НИИСК НИИСФ

РУКОВОДСТВО

ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ И ПРИМЕНЕНИЮ ОБЪЕМНЫХ ЗВУКОПОГЛОТИТЕЛЕЙ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ШУМА В ПОМЕЩЕНИЯХ ПРОМЫШЛЕННЫХ И ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ

СИ МОСКВА 1977

gost.e-ecolog.ru

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ
ГОССТРОЯ СССР (НИИСК)
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
СТРОИТЕЛЬНОЙ ФИЗИКИ
ГОССТРОЯ СССР (НИИСФ)

РУКОВОДСТВО

ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ И ПРИМЕНЕНИЮ ОБЪЕМНЫХ ЗВУКОПОГЛОТИТЕЛЕЙ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ШУМА В ПОМЕЩЕНИЯХ ПРОМЫШЛЕННЫХ И ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ

МОСКВА СТРОЙИЗДАТ 1977

УДК 69.022.14:699.844

Руководство по проектированию и применению объемных звукопоглотителей для снижения шума в помещениях промышленных и общественных зданий. М., Стройиздат, 1977, 39 с. (Науч.-исслед. ин-т строит. физики Госстроя СССР).

Приводятся рекомендации по проектированию и применению объемных звукопоглотителей для снижения шума в помещениях промышленных и общественных зданий.

Содержатся конструктивные схемы и акустические характеристики объемных звукопоглотителей, рекомендации по расчету и выбору их оптимальных параметров, а также примеры расчета объемного звукопоглотителя и ожидаемого снижения шума в производственном помещении.

Предназначается для инженерно-технических работников, занимающихся вопросами проектирования акустического благоустройства шумных помещений промышленных и общественных зданий.

Разработано НИИ строительных конструкций Госстроя СССР (канд. техн. наук В. Н. Мякшин, инж. Э. М. Сторожук) и НИИ строительной физики Госстроя СССР (кандидаты технических наук Л. А. Борисов, Н. Н. Воронина).

Редактор — *канд. техн. наук Л. А. БОРИСОВ* (НИИСФ)

Р $\frac{30213—557}{047(01)—77}$ инструкт.-нормат., 4 вып. — 16 — 77

© Стройиздат, 1977

ВВЕДЕНИЕ

Создание благоприятных акустических условий в шумных помещениях промышленных и общественных зданий требует использования различных технических средств снижения шума.

В практике борьбы с шумом применяются звукопоглощающие облицовки потолка и стен, акустические подвесные потолки и объемные (штучные) звукопоглотители.

В ряде случаев, когда устройство подвесного акустического потолка или звукопоглощающих облицовок невозможно или малоэффективно, снижение шума можно осуществить за счет объемных звукопоглотителей.

Данные экспериментальных исследований объемных звукопоглотителей, проведенные в НИИСК и НИИСФ Госстроя СССР в лабораторных и натурных условиях, свидетельствуют о целесообразности использования их в практике борьбы с шумом.

1. НАЗНАЧЕНИЕ И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

1.1. Настоящее руководство предназначено для проектирования акустического благоустройства шумных помещений общественных и промышленных зданий в тех случаях, когда целесообразно или необходимо для снижения шума использовать объемные звукопоглотители.

1.2. Объемные звукопоглотители применяются как самостоятельно, так и в сочетании с другими строительно-акустическими средствами снижения шума.

1.3. В качестве самостоятельного средства шумоглушения объемные звукопоглотители рекомендуется применять в помещениях с уровнями звука до 80 дБ А и в условиях, где невозможно или затруднено устройство подвесных акустических потолков (высота более 8 м, наличие светопрозрачных покрытий и больших остекленных поверхностей), а также при необходимости размещения над отдельными источниками шума.

1.4. В качестве дополнительного средства снижения шума объемные звукопоглотители рекомендуется применять в помещениях с источниками шума большой интенсивности (более 80 дБА) в сочетании со звукопоглощающими облицовками, акустическими экранами и другими средствами снижения шума.

1.5. Объемные звукопоглотители обладают рядом преимуществ по сравнению с плоскими звукопоглощающими облицовками, главными из которых являются: большая эффективность звукопоглощения в широком диапазоне частот; возможность размещения в непосредственной близости к источникам шума и использования в условиях действующего производства без изменения отделки помещения; простота монтажа (подвески) и очистки отдельных элементов.

2. КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ ОБЪЕМНЫХ ЗВУКОПОГЛОТИТЕЛЕЙ

2.1. Объемные звукопоглотители представляют собой геометрические тела различной формы, акустические свойства которых зависят от их размеров и формы, характеристик звукопоглощающих

и покровных материалов и способа размещения объемных звукопоглотителей в пространстве помещения.

2.2. Объемные звукопоглотители делятся на два основных типа: однослойные и многослойные.

Однослойный объемный звукопоглотитель состоит из однородного звукопоглощающего материала, который обеспечивает необходимую жесткость конструкции и определенную геометрическую форму с воздушной полостью внутри *.

Однослойные объемные звукопоглотители выполняются из акустических плиточных материалов с офактуренной поверхностью, обеспечивающих высокие звукопоглощающие свойства, декоративность и сохранение формы изделия.

2.3. Многослойный объемный звукопоглотитель состоит из следующих элементов:

а) легкого каркаса, имеющего форму какого-либо геометрического тела (куба, призмы, пирамиды и др.);

б) звукопоглощающего заполнителя из волокнистых материалов (типа минеральной ваты, холстов стеклянного или базальтового супертонкого волокна и др.);

в) защитного покрытия в виде тонкой пленки или ткани и перфорированного экрана.

2.4. Многослойные объемные звукопоглотители изготавливаются из пористых звукопоглощающих материалов, заполняющих внутренний объем каркаса (полностью или в виде слоя определенной толщины); каркас покрывается декоративной стеклотканью или перфорированным экраном (авиапол, пленка винипласта-10, металлические листы, стеклосетка и др.).

Между звукопоглощающим материалом и перфорированным покрытием — экраном прокладывается защитный слой технической ткани **.

2.5. Объемные звукопоглотители должны удовлетворять техническим и санитарно-гигиеническим требованиям, предъявляемым к звукопоглощающим конструкциям.

Изготовление объемных звукопоглотителей следует выполнять по рабочим чертежам, разработанным НИИ строительных конструкций Госстроя СССР и другими организациями.

Конструктивные схемы объемных звукопоглотителей различных типов приведены в прил. 1.

3. АКУСТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ОБЪЕМНЫХ ЗВУКОПОГЛОТИТЕЛЕЙ

3.1. Основной акустической характеристикой объемного звукопоглотителя является величина эквивалентной площади звукопоглощения $An = \alpha y S n$, где αy — средний условный коэффициент звукопоглощения в октавной полосе частот (учитывающий дополнитель-

* Устройство внутренних перегородок, разделяющих воздушную полость на резонансные камеры (различных формы и объема), позволяет придать однослойным объемным звукопоглотителям многорезонансные свойства.

** При использовании перфорированных экранов, обеспечивающих достаточную жесткость конструкции с сохранением определенной геометрической формы, объемные звукопоглотители допускается изготавливать без каркаса.

ное поглощение объемного звукопоглотителя за счет явлений дифракции); Sn — площадь поверхности звукопоглотителя, м².

3.2. Частотная характеристика условного коэффициента звукопоглощения α_y (f) имеет максимум, положение и величина которого определяется формой и размерами объемного звукопоглотителя, свойствами пористого звукопоглощающего материала и защитного покрытия.

Коэффициент α_y находится экспериментальным путем или вычисляется по известным параметрам объемного звукопоглотителя.

3.3. Акустическая эффективность объемного звукопоглотителя по сравнению с плоской звукопоглощающей облицовкой равной площади определяется отношением $\gamma = \frac{\alpha_y}{\alpha_0}$, где α_y — условный коэффициент звукопоглощения (на единицу поверхности) объемного звукопоглотителя; α_0 — коэффициент звукопоглощения плоской облицовки.

3.4. Размеры и форма, обусловливающие акустические свойства объемного звукопоглотителя, характеризуются параметром kr, где $k = \frac{2\pi f}{c_0}$ — волновое число (f — частота звука, Гц: c_0 — скорость звука в воздухе, см/с); r — характерный размер объемного звукопоглотителя (радиус сферы, сторона куба, приведенная высота конуса и т. п.).

3.5. Эффективность объемного звукопоглотителя зависит от соотношения его наибольшего поперечного размера R и длины падающей звуковой волны λ. В области частот, где $R/2\lambda<1$, эффективность объемного звукопоглотителя благодаря явлению дифракции может возрасти в 1,5—2 раза по сравнению с эффективностью плоской звукопоглощающей конструкции; при $R/2\lambda>1$ его эффективность равна эффективности плоской конструкции равной площади.

3.6. Акустические свойства материала, заполняющего объемный звукопоглотитель (в многослойных конструкциях) или образующего его поверхность (в однослойных конструкциях), характеризуются импедансом Z, определяемом по волновым параметрам этих материалов.

Если толщина слоя звукопоглощающего материала достаточно велика, то импеданс его поверхности Z стремится к волновому сопротивлению среды (материала) W и в пределах точности расчета принимается $Z \approx W$.

Импеданс является комплексной величиной $Z=X+jY$, где X — активная составляющая, обусловленная сопротивлением трения воздуха в порах материала; Y — реактивная составляющая, обусловленная реакцией массы и упругости волокон и воздуха.

3.7. Акустические свойства защитных покрытий характеризуются импедансом поверхности $Z=X+jY$.

Защитное покрытие из ткани характеризуется активной составляющей импеданса (сопротивлением продуванию σ).

Защитное покрытие из пленки характеризуется реактивной составляющей импеданса $Y_{пл}$ и зависит от толщины пленки δ.

Перфорированное покрытие — экран характеризуется реактивной составляющей импеданса $Y_э$, величина которого зависит от диаметра отверстий D, коэффициента перфорации η и толщины экрана l.

3.8. Расчет параметров, указанных в пп. 3.6, 3.7, следует производить в соответствии с требованиями раздела 4 настоящего Руководства.

4. ТРЕБОВАНИЯ К АКУСТИЧЕСКИМ МАТЕРИАЛАМ

Звукопоглощающие пористо-волокнистые материалы

4.1. Звукопоглощающие свойства пористоволокнистых материалов характеризуются импедансом Z, величина которого определяется в акустическом интерферометре.

4.2. Активная X и реактивная Y составляющие импеданса Z волокнистых материалов вычисляются по формулам:

$$X = 1 + \frac{q + q_0}{\sqrt{kd}}, \tag{1}$$

$$Y = -\frac{q + q_0}{\sqrt{kd}}, \tag{2}$$

где $q = \frac{\varrho}{129}$ — приведенная плотность волокнистого материала;

$q_0 = [10q^2 + 0{,}5q^{-1} + 0{,}5k^2d^4h^{-2}]^{-1}$ — величина, учитывающая влияние упругости скелета материала;

$k = \frac{2\pi f}{c_0}$ — волновое число для воздуха, $см^{-1}$;

d — диаметр волокна, мкм;

h — длина волокна, см;

ϱ — плотность звукопоглощающего материала $кг/м^3$.

4.3. Оптимальное значение активной X и реактивной Y составляющих импеданса звукопоглощающегося слоя должны отвечать следующим условиям:

$$1 \leqslant X \leqslant 2; \tag{3}$$

$$-1 \leqslant Y \leqslant -0{,}5. \tag{4}$$

Указанные условия, с учетом соотношений (1) и (2) представляются следующими выражениями:

для волокнистых материалов

$$\frac{q + q_0}{\sqrt{kd}} \leqslant 0{,}5;$$

для материалов с «жестким» скелетом

$$\frac{\varrho}{129\sqrt{kd}} \leqslant 0{,}5;$$

для материалов с «упругим» скелетом

$$\frac{\varrho}{43\sqrt{kd}} \leqslant 0{,}5.$$

4.4. Оптимальные значения X и Y для заданных частот (при известной величине $k=1{,}83\cdot10^{-4}f$) обеспечиваются при соответствующем подборе структурных (физических) характеристик материала, к которым относятся плотность материала ϱ, диаметр волокна d и длина волокна h.

4.5. Физико-технические и акустические характеристики пористо-волокнистых звукопоглощающих материалов приведены в прил. 2, табл. 11.

Защитные ткани и пленки

4.6. Различные виды тканей, применяемых в звукопоглощающих конструкциях в качестве защитных оболочек для пористо-волокнистых материалов, характеризуются активной составляющей импеданса X, равной величине сопротивления продуванию σ через ткань потока воздуха. Сопротивление продуванию σ находится экспериментальным путем. Оптимальное значение $\sigma\leqslant20$—40 кгс/см³ с.

4.7. Пленки характеризуются реактивной составляющей импеданса, который зависит от толщины пленки δ.

Условия оптимального звукопоглощения обеспечиваются при толщине пленки $\delta\leqslant25$ мкм.

4.8. Характеристики тканей и пленок приведены в прил. 2, табл. 12.

Перфорированные экраны

4.9. Перфорированные экраны характеризуются коэффициентом перфорации η, который представляет собой отношение площади отверстий S_0 к общей площади экрана $S_э$.

$$\eta=\frac{S_0}{S_э}=\frac{\pi D^2 n}{4S_э},$$

где D — диаметр отверстия, мм;

n — число отверстий.

Кроме того, параметрами перфорированного экрана являются диаметр отверстий D, мм, и толщина экрана l, мм.

4.10. Величина импеданса перфорированного экрана зависит от его параметров и взаимного расположения экрана и пористо-волокнистого материала.

Акустические свойства экрана характеризуются реактивной составляющей импеданса $Y_э$, которая вычисляется по формуле

$$Y_э=j\frac{k}{\eta}[l+0{,}85D\,(1-\sqrt{\eta/2})], \qquad (5)$$

где

l — толщина экрана, мм;

k — волновое число, см$^{-1}$;

η — коэффициент перфорации;

D — диаметр отверстий, мм.

Зависимость величины $Y_э$ от диаметра отверстий D (для различных значений коэффициента перфорации экрана η) графически представлена на рис. 1.

4.11. Оптимальные значения параметров D и η для области частот ниже 4000 Гц определяются условием $Y_э\leqslant0{,}25f\cdot10^{-3}$.

Величину η (при заданном диаметре отверстий экрана D) следует выбирать в заштрихованной области графика на рис. 2.

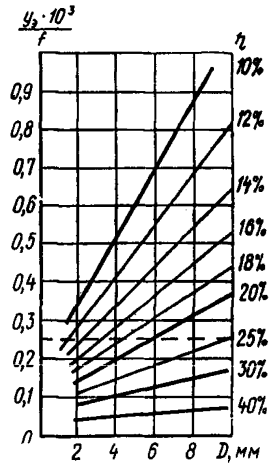


Рис. 1. Зависимость импеданса экрана $Y_э$, от диаметра отверстия D для различных значений коэффициента перфорации η

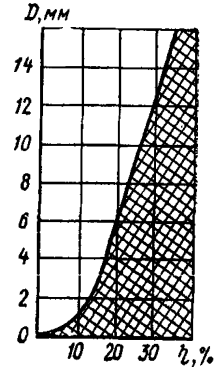


Рис. 2. Значение диаметра отверстия D перфорированного экрана при заданном коэффициенте перфорации η

4.12. Импеданс звукопоглощающей конструкции из пористого материала с перфорированным покрытием $Z_к$ равен сумме импедансов пористого слоя $Z_{сл}$ и перфорированного экрана $Z_э$:

$$Z_к = Z_{сл} + Z_э = X_{сл} + j\,(Y_{сл} + Y_э),$$

где $X_{сл}$, $Y_{сл}$ — соответственно активная и реактивная составляющие импеданса слоя пористого материала;

$Y_э$ — реактивная составляющая импеданса перфорированного экрана.

4.13. Конструкция со звукопоглощающим слоем в оболочке из ткани (или пленки) и перфорированным экраном характеризуется суммарным импедансом:

$$Z_{сум} = Z_{сл} + Z_э + Z_{пл}, \qquad (6)$$

где $Z_{сл}$ — импеданс слоя звукопоглощающего материала;

$Z_э$ — импеданс перфорированного экрана;

$Z_{пл}$ — импеданс пленки или ткани.

Значение импедансов $Z_{сл}$, $Z_э$ и $Z_{пл}$ определяется экспериментальным путем или вычисляется по формулам (1), (2), (5).

4.14. Перфорированные экраны изготавливаются из листов металла, пластмасс, асбестоцементных плит, синтетических тканей и др.

Характеристики материалов, применяемых для перфорированных покрытий, приведены в прил. 2, табл. 13.

Звукопоглощающие материалы с офактуренной поверхностью

4.15. Для объемных звукопоглотителей рекомендуется применять материалы с офактуренной поверхностью (плиты ПА/С, ПА/О и др.), а также плиты из полужесткого винипора (ТУ В-66-70).

4.16. Звукопоглощающие свойства материалов с офактуренной поверхностью характеризуются импедансом Z, величина которого определяется экспериментальным путем (см. п. 4.1.).

4.17. Звукопоглощающие материалы должны обладать хорошими акустическими свойствами, удовлетворять требованиям санитарных и противопожарных норм, гигиеничности и декоративности.

Характеристики акустических материалов с офактуренной поверхностью приведены в прил. 2, табл. 14.

5. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОБЪЕМНЫХ ЗВУКОПОГЛОТИТЕЛЕЙ

Выбор параметров конструкции объемного звукопоглотителя

5.1. Выбор конструкции объемного звукопоглотителя производится по величине требуемого снижения уровней звукового давления $\Delta L_{тр}$ в октавных полосах частот с учетом характеристик помещения.

Величина $\Delta L_{тр}$ определяется как разность значений суммарного уровня звукового давления, излучаемого источниками шума, $L_{сум}$ в расчетной точке, и уровня звукового давления, допускаемого санитарными нормами для помещений данного назначения, $L_{доп}$.

5.2. Объемные звукопоглотители, используемые в качестве самостоятельного средства шумоглушения, выбираются с наибольшей величиной звукопоглощения An в диапазоне частот, где требуется максимальное снижение шума $\Delta L_{тр}$.

Объемные звукопоглотители, используемые в качестве дополнительного средства шумоглушения, должны иметь наибольшее звукопоглощение в диапазоне частот, где не обеспечивается требуемое снижение шума.

5.3. Выбор размера объемного звукопоглотителя производится следующим образом:

по заданному спектру шума определяется частотная полоса, в которой должен находиться максимум условного коэффициента звукопоглощения $\alpha_у$ объемного звукопоглотителя (см. пп. 5.1, 5.2);

выбирается размер объемного звукопоглотителя r из условия обеспечения максимума условного коэффициента звукопоглощения

$$0{,}8 \leqslant kr \leqslant 1{,}2, \qquad (7)$$

где $k = 1{,}83 \cdot 10^{-4} f$, см$^{-1}$;

r — радиус сферы, см.

Если форма звукопоглотителя отличается от сферической, то для него определяется эквивалентный радиус $r_{экв}$.

5.4 Для объемных звукопоглотителей в форме куба и параллелепипеда с размером граней одного порядка $r_{экв}$ определяется из выражения

$$r_{экв} = \sqrt[3]{V_{сф}}, \qquad (8)$$

где $V_{сф}$ — объем сферического звукопоглотителя с радиусом r.

Для звукопоглотителей в форме призм, конусов и т. п. $r_{экв}$ вычисляется из условия равенства их объемов объему сферического звукопоглотителя $V_{сф} = V_{геом.тела}$ при известном r, принятом для сферического звукопоглотителя.

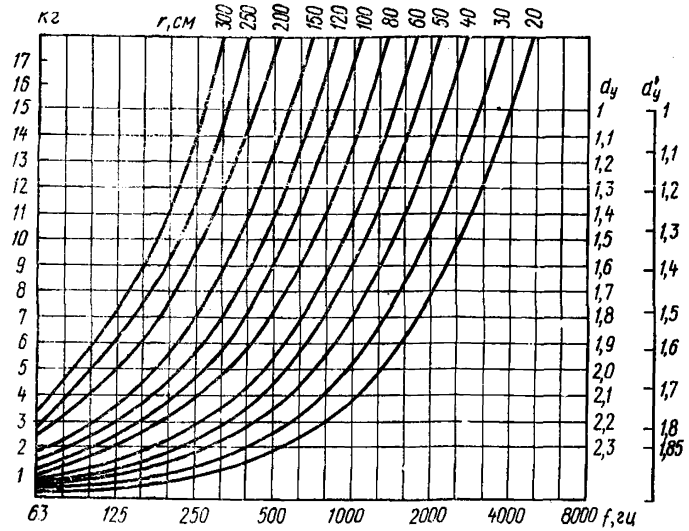


Рис. 3. Зависимость условного коэффициента α_y от параметра kr для различных размеров r объемных звукопоглотителей

5.5. Выбор материалов производится следующим образом:

а) в соответствии с требованиями п. 4 выбирается звукопоглощающий материал, импеданс которого в заданной частотной полосе удовлетворяет условию (4.9—4.17);

б) в соответствии с требованиями п. 4.7 выбирается материал защитной ткани или пленки;

в) в соответствии с требованиями п. 4.11 выбираются параметры перфорированного покрытия;

г) для вычисления величины входного импеданса поверхности звукопоглотителя используются расчетные формулы (1), (2), (5), (6.)

5.6. При соблюдении требований пп. 5.3, 5.4 по значениям kr из графиков на рис. 3 определяется частотная характеристика коэффициента звукопоглощения α_y. Для $kr \leqslant 2{,}2$ величина α_y определяется по табл. 1.

Таблица 1

Параметр kr	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2	2,2
α_y для сферического звукопоглотителя	2,26	2,40	2,48	2,60	2,68	2,60	2,54	2,45	2,40	2,32	2,25
α_y' для звукопоглотителей другой формы	1,80	1,93	1,98	2,08	2,14	2,08	2,03	1,96	1,92	1,85	1,80

По значениям α_y определяется эквивалентная площадь звукопоглощения одного звукопоглотителя An с площадью поверхности Sn:

$$An = a_y Sn. \tag{9}$$

5.7. При необходимости обеспечить максимум поглощения в широком диапазоне частот следует предусматривать изготовление объемных звукопоглотителей нескольких типоразмеров.

Положения максимумов поглощения объемных звукопоглотителей одинаковой формы, но различного размера определяются из соотношения

$$f_1 = f_0 \sqrt{\frac{V_0}{V_1}},$$

где f_0 — частота максимума поглощения основного звукопоглотителя;

f_1 — частота максимума поглощения звукопоглотителя другого размера;

V_0, V_1 — соответственно объемы основного и подобного ему звукопоглотителя (другого размера).

Размещение звукопоглотителей в объеме помещения

5.8. Объемные звукопоглотители следует размещать на расстояниях, определяемых их зонами влияния. Зона влияния представляет собой часть пространства вокруг объемного звукопоглотителя, в пределах которой происходит заметное искажение звукового поля за счет звукопоглощающих свойств поглотителя.

Величина зоны влияния зависит от геометрических размеров звукопоглотителя, параметров акустических материалов и частоты падающего звука. Зона влияния определяется расстоянием между геометрическими центрами звукопоглотителей b (радиус зоны влияния) и расстоянием H между центром звукопоглотителя и плоскостью ограждения (потолка, стены).

5.9. Оптимальное значение величин b и H для звукопоглотителей с площадью поверхности Sn определяется по формуле (10) или проверяется экспериментально для каждого типа звукопоглотителя:

$$b \approx H \approx 2 \sqrt{\frac{\alpha_y Sn}{\pi}} \tag{10}$$

где α_y, Sn — то же, что в формуле (9).

Некоторые оптимальные значения величин b и H, полученные экспериментальным путем для различных звукопоглотителей, приведены в прил. 1.

Расчет ожидаемого снижения шума

5.10. Выбор объемных звукопоглотителей производится следующими двумя способами:

по данным анализа измеренных спектральных уровней звукового давления (без предварительного акустического расчета);

по результатам предварительного расчета уровней звукового давления, создаваемого оборудованием в расчетных точках помещения.

5.11. Последовательность расчета уровней звукового давления, создаваемого источниками шума в расчетной точке, и ожидаемого снижения уровней в результате акустической отделки помещения приведена в п.п. 5.12—5.24 настоящего Руководства.

5.12. Суммарный уровень звукового давления (а также суммарный уровень звуковой мощности, излучаемой несколькими источниками) определяется по формуле

$$L_{\text{сум}} = 10 \lg \sum_{i=1}^{n} \cdot 10^{0{,}1 L_i} \text{ дБ},$$

где L_i — уровень звукового давления (или уровень звуковой мощности) i-го источника шума, дБ;

n — общее число независимых слагаемых уровней.

Суммарный уровень $L_{\text{сум}}$ определяется также путем энергетического сложения уровней по табл. 2. При сложении двух уровней определяется их разность $L_1 - L_2$ и добавка ΔL к более высокому уровню.

При большом числе слагаемых уровней такую операцию повторяют последовательно (определяя разность полученного уровня и максимального из оставшихся и т. д.) до получения полной суммы уровней.

Таблица 2

$L_1 L_2$, дБ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20
ΔL, дБ	3	2,5	2	1,8	1,5	1,2	1	0,8	0,6	0,5	0,4	0,2	0

5.13. Ожидаемые уровни звукового давления L, дБ, от источников шума с различной звуковой мощностью рассчитываются по формуле

$$L = 10 \lg \left(\sum_{i=1}^{m} \frac{\Delta_i \varkappa_i}{S_i} + \frac{4}{B_{\text{ш}}} \sum_{i=1}^{n} \Delta_i \right), \qquad (11)$$

где $\Delta_i = 10^{0{,}1 L_{\text{р}i}}$ — определяется по табл. 2.8 Справочника проектировщика;

$L_{\text{р}i}$ — октавный уровень звуковой мощности, излучаемой источником шума, дБ;

m — количество источников шума, расположенных вблизи от расчетной точки (т. е. источников, для которых $r_i \leqslant 4r_{\text{мин}}$, где $r_{\text{мин}}$ — расстояние от расчетной точки до акустического центра ближайшего источника);

r_i — расстояние от акустического центра i-го источника до расчетной точки, м;

n — общее количество источников шума;

S_i — площадь воображаемой поверхности, м^2, окружающей i-й источник шума и проходящей через расчетную точку (для небольших источников с максимальным размером $2l_{\text{макс}} < r_i$ $S_i = 2\pi r_i^2$);

$B_{\text{ш}}$ — постоянная помещения с источниками шума, м^2;

$\varkappa_i$ — эмпирический поправочный коэффициент, учитывающий влияние ближнего поля и принимаемый в зависимости от отношения r_i к максимальному габаритному размеру источника $l_{\text{макс}}$ по табл. 3.

Таблица 3

$r/l_{\text{макс}}$	0	0,25	0,5	0,75	1	1,25	1,5	1,75	2
$\varkappa_l$	4	3,9	3,7	3,4	3	2,5	1,9	1,5	1,15

Примечание. При $r/l_{\text{макс}} > 2$ $\varkappa_i = 1$.

5.14. Ожидаемые уровни звукового давления L, дБ, от источников с одинаковой звуковой мощностью рассчитывают по формуле

$$L = L_{p0} + 10 \lg \left(\sum_{l=1}^{m} \frac{\varkappa_l}{S_l} + \frac{4n}{B_{\text{ш}}} \right),$$

где L_{p0} — октавный уровень звуковой мощности, излучаемой одним источником, дБ; остальные обозначения те же, что в формуле (11).

5.15. Расчет ожидаемого снижения уровней звукового давления в результате акустической отделки помещения определяется в зависимости от расположения расчетной точки в зоне прямого или отраженного звука.

Зона отраженного звука определяется предельным радиусом $r_{\text{пр}}$, величина которого для источников шума, расположенных на полу, определяется по формулам:

1) при одном источнике шума

$$r_{\text{пр}} = 0{,}2 \sqrt{B_{8000}} \text{ м};$$

2) при n одинаковых источниках шума

$$r_{\text{пр}} = 0{,}2 \sqrt{\frac{B_{8000}}{n}} \text{ м};$$

3) при n разных источников шума

$$r_{\text{пр}} = 0{,}2\sqrt{\frac{B_{8000}\cdot 10^{0{,}1L_{p_l}}}{\sum_{l=1}^{n}\cdot 10^{0{,}1L_{p_l}}}}\ \text{м},$$

где B_{8000} — постоянная помещения на частоте 8000 Гц (определяется по п. 5.18), м²;

L_{pl} — уровень звуковой мощности источника шума на частоте 8000 Гц, дБ.

5.16. Снижение уровня звукового давления ΔL, дБ, на рабочих местах производственных помещений при различных источниках шума определяется по формуле

$$\Delta L = L - L_{\text{обл}} = 10\lg\frac{\sum_{l=1}^{m}\frac{\varkappa_l\Delta_l}{S_l}+\frac{4}{B}\sum_{l=1}^{n}\Delta_l}{\sum_{l=1}^{m}\frac{\varkappa_l'\Delta_l}{S_l}+\frac{4}{B_1}\sum_{l=1}^{n}\Delta_l};$$

при одинаковых источниках шума определяется по формуле

$$\Delta L = 10\lg\frac{\sum_{l=1}^{m}\frac{\varkappa_l}{S_l}+\frac{4n}{B}}{\sum_{l=1}^{m}\frac{\varkappa_l}{S_l}+\frac{4n}{B_1}},$$

где L — уровень звукового давления в расчетной точке до акустической отделки, дБ;

$L_{\text{обл}}$ — уровень звукового давления в той же точке после акустической отделки поверхностей звукопоглощающими конструкциями, дБ;

B, B_1 — постоянные помещения до и после его акустической отделки; остальные обозначения те же, что в формуле (11).

5.17. Ожидаемое снижение уровней звукового давления ΔL для зоны отраженного поля (при $r_{\text{мин}} \geqslant r_{\text{пр}}$) определяется по формуле

$$\Delta L = 10\lg B_1/B, \qquad (12)$$

где B, B_1 — постоянные помещения до и после его акустической отделки;

$r_{\text{мин}}$ — расстояние от расчетной точки до акустического центра ближайшего источника.

5.18. Постоянная помещения $B = B_{1000}\mu$, где B_{1000} — постоянная помещения на среднегеометрической частоте 1000 Гц; μ — частотный множитель.

Величина B_{1000} определяется по графику на рис. 4. Выбор индекса прямой a — $г$ производится по табл. 4. Значения частотного множителя μ определяются по табл. 5.

Таблица 4

Описание и назначение помещений	Индекс прямой на рис. 4
Помещения без мебели с небольшим числом людей (генераторные, щитовые, электромеханические мастерские, вентиляционные помещения)	*а*
Помещения с жесткой мебелью или с небольшим числом людей и с мягкой мебелью (кабинеты, лаборатории, здравпункты, комнаты мастеров и начальников цехов, цехи вспомогательного оборудования)	*б*
Помещения с большим числом людей и мягкой мебелью (рабочие комнаты заводоуправлений, конструкторские и лабораторно-конструкторские зоны, вычислительные центры и т. п.)	*в*
Помещения со звукопоглощающей облицовкой потолка и части стен	*г*

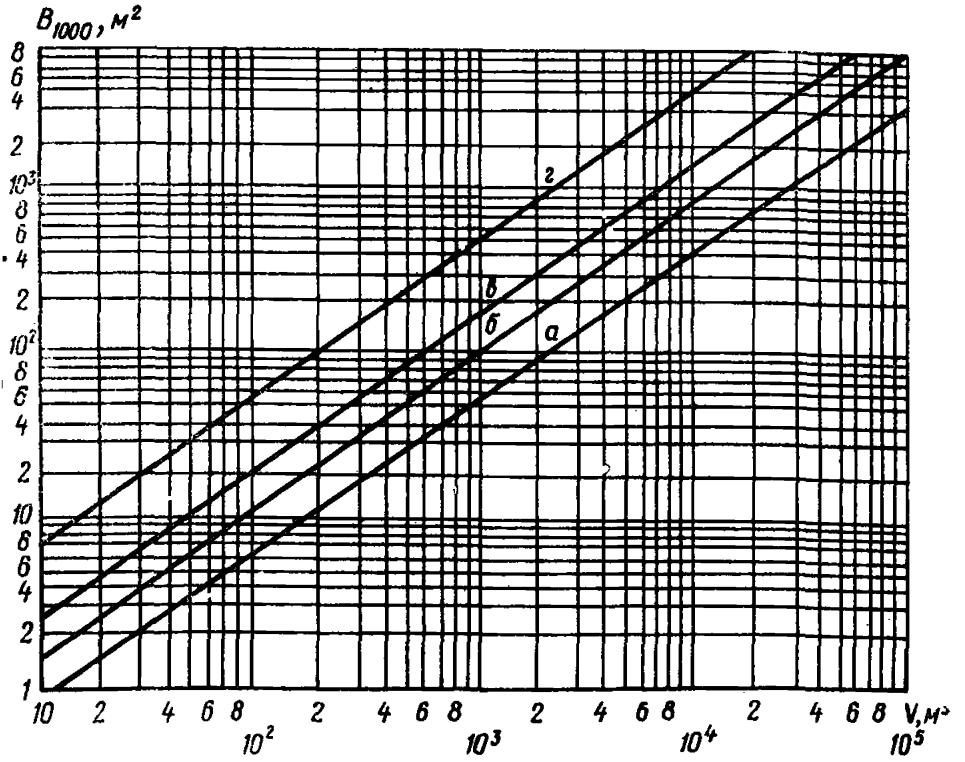


Рис. 4. График для определения постоянной B в зависимости от объема V и назначения помещения (см. табл. 4)

Таблица 5

Частотный множитель μ

Объем помещения, м³	Среднегеометрическая частота, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$V<200$	0,8	0,75	0,7	0,8	1	1,4	1,8	2,5
$V=200—500$	0,65	0,62	0,64	0,75	1	1,5	2,4	4,2
$V>500$	0,5	0,5	0,55	0,7	1	1,6	3	6

5.19. Постоянная помещения B_1 в акустически обработанном помещении определяется по формуле

$$B_1 = \frac{A_0 + \Delta A}{1 - \alpha_{ср}}, \qquad (13)$$

где $A_0 = \alpha(S - S_{обл})$ — эквивалентная площадь звукопоглощения поверхностями, не занятыми звукопоглощающей облицовкой;

$\alpha = \frac{B}{B + S}$ — средний коэффициент звукопоглощения в помещении до его акустической отделки;

$\alpha_{ср} = \frac{A_0 + \Delta A}{S}$ — средний коэффициент звукопоглощения акустически обработанного помещения;

$\Delta A = \alpha_{обл} S_{обл} + A_n n$ — величина суммарного поглощения, вносимого звукопоглощающей облицовкой и объемными звукопоглотителями, (где $\alpha_{обл}$ — коэффициент звукопоглощения облицовки; $S_{обл}$ — площадь звукопоглощающей облицовки, м²; An — эквивалентная площадь звукопоглощения одного объемного звукопоглотителя, м²; n — количество объемных звукопоглотителей в помещении);

S — суммарная площадь поверхностей ограждающих конструкций помещения, м².

5.20. Требуемое снижение уровней звукового давления $\Delta L_{тр}$, дБ, определяется как разность ожидаемого уровня звукового давления L в расчетной точке и допустимого уровня $L_{доп}$ в данном помещении:

$$\Delta L_{тр} = L - L_{доп}. \qquad (14)$$

5.21. По величине $\Delta L_{тр}$ вычисляется величина требуемого дополнительного звукопоглощения $\Delta A_{тр}$ для обеспечения необходимого снижения шума.

Для каждой октавной полосы $\Delta L_{тр}$ рассчитывается по формуле

$$\Delta A_{тр} = A_0 \, (10^{0{,}1\Delta L_{тр}} - 1) \text{ м}^2,$$

где A_0 — эквивалентная площадь звукопоглощения акустически необработанного помещения, м².

Величина $\Delta A_{тр}$ также определяется по графикам рис. 5. Пример расчета и последовательность определения $\Delta A_{тр}$ показаны на рис. 5.

5.22. Конструкция звукопоглощающей облицовки выбирается в соответствии с частотной характеристикой $\Delta A_{тр}(f)$.

Площадь звукопоглощающей облицовки $S_{обл}$, м², определяется из выражения (15) и выбирается наибольшей из всех значений, полученных для различных частотных полос:

$$S_{обл} = \frac{\Delta A_{тр}}{\alpha_{окт}}, \qquad (15)$$

где $\alpha_{окт}$ — коэффициент звукопоглощения акустической облицовки в данной октавной полосе частот.

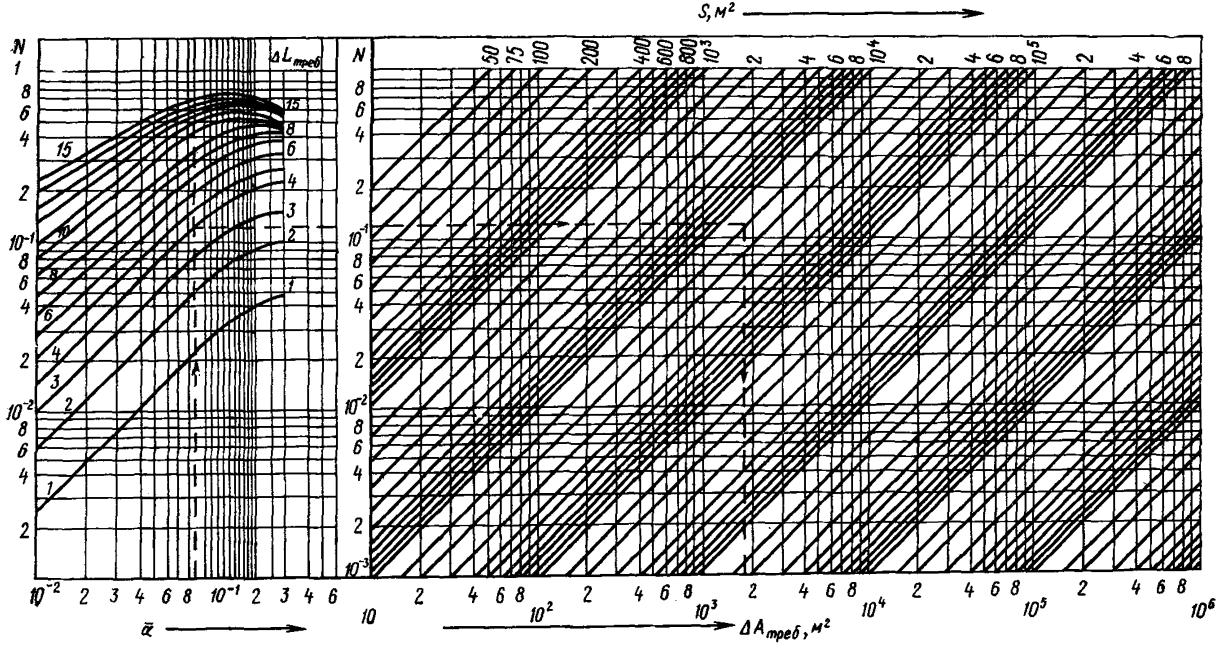


Рис. 5. Номограммы для расчета $\Delta A_{тр}$ по известным значениям α, $\Delta L_{тр}$, S. Пример расчета: $\alpha=0{,}09$; $\Delta L_{тр}=4$ дБ; $S=(1{,}5\cdot10^4)$ м²; $\Delta A_{тр}=1800$ м². Движение по стрелке от α к $\Delta A_{тр}$

5.23. Если требуемая площадь облицовки $S_{обл}$, окажется больше площади, которую можно облицевать в данном помещении, то принимается ее максимально возможная величина и дополнительно применяются объемные звукопоглотители.

5.24. Тип объемного звукопоглотителя с соответствующей акустической характеристикой принимают в соответствии с прил. 1.

Необходимое количество объемных звукопоглотителей n в октавной полосе определяется по формуле

$$n = \frac{\Delta A_{тр} - \alpha_{окт} S_{обл}}{A n_{окт}}, \qquad (16)$$

где $A_{n.окт}$ — эквивалентная площадь звукопоглощения одного объемного звукопоглотителя в данной октавной полосе частот, м².

Величина n выбирается наибольшей из значений, полученных для всех октавных полос, и тогда величина дополнительного поглощения, вносимого объемными звукопоглотителями, $\Delta A = An n$, где An определяется по формуле (9).

6. ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА

Пример 1. В спектре производственного шума величина требуемого снижения уровней звукового давления $\Delta L_{тр}$ имеет наибольшее значение в диапазоне частот 250—1000 Гц.

Следует определить параметры объемного звукопоглотителя и ожидаемую частотную характеристику условного коэффициента звукопоглощения, обеспечивающую максимальное звукопоглощение в заданном диапазоне частот.

Решение. В заданном диапазоне частот 250—1000 Гц выбираем октавную полосу со средним значением $f_{ср} = 500$ Гц, в которой должен находиться максимум условного коэффициента звукопоглощения $\alpha_у$.

Определим характерный размер объемного звукопоглотителя из условия обеспечения максимума условного коэффициента звукопоглощения $\alpha_у$ (7):

$$0{,}8 \leqslant kr \leqslant 1{,}2.$$

Для этого найдем из выражения $k = 1{,}83 \cdot 10^{-4} f$; при $f = 500$ Гц число $k = 0{,}091$.

Характерный размер объемного звукопоглотителя сферической формы $r_{сф}$ определим из условия (7); при $k = 0{,}091$ и $r_{мин} \geqslant \frac{0{,}8}{k}$ получаем $r_{макс} \geqslant 8{,}9$ см; при $r_{макс} \leqslant \frac{1{,}2}{k}$ получаем $r_{макс} \leqslant 13{,}2$ см.

Принимаем $r_{сф} = 13$ см.

Выбираем форму объемного звукопоглотителя в виде куба и определяем его эквивалентный радиус $r_{экв}$ из выражения (8), где $V_{сф} = \frac{4}{3} \pi r_{сф}^3$; $r_{экв}$ — сторона куба.

Получаем

$$r_{экв} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 3{,}14 \cdot 13^3}{3}} \approx 21 \text{ см},$$

Принимаем конструкцию объемного звукопоглотителя в форме куба с размером стороны 21 см, покрытого перфорированным экраном и заполненного пористо-волокнистым звукопоглощающим материалом с защитным слоем из технической ткани.

Определим значения величины k для средних частот октавных полос при f=63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000; 8000 Гц и вычислим параметр kr для кубического звукопоглотителя с размером стороны $r_{экв}$=21 см.

Из графиков на рис. 3 и табл. 1 по значениям kr определим условный коэффициент звукопоглощения α_y в диапазоне частот 63—8000 Гц.

Определим площадь поверхности кубического звукопоглотителя Sn=0,265 м² и найдем величину эквивалентной площади звукопоглощения одного кубического звукопоглотителя An из выражения (9).

Результаты расчета приведены в табл. 6.

Таблица 6

Частота, Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Волновое число k	0,011	0,023	0,046	0,091	0,183	0,366	0,73	1,46
Параметр kr (r=21 см)	0,23	0,48	0,96	1,91	3,8	7,7	15,3	30
Условный коэффициент звукопоглощения α_y'	1,81	1,95	2,1	1,88	1,74	1,48	1	1
Эквивалентная площадь звукопоглощения An	0,48	0,52	0,56	0,5	0,46	0,39	0,26	0,26

Для получения ожидаемой частотной характеристики условного коэффициента звукопоглощения $\alpha_y'(f)$, приведенной в табл. 6, следует выбрать материалы объемного звукопоглотителя в соответствии с требованиями раздела 4.

Исходя из условия (3) и (4), выбираем по табл. 11 прил. 2 в качестве звукопоглощающего заполнителя холст ультрасупертонкого стекловолокна (8—10 кг/м³), импеданс которого на заданной частоте f=500 Гц (X=1,7 и Y=—0,55) соответствует требованиям п. 4.3.

В соответствии с требованиями п. 4.6 выбираем по табл. 12 прил. 2 в качестве защитного слоя стеклоткань марки Э-0,1, сопротивление продуванию которой σ=20 кгс/(см²·с).

Выбираем по табл. 13 покрытие из перфорированных листов кровельной стали с коэффициентом перфорации 24% в соответствии с требованиями п. 4.11 (точка пересечения значений диаметра отверстия D=5,5 мм и коэффициента перфорации η=24% лежит в заштрихованной области рис. 2).

Таким образом, в соответствии с выбранными параметрами объемный звукопоглотитель имеет форму куба с размером стороны 21 см, покрыт перфорированным листом кровельной стали с коэффициентом перфорации 24% и заполнен ультрасупертонким стекловолокном (8—10 кг/м³) с защитным слоем из стеклоткани Э-0,1.

Для оптимального размещения в помещении определим зону влияния объемных звукопоглотителей (расстояние между их геометрическими центрами b и высоту подвеса H) по формуле (10). Для частоты $f=500$ Гц $b\approx 2\sqrt{\frac{0{,}5}{3{,}14}}=0{,}8$ м. Принимаем расстояние между центрами объемных звукопоглотителей $b=0{,}8$ м и высоту подвеса от потолка для геометрического центра звукопоглотителя $H=1$ м.

Пример 2. В производственном помещении размером 36×24 м² установлено 20 одинаковых станков, расположенных в два ряда с расстояниями в ряду между акустическими центрами 3 м, а между рядами 6 м. Стены помещения кирпичные, одна из торцовых стен светопрозрачная (из стеклоблоков); покрытие из железобетонных плит. Высота помещения до уровня подвесного потолка 6 м. Общая площадь поверхностей ограждающих конструкций $S=2488$ м², объем $V=5180$ м³.

В расчетной точке, удаленной от ближайших станков на $r_{мин}=3$ м, задан усредненный спектр звукового давления, приведенный в табл. 7.

Необходимо обеспечить снижение шума в расчетной точке до уровней, допускаемых СН 245-71.

Таблица 7

Среднегеометрическая частота, Гц	68	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Уровень звукового давления L, дБ	104	104	100,6	100,5	100	95,5	89,2	80

Решение. Определим характер звукового поля в расчетной точке (см. п. 5.15.):

$$r_{пр}=0{,}2\sqrt{\frac{B_{8000}}{n}}=0{,}2\sqrt{\frac{1200}{20}}=1{,}55 \text{ м}.$$

Постоянная помещения $B_{8000}=B_{1000}\mu$; B_{1000} для объема $V=5180$ м³ определяется по рис. 4 (см. кривую *а*, табл. 4), а множитель μ — по табл. 5 (см. табл. 8, поз. 3).

Так как $r_{мин}=3$ м $>r_{пр}=1{,}55$ м, то расчетная точка находится в зоне отраженного звукового поля.

Величину требуемого снижения уровня звукового давления $\Delta L_{тр}$ определим по формуле (14), а величину ожидаемого снижения уровней звукового давления ΔL в результате акустической отделки — по формуле (12).

Значение $L_{доп}$ принимаем по предельному спектру ПС-85 (СН 245-71) для рабочих мест производственных помещений.

Величину дополнительного звукопоглощения $\Delta A_{тр}$ определим по рис. 5, предварительно вычислив средний коэффициент звукопоглощения α в помещении до его акустической отделки по формуле (13).

Конструкцию звукопоглощающей облицовки выбираем по табл. 8.1 «Справочника проектировщика. Защита от шума» (М., Строй-

издат, 1974) и определяем требуемую площадь облицовки по формуле (15).

Результаты расчета приводим в табл. 8, из которой принимаем максимальную величину требуемой площади облицовки $S_{обл}$ = = 1680 м².

Таблица 8

№ п.п.	Обозначение величин	Ссылка	Среднегеометрические частоты, Гц							
			63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	B_{1000}, м²	Рис. 4	—	—	—	—	200	—	—	—
2	μ, $V>500$, м³	Табл. 4	0,5	0,5	0,55	0,7	1	1,6	3	6
3	$B=\mu B_{1000}$	П. 1×п. 2	100	100	110	140	200	320	600	1200
4	L, дБ	Табл. 7	104	106	100,6	100,5	100	95.5	89,2	80
5	$L_{доп}$, дБ	СН 245-71	103	96	91	86	85	83	81	80
6	$\Delta L_{тр}$, дБ	П. 4—п. 5	1	10	9,6	14,5	15	12,5	8,2	—
7	S, м²	—	2488	2488	2488	2488	2488	2488	2488	2488
8	$B+S$, м²	П. 3+п. 7	2588	2588	2598	2628	2809	2809	3088	3688
9	$\alpha=\frac{B}{B+S}$	$\frac{\text{П. 3}}{\text{п. 8}}$	0,039	0,039	0,042	0,053	0,074	0,114	0,194	0,326
10	$\Delta A_{тр}$, м²	Рис. 5	25	630	580	1350	1680	1550	850	—
11	$\alpha_{обл}$	Поз. 29, табл. 8. 4 *	0,5	0,93	1	1	1	1	1	1
12	$S_{обл}$, м²	$\frac{\text{П. 10}}{\text{п. 11}}$	50	680	580	1350	1680	1550	850	—

* Справочник проектировщика. «Защита от шума» (М., Стройиздат, 1974).

Возможная в данном помещении площадь акустической облицовки (при отделке потолка и верхних частей двух продольных и одной торцовой стен) составит $S_{обл}=S_{пот}+(l_1+l_2+l_3)$ (6—2) = = 864(36+36+24)4 = 1248 м², что меньше требуемой площади: $S_{обл}=1680$ м².

Принимаем решение облицевать 1248 м² площади потолка и стен, а недостающее поглощение обеспечить применением объемных звукопоглотителей.

Конструкцию объемного звукопоглотителя (с максимумом поглощения на частоте 1000 Гц $A_п=1{,}17$ м²) выбираем прил. 1 (поз. 4). Определяем требуемое количество объемных звукопоглотителей по формуле (16) для данной частоты:

$$n=\frac{\Delta A_{тр}-\alpha_{обл}S_{обл}}{A_{п.окт}}=\frac{1680-1\cdot1248}{1{,}17}=370.$$

Значения $\Delta A_{тр}$ и $\alpha_{обл}$ берем из табл. 8.

Оптимальное расстояние между звукопоглотителями определяем по формуле (10):

$$b\approx2\sqrt{\frac{A_п}{\pi}}=\sqrt{\frac{1{,}17}{3{,}14}}=1{,}22\text{ м}.$$

Таблица 9

№ п.п.	Обозначение величин	Ссылка	Среднегеометрические частоты, Гц							
			63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	B, м²	П. 3, табл. 8	100	100	100	140	200	320	600	1200
2	α	П. 9, табл. 8	0,039	0,039	0,042	0,053	0,074	0,114	0,194	0,326
3	$S-S_{обл}$, м²	—	1240	1240	1240	1240	1240	1240	1240	1240
4	$A_0=\alpha(S-S_{обл})$, м²	П. 2×п. 3	48,5	48,5	52	65,8	92	141	241	405
5	$\alpha_{обл}$	П. 11, табл. 8	0,5	0,93	1	1	1	1	1	1
6	$\Delta A_{обл}=\alpha_{обл}S'_{обл}$, м²	$S'_{обл}=1248$ м²	624	1160	1248	1248	1248	1248	1248	1248
7	$An_{окт}$, м²	Поз. 4, прил. 1	0,15	0,27	0,6	1,06	1,17	1,14	1	1,01
8	$An=An_{окт}n$, м²	$n=370$	55,5	100	222	392	434	423	370	374
9	$\Delta A_{сум}$, м²	П. 6+п. 8	679,5	1260	1470	1640	1682	1671	1618	1622
10	$A_0+\Delta A_{сум}$, м²	П. 4+п. 9	782	1308	1522	1706	1774	1812	1859	2027
11	$\alpha_{ср}=\frac{A_0+\Delta A_{сум}}{S}$	$S=2488$ м²	0,292	0,525	0,612	0,685	0,72	0,728	0,748	0,815
12	$1-\alpha_{ср}$		0,708	0,475	0,388	0,315	0,28	0,272	0,252	0,185
13	$B_1=\frac{A_0+\Delta A}{1-\alpha_{ср}}$	$\frac{\text{П. 10}}{\text{п. 12}}$	1030	2750	3920	5420	6340	6660	7390	10800
14	$\Delta L=10\lg B_1/B$	Ф-ла 12	10	14,4	15,8	16	15	13,2	12,3	—
15	$L_{обл}=L-\Delta L$	П. 1, табл. 7—п. 14, табл. 9	94	91,6	84,8	84,5	85	82,3	76,9	80
16	$L_{доп}$, дБ	П. 5, табл. 8	103	96	91	86	85	83	81	80

На площади потолка, равной 864 м², каждый объемный звукопоглотитель можно разместить на площади, равной $\frac{864}{370}=2{,}28$ м², или на расстоянии друг от друга, равном $\sqrt{2{,}28}$ м$=1{,}5$ м, что согласуется с оптимальным значением $b=1{,}2$ м для выбранного звукопоглотителя (см. прил. 1, поз. 4).

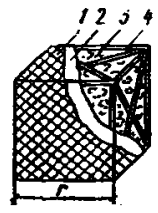
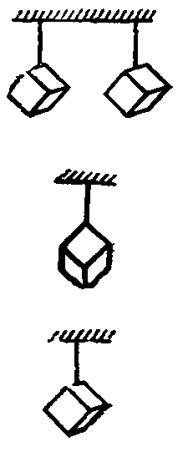
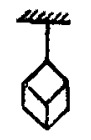
Принимаем расстояние между звукопоглотителями $b=1{,}5$ м; высоту подвеса и расстояние от центров звукопоглотителей (расположенных у стен) до ограждающих поверхностей $H\geqslant 1{,}5$ м.

Результаты расчета ожидаемого снижения шума ΔL, приведенные в табл. 9, показывают, что применение объемных звукопоглотителей в сочетании с акустической облицовкой потолка обеспечивает требуемое снижение шума в расчетной точке. Уровень звукового давления в акустически благоустроенном помещении меньше допустимых значений во всем диапазоне частот.

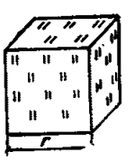
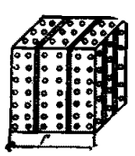
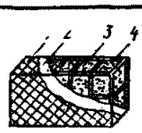
ПРИЛОЖЕНИЯ

АКУСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБЪЕМНЫХ ЗВУКОПОГЛОТИТЕЛЕЙ

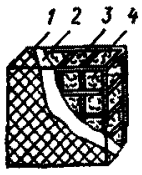
Таблица 10

№ п.п.	Схема конструкции	Конструктивные особенности	Площадь поверхности, м²	Масса, кг	Звукопоглощающий слой: средняя плотность, кгс/м³	Звукопоглощающий слой: толщина слоя, мм	Расстояние, мм: между центрами звукопоглотителей b	Расстояние, мм: между центром звукопоглотителя и ограждением H	Эквивалентная площадь звукопоглощения A, м², одного звукопоглотителя на среднегеометрической частоте октавной полосы, Гц: 63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Схема подвески
1		Куб со стороной r=400 мм *1* — металлический лист толщиной 2 мм, перфорация по квадрату 30%, диаметр 10 мм, шаг 16 мм; *2* — стеклоткань Э-0,1 (ГОСТ 8481—75); *3* — супертонкое стекловолокно (ТУ 21-01-224-69); *4* — каркас из проволоки ⌀ 3 мм	0,96	1,6	15	60	2500	1250	0,14	0,4	0,75	1,23	1,14	1,05	0,82	0,67	
2		То же, куб со стороной r=320 мм	0,61	1,2	15	60	2000	1000	0,10	0,16	0,37	0,68	0,84	0,66	0,52	0,37	
3		Куб со стороной r=400 мм *1* — перфорированный пластик (СТУ 30-14085-63), перфорация 30%, диаметр 10 мм, шаг 16 мм; *3* — слой термоизоляционного материала АТМ-1 (МРТУ 6-11-64);	0,96	1,7	10	40	2500	1250	0,12	0,9	0,70	1,20	1,10	1	0,80	0,60	
4		Куб со стороной r=400 мм *1* — металлический просечно-вытяжной лист толщиной 1 мм, перфорация 75%, размер ячейки 26×11 мм, шаг 32 мм; *2* — стеклоткань Э-0,1 (ГОСТ 19907—74*); *3* — супертонкое базальтовое волокно РТС УССР 5013.76); *4* — каркас из проволоки ⌀ 3 мм	0,96	2,3	20	Сплошное заполнение	1200	1200	0,16	0,26	0,6	1,03	1,09	1,08	0,08	1,01	—

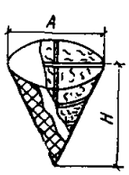
Продолжение табл. 10

№ п. п.	Схема конструкции	Конструктивные особенности	Площадь поверхности, м²	Масса, кг	Звукопоглощающий слой		Расстояние, мм		Эквивалентная площадь звукопоглощения A, м², одного звукопоглотителя на среднегеометрической частоте октавной полосы, Гц								Схема подвески
					средняя плотность, кгс/м³	толщина слоя, мм	между центрами звукопоглотителей b	между центром звукопоглотителя и ограждением H	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
5		То же, *3* — отходы капроновых волокон	0,95	2,4	25	Сплошное заполнение	1200	1200	0,23	0,34	1	0,93	1,03	1	1	1	—
6		То же, *3* — супертонкое стекловолокно (ТУ 21-01-224-69)	0,96	2	15	То же	1200	1600	0,1	0,25	0,93	1,12	1,03	1,04	1,2	1	—
7		Куб со стороной r=400 мм *1* — перфорированная пленка винипласта-10 толщиной 0,4 мм, перфорация 33%; *2* — стеклоткань Э-0,1 (ГОСТ 19907—74*); *3* — супертонкое стекловолокно (ТУ 21-01-224-69); *4* — каркас из проволоки ⌀ 3 мм	0,96	1,7	15	"	1200	1600	0,07	0,19	0,73	0,89	1,11	1,05	1,06	1,12	—
8		То же, *3* — слой супертонкого стекловолокна (ТУ 21-01-224-69)	0,96	1,3	15	50	1200	1600	0,08	0,12	0,53	0,58	1,1	1,08	1,06	1,12	—
9		То же, *3* — слой минераловатных плит ПП-80 (ГОСТ 9573—72*)	0,96	2	80	25	1200	1350	0,18	0,25	0,53	0,61	1,03	1,1	1,07	0,99	—
10		То же, *1* — капроновая перфорированная ткань (артикул 33—28) толщиной 0,4 мм, перфорация 30%	0,96	1,7	80	25	1200	1350	0,25	0,27	0,35	0,54	0,71	0,81	0,85	0,98	—
11		То же, *3* — слой минераловатных плит ПП-80 (ГОСТ 9573—72*)	0,96	1	80	12	1200	1350	0,07	0,13	0,38	0,21	0,69	0,87	0,92	0,83	—
12		Куб со стороной r=500 мм из минераловатных плит с «набрызгом» толщиной 20 мм (ГОСТ 9573—72*) на каркасе из фанеры	1,5	5,5	—	—	2500 1500	—	0,85 0,66	0,97 0 75	1,65 1,40	1,50 1,26	1,72 1,57	1,72 1,53	1,57 1,47	— —	
13		Металлический перфорированный куб со стороной r=300 мм (диаметр перфорации 8 мм, шаг 16 мм), с внутренней стороны оклеен стеклотканью Э-0,1	0,54	—	—	—	1000	—	—	—	0,55	0,26	0,22	0,26	0,16	—	
14		Параллелепипед размером 120×600×150 мм *1* — стеклоткань Э-0,1 (ГОСТ 19907—74*);	1,98	3,5	15	Сплошное заполнение	1800	1500	0,08	0,13	0,41	0,96	1,08	1,01	0,96	0,96	

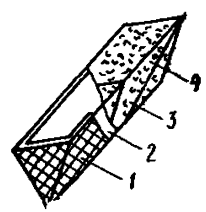
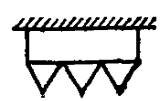
Продолжение табл. 10

№ п.п.	Схема конструкции	Конструктивные особенности	Площадь поверхности, м²	Масса, кг	Звукопоглощающий слой: средняя плотность, кгс/м³	Звукопоглощающий слой: толщина слоя, мм	Расстояние, мм: между центрами звукопоглотителей b	Расстояние, мм: между центром звукопоглотителя и ограждением H	Эквивалентная площадь звукопоглощения A, м², одного звукопоглотителя на среднегеометрической частоте октавной полосы, Гц: 63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Схема подвески
		3 — супертонкое волокно (ТУ 21-01-224-69); *4* — каркас из проволоки Ø 4 мм															
15		Параллелепипед размером 1200×600×150 мм *1* — перфорированная пленка винипласта-10 толщиной 0,4 мм, перфорация 33%; *2* — стеклоткань Э-0,1 (ГОСТ 19907—74*); *3* — супертонкое стекловолокно (ТУ 21-01-224-69); *4* — каркас из проволоки Ø 4 мм	1,98	3,7	15	Сплошное заполнение	1800	1500	0,07	0,17	0,52	0,90	1,25	1,02	0,95	0,86	—
16		Параллелепипед размером 1200×600×150 мм *1* — лавсановая пленка толщиной 24 мкм; *3* — супертонкое стекловолокно (ТУ 21-01-224-69); *4* — каркас из проволоки Ø 4 мм	1,98	3,5	15	То же	1800	1500	0,05	0,07	0,45	0,86	1,01	0,92	0,70	0,53	—
17		То же, *3* — слой супертонкого стекловолокна	1,98	3,1	15	50	1800	1500	0,07	0,14	0,42	0,91	1,08	0,92	0,72	0,52	—
18		Параллелепипед размером 600×600×150 мм *1* — лавсановая пленка толщиной 24 мкм; *3* — отходы капроновых волокон; *4* — каркас из проволоки Ø 4 мм	1,08	2,6	25	Сплошное заполнение	1200	1350	0,21	0,32	0,79	1,04	1,06	0,78	0,68	0,67	
19		То же, *3* — супертонкое *базальтовое* волокно	1,08	2,3	20	То же	1200	1350	0,12	0,16	0,60	1,01	1,29	1,06	0,78	0,34	
20		Параллелепипед размером 600×600×150 мм *1* — перфорированная пленка винипласта-10 толщиной 0,4 мм, перфорация 33%; *2* — лавсановая пленка толщиной 24 мм; *3* — супертонкое базальтовое волокно *4* — каркас из проволоки Ø 4 мм	1,08	2,3	20	"	1200	1350	0,15	0,07	0,55	0,81	1,08	1,11	0,79	0,65	

Продолжение табл. 10

№ п. п.	Схема конструкции	Конструктивные особенности	Площадь поверхности, м²	Масса, кг	Звукопоглощающий слой: средняя плотность, кгс/м³	Звукопоглощающий слой: толщина слоя, мм	Расстояние, мм: между центрами звукопоглотителей b	Расстояние, мм: между центром звукопоглотителя и ограждением H	Эквивалентная площадь звукопоглощения A, м², одного звукопоглотителя на среднегеометрической частоте октавной полосы, Гц: 63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Схема подвески
21		То же, *1* — перфорированная капроновая ткань (артикул 33—28) толщиной 0,4 мм, перфорация 30%	1,08	2,1	20	Сплошное заполнение	1200	1350	0,12	0,20	0,48	1,24	1,31	2,20	0,94	**0,80**	—
22		Параллелепипед размером 600×600×300 мм *1* — перфорированная капроновая ткань (артикул 33—28); *2* — стеклоткань Э-0,1; *3* — супертонкое базальтовое волокно; *4* — каркас из проволоки ⌀ 4 мм	1,44	3,6	20	То же	1200	1350	0,16	0,38	0,90	1,80	1,82	2	2,2	2	-
23		Параллелепипед размером 600×600×450 мм	1,8	5,7	20	»	1200	1350	0,2	0,6	1,5	2	2,2	2,2	2,4	2,4	—
24		Кулиса из двух слоев полужесткого винипора толщиной по 25 мм, прикрепленных к деревянному каркасу размером 4000×400 мм; воздушный промежуток между плитами винипора 50 мм	3,2	7	75	»	500	1000	0,24	0,57	1	1,1	2,43	2,91	3,1	2,94	
25		Конический звукопоглотитель (A=300 мм, H=250 мм), заполненный стекловатой:															
		а) с металлическим кожухом, диаметр перфорации 10 мм, шаг 20 мм	0,14	0,7	125	»	1000 500	—	— —	— —	0,1 0,1	0,28 0,24	0,26 0,22	0,24 0,21	0,21 0,2	— —	
		б) с винипластовым кожухом, перфорация 38%	0,14	0,7	125	»	1000 500	—	— —	— —	0,1 0,1	0,17 0,14	0,27 0,24	0,26 0,22	0,27 0,17	— —	
		в) с алюминиевым кожухом, диаметр перфорации 10 мм, шаг 20 мм	0,14	—	—	»	1000	—	—	—	0,42	0,29	0,25	0,20	0,19	—	
		г) с металлическим кожухом, диаметр перфорации 10 мм, шаг 14 мм, A=500 мм, H=350 мм	0,34	—	125	»	1000	—	—	—	0,45	0,46	0,56	0,80	0,76	—	
26		Конический *поглотитель* (A=400 мм, H=300 мм), заполненный супертонким волокном:															
		а) с покрытием из перфорированной пленки винипла-	0,148	0,8	15	»	1200	1200	—	0,07	0,13	0,38	0,54	0,49	0,46	0,38	—

Продолжение табл. 10

№ п.п.	Схема конструкции	Конструктивные особенности	Площадь поверхности, м²	Масса, кг	Звукопоглощающий слой: средняя плотность, кгс/м³	Звукопоглощающий слой: толщина слоя, мм	Расстояние, мм: между центрами звукопоглотителя b	Расстояние, мм: между центром звукопоглотителя и ограждением l_1'	Эквивалентная площадь звукопоглощения A, м², одного звукопоглотителя на среднегеометрической частоте октавной полосы, Гц: 63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Схема подвески
		ста-10, толщиной 0,4 мм, перфорация 33% со слоем стеклоткани Э-0,1															
		б) с покрытием из лавсановой пленки толщиной 24 мкм, со слоем супертонкого стекловолокна	0,148	0,2	15	50	1200	1200	0,03	0,06	0,14	0,34	0,44	0,45	0,32	0,25	—
27		Призматический звукопоглотитель	1,52	10	20	Сплошное заполнение	50	0	0,22	1,04	1,74	1,84	1,79	1,70	1,56	1,26	
		1 — металлические просечно-вытяжные листы толщиной 1 мм, перфорация 75%, размер ячейки 26×11, шаг 32 мм;															
		2 — стеклоткань Э-0,1 (ГОСТ 19907—74*);	2,27	10	20	То же	1000	1000	0,51	0,45	1,2	2,25	2,34	2,26	2,15	2,19	
		3 — супертонкое базальтовое волокно;															
		4 — каркас из проволоки ⌀ 6 мм	2,27	10	20	50	1000	1000	0,37	0,37	1,12	1,77	1,85	1,93	1,96	2,35	

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АКУСТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Таблица 11

Пористые звукопоглощающие материалы

Материал, ГОСТ, ТУ	Плотность, кг/м³	Оптимальные параметры волокна		Частота, Гц	Волновое сопротивление $W=X-jY$
		толщина, мкм	длина, см		
Холсты ультрасупертонкого базальтового волокна РСТ УССР 5013.76	20—25	1	3	250	3,4 —*j*1,7
				315	3,17—*j*1,5
				400	2,94—*j*1,32
				500	2,7 —*j*1,2
				630	2,47—*j*1,09
				800	2,26—*j*1
				1000	2,07—*j*0,9
				1250	1,87—*j*0,81
				1600	1,67—*j*0,74
				2000	1,5 —*j*0,65
				2500	1,35—*j*0,61
				3150	1,21—*j*0,57
				4000	1,11—*j*0,54
				5000	1,04—*j*0,53
				6300	1,01—*j*0,52
				8000	1,05—*j*0,5
Холсты ультрасупертонкого стекловолокна (СТУ 5707-3-65; ТУ 21-01-224-69)	8—10	2	8	250	2 —*j*0,9
				315	1,9 —*j*0,77
				400	1,8 —*j*0,65
				500	1,7 —*j*0,55
				630	1,6 —*j*0,45
				800	1,56—*j*0,35
				1000	1,52—*j*0,26
				1250	1,5 —*j*0,2
				1600	1,47—*j*0,15
				2000	1,45—*j*0,08
				3150	1,44—*j*0,06
				4000	1,44—*j*0,05
				5000	1,44—*j*0,04
				6300	1,44—*j*0,04
				8000	1,44—*j*0,04
Плиты из минеральной ваты марки ВФ на синтетических связках (ТУ 21-24-8-68)	70—100	8	4	250	1,85—*j*1,35
				315	1,7 —*j*1,25
				400	1,57—*j*1,15
				500	1,44—*j*1,05
				630	1,35—*j*0,95
				800	1,27—*j*0,85
				1000	1,2 —*j*0,75
				1250	1,14—*j*0,65
				1600	1,08—*j*0,56
				2000	1,04—*j*0,5
				2500	1,01—*j*0,45
				3150	1 —*j*0,4
				4000	1 —*j*0,38
				5000	1 —*j*0,35
				6300	1 —*j*0,31
				8000	1 —*j*0,29

Продолжение таблицы 11

Материал, ГОСТ, ТУ	Плотность, кг/м³	Оптимальные параметры волокна		Частота, Гц	Волновое сопротивление $W=X-jY$
		толщина, мкм	длина, см		
Плиты минераловатные на синтетическом связующем (ГОСТ 9573—72)	100	8	4	250	2,35—*j*0,7
				315	2,1 —*j*0,6
				400	1,9 —*j*0,5
				500	1,7 —*j*0,45
				630	1,45—*j*0,3
				1000	1,4 —*j*0,25
				1250	1,3 —*j*0,2
				1600	1,2 —*j*0,15
				2000	1,1 —*j*0,1
				2500	1 —*j*0,05
				3150	1
				4000	1
				5000	1
				6300	1
				8000	1

Таблица 12

Ткани и пленки

Материал	ГОСТ, ТУ	Размеры, мм			Поверхностная масса, г/м²	Сопротивление продуванию σ, кгс/(см²·с)
		длина	ширина	толщина		
Стеклоткань Э-0,08	ГОСТ 8481-75	Рулон	600	—	27	33
Стеклоткань Э-0,1	ГОСТ 19907-74*	»	1000	—	70	20
Стеклоткань Э-0,12	МРТУ 6-11-68-67	»	1000	—	75	20—25
Стеклоткань декоративная ТСД	МРТУ 6-11-108-69	»	800	—	160	15—20
То же, ТСД-5	МРТУ 6-11-108-69	»	800	—	265	15—20
То же, ТСД-8	МРТУ 6-11-108-69	»	800	—	150	10—16
Сетка стеклянная тканая электроизоляционная марки СЭ (ССТЭ-6)	ГОСТ 8481—75	»	1000	—	200	20
Сетка стеклянная марки ССА	МРТУ 6-11-124-69	»	1050	—	40	30
Пленка полиэтилентерефталатная	МРТУ 6-05-1065-6	»	1500	0,025	35	—
Пленка полиэтиленовая	ГОСТ 10354—73	»	1400	0,03	28	—

Перфорированные покрытия

Таблица 13

Материал	ГОСТ, ТУ	Толщина, мм	Характеристика перфорации			
			вид перфорации	размер ячейки, мм	шаг, мм	коэффициент перфорации η, %
Просечно-вытяжные алюминиевые листы марки АМ-16	—	0,8	Ромбовидные отверстия	30×12	—	78
Просечно-вытяжные стальные листы	—	1,2	То же	26×11	—	75
Просечно-вытяжные алюминиевые листы	—	1	»	24×10	—	70
То же	—	1	»	11×5	—	50
Пленка из винипласта-10 перфорированная	ВТУ МХП 2023—49	0,4—0,6	Отверстия круглые	3	5	33
Пленка из винипласта-10 перфорированная и гофрированная	ГОСТ 15976—70	0,5	Отверстия овальные	4×3	5	33
Капроновая перфорированная ткань	—	0,1	То же	3×1,5	5	30
Перфорированные листы кровельной стали, окрашенные масляной краской	—	0,5	Отверстия круглые	5,5	10	24
Стеклосетка	—	0,2	Отверстия прямоугольные	3×2,5	—	50

Таблица 14

Плиточные звукопоглощающие материалы

Материал	ГОСТ, ТУ	Размеры, мм	Средняя плотность, кг/м³	Завод-изготовитель
Плиты ПА/О, минераловатные, акустические, перфорированные	ТУ 21-24-60-74	500×500×20	150	Комбинат «Красный строитель» (г. Воскресенск Моск. обл.)
Плиты ПА/С, минераловатные, акустические, отделка «набрызгом»	То же	500×500×20	150	То же

Продолжение таблицы 14

Материал	ГОСТ, ТУ	Размеры, мм	Средняя плотность, кг/м³	Завод-изготовитель
Плиты ПА/Д, минераловатные, акустические, декоративные	СТУ 35-604-63	500×500×20	130	Комбинат «Красный строитель» (г. Воскресенск Моск. обл.)
Плиты минераловатные, акустические на крахмальном связующем	ТУ МГИ 1-368-67	300×300×20	400	Павшинский завод гипсовых и термоизоляционных изделий (г. Красногорск Моск. обл.)
Винипор полужесткий	ТУ В-66-70	1000×500×30	120	Завод пластмассовых изделий (г. Нелидово Калининской обл.)
То же	То же	1000×500×50	120	То же

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

Введение 5
1. Назначение и область применения 5
2. Конструктивные решения объемных звукопоглотителей . . 5
3. Акустические параметры объемных звукопоглотителей . . 6
4. Требования к акустическим материалам 8
Звукопоглощающие пористо-волокнистые материалы . . 8
Защитные ткани и пленки 9
Перфорированные экраны 9
Звукопоглощающие материалы с офактуренной поверхностью 11
5. Проектирование объемных звукопоглотителей 11
Выбор параметров конструкции объемного звукопоглотителя 11
Размещение звукопоглотителей в объеме помещения . . 13
Расчет ожидаемого снижения шума 14
6. Примеры расчета 20
Приложение 1. Акустические характеристики объемных звукопоглотителей 26
Приложение 2. Физико-технические характеристики акустических материалов 35

НИИСК

НИИСФ

Руководство по проектированию и применению объемных звукопоглотителей для снижения шума в помещениях промышленных и общественных зданий

Редакция инструктивно-нормативной литературы
Зав. редакцией Г. А. Жигачева
Редактор Л. Г. Бальян
Мл. редактор Л. Н. Козлова
Технические редакторы В. М. Родионова, Ю. Л. Циханкова
Корректоры Л. С. Лелягина, Н. О. Родионова

Сдано в набор 28/V 1977 г. Подписано в печать 22/XI 1977 г.
Т-18197 Формат 84×108¹/₃₂ Бумага типографская № 2
2,10 усл. печ. л. (уч.-изд. 2,58 л.)
Тираж 20.000 Изд. № XII-7067 Зак. № 2783 Цена 15 коп.

Стройиздат
103006, Москва, Каляевская, 23а

Московская типография № 8 Союзполиграфпрома
при Государственном комитете Совета Министров СССР
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли
Хохловский пер., 7

gost.e-ecolog.ru