

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

**ВСЕСОЮЗНЫЙ ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ
ПО РАСЧЕТУ НИЗКОЧАСТОТНЫХ
ГЛУШИТЕЛЕЙ ШУМА
ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ
СТРОЯЩИХСЯ ТОННЕЛЕЙ И МЕТРОПОЛИТЕНОВ**

Москва 1985

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

**ВСЕСОЮЗНЫЙ ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА**

УТВЕРЖДАЮ
Зам.директора института
Б.А.БОНДАРОВИЧ
"23" сентября 1985г.

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ
ПО РАСЧЕТУ НИЗКОЧАСТОТНЫХ
ГЛУШИТЕЛЕЙ ШУМА
ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ
СТРОЯЩИХСЯ ТОННЕЛЕЙ И МЕТРОПОЛИТЕНОВ**

Одобрены Главтоннельметростроем

Москва 1985

УДК 534.83



Всесоюзный ордена Октябрьской Революции
научно-исследовательский институт
транспортного строительства, 1985

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящие Методические рекомендации разработаны в развитие СНиП 11-12-77 "Защита от шума" и предназначены для проектных организаций отрасли.

В основу Методических рекомендаций положены результаты экспериментальных научно-исследовательских работ ЦНИИСа и теоретических исследований, выполненных в Акустическом институте им. Н.Н.Андреева АН СССР [1-4].

Эксперименты показали высокую акустическую эффективность глушителей в виде цепочек резонаторов оптимальной длины и глушителей с гофрированной стенкой, достигающую 40 дБ на длину волны в широком заданном интервале частот, что подтвердило результаты расчетов. Оптимизированные параметры этих глушителей выгодно отличают их от серийно выпускаемых глушителей шума вентиляторов с электрическим и пневматическим приводом.

В Методических рекомендациях приведены общие положения, алгоритмы и примеры расчета геометрических размеров, а также таблицы характерных параметров глушителей для типовых радиусов воздуховодов.

Методические рекомендации разработали канд.техн. наук И.Я.Дорман и инж. И.К.Исаев.

И.О.зав.отделением вычислительной
техники, методов исследований и
испытаний конструкций и материа-
лов

Е.Г.Игнатьев

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Настоящие Методические рекомендации следует использовать при расчете низкочастотных глушителей шума (интервал частот от 63 до 500 Гц) осевых вентиляторов систем вентиляции строящихся тоннелей и метрополитенов¹.

1.2. Необходимо устанавливать два глушителя на вентилятор: на всасывании и на нагнетании.

1.3. Рекомендуется использовать два типа глушителей: глушитель в виде цепочки резонаторов оптимальной длины и глушитель с гофрированной стенкой.

1.4. Глушитель в виде цепочки резонаторов оптимальной длины рекомендуется использовать в интервале частот, ограниченном снизу частотой 63 Гц, а сверху частотой F_i , Гц, которая вычисляется по формуле

$$F_i = 0,38 c/R, \quad (1)$$

где c - скорость звука в воздухе, $c = 333$ м/с;

R - радиус воздуховода, м.

1.5. Глушитель с гофрированной стенкой рекомендуется использовать в интервале частот, ограниченном снизу частотой $F_i \geq 400$ Гц, а сверху частотой F_j , Гц, которая вычисляется по формуле

$$F_j = n z, \quad (2)$$

где n - число оборотов рабочего колеса вентилятора, с;

z - число лопастей рабочего колеса.

Она является частотой первой гармоники в спектре шума вентилятора.

¹

В справочном приложении 1 даны таблицы значений пространственного коэффициента поглощения звука в воздухе в зависимости от температуры, относительной влажности и частоты. Этими таблицами можно пользоваться для ориентировочного расчета минимально возможного затухания шума в тоннеле.

1.8. Звукоизоляция стенок обоих типов глушителей должна быть не менее акустической эффективности глушителей.

1.9. Конструкции глушителей обоих типов должны быть герметичными и несущими, должны иметь отверстия с болтами для удаления пыли, а также приспособления для захвата глушителей подъемными средствами и подвески к кровле выработки.

1.10. Конструкции глушителей обоих типов должны иметь переходные устройства для соединения с вентиляторами и воздуховодами, включающие виброизолирующие прокладки.

1.11. Стенки глушителей рекомендуется выполнять слоистыми (рис. 2). Первый слой – собственно глушитель – из коррозионно-стойких металлов или (и) стеклопластиков. Второй слой – внешний – из металлической фольги, подкрепленной металлической лентой. Между первым и вторым слоем рекомендуется засыпать песок.

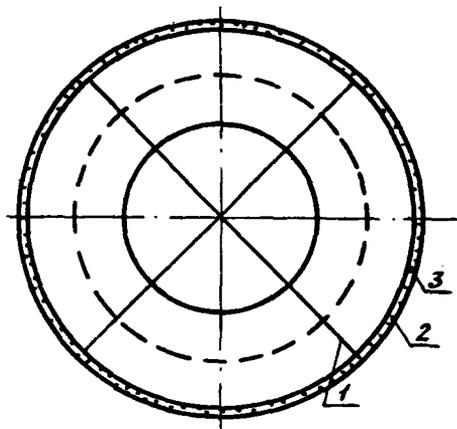


Рис. 2. Слоистая конструкция стенок глушителя:
1 - глушитель; 2 - внешний слой; 3 - песок

2. РАСЧЕТ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ РАЗМЕРОВ ГЛУШИТЕЛЕЙ

2.1. Расчет геометрических размеров глушителей в виде цепочек резонаторов оптимальной длины (рис.3) выполняются в соответствии с алгоритмом и примером, приведенным в обязательном приложении 2.

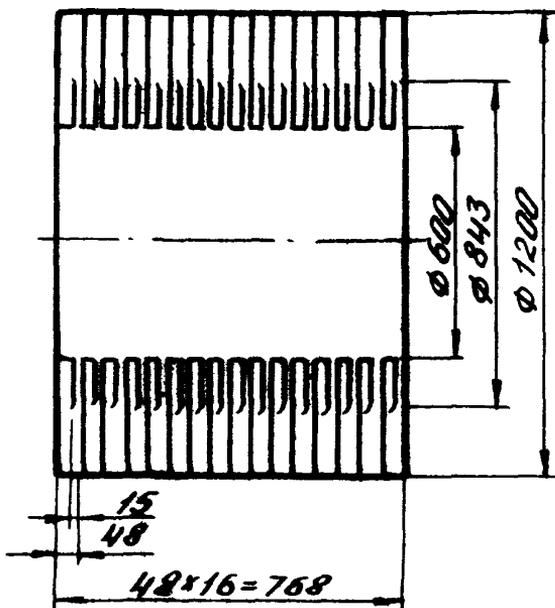


Рис. 3. Секция глушителя в виде цепочки резонаторов оптимальной длины

2.2. В табл. 1 даны геометрические размеры глушителей в виде цепочек резонаторов оптимальной длины с акустической эффективностью 15, 20, 25, 30, 35, 40 дБ и внутренними радиусами 0,20; 0,25; 0,30; 0,40 м.

Т а б л и ц а I

Геометрические размеры глушителей в виде цепочки резонаторов оптимальной длины, обладающих максимальным аэродинамическим сопротивлением 100 Па

| Радиус глушителя, м | | Интервал частот, Гц | Длина глушителя, м (числитель) и число резонаторов, шт. (знаменатель) при эффективности глушителя, дБ | | | | | | длина резонатора, м | Горлышко резонатора, м | |
|---------------------|---------|---------------------|---|----------|----------|----------|----------|----------|---------------------|------------------------|--------|
| внутренний | внешний | | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | | длина | ширина |
| 0,20 | 0,4 | 125-250 | 0,518/7 | 0,592/8 | 0,740/10 | 0,888/12 | 1,036/14 | 1,110/15 | 0,074 | 0,1 | 0,01 |
| 0,25 | 0,5 | 63-125 | 1,185/5 | 1,422/6 | 1,659/7 | 1,896/8 | 2,133/9 | 2,370/10 | 0,237 | 0,125 | 0,0125 |
| | | 125-250 | 0,531/9 | 0,649/11 | 0,767/13 | 0,885/15 | 1,003/17 | 1,121/19 | 0,059 | | |
| 0,30 | 0,6 | 63-125 | 0,990/5 | 1,188/6 | 1,584/8 | 1,78/9 | 1,980/10 | 2,178/11 | 0,198 | 0,15 | 0,015 |
| | | 125-250 | 0,500/10 | 0,650/13 | 0,750/15 | 0,90/18 | 1,000/20 | 1,150/23 | 0,050 | | |
| 0,40 | 0,8 | 63-125 | 1,036/7 | 1,332/9 | 1,480/10 | 1,776/12 | 2,072/14 | 2,220/15 | 0,148 | 0,2 | 0,02 |
| | | 125-250 | 0,518/14 | 0,629/17 | 0,740/20 | 0,888/24 | 0,999/27 | 1,110/30 | 0,037 | | |

2.3. Расчет геометрических размеров глушителей с гофрированной стенкой (рис. 4) выполняется в соответствии с алгоритмом и примером, приведенным в обязательном приложении 3.

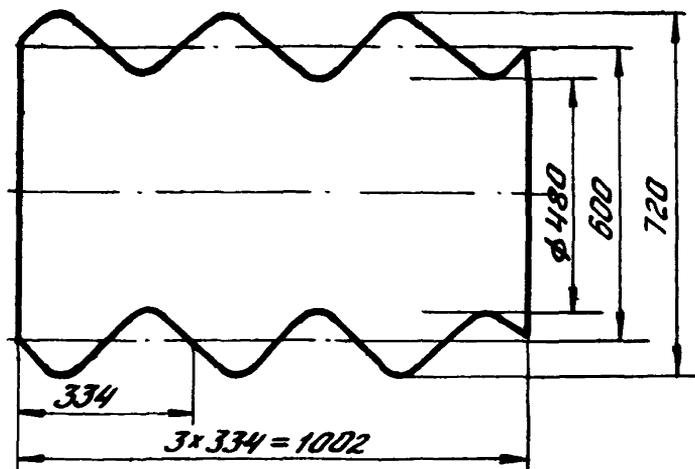


Рис. 4. Секция глушителя с гофрированной стенкой

2.4. В табл. 2 даны геометрические размеры глушителей с гофрированной стенкой с акустической эффективностью 15, 20, 25, 30, 35, 40 дБ и радиусами срединных поверхностей 0,20; 0,25; 0,30; 0,40 м.

2.5. При выполнении стенок глушителей слоистыми толщина слоя песчаной засыпки должна быть не менее 0,025 м.

Геометрические размеры глушителя с гофрированной стенкой при периоде гофр 0,334 м и частоте $F_j = 500$ Гц, обладающего максимальным аэродинамическим сопротивлением 20 Па

| Радиус средней поверхности глушителя, м | Эффективность глушителя, дБ | Длина глушителя, м | Число гофр | Высота (глубина) синусоидальных гофр, м |
|---|-----------------------------|--------------------|------------|---|
| 0,20 | 15-20 | 0,668 | 2 | 0,04 |
| | 25-30 | 1,002 | 3 | |
| | 35-40 | 1,336 | 4 | |
| 0,25 | 15-20 | 0,668 | 2 | 0,05 |
| | 25-30 | 1,002 | 3 | |
| | 35-40 | 1,336 | 4 | |
| 0,30 | 15-20 | 0,668 | 2 | 0,06 |
| | 25-30 | 1,002 | 3 | |
| | 35-40 | 1,336 | 4 | |
| 0,40 | 15-20 | 0,668 | 2 | 0,08 |
| | 25-30 | 1,002 | 3 | |
| | 35-40 | 1,336 | 4 | |

Приложение I
Справочное

ТАБЛИЦА ЗНАЧЕНИЙ ПРОСТРАНСТВЕННОГО КОЭФФИЦИЕНТА ПОГЛОЩЕНИЯ ЗВУКА
В ВОЗДУХЕ, дБ/100 м
(октавный спектральный анализ, указаны значения \geq 1 дБ/100 м)

| Частота, Гц | Температура, °С | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|-----------------------------|-----|-----|-----|-----|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | -30 | -25 | -20 | -15 | -10 | -5 | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 |
| | Относительная влажность 60% | | | | | | | | | | | | | | |
| 1000 | - | - | - | 1,3 | 1,2 | 1,0 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 2000 | - | - | 1,2 | 2,2 | 2,9 | 2,6 | 2,1 | 1,6 | 1,2 | 1,1 | 1,1 | 1,2 | 1,3 | 1,4 | 1,6 |
| 4000 | - | 1,0 | 1,8 | 3,2 | 5,3 | 6,6 | 5,7 | 4,6 | 3,6 | 2,9 | 2,5 | 2,5 | 2,7 | 3,0 | 3,3 |
| 8000 | 1,2 | 1,8 | 2,7 | 4,5 | 7,6 | 11,3 | 13,1 | 10,9 | 8,9 | 7,2 | 5,8 | 5,2 | 5,2 | 5,7 | 6,2 |
| | Относительная влажность 70% | | | | | | | | | | | | | | |
| 1000 | - | - | 1,0 | 1,3 | 1,1 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 2000 | - | - | 1,4 | 2,5 | 2,9 | 2,3 | 1,8 | 1,3 | 1,1 | 1,0 | 1,1 | 1,2 | 1,3 | 1,4 | 1,6 |
| 4000 | - | 1,2 | 2,1 | 3,7 | 5,7 | 6,3 | 5,1 | 4,0 | 3,1 | 2,5 | 2,3 | 2,5 | 2,7 | 3,0 | 3,3 |
| 8000 | 1,3 | 1,9 | 3,1 | 5,2 | 8,8 | 11,8 | 11,6 | 9,6 | 7,6 | 6,1 | 5,2 | 4,9 | 5,2 | 5,7 | 6,2 |
| | Относительная влажность 80% | | | | | | | | | | | | | | |
| 1000 | - | - | 1,1 | 1,3 | 1,0 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 2000 | - | - | 1,7 | 2,6 | 2,6 | 2,1 | 1,5 | 1,2 | 1,0 | 1,0 | 1,1 | 1,2 | 1,3 | 1,4 | 1,6 |
| 4000 | - | 1,3 | 2,4 | 4,3 | 5,9 | 5,6 | 4,5 | 3,5 | 2,7 | 2,3 | 2,3 | 2,5 | 2,7 | 3,0 | 3,3 |
| 8000 | 1,4 | 2,1 | 3,4 | 6,0 | 9,7 | 12,0 | 10,5 | 8,5 | 6,7 | 5,4 | 4,8 | 4,8 | 5,2 | 5,7 | 6,2 |

| Частота, Гц | Температура, °С | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|------------------------------|-----|-----|-----|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | -30 | -25 | -20 | -15 | -10 | -5 | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 |
| | Относительная влажность 90% | | | | | | | | | | | | | | |
| 1000 | - | - | 1,2 | 1,2 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 2000 | - | 1,0 | 1,9 | 2,7 | 2,4 | 1,8 | 1,3 | 1,0 | - | 1,0 | 1,1 | 1,2 | 1,3 | 1,4 | 1,6 |
| 4000 | - | 1,5 | 2,7 | 4,7 | 6,0 | 5,1 | 4,0 | 3,1 | 2,4 | 2,2 | 2,3 | 2,5 | 2,7 | 3,0 | 3,3 |
| 8000 | 1,5 | 2,3 | 3,8 | 6,7 | 10,3 | 11,7 | 9,6 | 7,6 | 6,0 | 4,9 | 4,5 | 4,8 | 5,2 | 5,7 | 6,2 |
| | Относительная влажность 100% | | | | | | | | | | | | | | |
| 1000 | - | - | 1,2 | 1,1 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 2000 | - | 1,1 | 2,1 | 2,7 | 2,2 | 1,6 | 1,2 | - | - | 1,0 | 1,1 | 1,2 | 1,3 | 1,4 | 1,6 |
| 4000 | - | 1,6 | 3,0 | 5,0 | 5,9 | 4,7 | 3,6 | 2,7 | 2,2 | 2,1 | 2,3 | 2,5 | 2,7 | 3,0 | 3,3 |
| 8000 | 1,6 | 2,5 | 4,3 | 7,4 | 10,7 | 10,8 | 8,7 | 6,8 | 5,4 | 4,5 | 4,4 | 4,8 | 5,2 | 5,7 | 6,2 |

АЛГОРИТМ И ПРИМЕР РАСЧЕТА ГЛУШИТЕЛЯ
В ВИДЕ ЦЕПОЧКИ РЕЗОНАТОРОВ ОПТИМАЛЬНОЙ
ДЛИНЫ

1. Исходные данные:

- R - внутренний радиус глушителя, м;
 C - скорость звука в воздухе, $C = 333$ м/с;
 ΔF - интервал частот акустической эффективности глушителя, Гц;
 F_B - верхняя граничная частота интервала частот, Гц;
 N - акустическая эффективность глушителя, дБ.

2. Назначают внешний радиус глушителя $R^* = 2R^1$.

3. Вычисляют длину звуковой волны λ на верхней граничной частоте выбранного интервала частот $\lambda = C/F_B$.

4. Назначают акустическую эффективность глушителя равной 15; 20; 25; 30; 35 или 40 дБ.

5. Вычисляют оптимальную длину глушителя

$$L_{opt} = \lambda (N + 6) \cdot 1,83 \cdot 10^{-2}.$$

6. Назначают длину горлышка единичного резонатора $l = 0,5R$.

7. Назначают ширину горлышка единичного резонатора $\delta = l/10$.

8. Вычисляют площадь сечения горлышка единичного резонатора

$$S = 2\pi R \delta, \quad \pi = 3,14.$$

¹ Внешний радиус глушителя R^* в стесненных условиях, например, при проходке штолен, может быть назначен менее $2R$, что несколько изменит интервал частот акустической эффективности глушителя.

9. Вычисляют эффективную длину горлышка единичного резонатора $l = R \cdot 0,405$.
10. Вычисляют объем единичного резонатора $\Omega = Sc^2 / (\delta F_B)^2 l'$.
11. Вычисляют число резонаторов в цепочке $q = 9,42 R^2 L / \Omega$.
12. Вычисляют длину единичного резонатора $Y = L / q$.
13. Округляя число резонаторов до целого с избытком, уточняют оптимальную длину глушителя $L^* = Y [q]$.
14. Уточняют акустическую эффективность глушителя $N^* = L^* / (\lambda \cdot 1,83 \cdot 10)^{-6}$.

15. Пример расчета глушителя в виде цепочки резонаторов оптимальной длины.

И с х о д н ы е д а н н ы е :

$$R = 0,3 \text{ м};$$

$$c = 333 \text{ м/с};$$

$$\Delta F = 125\text{--}250 \text{ Гц}; \quad F_B = 250 \text{ Гц};$$

$$N = 25 \text{ дБ}.$$

Расчет производим следующим образом:

$$R^* = 0,3 \cdot 2 = 0,6 \text{ м};$$

$$\lambda = 333/250 = 1,332 \text{ м};$$

$$L_{\text{орт}} = 1,332 \cdot (25 + 6) \cdot 1,83 \cdot 10^{-2} = 0,756 \text{ м};$$

$$l = 0,5 \cdot 0,3 = 0,15 \text{ м};$$

$$\delta = 0,1 \cdot 0,15 = 0,015 \text{ м};$$

$$S_1 = 6,28 \cdot 0,3 \cdot 0,015 = 0,028 \text{ м}^2;$$

$$l' = 0,3 \cdot 0,405 = 0,121 \text{ м};$$

$$\Omega = 0,028 \cdot 333^2 / (3,14 \cdot 250)^2 \cdot 0,121 = 0,042 \text{ м}^3;$$

$$q = 9,42 \cdot (0,3)^2 \cdot 0,756 / 0,042 = 15,26;$$

$$Y = 0,756 : 15,26 = 0,050 \text{ м}; \quad [q] = 16 ;$$

$$L^* = 0,50 \cdot 16 = 0,800 \text{ м};$$

$$N^* = 0,800 / (1,332 \cdot 1,83 \cdot 10^{-2})^{-6} = 26,8 \text{ дБ}.$$

АЛГОРИТМ И ПРИМЕР РАСЧЕТА ГЛУШИТЕЛЯ
С ГОФРИРОВАННОЙ СТЕНКОЙ¹

1. Исходные данные:

R - радиус срединной поверхности глушителя, м;

F - частота, Гц;

N - акустическая эффективность глушителя, дБ.

2. Назначают высоту (глубину) синусоидальных гофр u равной $0,2R$.

3. Вычисляют постоянную распространения

$$k = 0,019F.$$

4. Вычисляют коэффициент затухания $\beta = 2ku/R$.

5. Вычисляют длину глушителя

$$L = 0,115N/\beta.$$

6. Вычисляют период гофр

$$\Lambda = \pi/k, \pi = 3,14.$$

7. Вычисляют число гофр $q = L/\Lambda$ и округляют его до целого с избытком.

8. Уточняют длину глушителя $L^* = \Lambda [q]$.

9. Уточняют акустическую эффективность глушителя

$$N^* = 8,68\beta L^*.$$

10. Пример расчета глушителя с гофрированной стенкой.

И с х о д н ы е д а н н ы е:

$R = 0,3$ м;

$F = 500$ Гц;

$N = 25$ дБ.

¹ Аналогично может быть рассчитан глушитель с периодически неоднородной стенкой.

Расчет производим следующим образом:

$$a = 0,2 \cdot 0,3 = 0,06 \text{ м};$$

$$k = 0,019 \cdot 500 = 9,4 \text{ м}^{-1};$$

$$\beta = 2 \cdot 9,4 \cdot 0,05/0,3 = 3,133 \text{ м}^{-1};$$

$$L = 0,115 \cdot 25/3,133 = 0,919 \text{ м};$$

$$\Lambda = 3,14/9,4 = 0,334 \text{ м};$$

$$q_v = 0,919/0,334 = 2,75; [q_v] = 3;$$

$$L^* = 3 \cdot 0,334 = 1,002 \text{ м};$$

$$N^* = 8,68 \cdot 3,133 \cdot 1,002 = 27,24 \text{ дБ}.$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. И с а к о в и ч М.А. Теория волноводной изоляции в длинных линиях. 1У Всесоюзный симпозиум по дифракции и распространению волн. Ереван, 1973, т.11, с. 105.

2. Ц и л ь к е р Л.С. Применение волноводного изолятора для нормальной волны нулевого порядка в трубе.- Акустический журнал, 1980, т.26, вып.1, с. 127-131.

3. Л а п и н А.Д. Звукоизоляция в многомодальном волноводе, создаваемая периодическими неровностями и неоднородностями его стенок. - Акустический журнал, 1977, т.23, вып. 6, с. 899-906.

4. И с а е в И.К. Условие затухания упругих волн в искусственных волноводах. Сб. научных трудов ЦНИИСа "Охрана труда в транспортном строительстве". М., ЦНИИС, 1980, с. 41-45.

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|---|----|
| ПРЕДИСЛОВИЕ | 3 |
| 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ | 4 |
| 2. РАСЧЕТ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ РАЗМЕРОВ ГЛУШИТЕЛЕЙ | 7 |
| ПРИЛОЖЕНИЯ: | |
| 1. Таблица значений пространственного коэффициента поглощения звука в воздухе | 11 |
| 2. Алгоритм и пример расчета глушителя в виде цепочки резонаторов оптималь- ной длины | 13 |
| 3. Алгоритм и пример расчета глушителя с гофрированной стенкой | 15 |
| СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | 17 |

Редактор В.А.Шлыкова

Корректор О.Д.Сухова

Технический редактор Е.В.Карелина

Подп. к печ. 23.09.85 Л - 57246

Заказ 502. Объем 1,2 п.л. Тираж 360 экз.

Цена 12 коп. Ротапринт ЦНИИСа