

РЕВЕРБЕРАЦИЯ* В ПРОСТОРНИ ПОМЕЩЕНИЯ

Николай Николов

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски"
София 1700, България
E-mail: ustra@abv.bg

РЕЗЮМЕ

Едно от основните физически явления на разпространение на звука в затворени помещения, включително и промишлени, е реверберацията. На основата на теоретичен модел се установява зависимостта на броя на звуковите отражения (N) от формата, пропорциите и размерите на производствените помещения и от там на реверберацията.

Реверберацията представлява наличието на постепенно затихващ звук в затворено помещение след спирането на звука от основния източник. Това явление се наблюдава особено често в просторни затворени помещения, включително обогатителни фабрики, халета за ремонт на тежка механизация и т.н. Практически е установено, че в такива случаи времето на реверберация зависи от редица фактори, на първо място – размерите и формата на помещението.

Времето на реверберация се изчислява по формулата на Ейринг –

$$T = - \frac{13.81}{N \ln(1 - \alpha)}, s, \quad (1)$$

където N е средният брой на отраженията за 1^{ва} време;
 α - средният коефициент на звукопоглъщане;

Приема се, че при дифузно звуково поле, средният брой на отраженията за 1s е:

$$N = \frac{cS}{4V}, \quad (2)$$

където c е скоростта на звука, m/s;

s – общата повърхнина на вътрешните страни на помещението, m²;

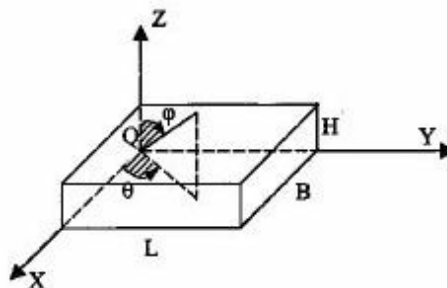
V – обемът на помещението, m³.

Ще разгледаме проблема при точков източник, който модел е достатъчно близък до реалните условия.

* От лат. reverberare - отражавам

Помещенията в промишлените сгради най-често имат формата на правоъгълен паралелепипед; вътрешните им стени са практически плоски и звукоотразяващи.

Товага (фиг.1)



Фигура 1.

$$V = B.L.H, m^3, \\ S = 2(L.H + B.H + B.L), m^2,$$

където L, B и H са дължината, ширината и височината на помещението, m.

Ако в т. Q се постави ненасочен звуков източник, снопът звукови лъчи излизащ от тази точка със скорост c, има следните проекции на вектора на скоростта по трите оси (X, Y и Z на фиг.1): $c \cdot \sin\phi \cdot \cos\theta$, $c \cdot \sin\phi \cdot \sin\theta$ и $c \cdot \cos\phi$. Ъглите θ и ϕ можем да означим като азимут и позиционен вертикален ъгъл в общоприетата терминология.

Броят на отраженията на снопа лъчи за 1s е:

$$N = \frac{c}{B} \sin\varphi \cdot \cos\theta + \frac{c}{L} \sin\varphi \sin\theta + \frac{c}{H} \sin\varphi \quad (3)$$

Общият брой на отраженията (от множество снопове) се получава с интегриране на (3) –

$$N_1 = \int_0^{\pi/2} \int_0^{\pi/2} \left(\frac{c}{B} \sin\varphi \cdot \cos\theta + \frac{c}{L} \sin\varphi \cdot \cos\theta + \frac{c}{H} \sin\varphi \right) \sin\varphi \cdot d\varphi \cdot d\theta =$$

$$= \frac{\pi c}{4} \cdot \frac{(L.H + B.H + B.L)}{B.L.H} = \frac{\pi c}{8} \frac{S}{V} \quad (4)$$

От формула (4), следва, че при еднакви други условия (скорост на звука и коефициент на звукопоглъщане), броят на отраженията се определя от формата, пропорциите и размерите на помещението.

Например, за производствено хале с размери 100x50x15m ($V=75\,000\text{ m}^3$)

$$N_1 = \frac{\pi c}{8} \frac{S}{V} = \frac{\pi c}{8} \frac{14500}{75000} \approx 26 \text{ бр./с.} \quad (5)$$

Ако се изменят пропорциите при същия обем – например $L=200$, $B=37.5$, $H=10$, броят на отраженията ще бъде:

$$N_1 = \frac{\pi c}{8} \frac{19750}{75000} \approx 35 \text{ бр./с.} \quad (6)$$

При значително увеличаване на единия размер (L) и други два близки размери ($B \approx H$) – тунелобразно помещение ще имаме:

$$N_1 = \frac{\pi c}{8} \frac{2L.B + B^2}{L.B^2} \approx \frac{\pi c}{4\sqrt{P}}, \quad \text{бр./с.} \quad (7)$$

където P е напречното сечение, m^2 .

Когато технологичният процес налага, производствените помещения имат наклонен под (фиг. 2).

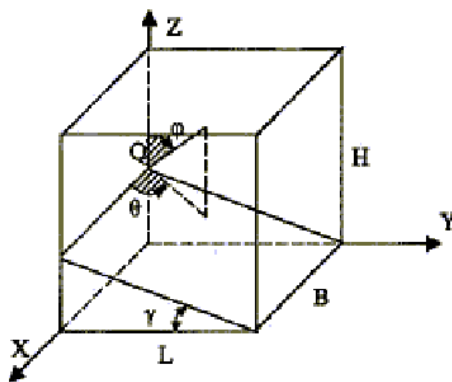
Тогава се сменят границите в интеграла (4) –

Препоръчана за публикуване от катедра " ", МЕМФ

$$N_1 = \int_0^{(n/2 + \gamma)} \int_0^{n/2} \left(\frac{c}{B} \sin\varphi \cdot \cos\theta + \frac{c}{L} \sin\varphi \cdot \cos\theta + \frac{c}{H} \sin\varphi \right) \sin\varphi \cdot d\varphi \cdot d\theta \quad (8)$$

Ако ъгълът на наклона е 15° ($1/12\pi$), то

$$N_1 \approx \frac{\pi c}{6} \frac{L.H + B.H + B.L}{L.B.H} = \frac{\pi c}{6} \frac{S}{V}, \text{ бр./с.}$$



Фигура 2.

Въпреки неизбежната идеализация на приетия модел, изследванията доказват значението на формата (пропорциите) на помещенията върху броя на отраженията на звука и от там – на реверберацията.

ЛИТЕРАТУРА

- Контюри, Л. 1960. Акустика в строителстве (перевод с французского), Москва, Госстройиздат.
Макриненко, Л., Николов, Н. 1984. За влиянието на формата на помещението върху времето на реверберация – сп. Строителство, 1984/5.

REVERBERATIONS* IN LARGE AREAS

Nikolay Nikolov

University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski"

Sofia 1700, Bulgaria

E-mail: ustra@abv.bg

ABSTRACT

Reverberation is one of the most important physical phenomena related to distribution of sound in closed halls. The dependence between number of sound reflections (N) of the form, proportions and dimensions of industrial halls is determined on the basis of a theoretical model, and therefore the reverberation.

Reverberation is the presence of a gradually damping sound in an in-door hall after the cease of sound from the principal source. That phenomenon is observed in last closed areas, including processing plants, premises for repair of heavy-duty mechanization etc. Practically, it is established that in all the cases time for reverberation depends on a number of factors, primarily the size and shape of premise.

The time of reverberation is calculated by the formula of Airing–

$$T = - \frac{13.81}{N \ln(1 - \alpha)}, s, \quad (1)$$

where N is the number of reverberations for unit time;
 α - average coefficient of sound adsorption;

It is accepted that in the case of diffuse sound field, the average number of reflections 1s is:

$$N = \frac{cS}{4V}, \quad (2)$$

where c is the speed of sound, m/s;
 s – total area of inner walls of the premise, m²;
 V – volume of the premise, m³.

We will consider the case of a point source, the model of which is similar enough to real conditions.

Premises in industrial buildings most often are of the shape of a rectangular parallelepiped, their inner walls are practically plain and sound reflecting.

Then (fig.1)

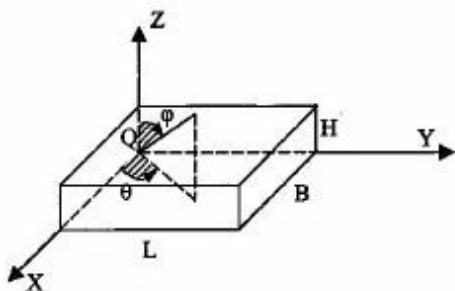


Figure 1.

$$V = B.L.H, m^3,$$

$$S = 2(L.H + B.H + B.L), m^2,$$

where L, B and H are the lengths, width and height of the premise, m.

If in the point Q there is a non-directed sound source, the sound rays going out from that point with the speed c have the following projections of the vector of speed on the three axes (X, Y and Z in fig.1): $c \cdot \sin\phi \cdot \cos\theta$, $c \cdot \sin\phi \cdot \sin\theta$ and $c \cdot \cos\phi$. The angles θ and ϕ may be denoted as azimuth and positioned vertical angle in the generally accepted terminology..

Number of reverberations of the bundle of rays for 1s is:

$$N = \frac{c}{B} \sin\phi \cdot \cos\theta + \frac{c}{L} \sin\phi \sin\theta + \frac{c}{H} \sin\phi \quad (3)$$

The total number of reverberations (from many bundles) is acquired by integration of (3) –

$$N_1 = \int_0^{\pi/2} \int_0^{\pi/2} \left(\frac{c}{B} \sin\phi \cdot \cos\theta + \frac{c}{L} \sin\phi \cdot \cos\theta + \frac{c}{H} \sin\phi \right) \sin\phi \cdot d\phi \cdot d\theta =$$

$$= \frac{\pi c}{4} \cdot \frac{(L.H + B.H + B.L)}{B.L.H} = \frac{\pi \cdot c}{8} \cdot \frac{S}{V}. \quad (4)$$

The formula (4), shows that in case the other conditions are equal (speed of sound and coefficient of sound adsorption), the number of reverberations is determined by the shape, proportions and sizes of the premise.

For example, for an industrial premise of dimensions 100x50x15m ($V=75\ 000\ m^3$)

$$N_1 = \frac{\pi c}{8} \cdot \frac{S}{V} = \frac{\pi c}{8} \cdot \frac{14500}{75000} \approx 26\ \text{6p/s}. \quad (5)$$

If the proportions are changed, however the volume is the same – for example $L=200$, $B=37.5$, $H=10$, number of reflections will be:

$$N_1 = \frac{\pi c}{8} \frac{19750}{75000} \approx 35 \quad \text{6p/s} \quad (6)$$

When one of the dimensions is significantly extended, for example (L) and the other two dimensions are approximately equal (B≈H) – a tunnel-like premise, the number of reverberations is as follows:

$$N_1 = \frac{\pi c}{8} \frac{2L.B + B^2}{L.B^2} \approx \frac{\pi c}{4\sqrt{P}}, \quad \text{reverb/s}, \quad (7)$$

where P is the cross section, m².

When the technological process involves industrial premises of inclined floor (fig. 2).

Then the boundaries within the integral (4) are changed (4)

$$N_1 = \int_0^{(n/2+\gamma)} \int_0^{n/2} \left(\frac{c}{B} \sin\varphi \cdot \cos\theta + \frac{c}{L} \sin\varphi \cdot \cos\theta + \frac{c}{H} \sin\alpha \right) \sin\varphi \cdot d\varphi \cdot d\theta \quad (8)$$

If the angle of slope is 15° ($1/12\pi$), then

$$N_1 \approx \frac{\pi \cdot c}{6} \frac{L.H + B.H + B.L}{L.B.H} = \frac{\pi \cdot c}{6} \frac{S}{V}, \text{ rev/s}$$

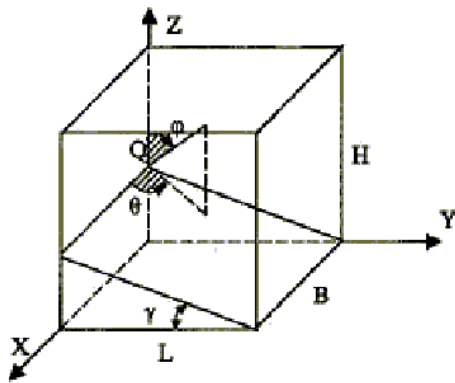


Figure 2.

In spite of the evident idealization of the accepted model, the investigations show that shape (proportions) of premises exert significant impact on the number of reflections of sound and therefore – reverberations.

REFERENCES

- Conturie, L. 1960. Acoustics in civil engineering (translation from French), Moscow, Gosstroyizdat.
 Makrinenko, L., Nikolov, N. 1984. On the effect of shape of premises on the time for reverberation. *Civil Engineering*, 1984/5.