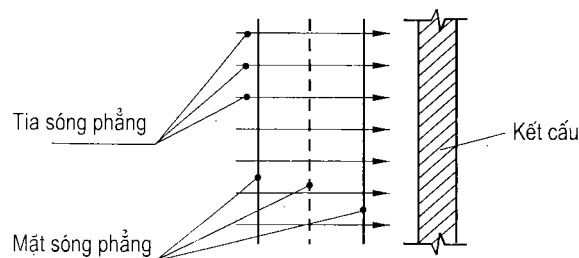
$$R' = R - 10 \lg \frac{S}{A} \quad (3-3)$$

Với công thức (3-3) ta hãy trả lời cho câu hỏi vừa đặt ra trên kia:

Trong những trường hợp thực tế chỉ tiêu suy giảm âm của kết cấu ngăn cách không giống như trong trường hợp giả định mà giảm đi một lượng $10 \lg \frac{S}{A}$.

* Định luật khối lượng và định luật tần số lý thuyết

Xét một kết cấu ngăn cách giả định phẳng và rộng đến vô cùng, với chiều dày và khối lượng bề mặt không đổi, không có tính đàn hồi và không biến dạng, chịu tác động của những sóng phẳng và song song với bề mặt kết cấu (hình 3.6).

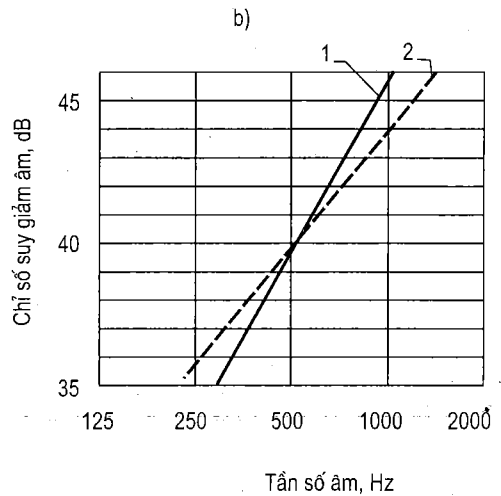
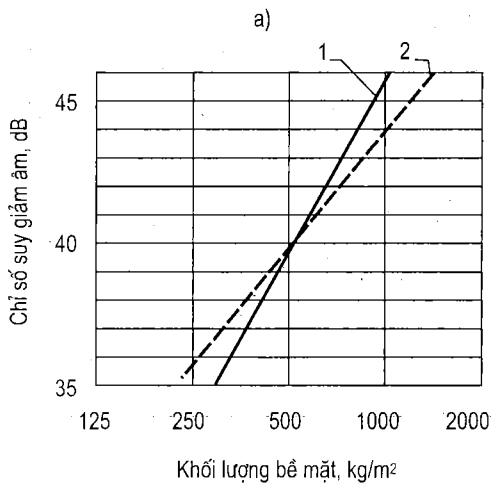


Hình 3.6. Kết cấu ngăn cách dưới tác động của sóng phẳng và song song với bề mặt kết cấu

Trong trường hợp này tính toán lý thuyết chỉ ra rằng:

- Tại một tần số âm xác định, nếu khối lượng bề mặt của kết cấu tăng gấp đôi thì chỉ số suy giảm âm của nó tăng 6 dB (hình 3.7a, đường 1), đây là định luật khối lượng lý thuyết.

- Tại một khối lượng bề mặt xác định nếu tần số sóng âm tăng gấp đôi thì chỉ số suy giảm âm của nó tăng 6 dB (hình 3.7b, đường 1), đây là định luật tần số lý thuyết.



Hình 3.7. Định luật khối lượng (a) và định luật tần số (b)

1. Lý thuyết; 2. Thực nghiệm

*** Định luật khối lượng và định luật tần số thực nghiệm**

Để xác lập những định luật khối lượng và tần số thực nghiệm người ta thực hiện những phép đo trên kết cấu ngăn cách với những điều kiện sau:

- Kết cấu không có lỗ rỗng;
- Bề mặt kết cấu đủ lớn ($S \geq 10 \text{ m}^2$);
- Truyền âm bằng những con đường gián tiếp (tường bên, trần, sàn) nhỏ không đáng kể.

Kết quả đo thực nghiệm cho thấy:

+ Tại một tần số âm cho trước

- Nếu khối lượng bề mặt p của kết cấu ngăn cách bé hơn 2000 kg/m^2 thì:

$$R = 13,3 \lg p \quad (3-4)$$

Trong đó R tính bằng dB và p tính bằng kg/m^2 .

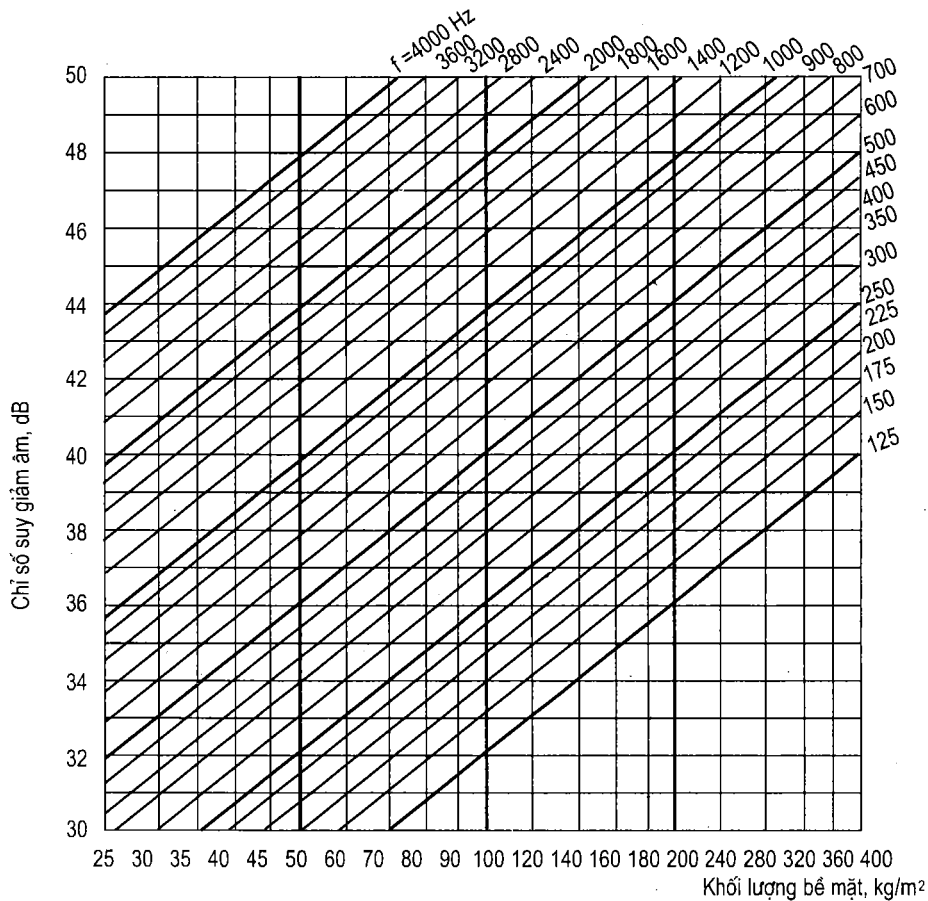
- Nếu khối lượng bề mặt p lớn hơn 2000 kg/m^2 thì:

$$R = 15 \lg 4p \quad (3-5)$$

Những công thức (3-4) và (3-5) chỉ ra rằng với những kết cấu ngăn cách có khối lượng từ 20 đến 2000 kg/m^2 , nếu khối lượng bề mặt tăng gấp đôi thì chỉ số suy giảm âm của kết cấu tăng 4 dB (hình 3.7a, đường 2). Đây là *định luật khối lượng thực nghiệm*.

+ Tại một khối lượng bề mặt cho trước, nếu tần số âm tăng gấp đôi thì chỉ số suy giảm âm của kết cấu tăng lên 4 dB (hình 3.7b, đường 2). Đây là *định luật tần số thực nghiệm*.

Những định luật khối lượng và tần số thực nghiệm, được thể hiện trên hình 3.8.



Hình 3.8. Định luật khối lượng và định luật tần số thực nghiệm

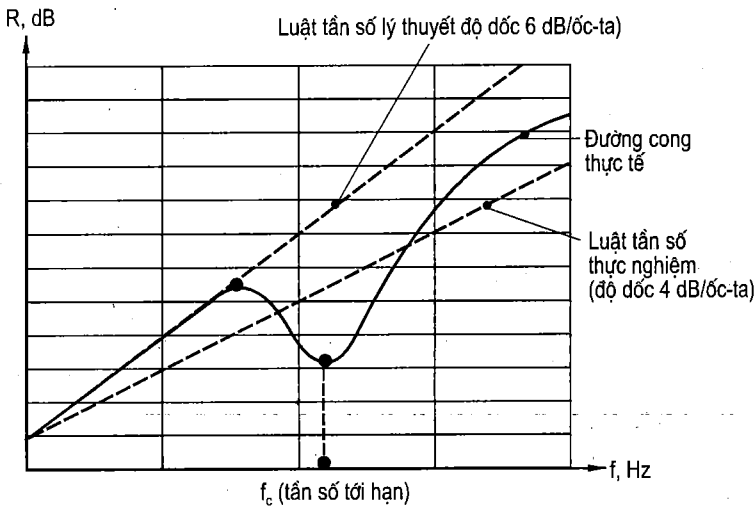
Để xác định chính xác hơn chỉ số suy giảm âm của kết cấu đơn một lớp liên tục ta cần phải xét cách ứng xử thực tế của nó đối với sóng âm.

* *Ứng xử thực tế đối với sóng âm của một kết cấu ngăn cách đơn một lớp liên tục.*

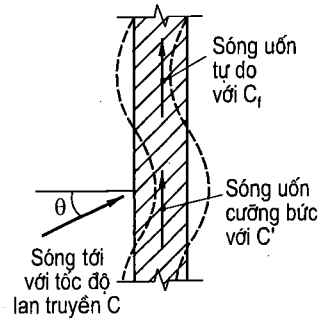
Xét một kết cấu đơn một lớp liên tục không có lỗ rỗng bên trong với kích thước lớn chịu tác động của một lượng vô cùng nhiều sóng âm phẳng tới. Đường cong thực tế của chỉ số suy giảm âm của kết cấu này được thể hiện trên hình 3.9.

Hình 3.9 cho thấy:

- Có một sự giảm đột ngột của chỉ số suy giảm âm của kết cấu ngăn cách cho một tần số âm nào đó, tần số này gọi là *tần số tới hạn* và ký hiệu là f_c ;
- Với những âm có tần số bé hơn tần số tới hạn đường cong thực tế nói chung là tuân theo định luật tần số lý thuyết (độ dốc 6 dB/óc-ta).
- Với những âm có tần số lớn hơn tần số tới hạn, độ dốc của đường cong thực tế nằm giữa 6 dB/óc-ta (định luật tần số lý thuyết) và 4 dB/óc-ta (định luật tần số thực nghiệm).



Hình 3.9. Đường cong thực tế "R -f" của một kết cấu ngăn cách đơn một lớp liên tục không có lỗ rỗng bên trong.

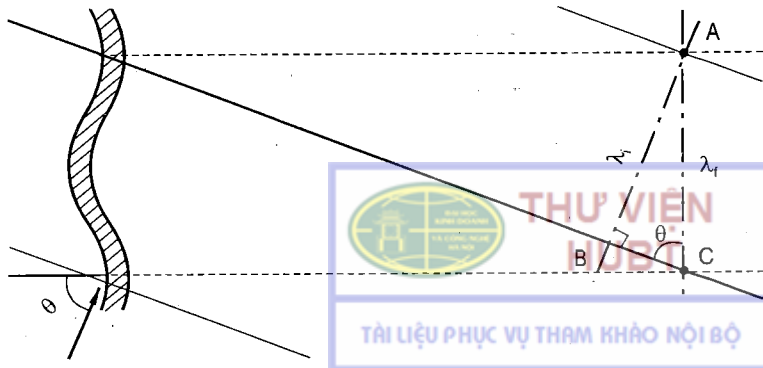


Hình 3.10. Những sóng uốn (cường bức và tự do) được hình thành trong kết cấu đàn hồi

*** Tần số tới hạn của kết cấu ngăn cách đơn một lớp liên tục**

Trong tính toán lý thuyết về "chỉ số suy giảm âm" của kết cấu ngăn cách (mục 2.2.1), người ta giả thiết rằng kết cấu hoàn toàn không đàn hồi. Giả thiết này, mặc dù cho một tiềm cận tốt với bài toán đặt ra nhưng không trùng hợp hoàn toàn với thực tế.

Sự thực là, bất cứ kết cấu ngăn cách nào cũng đều có tính đàn hồi: khi sóng âm đập vào nó tại một điểm bất kỳ, tại điểm đó phát sinh ra những sóng uốn cường bức, những sóng này lan truyền dọc theo kết cấu với tốc độ C' , sau đó chúng biến thành sóng uốn tự do, sóng này cũng lan truyền dọc theo kết cấu nhưng với tốc độ khác $C_1 \neq C'$ (hình 3.10). Trị số của C' (tốc độ lan truyền sóng uốn cường bức), phụ thuộc vào tốc độ lan truyền trong không khí của âm tới C và vào góc tới θ . Để xác định sự phụ thuộc này, hãy xét hình 3.11.



Hình 3.11. Liên hệ giữa C' (tốc độ lan truyền sóng uốn cường bức), C (tốc độ lan truyền sóng tới trong không khí) và θ (góc tới của sóng âm).

λ_1 - bước của sóng tới (lan truyền trong không khí);
 λ - bước của sóng uốn cường bức (lan truyền dọc theo kết cấu); θ - góc tới.

Trên tam giác ABC (hình 3.11) với $\overline{AB} = \lambda_i$; $\overline{AC} = \lambda_f$ và $\widehat{ACB} = \theta$, ta có:

$$\lambda_i = \lambda_f \sin \theta$$

Mà $\lambda_i = \frac{C}{f}$ (như đã biết) và $\lambda_f = \frac{C'}{f}$

Từ các biểu thức trên, rút ra:

$$\frac{C}{f} = \frac{C'}{f} \sin \theta$$

Từ đó, có:

$$C' = \frac{C}{\sin \theta} \quad (3-6)$$

Công thức (3-6) thể hiện liên hệ giữa C' , C và θ mà ta muốn tìm, mối liên hệ này cho thấy:

Tốc độ lan truyền của sóng uốn cường bức dọc theo kết cấu (C') chỉ phụ thuộc vào những tính chất của sóng tới (C và θ) mà không phụ thuộc vào những tính chất của kết cấu (khối lượng đơn vị ρ , chiều dày e , v.v...).

Về C_f (tốc độ lan truyền sóng uốn tự do), người ta đã chứng minh được rằng nó phụ thuộc chủ yếu vào những đặc trưng của kết cấu, biểu thức thể hiện sự phụ thuộc này như sau:

$$C_f = \sqrt{2\pi e \left(\frac{E}{12\rho} \right)^{1/2}} \cdot \sqrt{f} \quad (3-7)$$

Trong đó:

e - chiều dày của kết cấu, m;

E - môđun đàn hồi của vật liệu làm nên kết cấu, N/m^2 ;

ρ - khối lượng đơn vị của kết cấu, kg/m^3 ;

f - tần số của sóng âm tới, Hz.

Biểu thức (3-7) cho thấy:

Với một kết cấu cho trước (nghĩa là những đại lượng trong dấu căn lớn đều là hằng số), tốc độ lan truyền sóng uốn tự do dọc theo kết cấu (C_f) tỉ lệ thuận với căn bậc hai của tần số sóng âm tới.

Nói chung, C_f khác với C' , nhưng cũng có những trường hợp, trong đó người ta tìm thấy một vài giá trị thích hợp của góc θ và của tần số f sao cho $C' = C_f$. Để tìm những giá trị này của θ và f ta cho bằng nhau C' và C_f :

$$C' = C_f \Rightarrow \frac{C}{\sin \theta} = \sqrt{2\pi e \left(\frac{E}{12\rho} \right)^{1/2}} \cdot \sqrt{f}$$

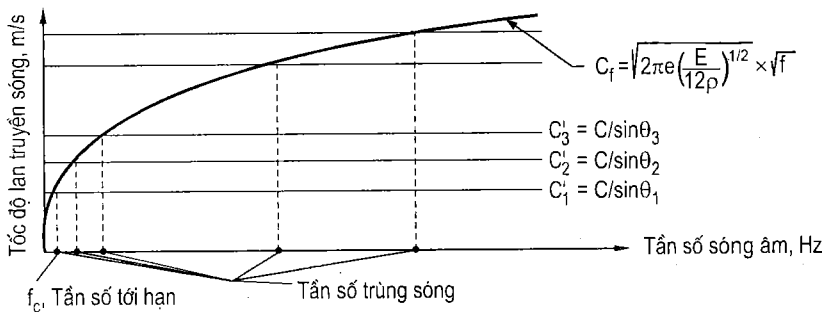
Từ biểu thức trên rút ra:

$$f = \frac{C^2}{2\pi e} \left(\frac{12\rho}{E} \right)^{1/2} \times \frac{1}{\sin^2 \theta} \quad (3-8)$$

Nếu f và θ cùng nhau thỏa mãn phương trình (3-8) ta sẽ có $C' = C_1$ và trong trường hợp này xảy ra hiện tượng trùng sóng.

Vậy là, với một kết cấu ngăn cách cho trước, bởi vì sóng âm tới có thể có cùng lúc những tần số f khác nhau và những góc tới θ khác nhau, hiện tượng trùng sóng cũng xảy ra cùng lúc trên nhiều tần số khác nhau, mà mỗi tần số trong đó tương ứng với một góc tới xác định.

Những tần số âm tới thỏa mãn biểu thức (3-8) gọi là *tần số trùng sóng*. Tần số thấp nhất trong số những tần số trùng sóng gọi là *tần số tới hạn*, ký hiệu là f_c (hình 3.12). Đây chính là tần số f_c mà ta đã thấy trên hình 3.9.



Hình 3.12. Những tần số trùng sóng và tần số tới hạn

Từ biểu thức (3-8) viết được dễ dàng công thức xác định f_c :

$$f_c = \frac{C^2}{2\pi e} \left(\frac{12\rho}{E} \right)^{1/2} \cdot \frac{1}{\sin^2 \theta_{\max}} \quad (3-9)$$

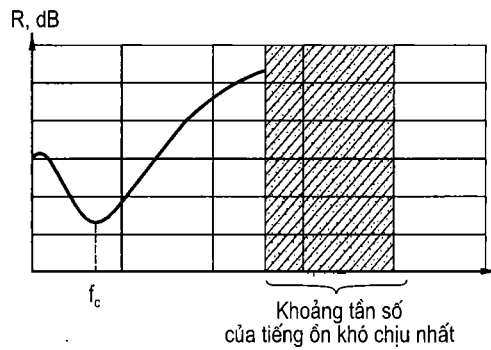
Hình 3.12 cho thấy:

Trong khoảng tần số của sóng âm tới nhỏ hơn tần số tới hạn ($f < f_c$) biểu thức (3-8) không được thỏa mãn (bởi vì f_c đã là tần số trùng sóng nhỏ nhất trong tất cả các tần số trùng sóng), vì vậy trong khoảng tần số này không có hiện tượng trùng sóng và khả năng cách âm của kết cấu được chi phối bởi định luật khối lượng lí thuyết (đoạn bên trái của đường cong thực tế (hình 3.9).

Trong khoảng tần số của sóng âm tới lớn hơn tần số tới hạn ($f > f_c$) có nhiều giá trị của f mà tại đó xảy ra hiện tượng trùng sóng. Vì vậy, trong khoảng tần số này khả năng cách âm của kết cấu giảm so với định luật tần số lí thuyết (đoạn bên phải của đường cong thực tế trên hình 3.9).

Ngay tại tần số sóng âm bằng tần số tới hạn ($f = f_c$) hiện tượng trùng sóng là mạnh nhất, vì vậy độ giảm của khả năng cách âm là lớn nhất (đoạn giữa của đường cong thực tế trên hình 3.9).

Vì vậy, trong khi thiết kế cách âm cho kết cấu ngăn cách, phải làm sao cho tần số tới hạn không rơi vào khoảng các tần số của tiếng ồn khó chịu nhất (hình 3.13).



Hình 3.13. Phải làm sao cho tần số tới hạn không rơi vào khoảng những tần số của tiếng ồn khó chịu nhất

Biểu thức (3-9) cho thấy: với một kết cấu thuần nhất làm từ một vật liệu nhất định, tần số tới hạn của nó tỉ lệ nghịch với chiều dày của nó. Vì vậy, để giảm f_c xuống thấp hơn khoảng tần số của tiếng ồn khó chịu, phải tăng chiều dày của kết cấu, ngược lại, để tăng f_c lên cao hơn khoảng tần số này phải giảm e .

Bảng 3.1. Giá trị của tần số tới hạn của một số kết cấu một lớp thuần nhất liên tục

Vật liệu	Khối lượng đơn vị, kg/m^3	f_c cho chiều dày kết cấu $e = 1\text{cm}$, Hz
Cao su	1100	85.000
Điền điển	250	18.000
Polystyrène giãn nở	14	14.000
Thép	7800	1.000
Nhôm	2700	1.300
Chì	10.600	8.000
Thủy tinh	2.500	1.200
Gạch đặc	2000-2500	2500-5000
Gạch pa-panh	2000	2700
Bê tông nặng	2300	1800
Bê tông xốp	1000	4500
Thạch cao	1000	4000
Gỗ (sapin)	600	6000-13000
Tấm ép sợi gỗ	-	3300

Chú thích: Với kết cấu có chiều dày e cm, f_c bằng giá trị trong bảng chia cho e .

**Mất năng lượng âm trong nội bộ kết cấu*

Ta đã biết rằng tại tần số tới hạn f_c hiện tượng trùng sóng làm giảm khả năng cách âm của kết cấu (hình 3.9). Mặt khác sự suy giảm này bị giới hạn bởi nhiều dạng mất năng lượng xảy ra trong quá trình truyền sóng âm: mất năng lượng do sự bức xạ sóng âm của kết cấu, mất năng lượng do sự dẫn sóng âm sang những kết cấu ngăn cách liền kề và mất năng lượng ngay trong nội bộ kết cấu đang xét.

Một trong 3 dạng mất năng lượng nói trên, dạng mất năng lượng trong nội bộ kết cấu, được gây ra bởi hiện tượng ma sát trong lòng kết cấu, nó chỉ phụ thuộc vào bản chất của vật liệu làm nên kết cấu mà thôi.

Giá trị của độ giảm khả năng cách âm của kết cấu tại tần số tới hạn được cho trong bảng 3.2.

Bảng 3.2.

Vật liệu	Độ giảm khả năng cách âm của kết cấu tại f_c , dB
Những vật liệu có mất năng lượng nội bộ nhỏ: thép, nhôm, kính...	≈ 10
Những vật liệu có mất năng lượng nội bộ trung bình: bê tông, thạch cao, gỗ...	$6 \div 8$
Những vật liệu có mất năng lượng nội bộ lớn: cao su, diên điển, chì...	$3 \div 4$

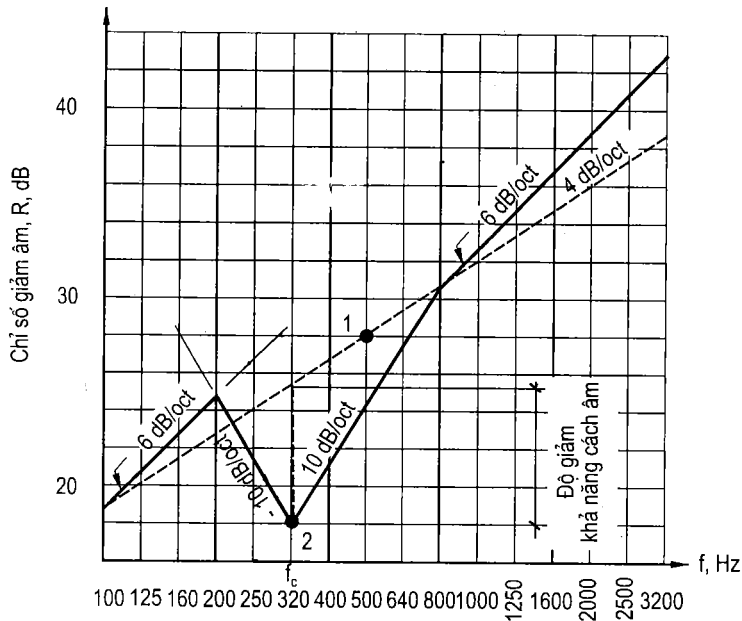
** Xác định chính xác hơn chỉ số suy giảm âm của kết cấu một lớp thuần nhất liên tục*

Để xác định chính xác hơn chỉ số suy giảm âm của kết cấu một lớp thuần nhất liên tục phải tiến hành từng bước những việc sau đây:

1. Xác định chỉ số suy giảm âm theo định luật khối lượng thực nghiệm ở tần số 500 Hz (hình 3.8) và xác định điểm tương ứng trên đồ thị "R-f" (điểm 1 trên hình 3.14).
2. Qua điểm vừa mới xác định kẻ đường thẳng với độ dốc 4 dB/ốc-ta theo định luật tần số thực nghiệm.
3. Tính tần số tới hạn f_c của kết cấu (xem bảng 3.1).
4. Xác định độ suy giảm khả năng cách âm của kết cấu tại tần số tới hạn có kể đến độ mất năng lượng bên trong vật liệu (xem bảng 3.2) và xác định điểm tương ứng trên đồ thị (điểm 2 trên hình 3.14).
5. Kẻ đường gãy "chỉ số suy giảm âm" có tính đến các độ dốc khác nhau được chỉ ra trong từng khoảng tần số;
6. Trên đồ thị lấy chỉ số suy giảm âm R cho 16 tần số sau:
Trầm: 100, 125, 160, 200, 250, 320 Hz.

Trung: 400, 500, 640, 800, 1000, 1250 Hz.

Cao: 1600, 2000, 2500, 3200 Hz.



Hình 3.14. Xác định chỉ số suy giảm âm của kết cấu đơn một lớp liên tục

7. Tính chỉ số suy giảm âm trung bình R_{th} của kết cấu, đó là hệ thống gồm 3 số:

$$\left. \begin{aligned} R_G &= \frac{R_{100} + R_{125} + \dots + R_{320}}{6} \\ R_M &= \frac{R_{400} + R_{500} + \dots + R_{1250}}{6} \\ R_A &= \frac{R_{1600} + R_{2000} + R_{2500} + R_{3200}}{4} \end{aligned} \right\} \quad (3-10)$$

Thí dụ 3.1. Xác định chỉ số suy giảm âm trung bình của một kết cấu bằng bê tông dày 8 cm.

Giải:

1. Chỉ số suy giảm âm ở tần số 500 Hz:

ρ của bê tông = 2.300 kg/m³ (xem bảng 3.1).

Khối lượng bề mặt của kết cấu:

$$2300 \times 0,08 = 184 \text{ kg/m}^2;$$

Theo đồ thị trên hình 2.8, với $f = 500$ Hz và khối lượng bề mặt = 184 kg/m², ta có:

$$R = 43,5 \text{ dB}$$

Xác định điểm $\begin{cases} f = 500 \text{ Hz} \\ R = 43,5 \text{ dB} \end{cases}$ trên đồ thị (xem hình 3.15).

2. Kẻ đường thẳng có độ dốc 4 dB/ốc-ta qua điểm vừa xác định.

3. Tính f_c theo bảng 3.1:

$$f_c = \frac{1800}{8} = 225 \text{ Hz}$$

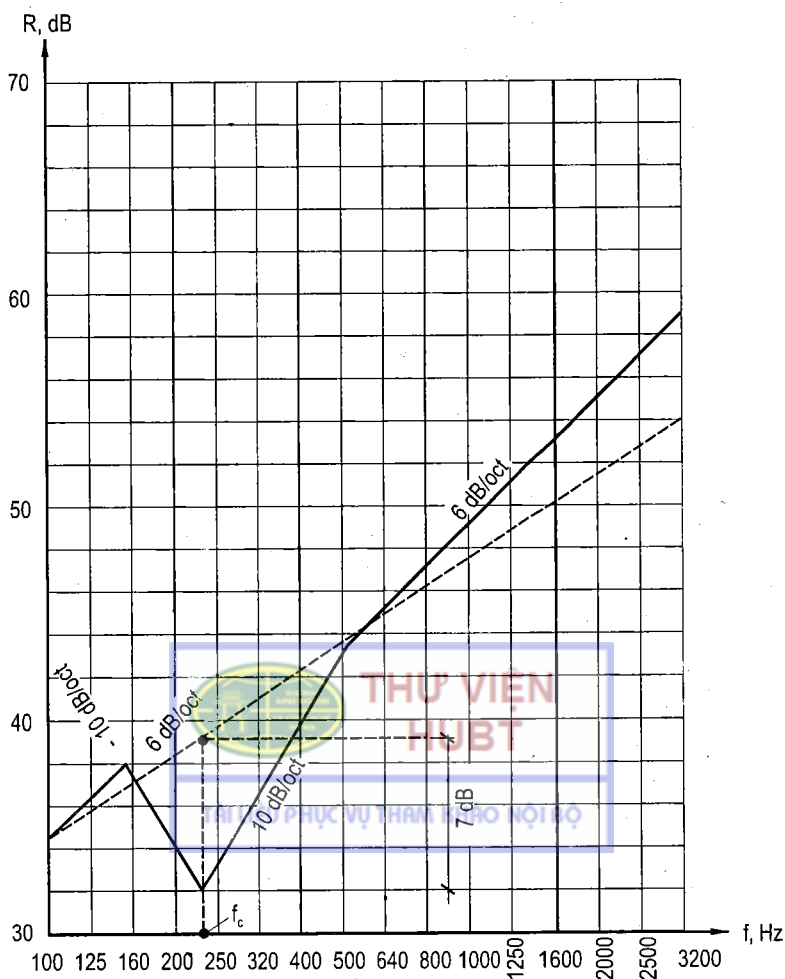
Xác định f_c trên đồ thị.

4. Xác định độ suy giảm khả năng cách âm ở tần số f_c : theo bảng 3.2 thì độ suy giảm khả năng cách âm = 7 dB (cho bê tông);

Xác định điểm $f_c = 225 \text{ Hz}$; độ suy giảm = 7 dB trên đồ thị.

5. Kẻ đường gãy "chỉ số suy giảm âm". Đường gãy gồm 4 đoạn thẳng: đoạn 1 có độ dốc 6 dB/ốc-ta, đoạn 2 có độ dốc -10 dB/ốc-ta, đoạn 3 có độ dốc 10 dB/ốc-ta và đoạn 4 có độ dốc 6 dB/ốc-ta.

Hình 3.15. Xác định chỉ số suy giảm âm của kết cấu một lớp thuần nhất liên tục bằng bê tông dày 8 cm (thí dụ)



6. Lấy trên đồ thị giá trị của chỉ số suy giảm âm cho 16 tần số:

Trầm	f, Hz	100	125	160	200	250	320
	R, dB	34	36	37	33,5	33	36,5
Trung	f, Hz	400	500	640	800	1000	1250
	R, dB	39,5	43	45,5	47	49	51
Cao	f, Hz	1600	2000	2500	3200		
	R, dB	53	55	57	59		

7. Tính chỉ số suy giảm âm trung bình:

$$R_G = \frac{34 + 36 + 37 + 33,5 + 33 + 36,5}{6} = 35 \text{ dB}$$

$$R_M = \frac{39,5 + 43 + 45,5 + 47 + 49 + 51}{6} = 45,7 \text{ dB}$$

$$R_A = \frac{53 + 55 + 57 + 59}{4} = 56 \text{ dB}$$

2.2.2. So sánh chỉ số suy giảm âm của kết cấu ngăn cách với chỉ số cách âm tiêu chuẩn

* Chỉ số cách âm tiêu chuẩn của kết cấu ngăn cách D_n

Trong mục 2.2.1 ta đã thấy rằng trong những trường hợp thực tế chỉ số suy giảm âm của kết cấu không còn như trong trường hợp giả định mà giảm đi một lượng $10 \lg \frac{S}{A}$ và rằng để thiết lập những chỉ số cách âm tiêu chuẩn của các kết cấu ngăn cách người ta phải nâng lên một lượng nào đó, tùy từng trường hợp, để bù vào chỗ giảm này.

Từ những lập luận nêu trên, người ta lấy những liên hệ sau đây của D_n cho những phòng có chức năng khác nhau:

- Cho những phòng ở có khối tích $\approx 31 \text{ m}^3$:

$$D_n = L_1 - L_2 + 10 \lg \frac{T}{0,5} \quad (3-11)$$

- Cho những phòng học:

$$D_n = L_1 - L_2 + 10 \lg T \quad (3-12)$$

Trong đó:

L_1 - mức âm vật lý của tiếng ồn không khí trong phòng phát hay bên ngoài nhà, dB;

L_2 - mức âm vật lý tiêu chuẩn của tiếng ồn trong phòng đang xét (phòng thu), biến thiên theo tần số âm, dB;

T - thời gian âm vang của phòng đang xét, s.

Từ các biểu thức (3-11) và (3-12) và từ những giá trị của L_1 , L_2 , T (cách xác định T - xem chương 2), người ta xác định được tiêu chuẩn cách âm như trình bày dưới đây (giới thiệu cách làm của Pháp để tham khảo):

1. Chống ồn từ nguồn bên ngoài nhà

Khả năng cách âm tiêu chuẩn trung bình giữa bên ngoài nhà với những phòng chính, phòng bếp không dưới 15, 20, 25 dB (số đầu cho khoảng tần số trầm, số giữa cho khoảng tần số trung và số cuối cho khoảng tần số cao).

Trong trường hợp ngôi nhà ở gần nguồn ồn lớn (đường cao tốc, sân bay...) những giá trị trên đây tương ứng sẽ là: 25, 32, 40 dB.

2. Chống ồn không khí lan truyền từ phòng này đến phòng kia trong ngôi nhà.

* Khả năng cách âm tiêu chuẩn trung bình giữa 2 phòng thuộc 2 căn hộ khác nhau phải lớn hơn hoặc bằng: 36, 48, 54 dB.

* Khả năng cách âm thô⁽¹⁾ trung bình giữa phòng chính hay phòng bếp với lối đi khép kín trong nhà chung cho nhiều căn hộ phải lớn hơn hoặc bằng: 30, 38, 38 dB.

* Chỉ số suy giảm âm trung bình của kết cấu ngăn cách, trừ cửa, giữa phòng chính với lồng cầu thang hoặc với lối đi khép kín trong nhà phải lớn hơn hoặc bằng: 33, 45, 51 dB.

Thí dụ 3.2. Kết cấu ngăn cách được cho trong thí dụ 3.1. Hãy kiểm tra xem, kết cấu này có thể dùng để ngăn cách phòng chính với lồng cầu thang hay không?

Giải:

So sánh giá trị của R_G , R_M và R_A tính được ở thí dụ 3.1 với giá trị của các D_n vừa nêu trên đây, ta có:

$$R_G, R_M, R_A = 35; 45,7; 56 > D_n = 33; 45; 51.$$

Vậy là, kết cấu ngăn cách đã cho trong thí dụ 3.1 có thể dùng được cho trường hợp này.

2.2.3. Những yếu tố khác góp phần xác định khả năng cách âm của kết cấu ngăn cách đơn một lớp liên tục

Như đã nói ở mục 2.2.1, để xác lập những định luật khối lượng và tần số thực nghiệm người ta cho rằng kết cấu không có lỗ rỗng bên trong, bề mặt kết cấu đủ lớn và sự lan truyền âm bằng những con đường gián tiếp là không đáng kể.

Trong thực tế, những giả thiết này không phải lúc nào cũng đúng. Dưới đây ta sẽ xét xem những yếu tố vừa nêu trên đây ảnh hưởng đến chỉ số suy giảm âm của kết cấu như thế nào?

⁽¹⁾ Khả năng cách âm thô $D = L_1 - L_2$, khác với khả năng cách âm tiêu chuẩn D_n xác định bằng các công thức (3-11) và (3-12).

2.2.3.1. Ảnh hưởng của độ rỗng

Nếu kết cấu là rỗng và những lỗ rỗng thông ra bên ngoài, không khí có thể đi qua những lỗ rỗng đó và vì vậy lượng năng lượng âm xuyên qua kết cấu sẽ lớn hơn, do đó chỉ số suy giảm âm sẽ nhỏ hơn trường hợp lỗ rỗng không thông ra bên ngoài. Điều này thấy rõ trong bảng 3.3.

Bảng 3.3

Kiểu tường	Chỉ số cách âm của tường, dB		
	Không vữa trát	Có vữa trát	Chênh lệch, dB
Tấm ép dăm gỗ + ximăng dày 7 cm	4	36,5 (t)	32,5
Gạch pa-panh bằng ximăng dày 10 cm	29	43,5 (t)	14,5
		45,0 (x)	16,0
Gạch đặc dày 110 cm	37	42,5 (t)	5,5
		49,0 (x)	12,0

Chú thích: (t) vữa thạch cao; (x) vữa xi măng.

Khả năng cách âm của những kết cấu phức tạp có thể lấy theo phụ lục 2.

2.2.3.2. Ảnh hưởng của kích thước của kết cấu

Nếu bề mặt của kết cấu ngăn cách lớn hơn 10 m^2 , tần số cộng hưởng của nó sẽ rất thấp và hầu như không ảnh hưởng gì đến khả năng cách âm của nó. Nếu bề mặt của kết cấu nhỏ hơn 10 m^2 , sẽ có nguy cơ giảm khả năng cách âm của nó trong khoảng tần số từ 100 đến 200 Hz.

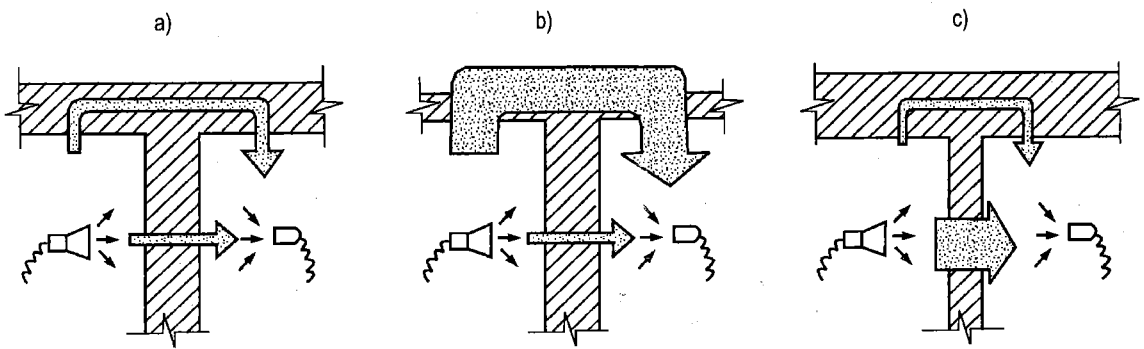
2.2.3.3. Ảnh hưởng của sự truyền âm gián tiếp

Ngoài kết cấu ngăn cách đã khảo sát trên đây còn có 4 kết cấu nữa liên quan đến cả hai phòng, đó là: trần, sàn và hai tường bên. Nói chung, có thể gặp một trong ba trường hợp sau:

Trường hợp 1: Tất cả các kết cấu có khối lượng gần bằng nhau (hình 3.16a). Trong trường hợp này, những con đường truyền âm theo 4 kết cấu đều gần giống nhau và cũng giống con đường truyền âm trực tiếp qua kết cấu ngăn cách chính. Các giá trị của R xác định ở 2.2.1 sẽ giảm ít nhất 5 dB. Việc cắt đứt sự liên tục giữa kết cấu ngăn cách chính với các kết cấu khác sẽ không giúp ích được gì.

Đây là trường hợp hợp lý nhất về mặt cách âm.

Trường hợp 2: Kết cấu ngăn cách nặng hơn một trong những kết cấu liên kề (hình 3.16b). Trong trường hợp này kết cấu liên kề nhẹ hơn này sẽ bức xạ nhiều năng lượng âm hơn vào phòng thu, do đó sự cách âm giữa hai phòng giảm rõ rệt.



Hình 3.16. Tương quan giữa các con đường truyền âm trực tiếp và gián tiếp

Để nâng cao khả năng cách âm giữa 2 phòng không nên tìm cách tăng thêm chỉ số suy giảm âm của kết cấu ngăn cách mà phải tìm cách tăng thêm chỉ số này cho kết cấu liền kề nhẹ hơn.

Trường hợp 3: Kết cấu ngăn cách nhẹ dính liền với những kết cấu liền kề tương đối nặng (hình 3.16c). Trong trường hợp này năng lượng âm từ những con đường gián tiếp bức xạ sang phòng bên kia yếu hơn là từ kết cấu ngăn cách.

Để nâng cao khả năng cách âm giữa 2 phòng phải tác động chủ yếu lên kết cấu ngăn cách chứ không phải lên những kết cấu liền kề.

Những kết cấu ngăn cách đơn nhiều lớp thuần nhất liên tục (hình 3.3b) về mặt cách âm tương tự những kết cấu đơn một lớp thuần nhất liên tục, nghĩa là cũng tuân theo những định luật khối lượng và tần số vừa nêu trên kia.

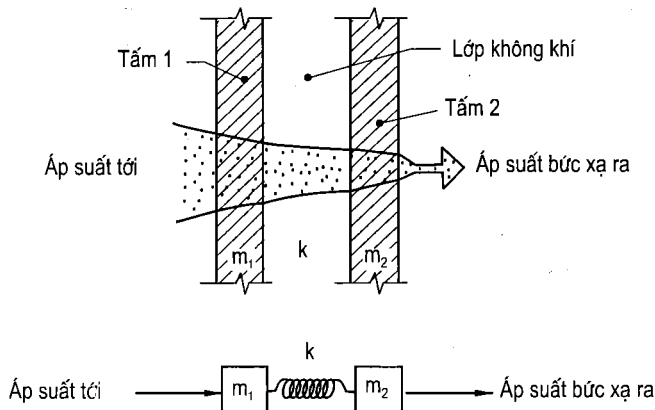
2.2.4. Xác định chỉ tiêu suy giảm âm của kết cấu ngăn cách có lớp không khí liên tục

* Sơ đồ cấu trúc của kết cấu ngăn cách có lớp không khí liên tục (hình 3.3c)

Về mặt cách âm kết cấu này là dạng đặc biệt của kết cấu nhiều lớp, nó gồm 2 tấm vật liệu có khối lượng lần lượt là m_1, m_2 , giữa 2 tấm này là một lớp không khí có độ cứng k (hình 3.17).

Trong thực tế xây dựng kiểu kết cấu này thường được dùng để thỏa mãn nhu cầu không những về mặt cách âm mà còn về mặt cách nhiệt nữa; dưới đây ta sẽ phân tích cách ứng xử của một kết cấu như vậy về mặt âm học.

Một hệ thống như trên có một tần số cộng hưởng, ở tần số đó một kích động nhỏ tác động vào m_1 cũng đủ để gây ra một dao động tự do cho toàn hệ. Tại tần số này tấm thứ hai của kết cấu chịu tác động của những sóng uốn đặc biệt lớn và chuyển phần lớn năng lượng âm vào không khí của phòng thu. Vì vậy, tại tần số này chỉ số suy giảm âm của kết cấu hai lớp có lớp không khí trở nên nhỏ hơn chỉ số này của kết cấu một lớp có cùng khối lượng.



Hình 3.17. Tương đương giữa kết cấu 2 lớp vật liệu, có lớp không khí ở giữa với hệ thống "khối lượng - lò xo - khối lượng"

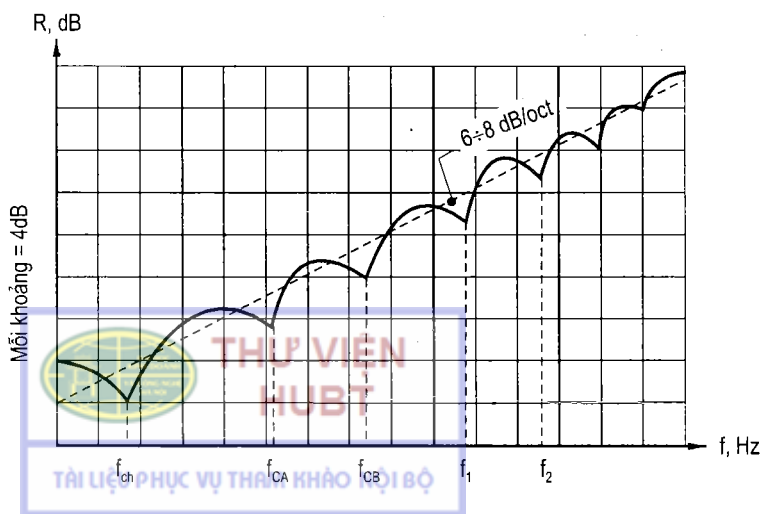
Nghiên cứu sơ đồ trên hình 3.17, thấy:

- Nếu tần số của sóng âm tới lớn hơn tần số cộng hưởng của kết cấu kiểu này ($f > f_{c,h}$) thì "lò xo không khí" sẽ chùng và chuyển ít dao động từ tấm này sang tấm kia, do vậy mà chỉ số suy giảm âm của kết cấu ngăn cách kiểu này trở nên lớn hơn so với trường hợp kết cấu một lớp có cùng khối lượng.

- Ngược lại, nếu tần số sóng âm tới nhỏ hơn tần số cộng hưởng của kết cấu kiểu này ($f < f_{c,h}$), hai tấm 1 và 2 trở nên "gắn bó" với nhau hơn, chúng ứng xử với sóng âm tới giống như kết cấu một lớp cùng khối lượng.

* Cách ứng xử thực tế với sóng âm của kết cấu gồm 2 lớp vật liệu và một lớp không khí

Những đo đạc thực nghiệm cho phép kẻ đường cong "chỉ số suy giảm âm" của kết cấu kiểu này phụ thuộc vào tần số sóng âm tới (hình 3.18).



Hình 3.18. Cách ứng xử thực tế với sóng âm của một kết cấu gồm 2 lớp vật liệu và một lớp không khí

Hình 3.18 cho thấy:

- Độ dốc trung bình của đường cong là $6 \div 8$ dB/ốc-ta (với kết cấu một lớp độ dốc này là 4 dB/ốc-ta);

- Có nhiều tần số hoàn toàn xác định, tại đó chỉ số suy giảm âm của kết cấu kiểu này giảm đáng kể, những tần số đó là:

+ f_{ch} : tần số cộng hưởng của kết cấu (nghĩa là của toàn hệ "tấm - lớp không khí - tấm");

+ f_{cA} : tần số tới hạn của một trong 2 tấm;

+ f_{cB} : tần số tới hạn của tấm kia;

+ f_1, f_2, \dots, f_n : những tần số cộng hưởng của lớp không khí.

Những đo đạc thực nghiệm cho phép so sánh chỉ số suy giảm âm của kết cấu 2 lớp vật liệu và một lớp không khí với kết cấu một lớp có cùng khối lượng. So sánh đó cho thấy:

- Chỉ số suy giảm âm trung bình của kết cấu 2 lớp vật liệu và một lớp không khí trong khoảng tần số từ 100 đến 3200 Hz lớn hơn chỉ số này của kết cấu một lớp, có cùng khối lượng;

- Độ tăng ΔR phụ thuộc vào khoảng cách d giữa 2 tấm và vào bản chất của vật liệu lấp đầy khoảng trống này;

- Với tần số âm $f = 500$ Hz, giá trị của ΔR có thể lấy trong bảng 3.4.

Bảng 3.4

$d = 2 \div 4$ cm		$d = 5 \div 10$ cm	
Không có vật liệu lấp đầy	Lấp đầy bằng vật liệu hút âm nén ít	Không có vật liệu lấp đầy	Lấp đầy bằng vật liệu hút âm nén ít
$\Delta R = 4$ dB	$\Delta R = 4 \div 9$ dB	$\Delta R = 4 \div 9$ dB	$\Delta R = 9$ dB

Nói chung, chỉ số suy giảm âm của kết cấu 2 lớp vật liệu và một lớp không khí chịu những ảnh hưởng tiêu cực do những yếu tố sau đây gây ra:

- Tần số cộng hưởng của hệ "tấm - không khí - tấm";

- Tần số tới hạn của mỗi tấm;

- Các câu âm;

- Truyền âm gián tiếp.

Một kết cấu đôi chỉ có lợi hơn kết cấu đơn cùng khối lượng khi nào tần số của sóng âm tới khá lớn hơn tần số cộng hưởng của hệ.

Trong thực tế, điều đó có nghĩa là: cần phải thiết kế kết cấu gồm 2 lớp vật liệu và một lớp không khí sao cho tần số cộng hưởng của nó nhỏ hơn 80 Hz.



Để xác định tần số cộng hưởng của hệ, có thể dùng công thức sau:

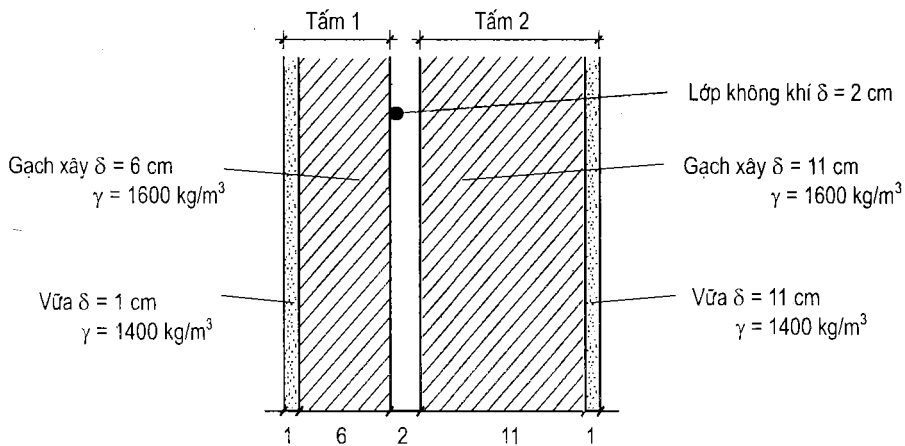
$$f_{ch} = 840 \sqrt{\frac{1}{d} \left(\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} \right)} \quad (3-12)$$

Trong đó:

d - khoảng cách giữa 2 tấm, cm;

m_1, m_2 - khối lượng bề mặt của 2 tấm, kg/m^2 .

Thí dụ 2.3. Một bức tường có cấu tạo như trên hình 3.19.



Hình 3.19.

Hãy xác định tần số cộng hưởng của nó và hãy cho biết: một kết cấu như vậy về mặt cách âm có lợi hơn bức tường đặc bằng gạch có cùng khối lượng bề mặt hay không?

Giải: Xác định m_1 và m_2 :

$$m_1 = \frac{1600}{100} \times 7 = 112 \text{ kg/m}^2;$$

$$m_2 = \frac{1600}{100} \times 12 = 192 \text{ kg/m}^2$$

Áp dụng công thức (3-12):

$$f_{ch} = 840 \sqrt{\frac{1}{2} \left(\frac{1}{112} + \frac{1}{192} \right)} = 70,6 \text{ dB} < 80 \text{ dB}.$$

Như vậy bức tường có cấu tạo như trên có lợi hơn bức tường đặc bằng gạch có cùng khối lượng.

Công thức (3-12) cho thấy: để giảm tần số cộng hưởng của hệ, cần phải tăng hoặc là khối lượng bề mặt m_1 và m_2 của 2 tấm hoặc là khoảng cách giữa 2 tấm (nếu có thể).

* Tần số cộng hưởng của lớp không khí

Sóng âm lan truyền trong lớp không khí, được mặt trong của tấm 2 phản xạ lại, tạo nên những sóng đứng (hình 3.20).

Những sóng đứng này sẽ tăng cường áp suất âm trong lớp không khí, do đó tăng cường sự truyền âm qua kết cấu. Hình 3.20 cho thấy: những sóng đứng được hình thành khi khoảng cách giữa 2 tấm bằng bội số của nửa bước sóng âm, nghĩa là:

$$d = n \frac{\lambda}{2}$$

Trong đó:

λ - bước sóng âm tới;

d - chiều dày lớp không khí;

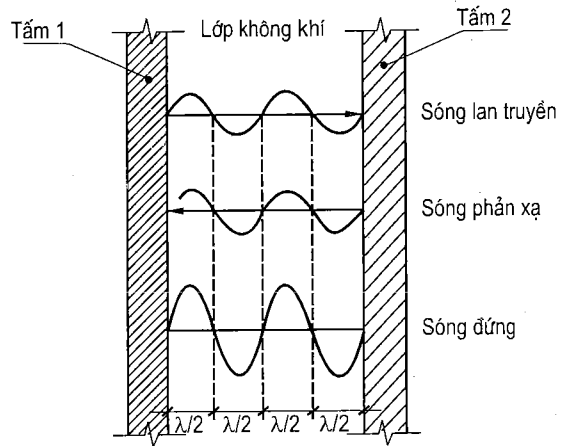
n - số nguyên dương.

Biết rằng $\lambda = \frac{C}{f}$, vì vậy từ công thức

trên rút ra:

$$f = \frac{nC}{2d}$$

Hay là, lấy $C = 343 \text{ m/s}$, ta có:



Hình 3.20. Hình thành sóng đứng trong lớp không khí

$$f = 171,5 \frac{n}{d} \quad (3-13)$$

Biểu thức (3-13) cho thấy: với một chiều dày cho trước lớp không khí có nhiều tần số cộng hưởng khác nhau: f_1 cho $n = 1$, f_2 cho $n = 2$, v.v..., đây là điều mà ta đã thấy trên hình 3.18.

May thay, những tần số cộng hưởng của lớp không khí đều thường nằm trong khoảng tần số âm cao và cực cao.

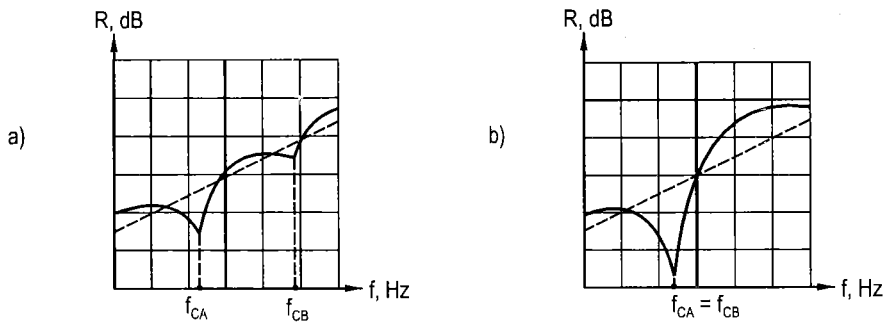
Thí dụ, nếu $d = 5 \text{ cm}$, $f_1 = 171,5 \times \frac{1}{0,05} = 3430 \text{ Hz}$; $f_2 = 171,5 \times \frac{2}{0,05} = 6860 \text{ Hz}$, v.v...,

do đó trên thực tế lớp không khí hầu như không ảnh hưởng gì đến khả năng cách âm của kết cấu.

* Những tần số tới hạn f_{cA} và f_{cB} của hai tấm

Trong kết cấu đôi mỗi tấm có một tần số cộng hưởng riêng, tần số này thường là nhỏ hơn tần số cộng hưởng của kết cấu đơn cùng khối lượng, sở dĩ như vậy là do hiệu ứng bù trừ của tấm kia.

Nếu những tần số tới hạn của hai tấm khác nhau thì độ suy giảm khả năng cách âm của kết cấu là tương đối nhỏ (hình 3.21a).



Hình 3.21. Độ suy giảm của chỉ số suy giảm âm trong 2 trường hợp: a) $f_{cA} \neq f_{cB}$; b) $f_{cA} = f_{cB}$

Nhưng nếu tần số tới hạn của hai tấm bằng nhau thì hai tấm sẽ dao động cùng một pha, do đó độ suy giảm khả năng cách âm của kết cấu là đáng kể (hình 3.21b).

Từ những lập luận trên đây rút ra:

- Không nên thiết kế một kết cấu đôi gồm 2 tấm giống nhau;
- Cần phải thiết kế kết cấu đôi sao cho tần số tới hạn của ít nhất là một trong 2 tấm (nếu cả 2 tấm càng tốt) nằm ngoài khoảng tần số của tiếng ồn thường gặp (hoặc < 200 Hz hoặc > 2000 Hz, ưu tiên cho khoảng > 2000 Hz).

Để tránh những ảnh hưởng tiêu cực của những yếu tố như tần số cộng hưởng của hệ "tấm - lớp không khí - tấm", tần số cộng hưởng của lớp không khí, những tần số tới hạn của 2 tấm, người ta đặt trong lớp không khí vật liệu hút âm.

Trong trường hợp của bằng kính đôi điều này không thực hiện được, vì vậy người ta phải nhồi vật liệu hút âm dọc theo chu vi cửa trong khoảng trống giữa 2 tấm kính.

Trong khi nhồi những tấm vật liệu hút âm vào lớp không khí cần tránh làm cho những tấm này bám chặt vào 2 tấm (không đóng đinh, không dán ...).

* Cầu âm

Gọi là cầu âm bất kỳ chi tiết nào nối liền hai tấm của kết cấu đôi (kết cấu có lớp không khí ở giữa) như là những thanh đứng trong lớp không khí để cố định 2 tấm, những gờ ở sàn để cố định tấm trần vào đó, những vệt vữa giữa hai tấm tường gạch, v.v...

Nếu trong không gian giữa 2 tấm không có cầu âm, sóng âm được truyền trực tiếp bởi không khí. Nếu có cầu âm, ngoài không khí, sóng âm còn được truyền bằng các liên kết cứng, vì vậy có sự suy giảm lớn chỉ số suy giảm âm của kết cấu và sự suy giảm này càng lớn nếu số lượng các liên kết càng nhiều. Nếu số lượng các liên kết nhiều quá kết cấu đôi sẽ ứng xử như kết cấu đơn nhưng với hai tần số tới hạn thay vì một.

Để hạn chế ảnh hưởng tiêu cực của cầu âm, nên làm như sau:

- Ưu tiên dùng liên kết điểm thay cho liên kết đường;

- Ưu tiên dùng liên kết đàn hồi (có tần số cộng hưởng thấp) thay cho liên kết cứng;
- Tránh dùng hai tấm nhẹ và giống nhau;
- Nhồi khoảng không giữa 2 tấm bằng vật liệu hút âm

** Truyền âm gián tiếp*

Với kết cấu đôi sự truyền âm gián tiếp được thực hiện bằng những đường sau đây (hình 3.22):

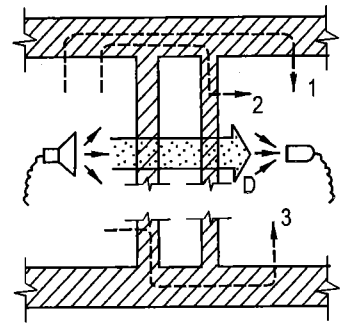
Đường 1: Năng lượng âm từ phòng phát truyền vào các tường bên, lan truyền dọc theo những bức tường này và bức xạ sang phòng thu.

Đường 2: Năng lượng âm từ phòng phát lan truyền trong tường bên làm dao động tấm phía phòng thu của kết cấu ngăn cách và bức xạ vào phòng này.

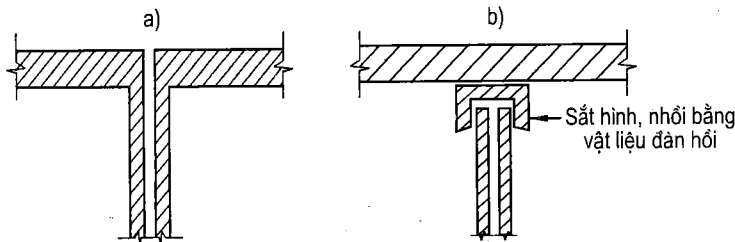
Đường 3: Năng lượng âm từ phòng phát làm dao động tấm phía phòng phát của kết cấu ngăn cách, dao động này được truyền đến tường bên, truyền dọc theo tường bên và cuối cùng bức xạ vào phòng thu.

Để loại bỏ, hoặc ít nhất là hạn chế sự lan truyền âm gián tiếp trong trường hợp kết cấu đôi, phải làm như sau:

- Hoặc là cắt đứt sự liên tục của tường bên (hình 3.23a);
- Hoặc tách rời kết cấu ngăn cách với tường bên bằng cách sử dụng kết cấu gọi là "khô", việc lắp đặt kết cấu này không dùng vữa hay thạch cao, thay vào đó dùng vật liệu đàn hồi (hình 3.23b).



Hình 3.22. Truyền âm trực tiếp (D) và truyền âm gián tiếp (1, 2, 3) qua kết cấu đôi.



Hình 3.23. Hai cách làm chủ yếu để loại bỏ sự truyền âm gián tiếp trong trường hợp kết cấu đôi

** Xác định chỉ số suy giảm âm của kết cấu đôi*

Nếu việc xác định bằng lý thuyết chỉ số suy giảm âm cho kết cấu đơn một lớp liên tục đã khó nhưng ít nhiều còn có thể (như đã thấy ở phần trên) thì việc làm này cho kết cấu đôi nói chung là không thể, vì vậy người ta phải nhờ đến phép đo thực nghiệm.

Khả năng cách âm của một số kết cấu loại này được cho trong phụ lục 2.

2.2.5. Khả năng cách âm của kết cấu không liên tục (hình 3.3e)

Vấn đề đặt ra như sau: có một kết cấu ngăn cách diện tích $S \text{ m}^2$ gồm 2 phần, mỗi phần bằng một thứ vật liệu khác nhau. Phần thứ nhất có diện tích S_1 và hệ số xuyên âm τ_1 , phần thứ hai có S_2 và τ_2 . Chỉ số suy giảm âm của kết cấu bằng bao nhiêu?

Những lập luận toán học chỉ ra rằng R được xác định bằng công thức sau:

$$R = 10 \lg \frac{1}{\tau_1 \frac{S_1}{S} + \tau_2 \frac{S_2}{S}} \quad (3-14)$$

Phần thứ hai có thể là vật liệu cũng có thể là một lỗ cửa, việc xác định chỉ số suy giảm âm của những lỗ cửa như vậy được trình bày trong mục 2.2.6 dưới đây.

Nếu cửa đi hoặc cửa sổ để mở $\tau_2 = 1$.

Thí dụ 3.3. Một kết cấu ngăn cách có diện tích $S = 10 \text{ m}^2$ gồm hai phần. Phần thứ nhất có diện tích S_1 làm bằng bê tông và có chỉ số suy giảm âm $R_1 = 40 \text{ dB}$, phần thứ hai là một cửa sổ để mở có diện tích $S_2 = 2,4 \text{ m}^2$.

Hãy xác định chỉ số suy giảm âm R của kết cấu này.

Giải. Theo công thức (3-14) ta có:

$$R = 10 \lg \frac{1}{\tau_1 \frac{10 - 2,4}{10} + 1 \cdot \frac{2,4}{10}}$$

Từ công thức (3-2) rút ra:

$$\tau_1 = 10^{-0,1R}$$

Do đó:

$$R = 10 \lg \frac{1}{\frac{0,76}{10^{0,1 \times 40}} + 0,24 \cdot 1} = 6,2 \text{ dB}$$

Ta nhận ra rằng với một cửa sổ để mở chỉ số suy giảm âm của kết cấu giảm đi $40 - 6,2 = 33,8 \text{ dB}$ so với trường hợp không có cửa sổ.

Nếu trên kết cấu không phải là cửa sổ mà là một lỗ thông gió tròn đường kính $d = 20 \text{ cm}$, trong trường hợp này R của kết cấu sẽ bằng:

$$R = 10 \lg \frac{1}{\frac{10 - \pi \cdot 0,1^2}{10 \cdot 10^{0,1 \times 40}} + \frac{\pi \cdot 0,1^2}{10} \cdot 1} = 25 \text{ dB}$$

Chỉ do một lỗ thông gió kích thước bé như vậy mà chỉ số suy giảm âm của kết cấu giảm đến $40 - 25 = 15 \text{ dB}$.

2.2.6. Khả năng cách âm của cửa đi và cửa sổ

Tính toán trong thí dụ 3 cho thấy rằng bất kì lỗ cửa để mở nào trên kết cấu ngăn cách (cửa đi, cửa sổ, lỗ thông gió...) cũng đều là chỗ yếu về mặt cách âm của nó.

Với những cửa đi và cửa sổ đóng tình hình có được cải thiện chút ít nhưng không làm thay đổi gì nhiều vì những lý do sau:

- Khối lượng bề mặt của cánh cửa đi và cánh cửa sổ luôn luôn nhỏ hơn của kết cấu chính;
- Nói chung cửa đi và cửa sổ không hoàn toàn bịt kín, và người ta có thể chừa những lỗ thông thoáng bên trên hoặc bên dưới lỗ cửa theo yêu cầu thông thoáng;
- Cửa đi và cửa sổ lúc đóng thường có khả năng cách âm từ 15 đến 20 dB. Nếu cửa đóng có gioăng đàn hồi thì khả năng cách âm của chúng có thể tăng thêm 4 ÷ 5 dB.
- Cửa đi và cửa sổ gọi là "cửa cách âm" nếu khả năng cách âm của chúng đạt đến 30 - 40 dB. Để đạt được những giá trị này cần phải thực hiện những biện pháp sau đây: tăng khối lượng bề mặt của cánh cửa, đặt những gioăng đàn hồi, cửa cánh đôi (có thể dùng cả cho cửa đi và cửa sổ), v.v...

§3. CHỐNG ỒN VA CHẠM (Chủ yếu cho kết cấu ngăn cách ngang).

3.1. Khái niệm

Bảng 3.1 cho thấy: tiếng ồn và chạm phát sinh khi có va chạm giữa một vật cứng nào đó với kết cấu của ngôi nhà (như là rơi đồ vật xuống sàn, xê dịch bàn ghế, bước chân của người ở tầng trên, v.v...), nó được lan truyền chủ yếu là trong vật liệu, được đặc trưng bởi lực truyền đến vật liệu trong vùng bị va chạm và bởi tốc độ dao động của các phần tử rắn khi truyền sóng âm (trong khi tiếng ồn không khí phát sinh trong không khí, lan truyền chủ yếu trong không khí và được đặc trưng bởi mức âm vật lý của nguồn âm L_s).

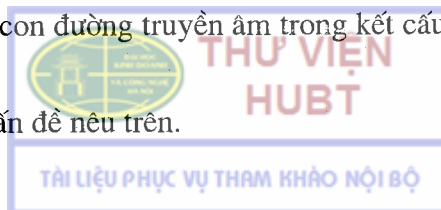
Xuất phát từ tính chất và những đặc trưng của tiếng ồn và chạm, người ta cảm đoán những biện pháp để chống tiếng ồn này như sau:

- Giảm đến tối thiểu lực truyền đến vật liệu trong vùng va chạm bằng cách trải trên mặt sàn một lớp vật liệu đàn hồi;
- Ở nơi nào có thể thì cắt đứt những con đường truyền âm trong kết cấu bằng cách tạo những khe hở nhồi vật liệu đàn hồi.

Dưới đây sẽ xem xét cụ thể những vấn đề nêu trên.

3.2. Sự gây ra tiếng ồn chuẩn

Để đánh giá chất lượng cách âm của sàn đối với tiếng ồn và chạm, người ta tìm cách phát ra những âm thanh giống với âm thanh do những bước chân của người đi lại ở tầng trên gây ra, sau đó người ta đo mức âm vật lý của những âm thanh truyền đến tầng dưới.



Để phát ra những âm thanh này người ta dùng một hệ thống gồm máy tạo va chạm tiêu chuẩn (standard tapping machine) và tấm sàn quốc tế (theo ISO R140 có sửa đổi), hệ thống này được mô tả kỹ trong quyển sách của Jean Pujolle /30/. Nó gồm có 5 búa bằng kim loại bố trí cách đều nhau trên một đường thẳng, khoảng cách giữa hai búa ngoài cùng là 40 cm, mỗi búa có khối lượng 0,5 kg và gõ 5 nhát trong một giây, chiều cao rơi tự do của búa là 4 cm. Đầu búa (bộ phận trực tiếp va vào sàn) được làm bằng đồng thau (hợp kim của đồng với kẽm hoặc đôi khi với một số kim loại khác như sắt, chì, nhôm...) hoặc bằng thép có dạng hình trụ tròn đứng đường kính 3 cm. Máy điều khiển phải được thiết kế sao cho những đầu búa sau khi gõ vào sàn được nhấc lên nhanh nhất có thể.

3.3. Khả năng cách âm thô của sàn

"Khả năng cách âm thô" của sàn chỉ là một tên gọi quy ước chỉ mức âm vật lý của tiếng ồn L_S đo được ở phòng đặt ngay dưới tấm sàn thử nghiệm.

3.4. Khả năng cách âm tiêu chuẩn

Mức âm vật lý của âm thanh đo được trong phòng đặt ngay dưới tấm sàn thử nghiệm do máy tạo va chạm tiêu chuẩn gây ra, không phải là hằng số đối với tất cả các loại phòng có khả năng hút âm khác nhau, mà phụ thuộc vào đại lượng này. Vì vậy để lập tiêu chuẩn, người ta dùng một phòng quy chiếu với tổng lượng hút âm $A_0 = 10 \text{ m}^2$.

Khả năng cách âm tiêu chuẩn L_N cho một phòng bất kì có tổng lượng hút âm $A \neq A_0$ được xác định theo công thức:

$$L_N = L_B - 10 \lg \frac{A}{A_0} \quad (3-16)$$

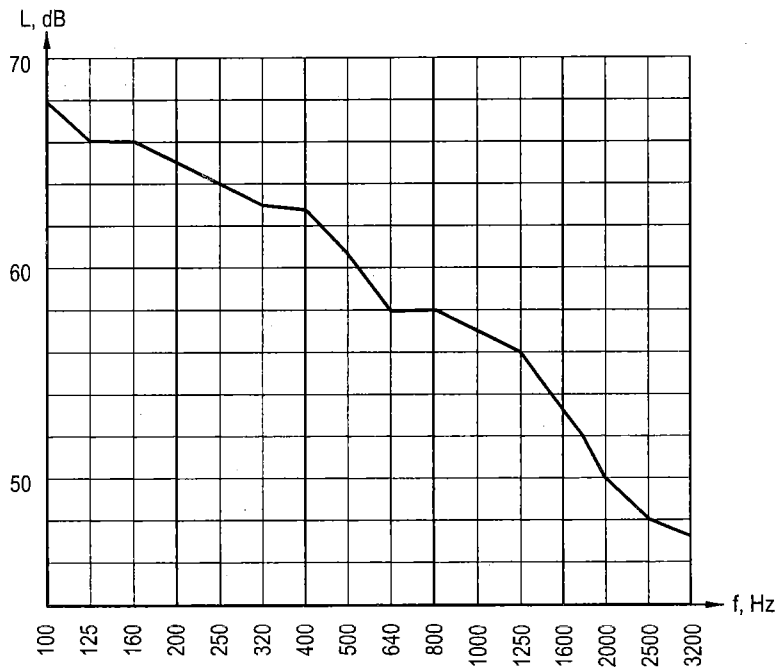
Trong đó: L_B - khả năng cách âm thô của sàn, dB.

Trong trường hợp tổng quát khả năng cách âm thô L_B phụ thuộc tần số của sóng âm, vì vậy khả năng cách âm tiêu chuẩn cũng phụ thuộc vào đại lượng này. Do đó người ta phải thực hiện những tính toán với các giá trị trung bình cho 3 dải tần số trầm, trung và cao.

Dưới đây giới thiệu một vài tiêu chuẩn của Pháp (Normes Françaises) để làm thí dụ:

* Khi máy tạo va chạm tiêu chuẩn hoạt động ở một vị trí nào đó trong căn hộ mà con người có thể vào được dễ dàng (trừ phòng vệ sinh) hoặc là ở lối đi chung trong ngôi nhà, mức ồn tiêu chuẩn trung bình tại bất cứ phòng chính nào của căn hộ đều không được vượt quá: 66; 62; 51 dB.

Thí dụ 3.4. Một kết cấu sàn có lớp phủ là một lớp bằng vật liệu đàn hồi đặt trong phòng tiêu chuẩn (tức là phòng có $A = A_0 = 10 \text{ m}^2$), mức âm vật lý của tiếng ồn va chạm đo được trong phòng bên dưới theo phần ba ốc-ta được thể hiện trên hình 3.24.



Hình 3.24. Mức âm vật lý của tiếng ồn va chạm dưới sàn trong phòng tiêu chuẩn ($A = A_0 = 10m^2$)

Kết cấu sàn này có thể dùng để ngăn cách hai phòng chính của hai căn hộ khác nhau không?

Giải. Từ những số liệu trong hình 3.24, xác định giá trị trung bình cho 3 dải tần số:

$$L_G = \frac{1}{6}(L_{100} + L_{125} + L_{160} + L_{200} + L_{250} + L_{320})$$

$$= \frac{1}{6}(68 + 66 + 66 + 65 + 64 + 63) = 65,3 \text{ dB}$$

$$L_M = \frac{1}{6}(L_{400} + L_{500} + L_{640} + L_{800} + L_{1000} + L_{1250})$$

$$= \frac{1}{6}(63 + 61 + 58 + 58 + 57 + 56) = 58 \text{ dB}$$

$$L_A = \frac{1}{4}(L_{1600} + L_{2000} + L_{2500} + L_{3200})$$

$$= \frac{1}{4}(53 + 50 + 48 + 47) = 49,5 \text{ dB}$$

So sánh những giá trị trên đây với những giá trị tiêu chuẩn, ta có:

$$65,3 < 66; 58 < 62; 49,5 < 51$$

Do đó, kết cấu sàn như trên có thể dùng được cho trường hợp này.

3.5. Tấm phủ sàn bằng vật liệu đàn hồi

Như đã thấy trong 3.1, lớp phủ sàn bằng vật liệu đàn hồi được dùng để giảm đến tối thiểu lực truyền đến vật liệu trong vùng va chạm, do đó cải thiện khả năng cách âm của sàn đối với tiếng ồn va chạm.

Để đánh giá hiệu quả của lớp vật liệu đàn hồi này người ta dùng một chỉ số đặc biệt gọi là "chỉ số cải thiện α ", chỉ số này được xác định theo các bước sau:

1. Tính hiệu giữa mức âm vật lý trung bình của tiếng ồn va chạm trong phòng bên dưới tấm sàn tiêu chuẩn⁽¹⁾ L_{no} và đại lượng này khi chính tấm sàn này được phủ bởi một lớp vật liệu đàn hồi thử nghiệm L_n theo các dải tần số 1/3 ốc-ta.

$$\Delta L = L_{no} - L_n \quad (3-17)$$

2. Tính trung bình số học của ΔL cho 3 dải tần số:

ΔL_G - cho những tần số từ 100 đến 320 Hz

ΔL_M - cho những tần số từ 400 đến 1250 Hz

ΔL_A - cho những tần số từ 1600 đến 3200 Hz.

3. Chỉ số α là số bé nhất trong ba số sau:

$$\Delta L_G + 19; \Delta L_M + 12 \text{ và } \Delta L_A$$

Chỉ số này càng lớn, hiệu quả cách âm va chạm của lớp phủ bằng vật liệu đàn hồi càng cao.

Thí dụ 3.5. Tính chỉ số α của lớp phủ đàn hồi khi các giá trị ΔL (tính theo công thức 3-17) được cho trong hình 3.25.

Giải. Từ những số liệu trong hình 3.25 ta tính được những giá trị ΔL trung bình cho 3 dải tần số:

$$\Delta L_G = \frac{1}{6}(2 + 3 + 3 + 3 + 3 + 4) = 3$$

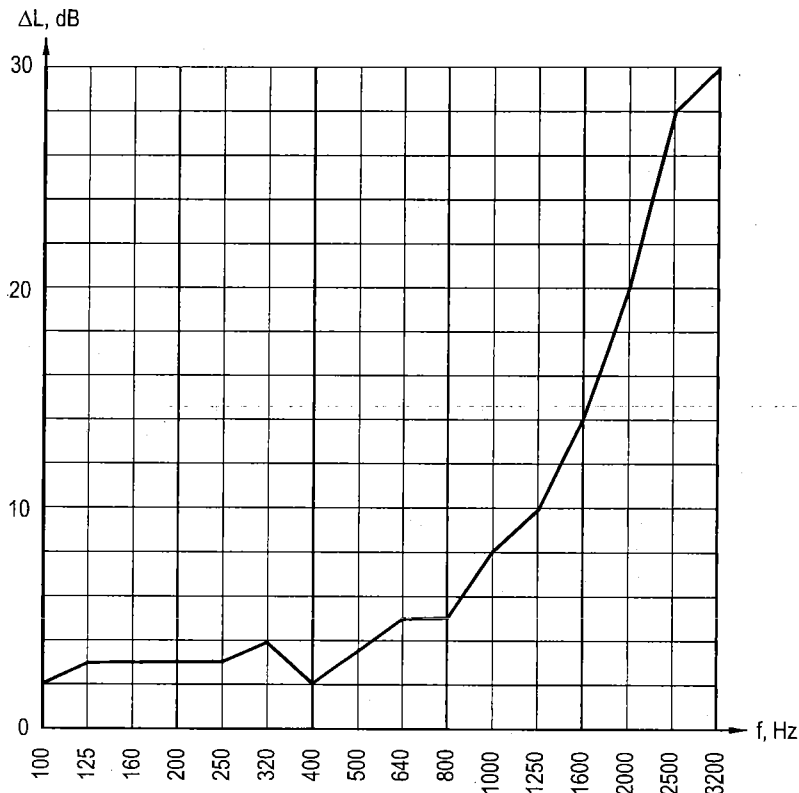
$$\Delta L_M = \frac{1}{6}(2 + 3,5 + 5 + 5 + 8 + 10) = 5,6$$

$$\Delta L_A = \frac{1}{4}(14 + 20 + 28 + 30) = 23$$

$$\Delta L_G + 19 = 22; \Delta L_M + 12 = 17,6; \Delta L_A = 23$$

Số nhỏ nhất trong 3 số này là 17,6, do đó chỉ số $\alpha = 17,6$.

⁽¹⁾ Sàn tiêu chuẩn là một tấm đan bằng bê tông dày 12 ÷ 15 cm, không có lớp phủ.



Hình 3.25. Giá trị của ΔL của lớp phủ đàn hồi (cho sàn)

§4. CHỐNG RUNG TRONG VẬT LIỆU

Bất kì thiết bị nào hoạt động bằng motor điện cũng đều truyền vào vật chất tiếp xúc với nó tác động rung.

Nói chung những tác động rung này xảy ra trong khoảng hạ âm ($f < 16$ Hz), đôi khi cũng xảy ra trong vùng sóng âm thấp).

Có hai cách chống lại những tác động rung này:

1. Chống rung chủ động, theo cách này người ta cố gắng hạn chế năng lượng rung ngay trong bản thân thiết bị;

2. Chống rung thụ động, theo cách này người ta cố gắng hạn chế sự lan truyền của năng lượng rung từ nguồn phát ra chặn động đến những vật cần bảo vệ.

Để hạn chế sự phát triển năng lượng rung ngay trong bản thân thiết bị, trong tất cả các trường hợp người ta dùng những sản phẩm chống rung (một hay nhiều lớp bằng vật liệu đàn hồi, lò xo, giảm xóc, v.v...).

Trong kỹ thuật chống rung, mối tương quan giữa f_0 - tần số riêng của hệ thống chống rung (bao gồm bộ máy và các sản phẩm đàn hồi) và f - tần số rung mà ta phải chống, là rất quan trọng.

Những biến đổi vật lý - toán chứng minh rằng:

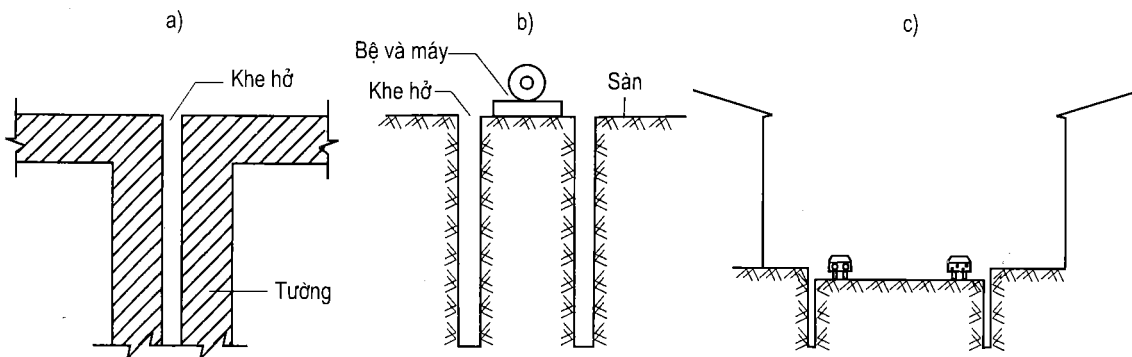
Nếu $f_0 < 0,71f$: hiệu quả của hệ thống chống rung là dương, nghĩa là nó làm cho cường độ rung trong vật thể cần bảo vệ yếu hơn so với trong nguồn phát.

Nếu $f_0 = 0,71f$: hiệu quả của hệ thống chống rung bằng 0, nghĩa là nó không làm thay đổi cường độ rung trong vật thể cần bảo vệ so với trong nguồn phát.

Nếu $f_0 > 0,71f$: hiệu quả của hệ thống chống rung là âm, nghĩa là nó làm cho cường độ rung trong vật thể cần bảo vệ mạnh hơn so với trong nguồn phát.

Từ những lập luận trên đây rút ra nhận xét rằng muốn chống rung cho thiết bị thì phải thiết kế hệ chống rung của nó (gồm bộ và các sản phẩm đàn hồi như lò xo, một hay nhiều lớp vật liệu đàn hồi, thiết bị giảm xóc,...) sao cho $f_0 < 0,71f$, f_0 càng bé thì hệ chống rung càng hiệu quả.

Để hạn chế sự lan truyền của sóng rung từ nguồn phát ra chấn động đến những vật cần bảo vệ người ta cắt đứt sự liên tục của môi trường, trong đó sóng rung lan truyền, bằng cách chừa những khe hở, không lấp hoặc có lấp bằng vật liệu đàn hồi (hình 3.26).



Hình 3.26. Các giải pháp cắt đứt sự liên tục của môi trường lan truyền sóng rung:
a) Khe hở giữa đơn nguyên có nguồn phát sinh chấn động và đơn nguyên cần bảo vệ khỏi chấn động; b) Khe hở giữa máy có phát sinh chấn động và sàn; c) Khe hở giữa nền đường và những công trình kiến trúc hai bên đường.



Phụ lục 1

HỆ SỐ HÚT ÂM CỦA MỘT SỐ VẬT LIỆU VÀ CẤU KIỆN

A. VẬT LIỆU VÀ CẤU KIỆN DẠNG PHẪNG

Vật liệu, cấu kiện	Tần số âm, Hz					
	125	250	500	1000	2000	4000
1. Kết cấu bao che có lớp bọc bình thường						
Bê tông để trần	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04
Gạch lát bằng gốm	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03
Phoi bào hay sợi gỗ ép thành tấm	0,03	0,03	0,05	0,05	0,05	0,05
Mặt nước yên tĩnh (bể bơi)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
Vữa xi măng, đánh láng	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03
Vữa thạch cao	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03
Linoleum trải trên mặt cứng	0,03	0,03	0,05	0,05	0,05	0,05
Khối xây bằng gạch, để trần	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,05
Đá hoa cương mài nhẵn	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03
Sàn lát gỗ, đánh xi bóng	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Sàn bằng gỗ	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Kính	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02
2. Các loại màn treo						
Màn trang trí sân khấu, bằng vải bông bình thường (không quá dày)	0,05	0,15	0,15	0,15	0,1	0,05
Ridô bằng nhung mỏng, nếp đơn	0,08	0,3	0,5	0,5	0,6	0,6
Ridô bằng nhung dày, nếp đôi	0,5	0,5	0,7	0,9	0,9	0,9
3. Các loại thảm						
Thảm bằng cao su hay các vật liệu tương tự	0,05	0,05	0,1	0,1	0,1	0,1
Thảm nhỏ, mỏng	0,05	0,1	0,15	0,2	0,2	0,2
Thảm nhỏ, dày	0,1	0,2	0,25	0,3	0,3	0,3
Thảm len đặt trên tấm lót bằng dạ	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,6
4. Tấm bằng vật liệu xốp						
Tấm ép bằng phoi bào dài, dày 25 mm	0,3	0,4	0,6	0,8	0,8	0,5

Tấm ép bằng sợi thực vật dày 12 mm	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	0,3
Tấm ép bằng bông khoáng, tùy theo độ dày và cách đặt:						
Min	0,2	0,3	0,5	0,6	0,7	0,8
Max	0,6	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9
5. Các loại vữa trát						
Lớp trát bằng bông khoáng dày 12 mm phun trực tiếp lên mặt tường cứng:						
Min	0,2	0,4	0,5	0,6	0,6	0,5
Max	0,3	0,4	0,6	0,8	0,8	0,9
Dày 15÷20 mm phun lên lưới mắt cáo, cách tường bởi một lớp không khí:						
Min	0,3	0,5	0,5	0,8	0,9	0,8
Max	0,5	0,6	0,7	0,9	0,9	0,9
Tấm thạch cao xốp dày 15 mm:						
Min	0,02	0,05	0,05	0,1	0,2	0,1
Max	0,1	0,1	0,3	0,2	0,2	0,2
6. Các loại tấm đàn hồi						
Tấm amiăng - xi măng dày 5 mm, kích thước 1,2 ÷ 1,2 m, đặt cách tường một khoảng 10 ÷ 20 mm	0,6	0,6	0,5	0,3	0,2	0,05
Tấm bằng gỗ hoặc gỗ dán, bào nhẵn và đánh vecni dày 8 mm, đặt cách mặt tường 20 mm, tấm có kích thước từ 0,6 m × 0,6 m đến 0,8 m × 0,8 m tùy theo cách cố định:						
Min	0,3	0,1	0,05	0,02	0,01	0,01
Max	0,6	0,2	0,1	0,1	0,05	
Trần giả bằng tấm thạch cao dày khoảng 25 mm	0,1	0,08	0,05	0,05	0,04	0,04
7. Tấm ép bằng bông khoáng						
Mật độ từ 15 đến 40 kg/m ³ Để trần, dày từ 25 đến 50 mm, gắn vào mặt tường phản xạ âm:						

Min	0,1	0,4	0,8	0,8	0,8	0,8
Max	0,2	0,6	0,9	0,9	0,9	0,9
Đặt sau tấm gỗ có đục lỗ 20%, tấm bông khoáng dày 25 mm, không có lớp không khí	0,1	0,3	0,6	0,8	0,7	0,6
Đặt sau tấm phủ xốp (nhung, dạ, vải gai để làm bao tải, v.v...)	0,1	0,3	0,7	0,7	0,7	0,7
Đặt sau tấm thạch cao có đục lỗ, tấm bông khoáng dày 25 mm đặt cách tường 20 mm						
Lỗ trên tấm thạch cao: $\phi 8$ mm	0,5	0,6	0,7	0,9	0,9	0,5
$\phi 4$ mm	0,5	0,5	0,7	0,9	0,9	0,8
Đặt sau tấm tôn có đục lỗ 10%, tấm bông khoáng dày 25 mm đặt cách tường 20 mm	0,6	0,5	0,7	0,9	0,8	0,8
8. Lộ cộng hưởng: Tần số cộng hưởng xác định theo công thức (1-24), lượng hút âm xác định theo công thức (1-25)						
9. Đồ đạc và người						
9.1. Lượng hút âm a của mỗi cá thể tính bằng $m^2/cá thể$						
Ghế mây đặt trên sàn gỗ cong, không có người ngồi	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	-
Ghế cứng đặt trên sàn gỗ cong, không có người ngồi	0,15	0,2	0,25	0,3	0,25	0,2
Ghế nhồi bông dày đặt trên sàn cong có trải thảm, không có người	0,2	0,25	0,35	0,4	0,35	0,3
Khán giả (có thể giảm 50%, đặc biệt trong trường hợp khán giả là trẻ con)	0,25	0,3	0,4	0,45	0,4	0,4
Nhạc công với nhạc cụ	0,28	0,4	0,45	0,49	0,47	0,45
9.2. Hệ số hút âm α của bề mặt trên đó bố trí những yếu tố hút âm dạng khối						
Ghế nhồi bông mỏng, bọc da, không có người	0,4	0,5	0,58	0,61	0,58	0,5
Ghế nhồi bông dày, bọc vải, đáy ghế có đục lỗ, không có người	0,44	0,60	0,77	0,89	0,82	0,7
Khán giả, nhạc công cùng với nhạc cụ và giá nhạc	0,52	0,68	0,85	0,97	0,93	0,85
	0,34*					

Chú thích: (*) Cho tần số 62,5 Hz.

Phụ lục 2

KHẢ NĂNG CÁCH ÂM CỦA MỘT SỐ KẾT CẤU THƯỜNG DÙNG

Kết cấu	δ , mm	ρ , kg/m ²	Khả năng cách âm (dB) ở các tần số âm (Hz)							
			63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Các loại tấm										
Tấm tôn kẽm	1.5	17	22	28	32	33	32	32	33	36
	3	34	25	30	31	27	38	44	33	38
Tấm nhôm	0.9	2.5	8	11	10	10	18	23	25	30
Tấm vỏ bào ép	29	11	11	17	18	25	30	26	32	38
Tấm vữa khô	9	7	9	15	20	24	29	32	35	38
Tấm gỗ dán	6	3.5	6	9	13	16	21	27	29	33
Các loại tường										
Tường gạch, trát vữa 2 bên	125	240	30	36	37	40	46	54	57	59
	255	480	34	41	45	48	56	65	69	72
	360	720	36	44	43	49	57	66	70	72
Tấm xỉ than trát vữa 12 mm 2 bên	125	14	20	27	33	40	50	57	56	59
Bloc kính	200	510	25	30	35	40	49	49	43	45
Tường gạch đôi dày 280 mm, ở giữa có lớp không khí dày 56 mm, có cầu nối, trát vữa 12 mm hai bên	300	380	27	27	43	55	66	77	85	85
Các loại cửa										
Cửa kính 1 lớp	6	15	17	11	24	28	32	27	35	39
	8	20	17	18	25	31	32	28	36	39
	9	22.5	18	22	26	31	30	32	39	43
	16	40	20	25	28	33	30	38	45	48
	25	62.5	25	27	31	30	33	43	48	53
Cửa kính 2 lớp, mỗi lớp dày 2,44 mm, lớp không khí ở giữa dày 7 mm	12	15	15	22	16	20	29	31	27	30

Kính 2 lớp, mỗi lớp 6 mm, lớp không khí ở giữa dày 50 mm, khung riêng	62	34	18	25	29	34	41	45	53	50
Kính 2 lớp, mỗi lớp 6 mm, lớp không khí ở giữa 100 mm, khung riêng	112	34	20	28	30	38	45	45	53	50
Kính 6 mm, lớp không khí ở giữa dày 188 mm, khung riêng	200	34	25	30	35	41	48	50	56	56
Kính 6 mm, lớp không khí ở giữa 188 mm nhồi vật liệu hút âm xung quanh, khung riêng	200	34	26	33	39	42	48	50	57	60
Cửa bằng gỗ cứng, riđô bình thường	43	28	13	17	21	26	29	31	34	32
Cửa cách âm có 2 lớp bọc bằng thép tấm, vật liệu hút âm nén chặt trong khung thép nặng	100	-	37	36	39	44	49	54	57	60
Các loại sàn										
Sàn lát gỗ miếng hình lá thông, các khe được xử lý kỹ	21	13	17	21	18	22	24	30	33	63
Tấm bê tông cốt thép	100	230	32	37	36	45	52	59	63	63
	200	460	36	42	41	50	57	60	65	70
	300	690	37	40	45	52	59	63	67	72



Phụ lục 3
MỨC ÂM VẬT LÝ (TƯƠNG ĐƯƠNG)
CỦA MỘT SỐ NGUỒN ỒN CÔNG NGHIỆP

Số TT	Ngành công nghiệp	Công việc	Mức âm vật lý, dB(A)
1	Sản xuất thép	Quay búa bằng tay	112
2	Đóng tàu	Đục	115
		Tán đinh (nếu còn dùng)	115
		Chế tạo chân vịt	120
		Xà m	118
3	Chế tạo máy bay	Tán đinh	111
		Thử máy	120
4	Sản xuất giấy	Dây chuyền công nghệ sản xuất	97
5	Dệt	Xe chỉ	94
		Dệt	100
6	Đúc sắt, thép	Rót khuôn	110
7	Rèn	Búa máy	104
		Búa quay tay (thợ rèn)	98
8	Xưởng gỗ	Máy bào	93
		Cưa đĩa	93
9	Sửa chữa đầu máy xe lửa	Tán đinh (nếu còn dùng)	115
		Đục	103
10	Sản xuất các loại xe gắn máy	Rót khuôn	110
		Thử máy	101
		Thao tác nén, ép	97
11	Sản xuất thực phẩm	Dây chuyền công nghệ sản xuất	95
12	Xây dựng nhà cửa	Khoan theo phương pháp không giảm ồn	106
		Buồng lái máy xúc	100

TÀI LIỆU PHỤC VỤ THAM KHẢO NỘI BỘ

Phụ lục 4

**GIÁ TRỊ TÍNH TOÁN CỦA MỨC ÂM VẬT LÝ
CỦA NGUỒN ỒN DỪNG TRONG TÍNH TOÁN CÁCH ÂM CHO PHÒNG**

Số TT	Vị trí của gian phòng cần cách âm	Khoảng cách từ gian phòng cần cách âm đến đường giao thông, m	Giá trị tính toán của mức âm vật lý của nguồn ồn, dB
1	Trong ngôi nhà nằm trên đường đỏ của đường cao tốc	-	100
2	Trong ngôi nhà nằm ngoài đường đỏ của đường cao tốc	25	90
3	Trong ngôi nhà nằm trên đường đỏ của đường phố ồn ào	-	90
4	Trong ngôi nhà nằm trên đường phố yên tĩnh	-	70
5	Trong ngôi nhà có sân	30	70
6	Trong ngôi nhà nằm trên đường phố có cây xanh	-	70
7	Trong ngôi nhà nằm trong công viên	-	70
8	Trong ngôi nhà nằm gần nhà máy ồn ào	50-100	100
9	Trong ngôi nhà nằm trong phạm vi có nhà máy	500-800	95
10	Trong ngôi nhà nằm gần ga đường sắt	50-100	110
11	Trong ngôi nhà nằm gần đường sắt	50-100	95
12	Trong ngôi nhà nằm trong phạm vi có sân bay	500-1000	110
13	Cách tường với hành lang chung trong ngôi nhà	-	80
14	Cách tường với hành lang yên tĩnh	-	65-70
15	Cách tường với phòng phục vụ	-	70
16	Cách tường với sảnh ồn ào	-	85
17	Cách tường với phòng nghỉ của diễn viên không có sân khấu	-	80
18	Cách tường với phòng nghỉ của diễn viên có sân khấu	-	90
19	Cách tường với hành lang yên tĩnh	-	65-70

Phụ lục 5

THÍ DỤ: THIẾT KẾ ÂM THANH CHO MỘT PHÒNG BIỂU DIỄN NHẠC GIAO HƯỞNG CÓ 650 ÷ 700 CHỖ NGỒI

Giải:

1. Xác định thể tích yêu cầu của phòng:

Theo bảng 2.2, lấy: $v = 6 \text{ m}^3/\text{người}$.

Số khán - thính giả: $N = 650$ người.

Thể tích yêu cầu của phòng: $V = v.N = 6 \times 650 = 3900 \text{ m}^3$.

So với số liệu trong bảng 2.3, con số này chấp nhận được

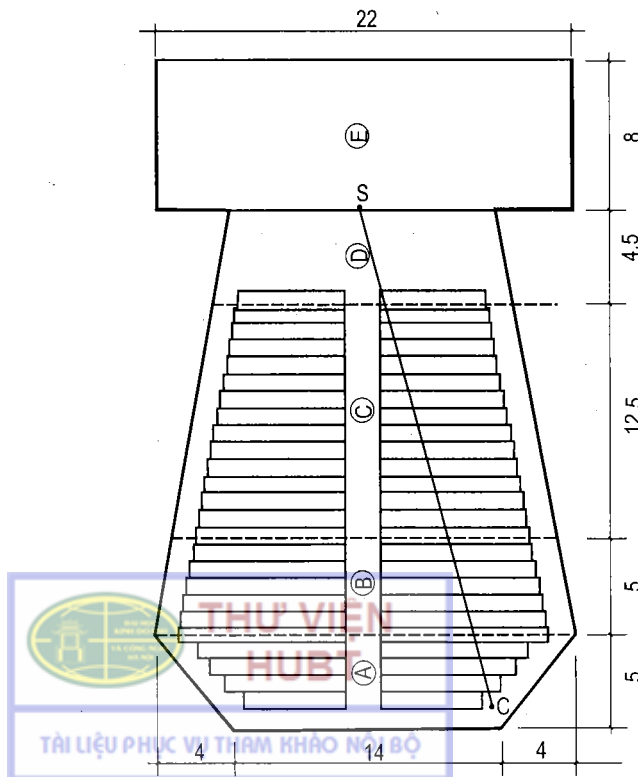
2. Xác định hình dạng và kích thước ban đầu của phòng

Chọn mặt bằng như trên hình PL5.1 và mặt cắt dọc như trên hình PL5.2.

Trên mặt bằng và mặt cắt ta thấy khoảng cách từ nguồn âm đến chỗ ngồi xa nhất là:

$$SC = \sqrt{27^2 + 6,9^2} = 27,9 \text{ m}$$

So với số liệu trong bảng 2.4 con số này có thể chấp nhận được nhưng phải lưu ý rằng nó hơi lớn hơn con số được cho là tốt một chút.



Hình PL5.1

Để xác định độ dốc của sàn, dùng công thức (2-2) đã biết:

$$y_n = \frac{(y_{n-1} + c)[x_1(n-1)d]}{x_1 + (n-2)d}$$

Các đại lượng trong công thức trên đã được giải thích trên hình 2.1.

Trong trường hợp của chúng ta:

$$c = 0,1 \text{ m}; x_1 = 4 \text{ m}; d = 0,9 \text{ m}; y_1 = 0,3 \text{ m} \Rightarrow$$

$$y_n = \frac{(y_{n-1} + 0,1)[4 + (n-1) \times 0,9]}{4 + (n-2) \times 0,9}$$

Chiều cao của vị trí đặt mắt khán giả - thính giả ở các dãy ghế so với mặt phẳng sân khấu:

Dãy 1, $n = 1$: $y_1 = 0,3 \text{ m}$.

Dãy 2, $n = 2$: $y_2 = \frac{(0,3 + 0,1)[4 + (2-1) \times 0,9]}{4 + (2-2) \times 0,9} = 0,49 \text{ m}$

Dãy 3, $n = 3$: $y_3 = \frac{(0,49 + 0,1)[4 + (3-1) \times 0,9]}{4 + (3-2) \times 0,9} = 0,698 \text{ m}$

Dãy 4, $n = 4$: $y_4 = \frac{(0,698 + 0,1)[4 + (4-1) \times 0,9]}{4 + (4-2) \times 0,9} = 0,922 \text{ m}$

Dãy 5, $n = 5$: $y_5 = \frac{(0,922 + 0,1)[4 + (5-1) \times 0,9]}{4 + (5-2) \times 0,9} = 1,159 \text{ m}$

Dãy 6, $n = 6$: $y_6 = \frac{(1,159 + 0,1)[4 + (6-1) \times 0,9]}{4 + (6-2) \times 0,9} = 1,408 \text{ m}$

Dãy 7, $n = 7$: $y_7 = \frac{(1,408 + 0,1)[4 + (7-1) \times 0,9]}{4 + (7-2) \times 0,9} = 1,668 \text{ m}$

Dãy 8, $n = 8$: $y_8 = \frac{(1,668 + 0,1)[4 + (8-1) \times 0,9]}{4 + (8-2) \times 0,9} = 1,937 \text{ m}$

Dãy 9, $n = 9$: $y_9 = \frac{(1,937 + 0,1)[4 + (9-1) \times 0,9]}{4 + (9-2) \times 0,9} = 2,215 \text{ m}$

Dãy 10, $n = 10$: $y_{10} = \frac{(2,215 + 0,1)[4 + (10-1) \times 0,9]}{4 + (10-2) \times 0,9} = 2,501 \text{ m}$

Dãy 11, $n = 11$: $y_{11} = \frac{(2,501 + 0,1)[4 + (11-1) \times 0,9]}{4 + (11-2) \times 0,9} = 2,794 \text{ m}$

$$\text{Dãy 12, } n = 12: \quad y_{12} = \frac{(2,794 + 0,1)[4 + (12 - 1) \times 0,9]}{4 + (12 - 2) \times 0,9} = 3,094 \text{ m}$$

$$\text{Dãy 13, } n = 13: \quad y_{13} = \frac{(3,094 + 0,1)[4 + (13 - 1) \times 0,9]}{4 + (13 - 2) \times 0,9} = 3,400 \text{ m}$$

$$\text{Dãy 14, } n = 14: \quad y_{14} = \frac{(3,400 + 0,1)[4 + (14 - 1) \times 0,9]}{4 + (14 - 2) \times 0,9} = 3,713 \text{ m}$$

$$\text{Dãy 15, } n = 15: \quad y_{15} = \frac{(3,713 + 0,1)[4 + (15 - 1) \times 0,9]}{4 + (15 - 2) \times 0,9} = 4,032 \text{ m}$$

$$\text{Dãy 16, } n = 16: \quad y_{16} = \frac{(4,032 + 0,1)[4 + (16 - 1) \times 0,9]}{4 + (16 - 2) \times 0,9} = 4,356 \text{ m}$$

$$\text{Dãy 17, } n = 17: \quad y_{17} = \frac{(4,356 + 0,1)[4 + (17 - 1) \times 0,9]}{4 + (17 - 2) \times 0,9} = 4,685 \text{ m}$$

$$\text{Dãy 18, } n = 18: \quad y_{18} = \frac{(4,685 + 0,1)[4 + (18 - 1) \times 0,9]}{4 + (18 - 2) \times 0,9} = 5,109 \text{ m}$$

$$\text{Dãy 19, } n = 19: \quad y_{19} = \frac{(5,109 + 0,1)[4 + (19 - 1) \times 0,9]}{4 + (19 - 2) \times 0,9} = 5,452 \text{ m}$$

$$\text{Dãy 20, } n = 20: \quad y_{20} = \frac{(5,452 + 0,1)[4 + (20 - 1) \times 0,9]}{4 + (20 - 2) \times 0,9} = 5,799 \text{ m}$$

$$\text{Dãy 21, } n = 21: \quad y_{21} = \frac{(5,799 + 0,1)[4 + (21 - 1) \times 0,9]}{4 + (21 - 2) \times 0,9} = 6,151 \text{ m}$$

$$\text{Dãy 22, } n = 22: \quad y_{22} = \frac{(6,151 + 0,1)[4 + (22 - 1) \times 0,9]}{4 + (22 - 2) \times 0,9} = 6,507 \text{ m}$$

$$\text{Dãy 23, } n = 23: \quad y_{23} = \frac{(6,507 + 0,1)[4 + (23 - 1) \times 0,9]}{4 + (23 - 2) \times 0,9} = 6,86 \text{ m}$$

$$\text{Dãy 24, } n = 24: \quad y_{24} = \frac{(6,867 + 0,1)[4 + (24 - 1) \times 0,9]}{4 + (24 - 2) \times 0,9} = 7,23 \text{ m}$$

$$\text{Dãy 25, } n = 25: \quad y_{25} = \frac{(7,23 + 0,1)[4 + (25 - 1) \times 0,9]}{4 + (25 - 2) \times 0,9} = 7,597 \text{ m}$$

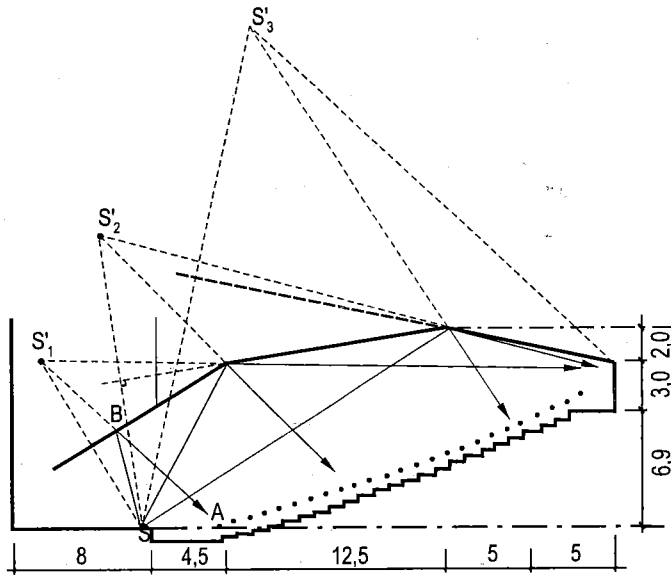
$$\text{Dãy 26, } n = 26: \quad y_{26} = \frac{(7,597 + 0,1)[4 + (26 - 1) \times 0,9]}{4 + (26 - 2) \times 0,9} = 7,968 \text{ m}$$

Lấy chiều cao từ mặt sân khấu đến bậc cuối cùng (bậc thứ 26) là 6,9 m (hình PL5.2).

Xác định vị trí mắt của khán thính giả theo các dây ghế trên mặt cắt dọc của phòng: dựa trên giá trị của y_n vừa được xác định trên đây (hình PL5.2).

Xác định vị trí của các bậc cấp (nơi bố trí các dây ghế) bằng cách tịnh tiến vị trí của mắt xuống dưới một đoạn 1,1 m (hình PL 5.2).

Xác định vị trí của các tấm trần. Với vị trí của các tấm trần như trên hình PL5.2, năng lượng âm phản xạ trong phòng phân bố khá hợp lý.



Hình PL5.2

3. Xác định thể tích thực tế của phòng

Trên hình PL5.1 và PL5.2 ta thấy:

$$V_{\text{phòng}} = V_A + V_B + V_C + V_D + V_E \text{ m}^3$$

$$V_A = \frac{14+22}{2} \times 5 \times \frac{3+5,8}{2} = 396 \text{ m}^3$$

$$V_B = \frac{22+20}{2} \times 5 \times \frac{5,6+7,7}{2} = 698,25 \text{ m}^3$$

$$V_C = \frac{20+15,8}{2} \times 12,5 \times \frac{7,7+10}{2} = 2002,3 \text{ m}^3$$

$$V_D = \frac{15,8+14}{2} \times 4,5 \times \frac{10+8}{2} = 603,5 \text{ m}^3$$

$$V_E = 8 \times 22 \times \frac{7,4+2,5}{2} = 871,2 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{phòng thực tế}} = 396 + 698,25 + 2002,3 + 603,5 + 871,2 = 4.571,1 \text{ m}^3$$

4. Xác định số ghế thực tế trong phòng (xem PL2.1)

Dãy 1: $\frac{5,6 \times 2}{0,55} = 20,36$; lấy 20 ghế

Dãy 2: $\frac{5,8 \times 2}{0,55} = 21,09$; lấy 20 ghế

Dãy 3: $\frac{5,9 \times 2}{0,55} = 21,45$; lấy 22 ghế.

Dãy 4: $\frac{6 \times 2}{0,55} = 21,82$; lấy 22 ghế.

Dãy 5: $\frac{6,2 \times 2}{0,55} = 22,55$; lấy 22 ghế.

Dãy 6: $\frac{6,4 \times 2}{0,55} = 23,27$; lấy 24 ghế.

Dãy 7: $\frac{6,6 \times 2}{0,55} = 24$; lấy 24 ghế.

Dãy 8: $\frac{6,8 \times 2}{0,55} = 24,72$; lấy 24 ghế.

Dãy 9: $\frac{7 \times 2}{0,55} = 25,45$; lấy 26 ghế.

Dãy 10: $\frac{7 \times 2}{0,55} = 25,45$; lấy 26 ghế.

Dãy 11: $\frac{7,3 \times 2}{0,55} = 26,5$; lấy 26 ghế.

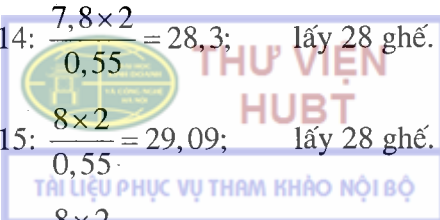
Dãy 12: $\frac{7,5 \times 2}{0,55} = 27,27$; lấy 28 ghế.

Dãy 13: $\frac{7,6 \times 2}{0,55} = 27,63$; lấy 28 ghế.

Dãy 14: $\frac{7,8 \times 2}{0,55} = 28,3$; lấy 28 ghế.

Dãy 15: $\frac{8 \times 2}{0,55} = 29,09$; lấy 28 ghế.

Dãy 16: $\frac{8 \times 2}{0,55} = 29,09$; lấy 28 ghế.



$$\text{Dãy 17: } \frac{8,2 \times 2}{0,55} = 29,8; \quad \text{lấy 30 ghế.}$$

$$\text{Dãy 18: } \frac{8,4 \times 2}{0,55} = 30,5; \quad \text{lấy 30 ghế.}$$

$$\text{Dãy 19: } \frac{8,6 \times 2}{0,55} = 31,27; \quad \text{lấy 30 ghế.}$$

$$\text{Dãy 20: } \frac{8,8 \times 2}{0,55} = 32; \quad \text{lấy 32 ghế.}$$

$$\text{Dãy 21: } \frac{8,8 \times 2}{0,55} = 32; \quad \text{lấy 32 ghế.}$$

$$\text{Dãy 22: } \frac{8,8 \times 2}{0,55} = 32; \quad \text{lấy 32 ghế.}$$

$$\text{Dãy 23: } \frac{7,8 \times 2}{0,55} = 28,3; \quad \text{lấy 28 ghế.}$$

$$\text{Dãy 24: } \frac{7,2 \times 2}{0,55} = 26,2; \quad \text{lấy 26 ghế.}$$

$$\text{Dãy 25: } \frac{6,4 \times 2}{0,55} = 23,3; \quad \text{lấy 24 ghế.}$$

$$\text{Dãy 26: } \frac{5,4 \times 2}{0,55} = 19,6; \quad \text{lấy 20 ghế.}$$

Số ghế tổng cộng trong phòng:

$$N_{\text{thực tế}} = 680 \text{ ghế}$$

Thể tích thực tế của phòng cho mỗi khán giả:

$$v = \frac{V}{N} = \frac{4.571,1}{680} = 6,72 \approx 6 \text{ (con số theo kinh nghiệm của Liên Xô cũ, bảng 2.2).}$$

5. Kiểm tra lại

a) Hình PL5-2 cho thấy: các tia âm trực tiếp và tia âm phản xạ phân bố trong phòng khá hợp lí, không có vùng hội tụ âm và vệt âm.

b) Để kiểm tra sơ bộ có hay không hiện tượng tiếng vọng, dùng biểu đồ trên hình 2.10.

Với âm nhạc dùng đường 1.

Với dãy ghế đầu, đường đi của tia âm trực tiếp là: $SA = 4,6 \text{ m}$ (đo trực tiếp trên bản vẽ bằng thước theo tỉ lệ).

Đường đi của tia âm phản xạ là: $SB + BA = 6 + 8,6 = 14,6 \text{ m}$.

Hiệu của 2 đường đi: $14,6 - 4,6 = 10 \text{ m}$.

Trên hình 2.10, tương ứng với đường 1 (âm nhạc) và hiệu $\Delta L = L_1 - L_2 = 0$, có hiệu khoảng cách tới hạn là 14 m.

$10 < 14$: ở dãy ghế đầu không có tiếng vọng.

6. Xác định thời gian âm vang tối ưu T_{ur}

Từ hình 2.16, với thể tích của phòng là $4571,1 \text{ m}^3$ và với chức năng của phòng là nhạc giao hưởng nghe trực tiếp (đường 2) ta xác định T_{ur} cho tần số 1000 Hz là 1,68 s.

Từ hình 2.17, với nhạc giao hưởng xác định được hệ số k:

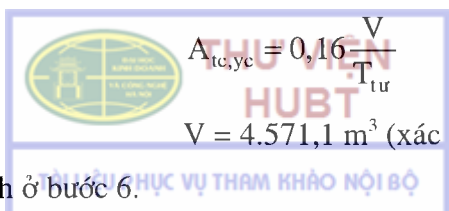
f, Hz	k
125	1.21
250	1.1
500	1.04
1000	1
2000	0.96
4000	0.9

Thời gian âm vang tối ưu cho từng tần số âm thanh là:

f, Hz	T_{ur}, s
125	$1,68 \times 1,21 = 2,03 \text{ s}$
250	$1,68 \times 1,1 = 1,85 \text{ s}$
500	$1,68 \times 1,04 = 1,75 \text{ s}$
1000	$1,68 \times 1 = 1,68 \text{ s}$
2000	$1,68 \times 0,96 = 1,61 \text{ s}$
4000	$1,68 \times 0,9 = 1,51 \text{ s}$

7. Xác định sơ bộ lượng hút âm tổng cộng yêu cầu ($A_{tc,yc}$)

Dùng công thức (2 - 12):


$$A_{tc,yc} = 0,16 \frac{V}{T_{ur}}$$

$V = 4.571,1 \text{ m}^3$ (xác định ở bước 3).

T_{ur} - xác định ở bước 6.

Kết quả tính cho trong bảng PL5-1.

Bảng PL5-1. Bảng tính $A_{tc,yc}$

Tần số âm, f Hz	125	250	500	1000	2000	4000
T_{tr} , s	2,03	1.85	1.75	1.68	1.61	1.51
$A_{tc,yc}$, m ²	360.3	395.3	417.9	435.3	454.3	484.4

8. Xác định lượng hút âm thay đổi (A_{td})

Mặt sàn có bố trí khán giả:

Mức đầy 100%: $S_{kg} = 563,3 \text{ m}^2$ (đo trực tiếp trên bản vẽ); $N_{kg} = 580$ người.

Mức đầy: 70%.

Diện tích sàn có khán giả: $S_{kg} = 563,6 \times 0,7 = 394,5 \text{ m}^2$; $N_{kg} = 406$ người.

Diện tích sàn có ghế trống: $S_g = 563,6 - 394,5 = 169,1 \text{ m}^2$; $N_g = 174$ ghế.

Kết quả tính được ghi trong bảng PL5-3, số thứ tự 20.

9. Xác định sơ bộ lượng hút âm cố định yêu cầu

Dùng công thức:

$$A_{cd,yc} = A_{tc,yc} - A_{td}$$

Trong đó:

$A_{tc,yc}$ - xác định ở bước 7;

A_{td} - xác định ở bước 8.

Kết quả tính được ghi trong bảng PL5-2.

Bảng PL5-2. Tính toán $A_{cd,yc}$

Tần số âm, f Hz		125	250	500	1000	2000	4000
$A_{tc,yc}$, m ²		360,3	395,3	417,9	435,3	454,3	484,4
A_{td} , m ²	100% khán giả	167,4	206,0	268,0	300,2	269,6	268,0
	70% khán giả	158,7	193,7	259,3	291,5	260,9	250,6
$A_{cd,yc}$, m ²	100% khán giả	192,9	189,3	149,9	135,1	184,7	216,4
	70% khán giả	201,3	201,6	158,6	143,8	193,4	233,8

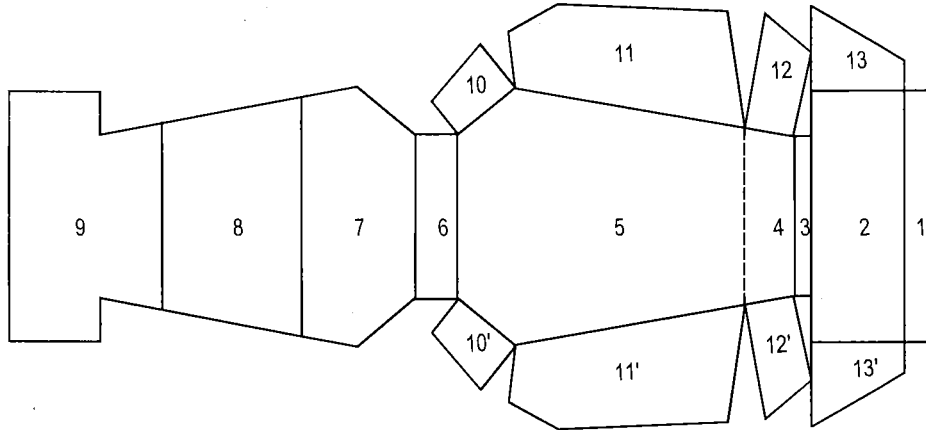
10. Bố trí sơ bộ vật liệu và cấu kiện hút âm trên các bề mặt trong phòng

Việc bố trí vật liệu và các cấu kiện hút âm trên các bề mặt trong phòng phải xuất phát từ yêu cầu lượng hút âm cố định thiết kế ($A_{cd,tk}$) gần bằng lượng hút âm cố định yêu cầu. Bước này được thể hiện trên hình PL5-3 và trong bảng PL5-3.

11. Tiến hành tính toán để xác định thời gian âm vang thiết kế (T_{tk})

Sau khi bố trí xong vật liệu và cấu kiện hút âm trong phòng ta xác định được $A_{cd,tk}$.
 Lượng hút âm tổng cộng thiết kế ($A_{tc,tk}$) sẽ là:

$$A_{tc,tk} = A_{cd,tk} + A_{td}$$



Hình PL5-3

Có được $A_{tc,tk}$ rồi ta xác định hệ số hút âm trung bình ($\bar{\alpha}$) theo công thức:

$$\bar{\alpha} = \frac{A_{tc,tk}}{\Sigma S}$$

Trong đó: ΣS - diện tích tổng cộng của tất cả các bề mặt trong nhà. Quá trình xác định $\bar{\alpha}$ thể hiện ở số thứ tự 24 của bảng PL5-3.

Có được $\bar{\alpha}$ rồi, xác định T_{tk} theo công thức:

$$T_{tk} = 0,16 \frac{V}{-S \ln(1 - \bar{\alpha}) + nV}, s$$

Trong đó:

$V = 4.571,1 \text{ m}^3$ - thể tích thực tế của phòng;

$S = 1.425 \text{ m}^2$ - diện tích tổng cộng của các bề mặt trong phòng;

n - lấy theo bảng 2.1.

Tính cho trường hợp nhiệt độ không khí bằng 20°C và độ ẩm không khí bằng 60%, từ bảng 2.1 ta có:

f, Hz	125	250	500	1000	2000	4000
n	0	0	0	0	0.0090	0.0224

Quá trình tính toán T_{tk} được trình bày trong bảng PL5-3.

Bảng PL.5.3. Bố trí vật liệu cấu kiện hút âm và xác định thời gian âm vang thiết kế (T_{ik})

Loại cấu kiện hút âm	Số TT	Bề mặt (xem hình PL.2.3)	S, m ² N, người hoặc chiếu	Vật liệu và cấu kiện hút âm	α hoặc a m ² /cá thể và lượng hút âm A, m ² ở các tần số âm f, Hz											
					125		250		500		1000		2000		4000	
					α, a	A	α, a	A	α, a	A	α, a	A	α, a	A	α, a	A
Hút âm cố định	1	1	57,2 m ²	Gỗ	0,3	17,2	0,1	5,7	0,05	2,9	0,02	1,1	0,01	0,6	0,01	0,6
	2	2	176 m ²	Gỗ	0,3	52,8	0,1	17,6	0,05	8,8	0,02	3,5	0,01	1,8	0,01	1,8
	3	3	11,2 m ²	Gỗ	0,3	3,4	0,1	1,1	0,05	0,6	0,02	0,2	0,01	0,1	0,01	0,1
	4	4	65,25 m ²	Gỗ (sàn)	0,01	0,7	0,01	0,7	0,01	0,7	0,01	0,7	0,01	0,7	0,01	0,7
	5	6	47,6 m ²	Ridô nhung mỏng, nếp đơn	0,08	3,8	0,3	14,3	0,5	23,8	0,5	23,8	0,6	28,6	0,6	28,6
	6	7	107 m ²	Gỗ	0,3	32,1	0,1	10,7	0,05	5,4	0,02	2,1	0,01	1,1	0,01	1,1
	8	8	232,96 m ²													
	7	2/3 diện tích	155,3 m ²	Trần giả bằng tấm thạch cao $\delta = 25$ mm	0,1	15,5	0,08	12,4	0,05	7,8	0,05	7,8	0,04	6,2	0,04	6,2
Hút âm cố định	9	1/3 diện tích	77,7 m ²	Trần ép bằng bông khoáng dày 2,5 cm, đặt sau tấm gỗ có đục lỗ 20%, không có lớp không khí	0,1	7,8	0,3	23,3	0,6	46,6	0,8	62,1	0,7	54,4	0,6	46,6
	8	9	239,76 m ²	Gỗ	0,3	71,9	0,1	24,0	0,05	12,0	0,02	4,8	0,01	2,4	0,01	2,4
	9	10	29,04 m ²	Ridô nhung mỏng, nếp đơn	0,08	2,3	0,3	8,7	0,5	14,5	0,5	14,5	0,6	17,4	0,6	17,4
	10	10'	29,04 m ²	Ridô nhung mỏng, nếp đơn	0,08	2,3	0,3	8,7	0,5	14,5	0,5	14,5	0,6	17,4	0,6	17,4
	11	11	146 m ²													
Hút âm cố định	11	2/3 diện tích	97,3 m ²	Gỗ	0,3	29,2	0,1	9,7	0,05	4,9	0,02	1,9	0,01	1,0	0,01	1,0
	11	1/3 diện tích	48,7 m ²	Ridô nhung mỏng, nếp đơn	0,08	3,9	0,3	14,6	0,5	24,3	0,5	24,3	0,6	29,2	0,6	29,2

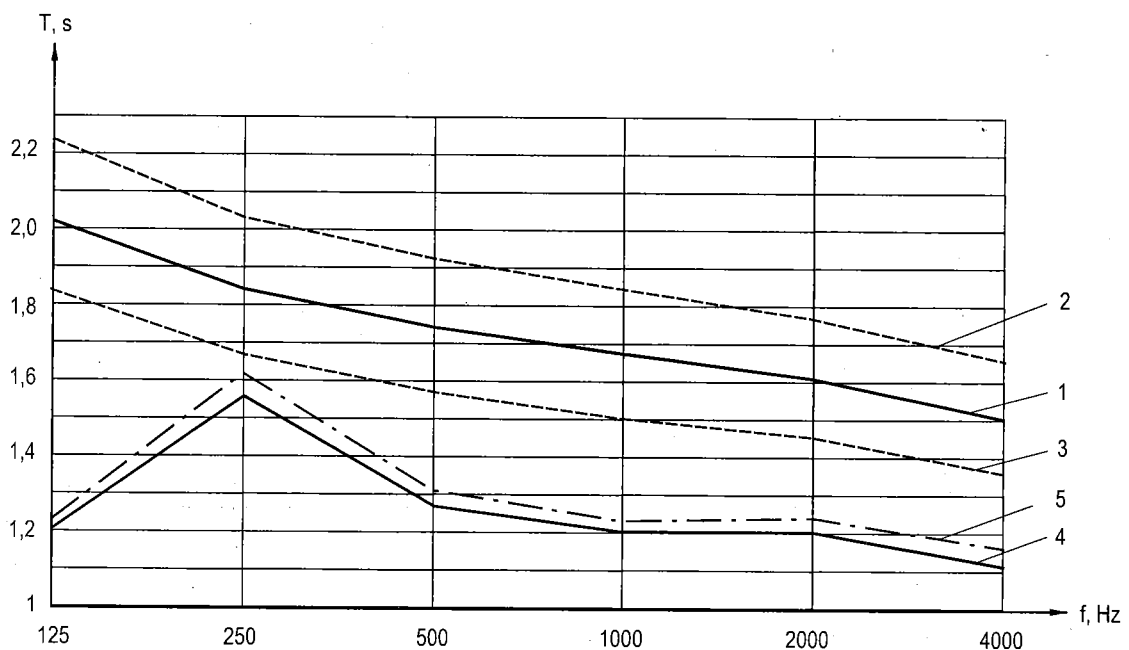
12. Kiểm tra sự trùng hợp của T_{tk} với T_{tr}

- Tính thời gian âm vang tối ưu $\times 1,1$.
- Tính thời gian âm vang thiết kế $\times 0,9$.

Kết quả tính:

Đại lượng tính \ f, Hz	125	250	500	1000	2000	4000
T_{tr} , s (xác định ở bước 6)	2.03	1.85	1.75	1.68	1.61	1.51
$1,1 T_{tr}$	2.23	2.04	1.93	1.85	1.77	1.66
$0,9 T_{tr}$	1.83	1.67	1.58	1.51	1.45	1.36

Đưa tất cả các đại lượng trên đây lên đồ thị, ta có hình PL5.4.



1. Thời gian âm vang tối ưu, xác định ở bước 6.
2. Thời gian âm vang tối ưu $\times 1,1$ ($T_{tr} + 10\%$).
3. Thời gian âm vang tối ưu $\times 0,9$ ($T_{tr} - 10\%$).
4. Thời gian âm vang thiết kế cho trường hợp 100% khán giả.
5. Thời gian âm vang thiết kế cho trường hợp 70% khán giả.

Hình PL5.4

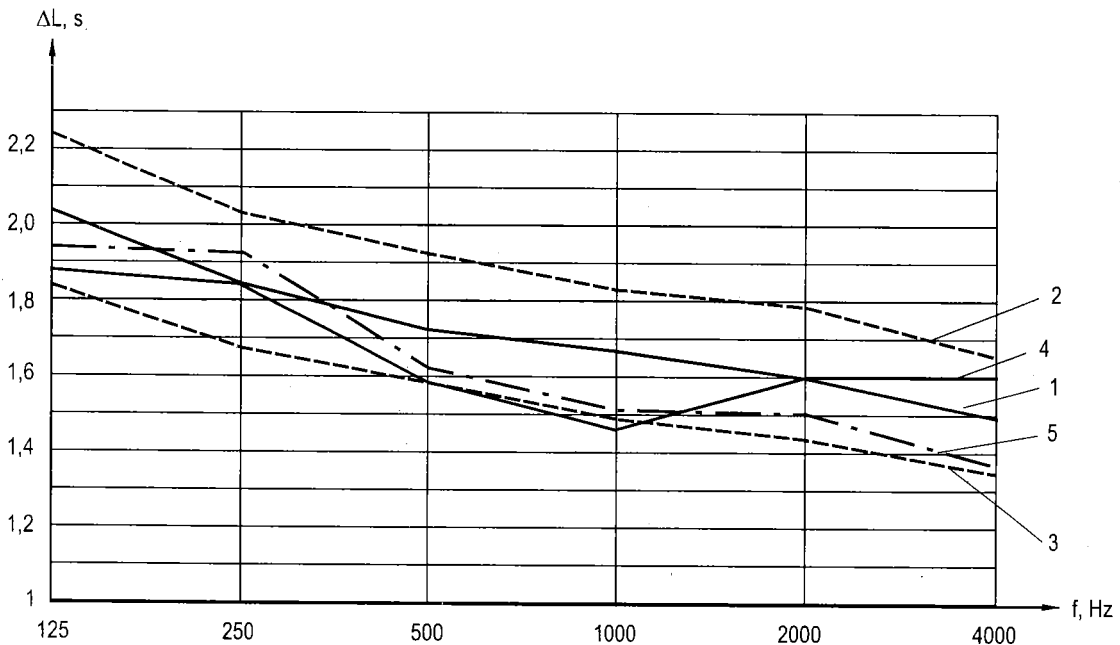
Hình PL5.4 cho thấy:

- Thời gian âm vang thiết kế cho trường hợp 100% khán giả ngắn hơn thời gian âm vang thiết kế cho trường hợp 70% khán giả không đáng kể.

- Thời gian âm vang thiết kế cho cả 2 trường hợp đều nằm ngoài vùng $T_{lv} \pm 10\%$ về phía dưới, điều đó chứng tỏ lượng hút âm tổng cộng trong phòng quá lớn so với yêu cầu. Để đưa 2 đường 4 và 5 vào vùng $T_{lv} \pm 10\%$ cần phải giảm bớt lượng hút âm cố định của các bề mặt trong phòng, nghĩa là chọn vật liệu và cấu kiện khác có hệ số hút âm nhỏ hơn hoặc là giảm bớt diện tích của các bề mặt hút âm (có nghĩa là tăng thêm diện tích của các bề mặt phản xạ âm).

Quá trình bố trí lại vật liệu cấu kiện hút âm và xác định lại thời gian âm vang thiết kế (T_{ik}) được trình bày trong bảng PL5.4.

Từ kết quả tính toán trong bảng PL5.4 dựng lại biểu đồ trên hình PL5.5.



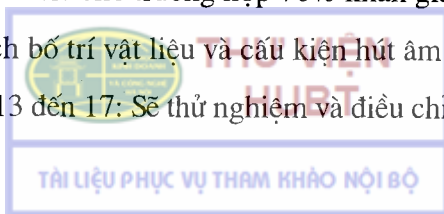
Hình PL5.5. So sánh T_{ik} với T_{lv}
(các đường 1, 2, 3, 4, 5 - xem chú thích cho hình PL5.4)

Hình PL5.5 cho thấy:

Đường 4 (thời gian âm vang thiết kế cho trường hợp 100% khán giả và đường 5 (thời gian âm vang thiết kế cho trường hợp 70% khán giả) đều nằm trong vùng $T_{lv} \pm 10\%$.

Như vậy, cách bố trí vật liệu và cấu kiện hút âm như trong bảng PL5.4 là hợp lý.

Các bước từ 13 đến 17: Sẽ thử nghiệm và điều chỉnh trên công trình đã xây dựng xong.



Bảng PL5.4. Bố trí lại vật liệu, cấu kiện hút âm và xác định lại thời gian âm vang thiết kế (T_{ik}).

Loại cấu kiện hút âm	Số TT	Bề mặt (xem hình PL2.3)	S, m ² N, người hoặc chiếu	Vật liệu và cấu kiện hút âm	α hoặc a m ² /cá thể và lượng hút âm A, m ² ở các tần số âm f, Hz												
					125		250		500		1000		2000		4000		
					α, a	A	α, a	A	α, a	A	α, a	A	α, a	A	α, a	A	
Cấu kiện hút âm cố định	1	1	57,2 m ²	Tấm thạch cao $\delta = 25$ mm	0,1	5,7	0,08	4,6	0,05	2,9	0,05	2,9	0,04	2,3	0,04	2,3	
	2	2	176 m ²	Gỗ	0,3	52,8	0,1	17,6	0,05	8,8	0,02	3,5	0,01	1,8	0,01	1,8	
	3	3	11,2 m ²	Gỗ	0,3	3,4	0,1	1,1	0,05	0,6	0,02	0,2	0,01	0,1	0,01	0,1	
	4	4	65,25 m ²	Gỗ (sàn)	0,01	0,7	0,01	0,7	0,01	0,7	0,01	0,7	0,01	0,7	0,01	0,7	
	5	6	47,6 m ²	Ridô nhung mỏng, nếp đơn	0,08	3,8	0,3	14,3	0,5	23,8	0,5	23,8	0,6	28,6	0,6	28,6	
	6	7	107 m ²	Tấm thạch cao $\delta = 25$ mm	0,1	10,7	0,08	8,6	0,05	5,4	0,05	5,4	0,04	4,3	0,04	4,3	
	7	8	232,96 m ²	Trần giả bằng tấm thạch cao, $\delta = 25$ mm	0,1	23,3	0,08	18,6	0,05	11,6	0,05	11,6	0,04	9,3	0,04	9,3	
	8	9	239,76 m ²	-nt-	0,1	24,0	0,08	19,2	0,05	12,0	0,05	12,0	0,04	9,6	0,04	9,6	
	9	10	29,04 m ²	Tấm thạch cao $\delta = 25$ mm	0,1	2,9	0,08	2,3	0,05	1,5	0,05	1,5	0,04	1,2	0,04	1,2	
	10	10'	29,04 m ²	Tấm thạch cao $\delta = 25$ mm	0,1	2,9	0,08	2,3	0,05	1,5	0,05	1,5	0,04	1,2	0,04	1,2	
	Cấu kiện hút âm cố định	11	11	146 m ²													
		3/4	109,5 m ²	Tấm thạch cao $\delta = 25$ mm	0,1	11,0	0,08	8,8	0,05	5,5	0,05	5,5	0,04	4,4	0,04	4,4	
1/4		36,5 m ²	Ridô nhung mỏng, nếp đơn	0,08	2,9	0,3	11,0	0,5	18,3	0,5	18,3	0,6	21,9	0,6	21,9		
12	11'	146 m ²															

Cầu kiện hút âm thay đổi	3/4 diện tích	109,5 m ²	Tấm thạch cao δ = 25 mm	0,1	11,0	0,08	8,8	0,05	5,5	0,05	5,5	0,04	4,4	0,04	4,4	
	1/4 diện tích	36,5 m ²	Ridô nhôm mỏng, nếp đơn	0,08	2,9	0,3	11,0	0,5	18,3	0,5	18,3	0,6	21,9	0,6	21,9	
	13	12	40,5 m ²	Tấm thạch cao δ = 25 mm	0,1	4,1	0,08	3,2	0,05	2,0	0,05	2,0	0,04	1,6	0,04	1,6
	14	12'	40,5 m ²	-nt-	0,1	4,1	0,08	3,2	0,05	2,0	0,05	2,0	0,04	1,6	0,04	1,6
	15	13	42,2 m ²	-nt-	0,1	4,2	0,08	3,4	0,05	2,1	0,05	2,1	0,04	1,7	0,04	1,7
	16	13'	42,2 m ²	-nt-	0,1	4,2	0,08	3,4	0,05	2,1	0,05	2,1	0,04	1,7	0,04	1,7
	17		ΣA _{cd}		-	171,7	-	139,8	-	123,1	-	118,5	-	50,9	-	50,9
	5		563,6 m ²													
	18	100% khán giả	580 người	-	0,25	145,0	0,3	174,0	0,4	232,0	0,45	261,0	0,4	232,0	0,4	232,0
		70% khán giả	406 người	-	0,25	101,5	0,3	121,8	0,4	162,4	0,45	182,7	0,4	162,4	0,4	162,4
	19	Nhạc công	80 người	(kể cả ghế và nhạc cụ)	0,28	22,4	0,4	32,0	0,45	36,0	0,49	39,2	0,47	37,6	0,45	36,0
		ΣA _{ds} , m ²		100% khán giả	-	167,4	-	206,0	-	268,0	-	300,2	-	269,6	-	268,0
				70% khán giả	-	158,7	-	193,7	-	259,3	-	291,5	-	260,9	-	250,6
	21	ΣA _{cd} + ΣA _{ld}		100% khán giả	-	339,1	-	345,2	-	391,3	-	418,7	-	386,7	-	385,1
				70% khán giả	-	330,4	-	333,5	-	382,4	-	410,0	-	378,0	-	367,5
	22	Diện tích tổng cộng của tất cả các bề mặt trong phòng: ΣS = 1.425,41 m ²														
	23	Thể tích thực tế của phòng: V = 4571,1m ³														
24	$\bar{\alpha} = \frac{\Sigma A_{cd} + \Sigma A_{ld}}{\Sigma S}$		100% khán giả	0,238	0,242	0,234	0,268	0,274	0,294	0,271	0,270	0,258	0,258	0,258	0,258	
25	n (cho t = 20°C và φ = 60%)		70% khán giả	0,232	0,234	0,268	0,274	0,294	0,271	0,270	0,258	0,258	0,258	0,258	0,258	
			n (cho t = 20°C và φ = 60%)	0	0	0	0	0	0	0,009	0,0224	0,0224	0,0224	0,0224	0,0224	
26	$T_{ik} = \frac{0,16V}{-\Sigma \ln(1 - \bar{\alpha}) + nV}$		100% khán giả	1,89	1,85	1,60	1,60	1,77	1,62	1,63	1,63	1,63	1,63	1,63	1,63	
			70% khán giả	1,94	1,92	1,64	1,64	1,51	1,52	1,52	1,52	1,52	1,52	1,52	1,52	

Tính toán T_{ik}

Phụ lục 6
MỘT SỐ BÀI TOÁN MẪU VỀ CHỐNG ÔN
TRONG QUY HOẠCH VÀ XÂY DỰNG ĐÔ THỊ

BÀI TOÁN 1

1. Bài toán

Sân bay X có số lượng máy bay cất cánh và hạ cánh trong ngày như sau:

- 8 máy bay hai động cơ phản lực tầm bay trung bình cất cánh;
- 8 máy bay hai động cơ phản lực tầm bay trung bình hạ cánh;
- 6 máy bay bốn động cơ phản lực tầm bay lớn cất cánh;
- 6 máy bay bốn động cơ phản lực tầm bay lớn hạ cánh.

Hãy kiểm tra xem, liệu có thể bố trí một bệnh viện trong khu đất cách sân bay 3 km hay không?

2. Những tư liệu cần thiết

2.1. Mức âm vật lý của máy bay ở khoảng cách 300 m cho trong bảng PL6.1 dưới đây/29/.

Bảng PL6.1

Loại máy bay	Cất cánh hay hạ cánh	Chế độ hoạt động của động cơ	Tổng thể		Theo từng dải tần số, Hz							
			dB(A)	PNdB	62.5	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Hai động cơ phản lực tầm trung bình (2000 ÷ 4000km)	Cất cánh	Chạy hết tốc lực	109	120	94	101	105	106	105	102	96	85
		Chạy bình thường	101	112	84	89	94	96	97	95	89	75
	Hạ cánh		81	100	69	71	79	78	77	74	74	71
Bốn động cơ phản lực, tầm xa (> 4000km)	Cất cánh	Chạy hết tốc lực	105	120	100	102	105	103	102	98	92	81
		Chạy bình thường	99	114	92	93	95	95	95	93	78	74
	Hạ cánh		87	103	73	71	76	80	81	80	80	78

2.2. Mức âm vật lý của máy bay ở khoảng cách r (trên mặt đất)

$$L_r = L_{300} - 20 \lg \frac{r}{300} - a(r - 300) \quad (\text{PL6.1})$$

Đặt
$$\Delta L = 20 \lg \frac{r}{300} + a(r - 300) \quad (\text{LP6.2})$$

Ta có:
$$L_r = L_{300} - \Delta L \quad (\text{PL6.3})$$

Trong đó:

\lg - logarit thập phân;

r - tính bằng m;

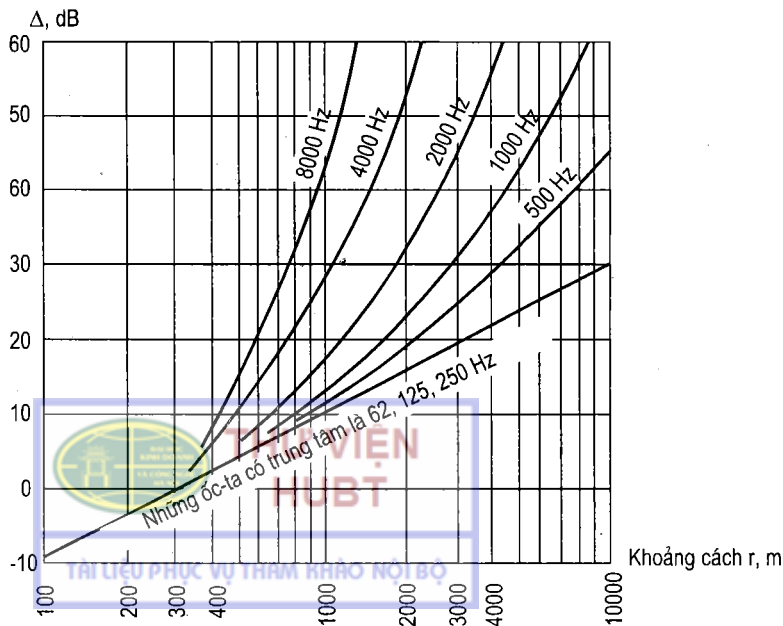
a - độ suy giảm mức âm vật lý trong không khí, giá trị của nó được xác định theo bảng PL6.2 dưới đây:

Bảng PL6.2

f, Hz	62.5	125	250	500	1000	2000	4000	8000
a, dB/m	0	0	0	0.0016	0.0038	0.0095	0.0242	0.06

Những giá trị của a trong bảng trên chính xác khi nhiệt độ và độ ẩm không khí tương ứng bằng 15°C và 70%, khi nhiệt độ và độ ẩm không khí khác 15°C và 70% chúng cũng có thể dùng được và cho sai số chấp nhận được.

2.3. Đồ thị để xác định ΔL (theo công thức (PL6-2) trên đây) phụ thuộc vào khoảng cách r (hình PL6.1).



Hình PL6.1.

2.4. Mức âm vật lý tổng hợp của tiếng ồn:

$$L_{th} = 10 \lg \sum_{f=62,5}^{8000} 10^{0,1L_f} ,dB(A) \quad (PL6-4)$$

2.5. Mức âm vật lý tổng hợp thể hiện bằng PN dB: bằng mức âm vật lý tổng hợp tính trong mục 2.4 cộng thêm $10 \div 12$.

2.6. Mức âm vật lý trung bình của tất cả các máy bay cất cánh và hạ cánh trong 24 giờ:

$$\bar{L} = 10 \lg \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N 10^{0,1L_n} \quad (PL6-5)$$

Trong đó:

N - số lượng tất cả các máy bay cất cánh và hạ cánh trong 24 giờ.

2.7. Chỉ số tổng hợp (psophique - theo Ủy ban nghiên cứu tiếng ồn của Bộ Y tế Pháp):

$$R = \bar{L} + 10 \lg N - 34 \text{ PNdB} \quad (PL6-6)$$

2.8. Khuyến nghị của Ủy ban nghiên cứu tiếng ồn thuộc Bộ Y tế Pháp về giá trị của chỉ số tổng hợp R, PNdB, cho trong bảng PL6.3.

Bảng PL6.3

Chế độ hoạt động của máy bay	Giới hạn của vùng A	Giới hạn của vùng B
Hoạt động ban ngày (từ 6 đến 22 giờ)	$R > 96$ $(R > 89)^*$	$89 < R < 96$ $(84 < R < 89)^*$
Nhiều hoạt động ban đêm	$R > 69$ $(R > 63)^*$	$63 < R < 69$ $(58 < R < 63)^*$

Chú thích: *Nếu có thể.

Trong vùng A chỉ cho phép xây dựng mới những công trình cần thiết cho việc khai thác sân bay và những công trình công nghiệp phát sinh nhiều tiếng ồn.

Trong vùng B chỉ cho phép xây dựng những nhà ở mới nếu có dùng một số biện pháp chống ồn nào đấy. Về nguyên tắc, không nên đặt ở đây bệnh viện, trường học, nhà thờ.

Bên ngoài những vùng này có thể xây dựng tự do.

3. Giải bài toán

3.1. Xác định giá trị của L (3000) của mỗi máy bay, dB(A), theo bảng PL6.4.

Bảng PL6.4.

Nguồn ồn	Đại lượng cần tính toán	Tần số trung tâm của các ốc-ta, Hz							
		62	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Máy bay phản lực 2 động cơ đường bay trung bình, lúc cất cánh, động cơ hoạt động tối đa	L (300) ⁽¹⁾ dB(A)	94	101	105	106	105	102	96	85
	ΔL ⁽²⁾ dB(A)	20	20	20	24.5	30	46	-	-
	L (3000) ⁽³⁾ dB(A)	74	81	85	81.5	75	56		
Máy bay phản lực 2 động cơ, đường bay trung bình, lúc hạ cánh	L(300) ⁽¹⁾ dB(A)	69	71	79	78	77	74	71	74
	ΔL ⁽²⁾ dB(A)	20	20	20	24.5	30	46	-	-
	L (3000) ⁽³⁾ dB(A)	49	51	59	53.5	47	28	-	-
Máy bay phản lực 4 động cơ, đường bay dài (≥ 4000 km), lúc cất cánh, động cơ hoạt động tối đa	L(300) ⁽¹⁾ dB(A)	100	102	105	103	102	98	92	91
	ΔL ⁽²⁾ dB(A)	20	20	20	24.5	30	46	-	-
	L (3000) ⁽³⁾ dB(A)	80	82	85	78.5	72	52	-	-
Máy bay phản lực 4 động cơ, đường bay dài, lúc hạ cánh	L(300) ⁽¹⁾ dB(A)	73	71	76	80	81	80	80	78
	ΔL ⁽²⁾ dB(A)	20	20	20	24.5	30	46	-	-
	L (3000) ⁽³⁾ dB(A)	53	51	56	55.5	51	34	-	-

Chú thích: (1) - xem mục 2.1; (2) và (3) - xem mục 2.3.

3.2. Xác định các $L_{\text{tổng hợp}}$ tính bằng dB(A) (công thức PL6-4).

3.2.1. Cửa máy bay 2 động cơ phản lực đang cất cánh:

$$L_{\text{tổng hợp}} = 10\lg(10^{7.4} + 10^{8.1} + 10^{8.5} + 10^{8.15} + 10^{7.5} + 10^{5.6}) = 88 \text{ dB(A)}$$

3.2.2. Cửa máy bay 2 động cơ phản lực đang hạ cánh:

$$L_{\text{tổng hợp}} = 10\lg(10^{4.9} + 10^{5.1} + 10^{5.9} + 10^{5.35} + 10^{4.7} + 10^{2.8}) = 61 \text{ dB(A)}$$

3.2.3. Cửa máy bay 4 động cơ phản lực đang cất cánh:

$$L_{\text{tổng hợp}} = 10\lg(10^8 + 10^{8.2} + 10^{8.5} + 10^{7.85} + 10^{7.2} + 10^{5.2}) = 88,2 \text{ dB(A)}$$

3.2.4. Cửa máy bay 4 động cơ phản lực đang hạ cánh:

$$L_{\text{tổng hợp}} = 10\lg(10^{5.3} + 10^{5.1} + 10^{5.6} + 10^{5.55} + 10^{5.1} + 10^{3.4}) = 60,8 \text{ dB(A)}$$

3.3. Xác định các $L_{\text{tổng hợp}}$ tính bằng PNdB (xem mục 2.5):

$$L_{\text{tổng hợp,1}} = 88 \text{ dB(A)} = 88 + 12 = 100 \text{ PNdB}$$

$$L_{\text{tổng hợp,2}} = 61 \text{ dB(A)} = 61 + 12 = 73 \text{ PNdB}$$

$$L_{\text{tổng hợp,3}} = 88,2 \text{ dB(A)} = 88,2 + 12 = 100,2 \text{ PNdB}$$

$$L_{\text{tổng hợp,4}} = 60,8 \text{ dB(A)} + 12 = 72,8 \text{ PNdB}$$

3.4. Xác định mức âm vật lý trung bình (công thức PL6.5):

$$\bar{L} = 10 \lg \frac{1}{28} (8 \cdot 10^{10} + 8 \cdot 10^{7,3} + 6 \cdot 10^{10,02} + 6 \cdot 10^{7,28}) = 95,3 \text{ PNdB}$$

3.5. Xác định chỉ số tổng hợp (công thức PL6.7):

$$R = 95,3 + 10 \lg 28 - 34 = 75,8 \text{ PNdB}$$

3.6. Kiểm tra xem liệu có thể xây dựng trong khu vực này một bệnh viện hay không? (Xem mục 2.8):

$R = 75,8 < 89$: khu vực nằm ngoài cả khu A lẫn khu B, vì vậy việc xây dựng bệnh viện ở đây là có thể.

BÀI TOÁN 2a

1. Bài toán

Một đường cao tốc có lưu lượng xe $Q = 2500$ xe/h, trong đó xe trọng tải lớn và xe chở khách chiếm 35%. Độ dốc dọc theo tuyến đường là 4%. Tốc độ trung bình của xe là 53 km/h.

Hãy kiểm tra xem, liệu có thể xây dựng một nhà ở nằm dọc theo tuyến đường, cách mép đường 50 m và không dùng những giải pháp chống ồn đặc biệt hay không?

2. Những tư liệu cần thiết

2.1. Mức âm vật lý của tiếng ồn gây ra bởi đường cao tốc tại điểm khảo sát trong điều kiện bình thường, không dùng những biện pháp chống ồn đặc biệt (tấm chắn, dải cây xanh, v.v...).

$$L = 52 + 10 \lg \frac{Q}{d} \quad (\text{PL6-7})$$

Trong đó:

Q - lưu lượng xe trong một giờ;

d - khoảng cách từ điểm khảo sát đến mép đường, mét.

2.2. Hiệu chỉnh mức âm vật lý xác định ở mục 2.1 theo tỉ lệ phần trăm giữa số lượng xe trọng tải lớn và xe chở khách công cộng với tổng số lượng xe (bảng PL6.5).

Bảng PL6.5

% xe có trọng tải lớn và xe chở khách công cộng	7	20	35	47	60	73	87	100
$\Delta L_1, \text{dB(A)}$	0	+1	+2	+3	+4	+5	+6	+7

2.3. Hiệu chỉnh mức âm vật lý xác định ở mục 2.1 theo độ dốc dọc tuyến đường (bảng PL6.6).

Bảng PL6.6

Độ dốc dọc tuyến đường, %	0	2	4	6
ΔL_2 , dB(A)	0	+1	+2	+3

2.4. Hiệu chỉnh mức âm vật lý xác định ở mục 2.1 theo tốc độ xe (bảng PL6.7):

Bảng PL6.7

Tốc độ xe, km/h	33	47	53	60	67	73	80	87	93
ΔL_3 , dB(A)	-4	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4	+5

2.5. Mức âm vật lý cuối cùng của tiếng ồn tại điểm đang xét cách mép đường một khoảng r:

$$L_r = L + \Delta L_1 + \Delta L_2 + \Delta L_3 \quad (\text{PL6-8})$$

2.6. Đề nghị của CSTB (Trung tâm nghiên cứu khoa học và công nghệ xây dựng của Pháp): với những ngôi nhà không được bảo vệ khỏi tiếng ồn bằng những giải pháp đặc biệt, mức âm vật lý của những sóng âm đập vào mặt nhà không được vượt quá 55 dB(A) nếu ngôi nhà song song với tuyến đường và không được vượt quá 58 dB(A) nếu ngôi nhà vuông góc với tuyến đường.

3. Giải bài toán

3.1. Mức âm vật lý của tiếng ồn tại điểm xem xét (xem công thức (PL6-7):

$$L = 52 + 10 \lg \frac{2500}{50} = 69 \text{ dB(A)}$$

3.2. Hiệu chỉnh mức âm vật lý theo tỉ lệ phần trăm giữa số lượng xe tải trọng lớn và xe chở khách công cộng với tổng số lượng xe (xem bảng PL6-5):

$$\Delta L_1 = + 2 \text{ dB}$$

3.3. Hiệu chỉnh theo độ dốc dọc tuyến đường (xem bảng PL6-6):

$$\Delta L_2 = + 2 \text{ dB}$$

3.4. Hiệu chỉnh theo tốc độ xe (xem bảng PL6-7):

$$\Delta L_3 = - 1 \text{ dB}$$

3.5. Mức âm vật lý cuối cùng tại điểm xem xét (xem công thức PL6-8):

$$L_{50} = 69 + 2 + 2 - 1 = 72 \text{ dB(A)}$$

3.6. So sánh L_{50} với giá trị tới hạn do CSTB đề nghị (xem mục 2.6 của bài toán này): $72 \text{ dB(A)} > 58 \text{ dB(A)}$. Vì vậy việc xây dựng nhà ở tại khu vực xem xét là không thể được ngay cả khi ngôi nhà này vuông góc với tuyến đường.

BÀI TOÁN 2b

1. Bài toán

Giống như bài toán 2a, chỉ có điều khác là trong khoảng đất trống rộng 50 m, giữa mép đường và điểm xem xét có một dải cây xanh rộng 25 m, cây trồng kiểu ô cờ thành 2 dãy cách nhau 3 m, dọc theo hai bên dải có hàng rào bằng cây xanh.

2. Những tư liệu cần thiết

Ngoài những tư liệu đã nêu trong bài toán 2a cần phải biết thêm độ suy giảm mức âm vật lý do cây xanh gây ra, $\Delta L_4 \text{ dB(A)}$. Giá trị của ΔL_4 được cho trong bảng PL6.8.

Bảng PL6.8

Chiều rộng dải cây, m	Cách trồng cây	Độ suy giảm của mức âm vật lý, $\Delta L_4 \text{ dB(A)}$
10 ÷ 14	Trồng thành 1 dải, kiểu ô cờ, dọc theo hai bên dải có hàng rào bằng cây xanh	4 ÷ 5
15 ÷ 20	- nt-	5 ÷ 8
21 ÷ 25	Trồng thành 2 dải cách nhau 3 ÷ 5 m, cách trồng như trên	8 ÷ 10
26 ÷ 30	Trồng thành 2 hoặc 3 dải cách nhau 3 m, cách trồng như trên	10 ÷ 12

3. Giải bài toán

3.1. Theo bảng PL6-8, xác định được $\Delta L_4 = 10 \text{ dB(A)}$.

3.2. Mức âm vật lý cuối cùng ở điểm xem xét (xem mục 3.5 của bài toán 2a và mục 3.1 của bài toán 2b):

$$L_{50} = 72 - 10 = 62 \text{ dB(A)} \quad (72 \text{ dB là đáp số của bài toán 2a})$$

3.3. So sánh L_{50} tính được trên đây với giá trị tới hạn do CSTB đề nghị (xem mục 3.6 của bài toán 2a): $62 > 58$. Vì vậy, dù có dải cây xanh như đề cập trên đây thì việc xây dựng nhà ở trong khu vực này cũng không thể được, ngay cả khi mặt nhà vuông góc với tuyến đường.

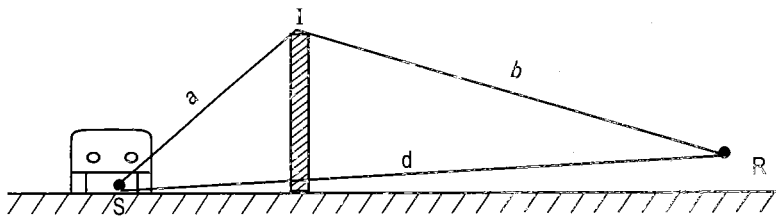
BÀI TOÁN 2c

1. Bài toán

Giống như bài toán 2 a, chỉ có điều khác là: ở mép đường người ta đặt một tấm chắn dài vô tận, cao 4 m (đường nguồn âm cách tấm chắn 8 m).

2. Những tư liệu cần thiết

Ngoài những tư liệu nêu trong bài toán 2a cần phải biết thêm hiệu chỉnh ΔL_5 do tấm chắn gây ra. ΔL_5 được xác định như sau (xem hình PL6.2).



Hình PL6.2

2.1. Xác định số N:

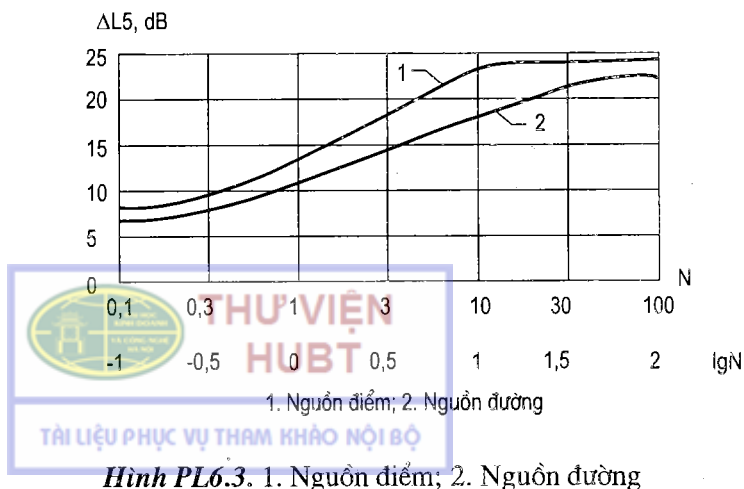
$$\delta = a + b - d$$

$$N = \frac{2\delta}{\lambda}; \lambda - \text{bước sóng, thường lấy } \frac{343}{500} = 0,68 \text{ m}$$

Do đó:

$$N = \frac{2\delta}{0,68} = \frac{\delta}{0,34}$$

2.2. Xác định ΔL_5 bằng đồ thị trên hình PL6-3.



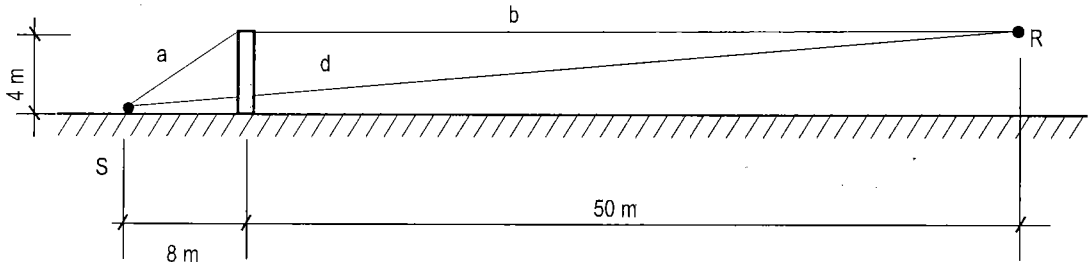
Hình PL6.3. 1. Nguồn điểm; 2. Nguồn đường

2.3. Xác định L_r :

$$L_r = L + \Delta L_1 + \Delta L_2 + \Delta L_3 + \Delta L_5$$

3. Giải bài toán

Lấy trường hợp điểm xem xét cách mép đường 50 m và cao hơn mặt đất 4 m (tương đương với tầng 2 của ngôi nhà (xem hình PL6.4).



Hình PL6.4

3.1. Xác định số N:

$$a = \sqrt{8^2 + 4^2} = 8,94 \text{ m}$$

$$b = 50 \text{ m.}$$

$$d = \sqrt{58^2 + 4^2} = 58,14 \text{ m}$$

$$\delta = a + b - d = 8,94 + 50 - 58,14 = 0,80 \text{ m}$$

$$N = \frac{\delta}{0,34} = \frac{0,80}{0,34} = 2,35$$

3.2. Xác định ΔL_5 (xem hình PL6.3):

Với $N = 2,35$, trên đường cong 2 (cho nguồn đường), tra được: $\Delta L_5 = 14 \text{ dB(A)}$ ($\lg 2,35 = 0,371$)

3.3. Xác định L_{50} :

$$L_{50} = 72 - 14 = 58 \text{ dB(A)} \text{ (72 dB là đáp số của bài toán 2a).}$$

3.4. So sánh L_{50} với giá trị tới hạn do CSTB đề nghị:

$$58 \text{ dB(A)} = 58 \text{ dB(A)}$$

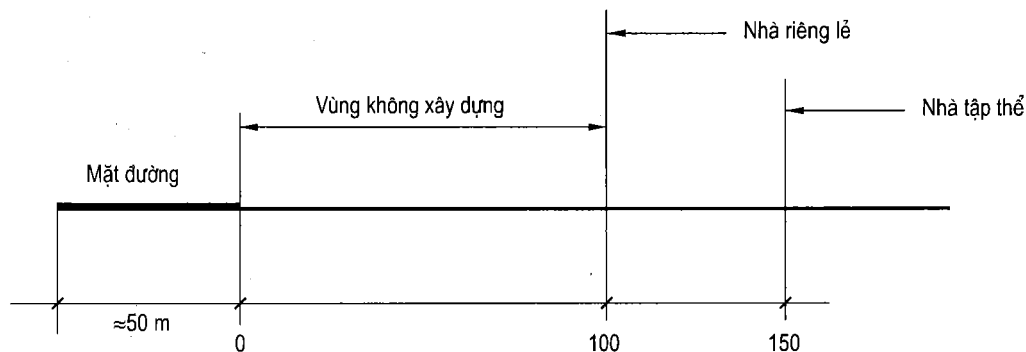
Do đó, việc xây dựng ngôi nhà ở 2 tầng với mặt nhà vuông góc với tuyến đường là có thể, còn nếu mặt nhà song song với tuyến đường là không thể ($58 \text{ dB(A)} > 55 \text{ dB(A)}$).

MỘT SỐ TÀI LIỆU ĐỂ THAM KHẢO

Dưới đây giới thiệu 3 sơ đồ về nguyên tắc sử dụng đất đai gần đường cao tốc trích từ tài liệu tham khảo 20.

Nguyên tắc 1

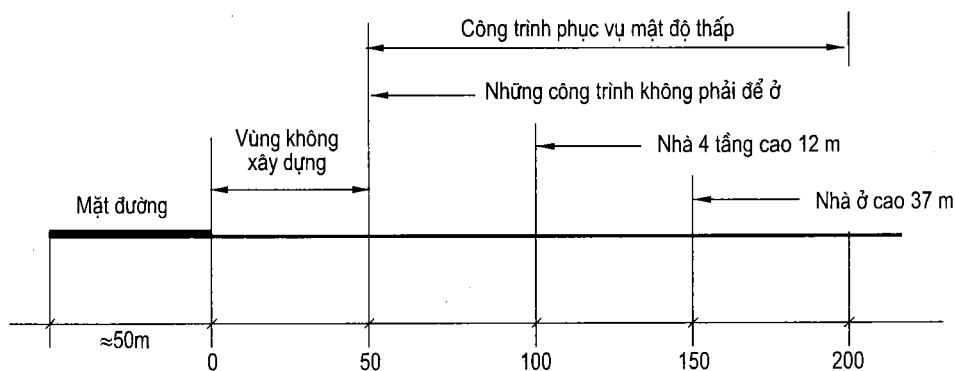
Dùng cho đường cao tốc chạy bên ngoài những cụm dân cư hoặc bên rìa những vùng mới xây dựng (hình PL6.5).



Hình PL6.5

Nguyên tắc 2

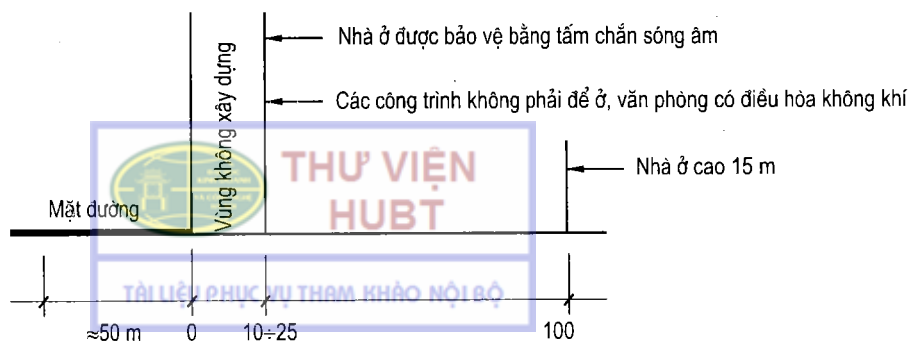
Dùng cho đường cao tốc chạy qua cụm dân cư nhưng không qua trung tâm (hình PL6.6)



Hình PL6.6

Nguyên tắc 3

Dùng cho đường chạy thẳng vào hoặc chạy vòng theo chu vi của trung tâm đô thị (hình PL6.7)



Hình PL6.7

BÀI TOÁN 2d (cho đường giao thông trong nội bộ thành phố)

1. Bài toán

Hãy tính "chỉ số khó chịu" cho mặt nhà của những ngôi nhà cao tầng nằm liên tục ở hai bên của một đường ô tô rộng 16 m, lưu lượng xe là 1.500 xe/h. Tỷ lệ các phòng nhìn ra đường phố > 1/2.

Hãy kiểm tra xem, liệu trong trường hợp này có thể không dùng những biện pháp đặc biệt để bảo vệ những ngôi nhà này khỏi tiếng ồn bên ngoài hay không?

2. Những tư liệu cần thiết

2.1. Mức âm vật lý trung bình L_{50} tại mặt nhà:

- Trong trường hợp tỷ lệ các phòng nhìn ra đường phố $\leq 1/2$:

$$L_{50} = 15,5 \lg Q - 10 \lg l + 36 \text{ dB(A)} \quad (\text{PL6-9})$$

Trong đó:

Q - lưu lượng xe, xe/h;

l - chiều rộng của đường, m.

- Trong những trường hợp tỷ lệ các phòng nhìn ra đường > 1/2:

$$L_{50} = 15,5 \lg Q - 10 \lg l + 41 \text{ dB(A)} \quad (\text{PL6-10})$$

2.2. Sự biến thiên của L_{50} theo chiều cao của mặt nhà có thể bỏ qua.

2.3. Chỉ số khó chịu:

$$I = 0,13 L_{50} - 4,36 \quad (\text{PL6-11})$$

2.4. Theo kết quả điều tra của CSTB/39/ cần phải có $I \leq 1$.

3. Giải bài toán

3.1. Mức âm vật lý trung bình L_{50} tại mặt nhà (xem công thức PL6-10).

$$L_{50} = 15,5 \lg 1500 - 10 \lg 16 + 41 = 78,2 \text{ dB}$$

3.2. Chỉ số khó chịu (xem công thức PL6-11).

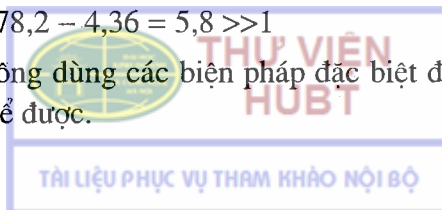
$$I = 0,13 \times 78,2 - 4,36 = 5,8 \gg 1$$

Do đó trong trường hợp này, việc không dùng các biện pháp đặc biệt để bảo vệ ngôi nhà khỏi tiếng ồn đường phố là không thể được.

BÀI TOÁN 3

1. Bài toán

Một đường sắt bằng ray truyền thống có số lượng tàu chạy qua trong một ngày như trong bảng PL6.9:



Bảng PL6.9

	Chiều dài của tàu, m	Vận tốc tàu, km/h	Lưu lượng tàu, tàu/ngày
Tàu khách	200	100	4
Tàu ô tô ray ngoại ô	67	110	4
Tàu ô tô ray ngoại ô	200	110	4
Tàu hàng	600	70	2

Hãy kiểm tra xem, liệu có thể xây dựng nhà ở tại khu đất cách đường sắt này 50 m mà không phải dùng các biện pháp đặc biệt để bảo vệ ngôi nhà khỏi những tiếng ồn do các đoàn tàu gây ra không? (khoảng đất giữa đường tàu và khu xây dựng là đất trống).

2. Những tư liệu cần thiết

2.1. Đặc trưng của các đoàn tàu (một vài kết quả đo đạc của CSTB năm 1970 trong khi chờ đợi những số liệu chính xác hơn của ISO) cho trong bảng PL6.10.

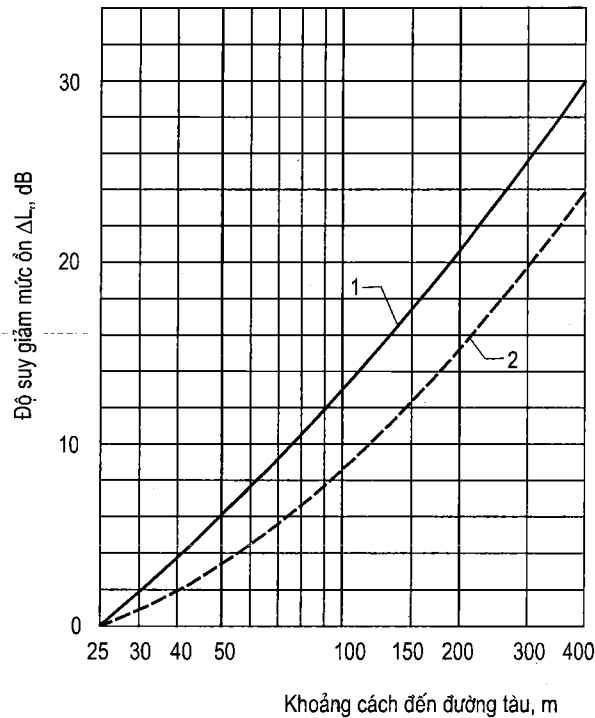
Bảng PL6.10

Loại tàu	Chiều dài tàu, m	Tốc độ tàu, km/h	Kiểu ray	L_{25}^* , dB(A)	Thời gian kéo dài của tiếng ồn, s
Tàu khách	200	90 ÷ 110	Truyền thống	90	6,5 ÷ 8
Tàu khách	300 ÷ 500	120 ÷ 150	Nối kiểu zic-zắc	92	7,2 ÷ 15
Tàu khách	200 ÷ 400	120 ÷ 140	Nối hàn	87	5,1 ÷ 10,3
Tàu khách 200	200	150	Nối hàn	81	4,8
Tàu ô tô ray (ngoại ô)	67	110 ÷ 120	Truyền thống	91	2,0 ÷ 2,2
Tàu ô tô ray (ngoại ô)	67	110 ÷ 120	Nối hàn	87	2,0 ÷ 2,2
Tàu ô tô ray (ngoại ô)	200	110	Truyền thống	91	6,6
Tàu ô tô ray (ngoại ô)	200	120	Nối kiểu zic-zắc	92	6,0
Tàu ô tô ray (ngoại ô)	200	110	Nối hàn	91	6,6
Tàu hàng	500 ÷ 700	60 ÷ 75	Truyền thống	85	24 ÷ 42
Tàu hàng	500 ÷ 700	60 ÷ 75	Nối zic-zắc	86	24 ÷ 42
Tàu hàng	500 ÷ 700	70 ÷ 90	Nối hàn	83	20 ÷ 36

Chú thích: L_{25}^* - mức âm vật lý của tiếng ồn gây ra bởi đoàn tàu tại điểm cách đường tàu 25 m và cao 5 m so với mặt phẳng đường tàu.

2.2. Độ suy giảm mức ồn do các đoàn tàu gây ra phụ thuộc vào khoảng cách từ điểm xem xét đến đường tàu (những đường cong trên hình PL6.8 dưới đây do CSTB đề xuất

trên cơ sở xử lý những kết quả đo đạc của chính mình, trong khi chờ đợi những khuyến nghị chính xác hơn của ISO).



Hình PL6.8. 1. Trường hợp khoảng đất có cây xanh; 2. Trường hợp khoảng đất trống.

2.3. Mức âm vật lý của tiếng ồn gây ra bởi mỗi đoàn tàu tại điểm xem xét (cách đường tàu một khoảng r):

$$L_r = L_{25} - \Delta L_r \text{ dB(A)} \quad (\text{PL6-12})$$

L_{25} - lấy từ bảng PL6-10.

ΔL_r - lấy từ đồ thị trên hình PL6.8.

2.4. Mức âm vật lý tương đương L_{td} của tiếng ồn do tất cả các đoàn tàu trong ngày gây ra:

$$L_{td} = 10 \lg \left(\frac{1}{24.3600} \sum_{i=1}^n 10^{0,1L_{ri}} \cdot t_i \right) \text{ dB(A)} \quad (\text{PL6-13})$$

2.5. CSTB đề nghị: Mức ồn đập vào mặt nhà không được vượt quá 55 dB(A) khi mặt nhà song song với đường tàu và không được quá 58 dB(A) khi mặt nhà vuông góc với đường tàu (trong khi chờ đợi những cuộc điều tra chính thức).

3. Giải bài toán

3.1. Mức âm vật lý của tiếng ồn tại điểm xem xét (xem các mục 2.1, 2.2 và 2.3): thể hiện trong bảng PL6.11.

Bảng PL6.11

Loại tàu	Chiều dài, m	Tốc độ, km/h	L_{25} dB(A)	ΔL_r dB(A)	L_r dB(A)	T, s	N
Tàu khách	200	100	90	4,0	86	7,2	4
Tàu ô tô ray (ngoại ô)	67	110	91	4,0	87	2,2	4
Tàu ô tô ray (ngoại ô)	200	110	91	4,0	87	7,2	4
Tàu hàng	600	70	85	4,0	81	31	2

Chú thích: L_{25} : xem bảng PL6.10; ΔL_r : xem hình PL6.8; L_r : xem công thức (PL6-12); t: thời gian kéo dài của tiếng ồn, xem bảng PL6-10; N: Số lượng các đoàn tàu chạy qua trong ngày, xem đầu đề.

3.2. Mức âm vật lý tương đương của tiếng ồn tại điểm xem xét, công thức (PL6-13):

$$L_{td} = 10 \lg \left[\frac{1}{24.3600} (4 \times 10^{8,6} \times 7,2 + 4 \times 10^{8,7} \times 2,2 + 4 \times 10^{8,7} \times 7,2 + 2 \times 10^{8,1} \times 31) \right]$$

$$L_{td} = 49,6 \text{ dB(A)}$$

3.3. So sánh L_{td} với những giá trị tới hạn do CSTB đề nghị (xem 2.5 của bài toán này).

$$49,6 < 58 \text{ dB(A)}$$

Do đó, tại khu đất xem xét có thể xây dựng nhà ở có mặt nhà song song với tuyến đường mà không cần những giải pháp đặc biệt để chống ồn từ bên ngoài.



TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Ingerslöv Fritz - *Acoustics in modern building practice* - London - The Architectural Press 1952.
2. L.Conturie - *L'acoustique dans les bâtiments - Théorie et applications* - Paris - Eyrolles 1955.
3. W. Furrer. *Raum and bauakustik fur architekten* - Birhäuser Verlag - Bâle 1956.
4. Knudsen V.O, Harris C. *Le projet acoustique en architecture* - traduit et adapté par R.Cardiergues A.Morus - Paris - Dunod 1957.
5. Olson Harry F. *Acoustical engineering* - N.Y. Van Nostrand 1957.
6. V.N. Nicolskii (rédacteur) - *Problèmes d'isolation acoustique et d'acoustique architecturale (en russe)* Moscou - Gostroiizdat 1959.
7. V.V. Fourdouev (rédacteur) - *Acoustique architecturale (en russe)* - Moscou Gostroiizdat 1961.
8. Moore J.E - *Design for good acoustics* - London Architectural Press 1961.
9. Louis Villard - *Traité pratique de l'acoustique appliquée à la construction des bâtiments* - Lausanne - Science et Technique 1962.
10. Beranek Leo L - *Music, acoustics and architecture* - New York - London - John Wiley and sons 1962.
11. Hanus Karl - *Acoustique architecturale - Projection acoustique des salles de théâtre et de concert (en russe), traduction de l'allemand de V.I.Boutescoul.* Moscou - Gostroiizdat 1963.
12. A.C. Raes - *Isolation sonore et acoustique architecturale* - Paris - Chiron 1964.
13. V.I. Zaborov - *Lutte contre le bruit par isolation acoustique (en russe)* Moscou - Gostroiizdat 1964.
14. Purkis H.J - *Building Physics: Acoustics* - Oxford -Pergamon Press 1966.
15. R. Védéilhé - *L'acoustique élémentaire dans le bâtiment* - Paris - Dunod 1967.
16. Manginte Gérard - *Application du principe de Huygens en acoustique unidimensionnelle: réalisation d'un anti-bruit* - Marseille - Centre de recherches physiques - 1968.
17. Catcherovitch, Aron Naoumovitch - *Acoustique des salles de spectateurs (en russe)* - Moscou - Iscoustvo - 1968.

18. Bernard (J.P) *DEA en acoustique* - Marseille - Centre de recherches physiques 1969.
19. Jessel (M) - *Théorie générale de la propagation des ondes acoustiques dans les fluides* - Ecole pratique des hautes études 1969.
20. Jean Pujolle - *Lexique - Guide d' Acoustique architecturale* - Paris - Eyrolles 1971.
21. Egan M.David - *Concepts in architectural acoustics* - New York - Mc Graw Hill Bk 20,1972.
22. Robert Josse - *Notions d'acoustique à l'usage des architectes, ingénieurs, urbanistes* - Paris - Eyrolles 1973.
23. Tatuses Co Dan, Duprey Bernard, *Protection acoustique des logements* -Paris - Eyrolles 1974.
24. Duprey Bernard - *Prévention du bruit dans les installations sanitaires* - Paris - Eyrolles 1974.
25. R. Lamoral - *Acoustique et Architecture* - Paris - Masson 1975.
26. Rougeron Claude - *L'isolation acoustique et thermique dans le bâtiment* - Paris - Eyrolles 1975.
27. Duprey Bernard - *Introduction à l'acoustique des bâtiments d'habitation* - Paris - Eyrolles 1976.
28. Urick Robert J. *Principles of underwave sound* - New York - St Louis - San Francisco - Mc Graw - Hill Book company - 1977.
29. Robert Josse - *Notion d'acoustique à l'usage des architectes; ingénieurs et urbanistes* - Paris - Eyrolles 1977.
30. Jean Pujolle - *La pratique de l'isolation acoustique des bâtiments* - Paris - Moniteur 1978.
31. Collège international des Sciences de la construction. *Acoustique et vibrations mécaniques dans le bâtiment et les travaux publics* - Paris - Eyrolles 1978.
32. Ginn K.B - *Architectural Acoustics* - Naerum Denmark - Brüel - Kjaer 1978.
33. Meisser (Mathias) - *La pratique de l'acoustique dans le bâtiment* - Paris - Eyrolles 1978.
34. Alexandru Darabont - *La lutte contre le bruit* - Traduit du roumain par Irina Nicolau - Paris - Eyrolles 1979.
35. CATED. *L'isolation acoustique* - Paris - Moniteur - 1980
35. Mignerou (Jean Gabriel) - *Acoustique urbaine* - Paris Masson - New York - Barcelone - Milan - Les Presses de l'Université Laval Québec 1980.

37. W.M. Schuller, V.M.A Peutz, E.P.J De Ruiter, *Contrôle du bruit en milieu industriel* - Paris Eyrolles 1981.
38. Chambon Nicolas. *Construction I: L'isolation acoustique et thermique, la protection contre les incendies*. Oran USTO 1981.
39. Centre des Sciences et Techniques du bâtiment - *Acoustique* - Paris 1982.
40. Direk J Croome. *Noise and the design of buildings and services*. Construction Press. London and New York 1982.
41. Loïc Hamayon et Claude Michel. *Guide d'acoustique pour la conception des bâtiments d'habitation* - Paris. Moniteur - 1982.
42. Pierre Liénard, Paul François. *Acoustique industrielle et environnement* - Paris - Eyrolles 1983.
43. Dracoulis (Georges) - *Acoustique architecturale et industrielle* - Paris - P.Y.C 1985.
44. I.I. Bô - gô - lê - pốp. *Cách âm công nghiệp*. Lêningơrat - NXB "Đóng tàu" 1986 (tiếng Nga).
45. Rossi (M) - *Electro - acoustique* - Dunod - Paris 1986.
46. Templeton Ducan - *Acoustic design* - London - The Architectural Press 1987.
47. W.Fasold, E. Sonntag, H. Winkler. *Bauphysikalische Entwurfslehre. Bau-und Raumakustik. Verlag für Bauwesen* - Berlin 1987.
48. Heinrich Kuttruff. *Room acoustics 3^e* - edition 1991
49. Bui Van tran. *Acoustique architecturale*. Office des Publications universitaires. 1 Place Centrale de Ben Aknoun Alger. 1996



MỤC LỤC

Trang

Lời nói đầu

Chương 1. Âm thanh và tiếng ồn

§1. Bản chất của âm thanh và tiếng ồn, những đặc trưng vật lý của chúng	5
1.1. Sóng cơ học	5
1.2. Sóng âm thanh	9
1.3. Những dạng khác nhau của âm thanh và tiếng ồn	15
1.4. Cộng và trừ mức âm vật lý từ nhiều nguồn ồn khác nhau	18
1.5. Mức âm vật lý tổng hợp của một âm phức hợp	19
§2. Nguồn âm. Lan truyền sóng âm trong không khí. Truyền sóng âm qua kết cấu ngăn cách. Phản xạ và hấp thụ sóng âm	20
2.1. Nguồn âm	20
2.2. Lan truyền sóng âm trong không khí	21
2.3. Xuyên qua, phản xạ và hấp thụ sóng âm bởi kết cấu ngăn cách	24
2.4. Vật liệu và cấu kiện hút âm	25
2.5. Hấp thụ sóng âm bởi các yếu tố khác	30
§3. Đặc trưng sinh lý của âm thanh	32
3.1. Mức âm sinh lý	32
3.2. Độ cao của âm thanh	36
3.3. Âm sắc	36
3.4. Ốc -ta	36
3.5. Hiệu ứng che lấp của âm thanh	37

Chương 2. Thiết kế âm thanh cho các loại phòng

§1. Tiêu chí để đánh giá chất lượng của phòng về mặt âm thanh	38
1.1. Phân bố năng lượng âm trong phòng	38
1.2. Tiếng vọng	45
1.3. Tiếng vọng lặp	48
1.4. Vùng hội tụ âm - Vệt cầm	48
1.5. Thời gian âm vang	49
1.6. Cấu trúc của những âm phản xạ đầu tiên	54
1.7. Độ rõ của âm thanh	56

§2. Thiết kế âm thanh cho phòng	59
2.1. Xác định thể tích ban đầu của phòng	59
2.2. Xác định hình dạng và kích thước ban đầu của phòng	60
2.3. Xác định thể tích thực tế của phòng	63
2.4. Xác định số ghế thực tế của phòng	63
2.5. Kiểm tra sơ bộ	63
2.6. Xác định thời gian âm vang tối ưu	63
2.7. Xác định sơ bộ lượng hút âm tổng cộng yêu cầu	64
2.8. Xác định lượng hút âm thay đổi	64
2.9. Xác định sơ bộ lượng hút âm cố định yêu cầu	65
2.10. Bố trí sơ bộ vật liệu và cấu kiện hút âm trên các bề mặt trong phòng	65
2.11. Tiến hành tính toán để xác định thời gian âm vang thiết kế của phòng	66
2.12. Kiểm tra T_{ik}	66
2.13. Tính toán cấu trúc của những âm phản xạ đầu tiên	67
2.14. Kiểm tra năng lượng âm	68
2.15. Kiểm tra độ rõ của âm thanh	69
2.16. Bố trí những cấu kiện khuếch tán âm	69
2.17. Thử nghiệm trên mô hình	71
2.18. Thử nghiệm trên thực tế sau khi phòng đã xây dựng xong	71

Chương 3. Chống ồn cho công trình kiến trúc

§1. Tổng quan về tiếng ồn	72
1.1. Khái niệm	72
1.2. Phân loại tiếng ồn	
§2. Chống ồn không khí từ bên trong nhà	73
2.1. Sự lan truyền tiếng ồn không khí từ phòng này sang phòng khác	73
2.2. Tính toán và thiết kế cách âm cho kết cấu ngăn cách để chống tiếng ồn không khí	74
§3. Chống ồn va chạm	98
3.1. Khái niệm	98
3.2. Sự gây ra tiếng ồn tiêu chuẩn	98
3.3. Khả năng cách âm thô của sàn	99
3.4. Khả năng cách âm tiêu chuẩn	99
3.5. Tấm phủ sàn bằng vật liệu đàn hồi	101



§4. Chống rung trong vật liệu	102
Phụ lục 1. Hệ số hút âm của một số vật liệu và cấu kiện	104
Phụ lục 2. Khả năng cách âm của một số kết cấu thường dùng	107
Phụ lục 3. Mức âm vật lý (tương đương) của một số nguồn ồn công nghiệp	109
Phụ lục 4. Giá trị tính toán của mức âm vật lý của nguồn ồn dùng trong tính toán cách âm cho phòng.	110
Phụ lục 5. Thí dụ: Thiết kế âm thanh cho một phòng biểu diễn nhạc giao hưởng có 650 ÷ 700 chỗ ngồi	111
Phụ lục 6. Một số bài toán mẫu về chống ồn trong quy hoạch đô thị	126
Tài liệu tham khảo	142



MÔI TRƯỜNG ÂM THANH TRONG CÔNG TRÌNH KIẾN TRÚC

(Tái bản)

Chịu trách nhiệm xuất bản :

BÙI HỮU HẠNH

Biên tập : LƯƠNG CAO PHI
Chế bản : ĐINH THỊ PHƯƠNG
Sửa bản in : LƯƠNG CAO PHI
Bìa : VŨ BÌNH MINH



In 300 cuốn khổ 19 x 27cm tại Xưởng in Nhà xuất bản Xây dựng. Giấy chấp nhận đăng ký kế hoạch xuất bản số 50-2009/CXB/213-92/XD ngày 13- 1- 2009. Quyết định xuất bản số 290/QĐ-XBXD ngày 16/10/2009. In xong nộp lưu chiểu tháng 10-2009.