

Однако соотношение (7) позволяет установить асимптотику функции распределения; при  $R_i \gg 2\sigma/P_0$  эта функция ведет себя как  $1/R_i^3$ , а при  $R_i \rightarrow 0$  число пузырьков стремится к бесконечности, как  $1/R_i^2$ . Из соотношения (7) следует также, что распределение пузырьков обладает максимумом при значении  $R_i$ , удовлетворяющем соотношению (8).

Постановка настоящей задачи была предложена покойным Л. Д. Розенбергом, который принял также участие в дискуссии.

## ЛИТЕРАТУРА

1. А. Зоммерфельд. Термодинамика и статистическая физика. М., ИЛ, 1955.

Акустический институт АН СССР  
Москва

Поступило в редакцию  
23 декабря 1968 г.

УДК 534.835.464

## О РАСЧЕТЕ ЗАТУХАНИЯ ШУМА В ГЛУШИТЕЛЯХ СЛОЖНОЙ КОНФИГУРАЦИИ

И. Ф. Егоров

Строгое решение задачи о затухании звука в глушителе активного типа может быть дано только на основании волновой теории [1, 2]. При этом звукопоглощающая облицовка глушителя должна характеризоваться ее нормальным импедансом. Однако в тех случаях, когда приходится иметь дело с глушителями сложной конфигурации, которые включают в себя элементы, способствующие образованию в глушителе нерегулярного звукового поля (повороты, сужения, расширения, выступы или экраны), расчет глушителей на основании волновой теории становится практически невозможным.

Глушители сложной конфигурации, применяющиеся в основном для снижения аэродинамического шума крупных промышленных установок, представляют собой конструкции, линейные размеры которых превышают длины звуковых волн почти во всем диапазоне частот, представляющих интерес. Это позволяет применить для разработки расчетного способа определения частотных характеристик таких глушителей статистические методы архитектурной акустики.

Пусть  $E_1$  и  $E_2$  представляют соответственно звуковые энергии на входе и выходе глушителя. Связь между ними может быть представлена соотношением  $E_2 = E_1(1 - \alpha)^n$ , где  $\alpha$  — коэффициент звукопоглощения облицовки глушителя,  $n$  — число отражений. Известно, что среднее число отражений в единицу времени  $n_1 = c_0 S / 4V$ , где  $c_0$  — скорость звука в воздухе.  $S$  и  $V$  представляют в данном случае соответственно площадь внутренних поверхностей глушителя, облицованных звукопоглотителем, и объем его проходного канала.

За время  $t$ , потребное для прохождения звуковых волн через глушитель, число отражений будет  $n = c_0 S t / 4V$ . Время  $t$  может быть представлено как  $t = l / c_0$ , где  $l$  — длина глушителя. Тогда  $E_2 = E_1(1 - \alpha) S l / 4V$ .

Затухание звука в глушителе  $\Delta$  может быть определено теперь следующим образом:

$$\Delta = 10 \lg \frac{E_2}{E_1} = -2,5 \frac{Sl}{V} \lg(1 - \alpha) \text{ дБ.} \quad (1)$$

Принятая выше модель затухания звука в глушителе сложной конфигурации аналогична той, которая использовалась Эйрингом при выводе формулы для времени реверберации звука в помещении. Заметим, что в глушителе сложной конфигурации не может быть осевых или касательных волн. В связи с этим процесс затухания в нем будет определяться однозначно, так как коэффициенты затухания косых волн приблизительно одинаковы. Это подтверждает возможность использования формулы (1) при расчетах глушителей сложной конфигурации.

Полагая, что статически неупорядоченный характер звукового поля сохраняется по всей длине глушителя, можно установить связь между зависимостью (1) и известной формулой Белова [3], характеризующей затухание шума в глушителях, имеющих простые геометрические формы:

$$\Delta = 1,09 \frac{\Pi l}{S_0} \alpha \text{ дБ,} \quad (2)$$

где  $\Pi$  и  $S_0$  — соответственно периметр и площадь проходного сечения глушителя,  $l$  — его длина,  $\alpha$  — коэффициент звукопоглощения облицовки глушителя. Для прямо-

линейных глушителей с неизменной площадью и формой проходного сечения  $V = S_0 l$  и  $S = \Pi l$ .

Подставляя эти величины в формулу (1) и переходя от десятичных логарифмов к натуральным, получаем

$$\Delta = -1,09 \frac{\Pi l}{S_0} \ln(1 - \alpha) \text{ дб.} \quad (3)$$

При малых значениях коэффициента звукопоглощения ( $\alpha < 0,2$ ) имеем  $H = \ln(1 - \alpha) \approx -\alpha$ . В этом случае формула (3) окончательно приобретает вид формулы А. И. Белова.

Звукопоглощающая облицовка глушителя сложной конфигурации работает в условиях, близких к тем, которые имеют место в диффузном звуковом поле, поэтому ее следует характеризовать диффузным коэффициентом звукопоглощения.

В качестве звукопоглощающих облицовок глушителей часто используются маты из волокнистых материалов. Для таких материалов в работе [4] предложен простой способ перехода от коэффициента звукопоглощения при нормальном падении  $\alpha_0$  к его диффузному значению  $\alpha_d$ : коэффициент  $\alpha_d$  для слоя толщиной  $d$  численно равен коэффициенту звукопоглощения  $\alpha_0$  слоя толщиной  $2d$ . В таблице сопоставлены коэффициенты звукопоглощения матов марки ВТ-4 из капронового волокна, полученные в интерферометре при нормальном падении и определенные по результатам испытаний (пересчет по формуле (1)) глушителя, сложной конфигурации, облицовка которого выполнена из этих матов толщиной 40 мм.

$f, \text{ гц}$	Коэффициенты звукопоглощения		
	слой толщиной 40 мм, нормальное падение	слой толщиной 80 мм, нормальное падение	слой толщиной 40 мм, диффузное падение, пересчет по формуле (1)
100	0,07	0,11	0,5
200	0,10	0,31	0,75
400	0,30	0,75	0,86
800	0,61	0,98	0,91
1600	0,83	0,85	0,84
3150	0,73	0,80	0,79
6300	0,69	0,74	0,73

Величины ослабления шума глушителем были определены как разности в уровнях звукового давления, измеренных около выходного отверстия канала сложной конфигурации до и после облицовки его внутренних поверхностей звукопоглощающими матами.

Значения коэффициентов звукопоглощения, полученные на основании результатов испытаний глушителя, и диффузные их значения, равные коэффициентам поглощения при нормальном падении на слой двойной толщины, хорошо согласуются между собой, начиная с частоты 400 гц. На низких частотах величина затухания шума в глушителе значительно выше, чем это следовало бы ожидать, исходя из значений коэффициента звукопоглощения.

На основании формулы (1) можно определять частотные характеристики глушителей сложной конфигурации со сравнительно большими площадями проходных сечений ( $1-3 \text{ м}^2$ ), длина которых не превышает 10-15 м (таких, например, как судовые шахтные глушители [5]). При расчетах частотных характеристик глушителей коэффициент диффузного поглощения звука в глушителе не следует принимать большим 0,9.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Н. Н. Андреев. О скольжении звука вдоль поглощающих границ. Изв. АН СССР, Отд. мат. и естеств. наук, 1936, 5, 625-632.
2. P. M. Morse. The transmission of sound inside pipes. J. Acoust. Soc. America, 1939, 11, 2, 205-210.
3. А. И. Белов. Затухание звука в трубах с поглощающими стенками. Ж. техн. физ., 1938, 8, 8, 752-755.
4. M. Koyasu. On the relation between the reverberant sound coefficient and normal incidence absorption coefficient of fibrous materials. J. Acoust. Soc. America, 1958, 30, 12, 1163-1164.
5. И. И. Ключкин. Борьба с шумом и звуковой вибрацией на судах. Л., Судпромгиз, 1961., Ленинград

Поступило в редакцию  
4 марта 1968 г.