НИИСК Госстроя СССР

Руководство

по акустическому проектированию объемных звукопоглотителей



Москва 1984

gost.e-ecolog.ru

Оглавление Стр.

Предисловие 3
1. Акустические параметры объемных звукопоглотителей 4
2. Метод расчета коэффициента звукопоглощения объемного звукопоглотителя 6
3. Рекомендации по определению оптимальных параметров ОЗП 8
4. Описание алгоритма расчета акустических характеристик ОЗП 11
5. Пример расчета 18

Приложение 1. Программа расчета на ЭВМ частотной характеристики коэффициента звукопоглощения α_y, эквивалентной площади звукопоглощения $A_{шт}$ и радиуса зоны влияния h объемного звукопоглотителя 22

Приложение 2. Значения волнового сопротивления и импеданса звукопоглощающих материалов 25

Приложение 3. Расчетные частотные характеристики коэффициента звукопоглощения объемных звукопоглотителей из различных материалов 30

НИИСК Госстроя СССР

РУКОВОДСТВО
ПО АКУСТИЧЕСКОМУ ПРОЕКТИРОВАНИЮ
ОБЪЕМНЫХ ЗВУКОПОГЛОТИТЕЛЕЙ

Редакция инструктивно-нормативной литературы
Зав. редакцией Л.Г.Бальян
Редактор О.Г. Дриньяк
Младший редактор Л.М.Климова
Технический редактор Л.И.Шерстнева
Корректор В.И.Галюзова
Н/К

Подписано в печать 20.03.84 Т-06374. Формат 84x108 1/32 д.л. Набор машинолисный. Печать офсетная. Бумага офсетная. Усл. печ. л. 1,68. Усл. кр.-отт. 1,89. Уч.-изд.л. 1,70. Тираж 5000 экз. Изд. № ХП-9953
Заказ 337 Цена 10 коп.

Стройиздат, 101442, Москва, Каляевская, 23а

ПЭМ, Можайское ш., 25

Научно-исследовательский институт
строительных конструкций
(НИИСК) Госстроя СССР

Руководство
по акустическому проектированию объемных звукопоглотителей

Москва Стройиздат 1984

УДК 69.022.14:699.844

Рекомендовано к изданию решением НТС НИИСФ Госстроя СССР.

Руководство по акустическому проектированию объемных звукопоглотителей /НИИСК Госстроя СССР. – М.: Стройиздат. 1984. – 40 с.

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

Приводится методика расчета частотной характеристики коэффициента звукопоглощения, эквивалентной площади звукопоглощения и зоны влияния объемных звукопоглотителей (с использованием ЭВМ).

Для инженерно-технических работников, занимающихся акустическим благоустройством шумных помещений зданий общественного и промышленного назначения.

Табл., ил. 8

Р $\frac{3202000000-117}{047(01)-84}$ Инструкт.-нормат.– II вып. – 129 – 83

© Стройиздат, 1984

ПРЕДИСЛОВИЕ

Одним из эффективных методов снижения шума в помещениях общественных и промышленных зданий является акустическая отделка ограждающих конструкций. Для акустического благоустройства шумных помещений применяются звукопоглощающие облицовки на потолках и стенах, а также объемные (штучные) звукопоглотители.

Результаты исследований объемных звукопоглотителей свидетельствуют о том, что их можно применять как самостоятельно, так и в сочетании с другими строительно-акустическими средствами снижения шума, такими, как акустические подвесные потолки, звукопоглощающие облицовки стен, акустические экраны и др.

Наиболее целесообразно их использование в условиях, когда невозможно или малоэффективно применение акустической отделки ограждений ввиду большой высоты помещений, наличия светопрозрачных покрытий, большой площади остекления и др.

Для эффективного применения объемных звукопоглотителей необходимо знать их акустические характеристики. До настоящего времени ввиду сложности расчета они определялись экспериментальным путем при исследовании образцов объемных звукопоглотителей в реверберационных камерах.

Приведенная в данном руководстве методика дает возможность рассчитывать оптимальные значения акустических параметров объемного звукопоглотителя (характерный размер, условный коэффициент звукопоглощения, эквивалентную площадь звукопоглощения, радиус зоны влияния) для заданного спектра шума и подбирать звукопоглощающие материалы с оптимальными акустическими характеристиками.

Настоящее руководство разработано в развитие главы СНиП II-12-77 "Защита от шума" с целью облегчения проектирования объемных звукопоглотителей за счет использования ЭВМ.

Разработано НИИ строительных конструкций (канд. техн. наук В.Н. Мякшин, инж. Э.М. Сторожук) и НИИ строительной физики Госстроя СССР (канд. техн. наук Л.А. Борисов) при участии Киевского политехнического института (канд. техн. наук И.Л. Обозненко).

1. АКУСТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ОБЪЕМНЫХ ЗВУКОПОГЛОТИТЕЛЕЙ

1.1. Объемные звукопоглотители (ОЗП) представляют собой звукопоглощающие тела различной геометрической формы (сфера, куб, конус), которые размещаются в помещениях над источниками шума.

В общем случае ОЗП имеют легкий каркас в форме какого-либо геометрического тела, пористый звукопоглощающий заполнитель в защитной оболочке (из тканей или пленок) и перфорированное покрытие.

1.2. Основными акустическими характеристиками ОЗП являются условный коэффициент звукопоглощения α_y и эквивалентная площадь звукопоглощения $A_{шт} = \alpha_y S$, где α_y – средний условный коэффициент звукопоглощения на единицу поверхности звукопоглотителя; S – площадь поверхности звукопоглотителя, м^2.

Максимум коэффициента звукопоглощения (КЗП) в заданном диапазоне частот обусловлен размерами и формой ОЗП, акустическими свойствами пористого звукопоглощающего материала и защитных покрытий.

1.3. Размеры и форма ОЗП, обусловливающие его акустические свойства, характеризуются параметром kr, где r – характерный размер ОЗП (радиус сферы, сторона куба, приведенная высота конуса и т.п.), $k = 2\pi F/c_0$ – волновое число (F – частота звука, Гц; c_0 – скорость звука в воздухе, см/с).

1.4. Максимум коэффициента звукопоглощения ОЗП в заданном диапазоне частот зависит от отношения наибольшего поперечного размера ОЗП r к длине падающей звуковой волны λ; в области частот, где отношение $r/2\lambda < 1$, коэффициент звукопоглощения ОЗП может возрастать благодаря явлению дифракции до величины, большей единицы (в связи с чем он назван "условным").

В области частот, где $r/2\lambda > 1$, КЗП объемного звукопоглотителя приближается к КЗП плоской эквивалентной конструкции.

1.5. Акустическая эффективность ОЗП оценивается отношением $\gamma = \frac{\alpha_y}{\alpha_0}$, где α_0 – КЗП эквивалентной плоской конструкции.

1.6. Величина звукопоглощения группы ОЗП зависит от их размещения в помещении. Максимальное звукопоглощение достигается при расположении звукопоглотителей на расстояниях, определяемых их зонами влияния. Зона влияния представляет собой часть пространства вокруг ОЗП, в пределах которой происходит заметное искажение звукового поля за счет звукопоглощающих свойств ОЗП.

Величина зоны влияния определяется расстоянием между геометрическими центрами звукопоглотителей h (радиус зоны влияния) и расстоянием H между центром звукопоглотителя и плоскостью ограждения (потолка, стены).

Для ОЗП с площадью поверхности S оптимальное значение величин h и H находится экспериментально или определяется из выражения

$$h = H \approx 2\sqrt{\frac{\alpha_y S}{\pi}}. \qquad (1)$$

1.7. В помещении расположение ОЗП производится по квадратной сетке или в шахматном порядке. Возможно расположение ОЗП в двух уровнях в пределах их зоны влияния. ОЗП подвешиваются к потолку помещения над источниками шума с максимально возможным приближением к ним.

1.8. Акустические свойства звукопоглощающих материалов характеризуются удельным акустическим импедансом Z. В общем случае импеданс представляет собой комплексную величину $Z = R + jY$, где R – активная составляющая, обусловленная сопротивлением трения воздуха в порах материала; Y – реактивная составляющая, обусловленная реакцией массы и упругости волокон и воздуха.

В акустических расчетах применяется безразмер-

ный удельный акустический импеданс $\bar{Z}$, нормированный к волновому сопротивлению воздуха $\rho_0 c_0$, т.е. $\bar{Z} = Z/\rho_0 c_0$; $\bar{R} = R/\rho_0 c_0$; $\bar{y} = y/\rho_0 c_0$, где ρ_0 – плотность воздуха, кг/см^3.

1.9. Если толщина слоя звукопоглощающего материала достаточно велика по сравнению с длиной волны (сплошное заполнение ОЗП), то его импеданс $\bar{Z}$ стремится к значению волнового сопротивления материала $\bar{W} = \bar{W}_a + j\bar{W}_r$, где $\bar{W}_a$ – активная составляющая и $\bar{W}_r$ – реактивная составляющая волнового сопротивления. В этом случае с достаточной точностью принимается равенство импеданса материала его волновому сопротивлению $\bar{Z} \approx \bar{W}$.

1.10. Акустические свойства защитных покрытий (тканей, пленок, перфорированных экранов) также характеризуются импедансом $\bar{Z} = \bar{R} + j\bar{y}$. Импеданс акустических материалов и импеданс звукопоглощающих конструкций, состоящих из пористого материала в оболочке из ткани (пленки) и перфорированного покрытия, определяется согласно "Рекомендациям по расчету и проектированию звукопоглощающих облицовок".

2. МЕТОД РАСЧЕТА КОЭФФИЦИЕНТА ЗВУКОПОГЛОЩЕНИЯ ОБЪЕМНОГО ЗВУКОПОГЛОТИТЕЛЯ

2.1. В основу расчета КЗП объемного звукопоглотителя положено решение задачи о рассеянии плоской звуковой волны на поглощающей сфере. Звуковая мощность, поглощенная сферой, отнесенная к интенсивности падающей волны, называется эффективным сечением поглощения объемного поглотителя Q_a и представляется выражением

$$Q_a = \frac{\pi r^2}{(kr)^2} \sum_{n=0}^{\infty} (2n+1)(1-|B_n|^2), \qquad (2)$$

где $B_n = e^{i2\eta_n}$ – коэффициент отражения сферической волны порядка n;

η_n – фазовый угол рассеяния звуковых волн, связанный с импедансом Z поверхности сферы соотношением

$$tg\eta_n = \frac{-iZ/\rho c D_n' \sin\delta_n' + D_n \sin\delta_n}{-iZ/\rho c D_n' \cos\delta_n' + D_n \cos\delta_n}. \quad (3)$$

Примечание. Под эффективным сечением поглощения понимают площадь, ориентированную нормально к падающему потоку звуковой энергии и преграждающую путь такому количеству падающей звуковой мощности, которая равна поглощенной.

При делении величины Q_a на площадь поверхности сферы S получают безразмерный условный коэффициент звукопоглощения α_y, который для плоской звуковой волны определяется выражением

$$\alpha_y = \frac{Q_a}{S} = \frac{0{,}25}{(kr)^2} \sum_{n=0}^{\infty} (2n+1)(1-|B_n|^2), \quad (4)$$

где

$$B_n = e^{i2\eta_n} \frac{1 + D_n'/D_n\{[\bar{y}\cos(\delta_n - \delta_n') - \bar{R}\sin(\delta_n - \delta_n')] -}{1 + D_n'/D_n\{[\bar{y}\cos(\delta_n - \delta_n') + \bar{R}\sin(\delta_n - \delta_n')] -}$$

$$\frac{-i[\bar{R}\cos(\delta_n - \delta_n') + \bar{y}\sin(\delta_n - \delta_n')]\}}{-i[\bar{R}\cos(\delta_n - \delta_n') - \bar{y}\sin(\delta_n - \delta_n')]\}}. \quad (5)$$

2.2. Вычисление диффузного условного коэффициента звукопоглощения сферического ОЗП с радиусом r и импедансом $\bar{Z} = \bar{R} + j\bar{y}$, , производится по формуле

$$\alpha_y = \frac{4}{(kr)^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(2n+1)\bar{R}\sin(\delta_n - \delta_n')}{D_n/D_n' + 2[\bar{y}\cos(\delta_n - \delta_n') + \bar{R}\sin(\delta_n - \delta_n') + D_n'/D_n(\bar{y}^2 + \bar{R}^2)]}, \quad (6)$$

где $k = 1{,}83 \cdot 10^{-4} F$ – волновое число в воздухе, 1/см;

F – частота звука, Гц;

r – радиус сферы, см;

$\bar{R}, \bar{y}$ – активная и реактивная составляющие импеданса поверхности сферы, выраженного в долях ρc волнового сопротивления воздуха;

$D_n(kr) = \sqrt{[j_n(kr)]^2 + [n_n(kr)]^2}$ – амплитуды сферических функций Бесселя;

$D_n'(kr) = \sqrt{[j_n'(kr)]^2 + [n_n'(kr)]^2}$ – производные амплитуд сферических функций Бесселя;

$j_n(kr), j_n'(kr)$ – сферические функции Бесселя I рода и их производные;

$n_n(kr), n_n'(kr)$ – сферические функции Бесселя II рода и их производные (функции Неймана);

δ_n, δ_n' – фазовые углы сферических функций Бесселя и их производные;

n – порядок звуковой волны ($n = 0, 1, 2, \ldots, N$);

kr – параметр, являющийся аргументом при вычислении функций Бесселя (а также их амплитуд D_n, фазовых углов δ_n и их производных D_n', δ_n').

Программа расчета диффузного условного коэффициента звукопоглощения по данной формуле на ЭВМ приведена в прил. 1.

3. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ОЗП

3.1. Для достижения максимальных значений условного коэффициента звукопоглощения ОЗП в заданном диапазоне частот необходимо:

определить расчетную частоту F_p, на которой должен находиться максимум условного КЗП α_y объемного звукопоглотителя;

определить оптимальный характерный размер r объемного звукопоглотителя;

выбрать звукопоглощающий материал и защитное покрытие ОЗП с оптимальными акустическими характеристиками;

рассчитать частотную характеристику условного КЗП α_y и величину эквивалентной площади звукопоглощения $A_{шт}$ в нормируемом диапазоне частот;

определить величину радиуса зоны влияния h ОЗП.

3.2. По заданному спектру шума определяется диапазон частот, где уровни звукового давления превышают допустимые значения; выбирается расчетная частота F_p, на которой превышение допустимых уровней звукового давления наибольшее.

3.3. Радиус сферы $r_{сф}$, для которого приведенные значения параметра kr лежат в максимальном диапазоне частот, где уровни звукового давления превышают допустимые значения (согласно п. 3.2) определяются по табл. 1.

Примечание. Значения параметра kr, приведенные в табл. 1 для данного значения $r_{сф}$, удовлетворяют условию максимума α_y в пределах границ указанного диапазона частот (согласно условию $r/2\lambda < 1$). За пределами указанных диапазонов α_y ОЗП приближается к α_0 эквивалентной плоской конструкции.

Таблица 1

Радиус сферы $r_{сф}$, см	Значения параметра kr на среднегеометрической частоте октавных полос $F_р$, Гц							
	125	160	200	250	315	400	500	630
15	0,343	0,439	0,549	0,686	0,864	1,098	1,372	1,729
20	0,457	0,585	0,732	0,915	1,153	1,464	1,83	2,3
25	0,572	0,732	0,915	1,143	1,44	1,830	2,287	2,88
30	0,686	0,878	1,098	1,372	1,729	2,196	2,745	3,458
40	0,915	1,17	1,464	1,83	2,3	2,928	3,660	4,611

Продолжение табл. 1

Радиус сферы $r_{сф}$, см	Значения параметра kr на среднегеометрической частоте октавных полос $F_р$ Гц							
	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000
15	2,196	2,745	3,431	4,392	5,49	6,862	8,646	10,98
20	2,928	3,66	4,557	5,856	7,32	9,15	11,53	–
25	3,66	4,575	5,718	7,320	9,15	11,43	–	–
30	4,392	5,49	6,862	8,784	10,98	–	–	–
40	5,856	7,32	9,150	11,71	–	–	–	–

3.4. По выбранному радиусу $r_{сф}$ на частоте $F_р$ из табл. 1 определяется значение параметра kr.

3.5. Для данного параметра kr по табл. 2 определяются оптимальные значения составляющих импеданса ($\bar{R}_0$, $\bar{G}_0$) ОЗП.

Таблица 2

Параметр kr	Составляющие импеданса		Параметр kr	Составляющие импеданса	
	$\bar{R}_0$	$\bar{y}_0$		$\bar{R}_0$	$\bar{y}_0$
0,35	0,19	-0,2	2,9	0,8	-0,6
0,45	0,2	-0,24	3,45	0,86	-0,64
0,55	0,26	-0,25	3,65	0,93	-0,65
0,65	0,33	-0,26	4,4	0,96	-0,66
0,7	0,38	-0,28	4,55	1	-0,65
0,75	0,39	-0,3	4,6	1	-0,65
0,85	0,4	-0,31	5,5	1,05	-0,65
0,9	0,42	-0,32	5,7	1,09	-0,65
1,1	0,44	-0,33	5,85	1,3	-0,66
1,15	0,46	-0,35	6,85	2,3	-0,66
1,35	0,57	-0,39	7,3	1,13	-0,66
1,4	0,6	-0,4	8,65	1,2	-0,66
1,45	0,62	-0,41	8,75	1,22	-0,66
1,7	0,72	-0,45	8,8	1,14	-0,66
1,75	0,74	-0,49	9,15	1,19	-0,65
1,85	0,77	-0,48	11	1,10	-0,65
2,2	0,78	-0,5	11,45	1,21	-0,66
2,3	0,82	-0,54	11,55	1,2	-0,65
2,75	0,83	-0,56	11,7	1,23	-0,66
2,85	0,84	-0,6	-	-	-

Примечание. Значения $\bar{R}_0$ и $\bar{y}_0$ получены путем усреднения оптимальных величин $\bar{R}$ и $\bar{y}$, вычисленных по формуле (6) из условия максимума КЗП (при коэффициенте отражения, равном нулю) для различных мод колебаний n.

3.6. По справочной литературе подбираются акустические материалы заполнения ОЗП и защитного покрытия с такими характеристиками, чтобы суммарные значения составляющих импеданса $\bar{R}_\Sigma$, $\bar{y}_\Sigma$ этих материалов (импеданс ОЗП) на расчетной частоте F_p были близки к оптимальным $\bar{R}_0$, $\bar{y}_0$.

3.7. Значения составляющих импеданса акустичес-

ких материалов и звукопоглощающих конструкций определяются согласно "Рекомендациям по расчету и проектированию звукопоглощающих облицовок".

3.8. Экспериментальные значения составляющих импеданса $\bar{R}$, $\bar{y}$ и волнового сопротивления W_r, W_i некоторых акустических материалов приведены в табл. 1, 2 прил. 2.

Если ОЗП имеет слой звукопоглощающего материала толщиной 50 мм, то составляющие импеданса $\bar{R}_м, \bar{y}_м$ могут выбираться по табл. 1 прил. 2, если ОЗП заполняется звукопоглощающим материалом полностью, то согласно п.1.9,, составляющие волнового сопротивления этого материала W_r, W_i могут выбираться по табл. 2, прил. 2.

3.9. Характерным размером сферического ОЗП является радиус сферы $r_{сф}$. Для ОЗП другой формы характерным размером является эквивалентный радиус $r_{экв}$, который определяется из условия равенства объемов сферического ОЗП $V_{сф}$ и ОЗП данной формы V.

Например, для ОЗП, имеющего форму куба, характерный размер - сторона куба $r_{экв_к}$, определяется из равенства объемов $V_{сф} = V_к$, где $V_{сф} = \frac{4}{3}\pi r_{сф}^3$; $V_к = r_{экв_к}^3$ и $r_{экв_к} = \sqrt[3]{\frac{4}{3}\pi r_{сф}^3}$.

3.10. Расчет частотных характеристик α_y, $A_{шт}$ и радиуса зоны влияния (h) ОЗП производится на ЭВМ по программе, приведенной в прил. 1.

4. ОПИСАНИЕ АЛГОРИТМА РАСЧЕТА АКУСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОЗП

4.1. Для расчета акустических характеристик ОЗП разработан алгоритм на языке ФОРТРАН для ЭВМ ЕС-1030, а также для других ЭВМ типа ЕС, работающих в операционной системе DOS.

Программа расчета предусматривает вычисление условного КЗП α_y и эквивалентной площади звукопоглощения $A_{шт}$ объемного сферического звукопоглотителя в октавных или 1/3 октавных полосах час-

тотного диапазона 62,5–8000 Гц, а также определение расчетной величины радиуса зоны влияния одиночного ОЗП.

Данная программа предусматривает также расчет параметров ОЗП кубической формы, объем которого эквивалентен объему сферического ОЗП.

В программе приняты условные обозначения, приведенные в табл. 3.

4.2. Для проведения расчета в программу вводятся следующие исходные данные:

количество частот N (для октавных полос $N = 8$, для 1/3 октавных $N = 16$);

значения составляющих импеданса ОЗП: активной $\bar{R}_\Sigma$ и реактивной $\bar{y}_\Sigma$;

радиус сферического объемного звукопоглотителя $r_{сф}$.

Исходные данные записываются на бланках по формам № 1 или 2 (рис. 1,2). Если расчет ведется в октавных полосах частот, то на бланке № 1 в первой строке на второй позиции перфокарты (ПК) записывается число 8; если в 1/3 – октавных полосах, то на бланке № 2 в первой строке на первой и второй позициях ПК записывается число 16.

Запись значений активной и реактивной составляющих импеданса производится в колонках бланка на восьми или шестнадцати строках, согласно количеству принятых частот.

Значение импеданса на каждой из частот записывается в строке на семи позициях ПК, из которых первая, вторая и третья служат для записи целой части числа (положительного или отрицательного); в четвертой позиции ставится точка, разделяющая целую часть числа от дробной; пятая, шестая и седьмая позиции заполняются дробной частью числа или нулями.

Значение $r_{сф}$ ОЗП в виде целого или дробного числа записывается на бланке № 1 или 2 аналогичным образом.

Таблица 3

Исходные данные			Результаты расчета		
Наименование	Обозначение		Наименование величин	Обозначение	
	в расчетных формулах	в программе		в расчетных формулах	в программе
Среднегеометрическое значение частоты в октавных или 1/3 октавных полосах	F	F	Параметр kr	kr	x
			Условный коэффициент звукопоглощения сферического ОЗП	$\alpha_у$	SUMMA
Количество частот	–	N	Эквивалентная площадь звукопоглощения на один ОЗП (сферический или эквивалентный ему кубический)	$A_{шт}$	SUMMA1
Активная составляющая импеданса ОЗП	$\bar{R}_\Sigma$	SOPR			
Реактивная составляющая импеданса ОЗП	$\bar{y}_\Sigma$	SOREAK			
Радиус сферы ОЗП	$r_{сф}$	R	Условный коэффициент звукопоглощения кубического ОЗП	$\alpha_{у_к}$	SUMMAK
			Сторона кубического ОЗП	$r_{экв_к}$	$R1$
			Радиус зоны влияния сферы	$h_{сф}$	$H1$
			То же, куба	$h_к$	$H2$

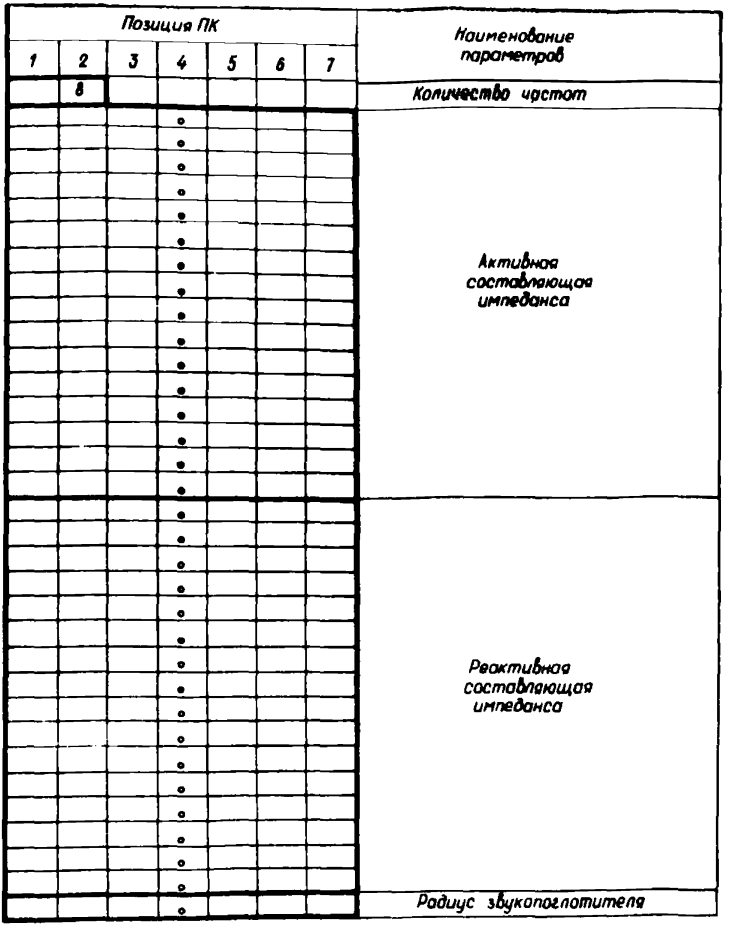


Рис. 1. Бланк исходных данных № 1

4.3. Алгоритм расчета по формуле (6) имеет следующие этапы:

1. В память машины задается массив (DIMENSION) значений последовательного ряда функций Бесселя I рода – $B1(200)$, II рода – $B2(200)$ и их производных – $B1PR(200)$, $B2PR(200)$.

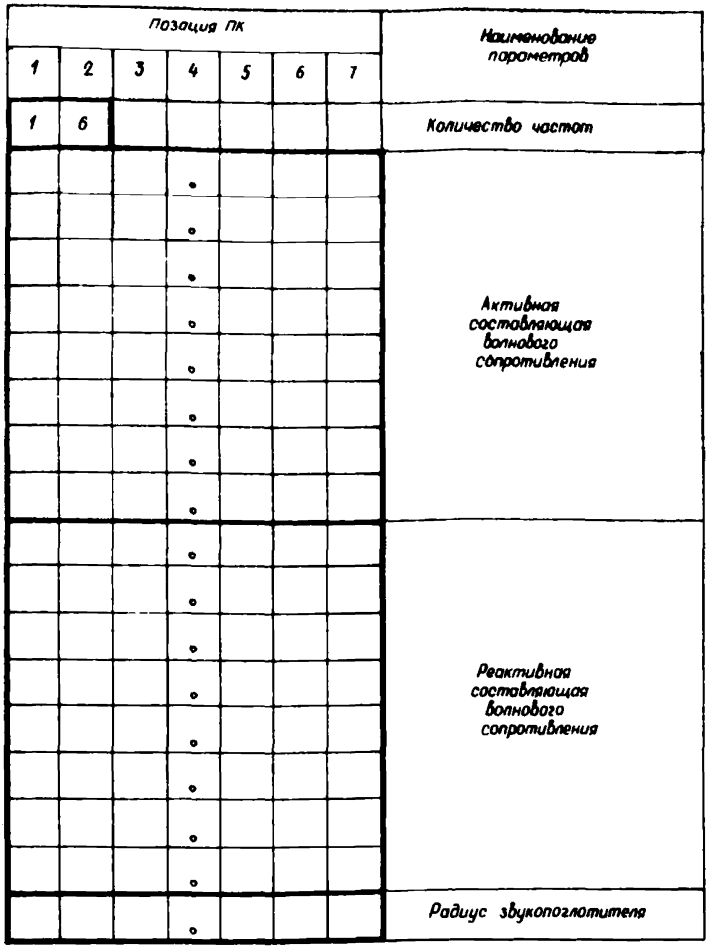


Рис. 2. Бланк исходных данных № 2

2. Вычисляется параметр kr – аргумент функций (обозначенный x)

$$x = 6{,}28\,RF/3400, \qquad (8)$$

где R – радиус сферического ОЗП, см;

F – частота звука, Гц.

3. По стандартной подпрограмме ЭВМ для аргумента x вычисляются сферические функции Бесселя I рода, обозначенные $B1(K)$, II рода – $B2(K)$ и их производные – $B1PR(K)$, $B2PR(K)$, где K – порядок функции ($K = 1, 2, 3, \ldots, M$). Для образования последовательного ряда функций с порядком от 0 до M отдельно формируются нулевые значения функций Бесселя, обозначенные $B1$, $B2$ и их производные – $B1PR$, $B2PR$ при $K = 0$.

Для малых значений аргумента $x < 4$ количество членов последовательного ряда функций принимается равным семи ($M = 7$), так как функции более высоких порядков стремятся к нулю. При аргументе $x > 4$ количество членов ряда принимается равным удвоенному целому числу аргумента x, т.е. $[M = INT(2x)]$, что обеспечивает достаточную точность вычисления КЗП.

4. По алгебраическим выражениям вычисляются следующие величины:

а) амплитуды $D_n(kr)$ функций Бесселя, обозначенные A

$$A = \sqrt{[B1(K)]^2 + [B2(K)]^2}, \qquad (9)$$

и их производные $D'_n(kr)$, обозначенные APR

$$APR = \sqrt{[B1PR(K)]^2 + [B2PR(K)]^2}; \qquad (10)$$

б) синусы и косинусы разности фазовых углов функций Бесселя, обозначенные $D1$ и $D2$,

$$D1 = 1/A \cdot APR \cdot x^2, \qquad (11)$$

$$D2 = \sqrt{1 - (D1)^2}; \qquad (12)$$

в) сумма последовательного ряда функций

$$S(K) = \frac{(2K+1)Z}{A/APR + 2(Y+Z) + APR/A \cdot C}, \qquad (13)$$

где

$$Z = SOPR \cdot D1$$
$$Y = SOREAK \cdot D2$$
$$C = (SOREAK)^2 + (SOPR)^2; \qquad (14)$$

г) КЗП сферического звукопоглотителя α_y, обозначенный SUMMA

$$SUMMA = 4S/x^2; \qquad (15)$$

д) эквивалентная площадь звукопоглощения $A_{шт}$ на один ОЗП, обозначенная SUMMA 1

$$SUMMA1 = SUMMA \cdot D3, \qquad (16)$$

где $D3 = 4\pi R^2$ – площадь поверхности сферы;

е) радиус зоны влияния $h_{сф}$ сферического ОЗП, обозначенный H1

$$H1 = 2\sqrt{SUMMA \cdot D3/\pi}, \qquad (17)$$

где значение *SUMMA* берется максимальным;

ж) КЗП кубического звукопоглотителя $\alpha_{у_к}$, обозначенный SUMMAK

$$SUMMAK = SUMMA/1{,}25; \qquad (18)$$

з) характерный размер кубического звукопоглотителя $r_{экв_к}$ (сторона куба), обозначенный *R1*

$$(R1) = \sqrt[3]{\frac{4\pi R^3}{3}}, \qquad (19)$$

где R – радиус сферического ОЗП, см;

и) радиус зоны влияния кубического звукопоглотителя $h_к$, обозначенный H2

$$H2 = 2\sqrt{SUMMAK \cdot 6(R1)^2/\pi}, \qquad (20)$$

где $6(R1)^2$ – площадь поверхности кубического ОЗП.

5. На выходе ЭВМ печатаются следующие величины: частота звука F (в октавных или 1/3 – октавных полосах); активная составляющая импеданса ОЗП (SOPR); реактивная составляющая импеданса ОЗП (SOREAK); параметр $kr(x)$; условный коэффициент звукопоглощения сферического ОЗП (SUMMA); эквивалентная площадь звукопоглощения на один ОЗП (сферический и кубический) (SUMMA1); условный коэффициент звукопоглощения кубического ОЗП (SUMMAK) эквивалентного сферическому; значения радиусов сферического ОЗП (см) и его зоны влияния (м); сторона эквивалентного кубического ОЗП (см) и радиус его зоны влияния (м).

6. По значениям SUMMA и SUMMA1 строятся графики частотных характеристик $\alpha_у$ и $A_{шт}$ в нормируемом диапазоне частот (62,5–8000 Гц).

Примечание. В прил. 3 приведены рассчитанные по данному алгоритму значения частотных характеристик α_y сферических ОЗП из различных звукопоглощающих материалов.

5. ПРИМЕР РАСЧЕТА

Определить оптимальные параметры объемного звукопоглотителя и его акустические характеристики α_y, $A_{шт}$, h для снижения шума в рабочей зоне помещения; спектр шума приведен в табл. 4.

Таблица 4

Наименование	Ссылка	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1. Уровень звукового давления на рабочем месте L, дБ	–	73	80	82	85	86	82	79	76
2. Допустимый уровень $L_{доп}$, дБ	ГОСТ 12.1. 003-76	99	92	96	83	80	78	76	74
3. Требуемое снижение шума $\Delta L_{тр}$, дБ	–	–	–	–	2	6	4	3	2

Решение.

1. Определяем требуемое снижение шума $\Delta L_{тр} = L - L_{доп}$, дБ (табл. 4, поз. 3).

2. Определяем диапазон частот, где уровни звукового давления превышают допустимые значения (ΔF = 500–8000 Гц). Находим расчетную частоту F_p=1000 Гц, где отмечается наибольшее превышение $L_{доп}$.

3. Определяем параметр kr ОЗП, обеспечивающий максимальное значение α_y на частоте $F_p \geqslant 1000$ Гц.

По табл. 1 определяем оптимальный радиус сферического ОЗП $r_{сф}$ = 15 см, так как для этого значе-

ния радиуса удовлетворяется условие максимума КЗП в наибольшем диапазоне частот, где требуется снижение шума.

При $r_{сф}$ = 15 см на расчетной частоте $F_р$ = 1000 Гц находим значение параметра kr = 2,745.

4. По табл. 2 выбираем значение kr = 2,75 (близкое к kr = 2,745) и определяем соответствующие ему оптимальные значения активной и реактивной составляющих импеданса ОЗП ($\bar{R}_o$ = 0,83 и $\bar{y}_o$ = = -0,56).

5. По табл. 1 прил. 2 выбираем звукопоглощающий материал ОЗП, у которого на частоте $F_р$ = 1000 Гц значения составляющих импеданса $\bar{R}_м$ и $\bar{y}_м$ близки к оптимальным $\bar{R}_o$ и $\bar{y}_o$.

Принимаем плиты из штапельного стекловолокна марки Б (δ = 50 мм, γ = 40-60 кг/м^3), у которых $\bar{R}_м$ = 0,8 и $\bar{y}_м$ = -0,7. Значения $\bar{R}_м$ и $\bar{y}_м$ на среднегеометрических частотах октавных полос приводим в табл. 5, поз. 1.

6. В качестве защитного покрытия ОЗП выбираем стеклоткань типа Э1-100. Значения составляющих импеданса стеклоткани $\bar{R}_т$ и $\bar{y}_т$ и суммарные значения составляющих импеданса ОЗП ($\bar{R}_Σ$ и $\bar{y}_Σ$) определяем согласно "Рекомендациям по расчету и проектированию звукопоглощающих облицовок". Результаты расчета приводим в табл. 5 (поз. 3).

Для ввода данных в программу расчета на бланке исходных данных № 1 записываем следующие величины: количество частот N = 8, значения $\bar{R}_Σ$ и $\bar{y}_Σ$ для каждой октавной полосы и радиус сферического ОЗП $\bar{R}$ = 15 см (рис. 3).

8. Производим вычисления на ЭВМ и получаем акустические характеристики $\alpha_y, \alpha_{y_к}, A_{шт}, h$ сферического и эквивалентного ему кубического ОЗП со стороной 24,1 см. Результаты расчета приведены в табл. 6.

9. Принимаем ОЗП в форме куба.

Кубический ОЗП имеет размер стороны 24 см, выполнен из плит штапельного стекловолокна марки Б толщиной 50 мм γ = 40-60 кг/м^3 с защитным пок-

Таблица 5

Импеданс	Обозначение	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1. Импеданс плит из штапельного стекловолокна марки Б толщиной 50 мм, γ = =40–60 кг/м^3	$\bar{R}_м$	0,7	0,8	1,2	0,8	0,8	1	1,26	1,43
	$\bar{g}_м$	–4,4	–4	–3,7	–1,7	–0,7	0,3	–0,24	0,39
2. Импеданс стеклоткани типа Э1-100	$\bar{R}_т$	0,44	–	–	–	–	–	–	–
	$\bar{g}_т$	–	0,03	0,07	0,13	0,23	0,42	0,56	–
3. Импеданс конструкции (ОЗП)	$\bar{R}_Σ$	1,14	0,8	1,2	0,8	0,8	1	1,26	1,43
	$\bar{g}_Σ$	–4,4	–3,97	–3,63	–1,57	–0,47	0,72	0,32	0,39

Таблица 6

Акустические характеристики	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Условный КЗП сферического ОЗП $\alpha_у$	0,235	0,22	0,405	1,707	2,092	1,068	1,168	1,076
Условный КЗП $\alpha_{у_к}$	0,188	0,176	0,324	1,366	1,673	0,854	0,934	0,861
Эквивалентная площадь звукопоглощения, $A_{шт}$, м^2	0,066	0,062	0,114	0,482	0,591	0,302	0,33	0,304

Позиция ПК							Наименование параметров
1	2	3	4	5	6	7	
	8						Количество частот
		1	.	1	4	0	Активная составляющая импеданса
		0	.	8	0	0	
		1	.	2	0	0	
		0	.	8	0	0	
		0	.	8	0	0	
		1	.	0	0	0	
		1	.	2	6	0	
		1	.	4	3	0	
	–	4	.	4	0	0	Реактивная составляющая импеданса
	–	3	.	9	7	0	
	–	3	.	6	3	0	
	–	1	.	5	7	0	
		0	.	4	7	0	
		0	.	7	2	0	
		0	.	3	2	0	
		0	.	3	9	0	
	1	5	.	0	0	0	Радиус звукопоглотителя

Рис. 3. Бланк исходных данных № 3

рытием из стеклоткани типа Э1-100; ОЗП размещаются в помещении по квадратной решетке с расстоянием между их геометрическими центрами $h_к = 0{,}86$ м. Необходимое число ОЗП в каждом конкретном случае определяется делением площади потолка помещения $S_{пот}$ на площадь зоны влияния ОЗП. В данном примере площадь зоны влияния равна $h_к^2 = 0{,}75$ м^2.

Приложение 1

Программа расчета на ЭВМ частотной характеристики коэффициента звукопоглощения α_y, эквивалентной площади звукопоглощения $A_{шт}$, и радиуса зоны влияния h объемного звукопоглотителя

Программа "Объемный звукопоглотитель"

```
        назначение
        ВЫЧИСЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ЗВУКОПОГЛОЩЕНИЯ
I     DIMENSION    BI(200),B2(200),BI PR(200),B2 PR(200)
2     DIMENSION TABL  I(I6), TABL 2(I6)
3       REAL   F 8(8)/62,56 I256250,500,I000,2000,4000,8000/,
               F I6(I6)/I25,3I5,400,500,630,800,I000,I250,
                       I600,2000,2500,3I50,4000,5000,6300,8000
        ВВОД КОЛИЧЕСТВА ЧАСТОТ ( N =8 или I6 )
4       READ  (I,I2) N
5       I2 FORMAT (I2)
        ВВОД ЗНАЧЕНИЙ АКТИВНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ
6       READ (I,2)  (TABLI(İ),İ=I,N)
7       2FORMAT(F 7,3)
        ВВОД ЗНАЧЕНИЙ РЕАКТИВНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ
8       READ (I,2)  (TABL2(İ), İ=I,N)
        ВВОД РАДИУСА ЗВУКОПОГЛОТИТЕЛЯ
9       READ (I,3) R
I0      3FORMAT(F 6.2)

          ГЕЧАТЬ ЗАГОЛОВКА

II        WRITE (3,7)
I2      7 FORMAT (/T18,'ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И РЕЗУЛЬТАТЫ'//
         *T9,'F',T20,'SOPR',T29,'SOREAK',T43,'X',T50,'SUMMA',
         *T59,'SUMMA1',T74,'SUMMAK'/)

          ЦИКЛ ВЫЧИСЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ ЗВУКОПОГЛОЩЕНИЯ

I3        SUMM1=0.00001
I4        SUMM2=0.00001
I5        DO 50 J1=1,N

          ВЫЧИСЛЕНИЕ АРГУМЕНТА

I6        IF (N.EQ.16) GO TO 61
I7        F=F8(J1)
I8        GO TO 62
I9     61 F=F16(J1)
20     62 X=6.28*R*F/34000
2I        IF (X.LT.4) GO TO 41
22        Y1=X*2
23        K1=INT(Y1)
24        GO TO 42
25     41 K1=7
26     42 DO 1 K=1,K1
27        CALL SSBJK (R1,X,K,IER)
28        K4=K+1
29        B1(K4)=R1
30        CALL SSBNK (R2,X,K,IER)
3I        B2(K4)=R2
32        CALL DERJK (DER,X,K,IER)
33        BIPR(K4)=DER
34        CALL DERNK (DER,X,K,IER)
```

```
      B2PR(K4)=DER
      CONTINUE
      K=0
      CALL SSBJK (B10,X,K,IER)
      CALL SSBNK (B20,X,K,IER)
      CALL DERJK (B1PR0,X,K,IER)
      CALL DERNK (B2PR0,X,K,IER)
      B1(1)=B10
      B2(1)=B20
      B1PR(1)=B1PR0
      B2PR(1)=B2PR0
      K3=K1+1
      S=0.
      DO 4 K=1,K3
      A= SQRT(B1(K)**2+B2(K)**2)
      APR=SQRT(B1PR(K)**2+B2PR(K)**2)
      D1=1/(A*APR*X**2)
      D2=SQRT(1-D1**2)
      SOPR=TABL1(J1)
      SOREAK=TABL2(J1)
      Z=SOPR*D1
      Y=SOREAK*D2
      C=(SOREAK**2)+(SOPR**2)
      S3=(2*(K-1)+1)*Z
      S4=A/APR*2*(Y+Z +C*APR/A
      S2=S3/S4
      S=S+S2
4     CONTINUE
      SUMMA=(S*4.)/X**2
      D3=(R/100)**2*12.56
      SUMMA1=SUMMA*D3
      SUMMAK=SUMMA/1.25
      R1=((4*3.14*R**3)/3)**0.333
```

```
      ГЕЧАТЬ ДАННЫХ И РЕЗУЛЬТАТОВ

   68     IF (N.EQ.16) GO TO 51
   69     WRITE (3,5) F8(J1),TABL1(J1),TABL2(J1),X,SUMMA,SUMMA1,SUMMAK
   70   5 FORMAT (4X,F8.3,3X,F8.3,3X,F8.3,3X,F8.3,3X,F8.3,3X,F8.3,3X,F6.3)
   71     GO TO 56
   72  51 CONTINUE
   73     WRITE (3,5) F16(J1),TABL1(J1),TABL2(J1),X,SUMMA,SUMMA1,SUMMAK
   74  56 IF (SUMM1.GT.SUMMA) GO TO 57
   75     SUMM1=SUMMA
   76  57 IF (SUMM2.GT.SUMMAK) GO TO 58
   77     SUMM2=SUMMAK
   78  58 CONTINUE
   79     HC=2*SQRT((SUMM1*D3)/3,14)
   80     HK=2*SQRT((SUMM2*6*(R1/100)**2)/3,14)
   81     WRITE (3,15) R,R1
   82  15 FORMAT (//T11,'РАДИУС СФЕРИЧЕСКОГО ЗВУКОПОГЛОТИТЕЛЯ',F6.2,
      *T70,'СТОРОНА КУБИЧЕСКОГО',F6.2)
   83     WRITE (3,17) HC,HK
   84  17 FORMAT (//T11,'ЗОНА ВЛИЯНИЯ',F6.2,T70,'ЗОНА ВЛИЯНИЯ',F6.2)
   85  24 RETURN
```

```
//*EXEC
```

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И РЕЗУЛЬТАТЫ

F	SOPR	SOREAK	X	SUMMA	SUMMA1	SUMMAK
62.500	1.140	-4.400	0.173	0.235	0.066	0.100
125.000	0.800	-3.970	0.366	0.828	0.062	0.176
250.000	1.200	-3.630	0.493	0.605	0.114	0.324
500.000	0.800	-1.570	1.385	1.787	0.482	1.366
1000.000	0.800	-0.470	2.771	2.892	0.591	1.673
2000.000	1.000	0.720	5.541	1.000	0.302	0.854
4000.000	1.260	0.320	11.082	1.168	0.330	0.934
8000.000	1.430	0.390	22.165	1.076	0.304	0.861

РАДИУС СФЕРИЧЕСКОГО ЗВУКОПОГЛОТИТЕЛЯ 15.00 СТОРОНА КУБИЧЕСКОГО 24.10

ЗОНА ВЛИЯНИЯ 0.87 ЗОНА ВЛИЯНИЯ 0.86

Приложение 2

Значения волнового сопротивления и импеданса звукопоглощающих материалов

Таблица 1

Значения импеданса слоя пористых звукопоглощающих материалов толщиной 50 мм

$\bar{Z} = \bar{R} + j\bar{y}$ (экспериментальные данные)

Материал	Составляющие импеданса	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1. Плиты из штапельного стекловолокна марки А γ = 50–60 кг/м^3, δ = 50 мм	$\bar{R}$	0,6	0,7	0,8	0,7	0,7	1,0	1,26	1,4
	$\bar{y}$	–4,2	–3,8	–3,4	–1,7	–0,6	0,2	0,27	0,2
2. Плиты из штапельного стекловолокна марки Б γ = 40–60 кг/м^3, δ = 50 мм	$\bar{R}$	0,7	0,8	1,2	0,8	0,8	1,0	1,26	1,43
	$\bar{y}$	–4,4	–4	–3,7	–1,7	–0,7	0,3	–0,24	0,39
3. Маты марки ВТ–4 из штапельного капронового волокна γ = 50–60 кг/м^3, δ = 50 мм	$\bar{R}$	0,6	0,6	0,8	0,6	0,4	0,7	1,04	–0,3
	$\bar{y}$	–4,6	–4,2	–3,8	–1,7	–0,6	0,4	1	0,38

Продолжение табл. 1

Материал	Составляющие импеданса	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
4. Плиты марки АТИМСС из штапельного стекловолокна γ = 25 кг/м^3, δ = 50 мм	$\bar{R}$	0,6	0,5	0,6	0,6	0,5	0,7	0,8	1,5
	$\bar{y}$	–4,6	–4,2	–3,7	–1,7	–0,6	0,4	–0,5	0,6
5. Маты марки ВТ–4С из штапельного капронового волокна γ = 50 кг/м^3, δ = 50 мм	$\bar{R}$	0,7	0,7	1	0,5	0,5	0,6	0,99	1,12
	$\bar{y}$	–5	–4,5	4	–1,6	–0,6	0,16	0,08	0,01
6. Материал АТМ–1 γ = 10 кг/м^3, δ = 50 мм	$\bar{R}$	0,6	0,6	0,7	0,8	1,0	1,7	1,26	0,8
	$\bar{y}$	–4,5	–4,2	–3,4	–1,1	–0,1	–0,2	0,18	0,4
7. Плиты минераловатные на фенольной связке γ = 75 кг/м^3, δ = 50 мм	$\bar{R}$	1	1,3	0,75	1,28	0,82	1,38	1,19	0,8
	$\bar{y}$	–6,2	–5,8	–3,3	–1,9	–0,5	0,38	–0,34	–0,2
8. Пенополиуретан γ = 40 кг/м^3, δ = 50 мм	$\bar{R}$	1	1	6	4	3,6	2,2	4,46	4,4
	$\bar{y}$	–5,4	–4,4	–3,3	0,2	1,9	1,4	0,17	0,49

Таблица 2

Значения волнового сопротивления $W = W_r - j W_i$ волокнистых звукопоглощающих материалов (экспериментальные данные)

Материал	Плотность ρ, кг/м^3	Составляющие волнового сопротивления	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
			63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Супертонкое стекловолокно (ТУ 21-РСФСР-224-75), диаметр волокна 2 мкм, длина волокна 10 см	10	W_r	2,6	2,13	1,8	1,57	1,4	1,28	1,2	1,14
		W_i	1,6	1,13	0,8	0,57	0,4	0,28	0,2	0,14
	15	W_r	3,355	2,67	2,18	1,84	1,59	1,42	1,29	1,2
		W_i	2,355	1,67	1,18	0,84	0,59	0,42	0,29	0,2
	20	W_r	4,05	3,16	2,53	2,08	1,76	1,54	1,38	1,26
		W_i	3,05	2,16	1,53	1,08	0,76	0,54	0,38	0,26
	25	W_r	4,63	3,58	2,82	2,29	1,91	1,64	1,45	1,31
		W_i	3,36	2,58	1,82	1,29	0,91	0,64	0,45	0,31
	30	W_r	5,1	3,91	3,06	2,45	2,03	1,73	1,51	1,35
		W_i	4,1	2,91	2,06	1,45	1,03	0,73	0,51	0,35
Базальтовое волокно (РСТ УССР 5013-76), диаметр волокна 1 мкм, длина волокна 10 см	10	W_r	3,258	2,603	2,133	1,8	1,567	1,4	1,28	1,2
		W_i	2,258	1,6	1,133	0,8	0,567	0,4	0,28	0,2
	12,5	W_r	3,8	3	2,407	1,995	1,704	1,497	1,352	1,248
		W_i	2,8	2	1,407	0,995	0,704	0,497	0,352	0,248

Продолжение табл. 2

Материал	Плотность ρ, кг/м3	Составляющие волнового сопротивления	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
			63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	15	W_r	4,33	3,365	2,672	2,182	1,836	1,591	1,418	1,295
		W_i	3,33	2,365	1,672	1,182	0,836	0,591	0,418	0,295
	20	W_r	5,307	4,058	3,162	2,529	2,08	1,76	1,54	1,38
		W_i	4,307	3,058	2,162	1,529	1,08	0,76	0,54	0,38
	25	W_r	6,139	4,65	3,58	2,824	2,29	1,192	1,645	1,455
		W_i	5,139	3,65	2,58	1,824	1,29	0,912	0,645	0,455
	30	W_r	6,8	5,116	3,91	3,058	2,455	2,029	1,727	1,513
		W_i	5,8	4,116	2,91	2,058	1,455	1,029	0,727	0,513
Минеральная вата (ГОСТ 9573-82), диаметр волокна 8 мкм, длина волокна 4 см	25	W_r	2,81	2,27	1,863	1,535	1,284	1,148	1,09	1,06
		W_i	1,81	1,27	0,863	0,535	0,284	0,148	0,09	1,06
	50	W_r	3,477	2,745	2,2	1,77	1,45	1,267	1,174	1,12
		W_i	2,477	1,745	1,2	0,77	0,45	0,267	0,174	0,12
	75	W_r	3,733	2,935	2,353	1,922	1,6	1,384	1,258	1,18
		W_i	2,733	1,935	1,353	0,922	0,6	0,384	0,258	0,18
	100	W_r	4,135	3,22	2,566	2,092	1,745	1,5	1,342	1,24
		W_i	3,135	2,22	1,566	1,092	0,745	0,5	0,342	0,24

Продолжение табл. 2

	125	W_r	4,654	3,593	2,831	2,287	1,896	1,615	1,426	1,3
		W_i	3,654	2,593	1,831	1,287	0,896	0,615	0,426	0,3
	150	W_r	5,235	4	3,124	2,5	2,05	1,73	1,509	1,358
		W_i	4,235	3	2,124	1,5	1,05	0,73	0,509	0,358
	175	W_r	5,85	4,44	3,433	2,72	2,21	1,848	1,593	1,417
		W_i	4,85	3,44	2,433	1,72	1,21	0,848	0,593	0,417
	200	W_r	6,48	4,89	3,75	2,94	2,37	1,965	1,677	1,477
		W_i	5,48	3,89	2,75	1,94	1,37	0,965	0,677	0,477
Штапельное стекловолокно (ГОСТ 10499-78), диаметр волокна 13 мкм, длина волокна 2 см	25	W_r	2,3	1,76	1,39	1,215	1,137	1,094	1,066	1,077
		W_i	1,3	0,76	0,39	0,215	0,137	0,094	0,066	0,077
	50	W_r	2,82	2,133	1,653	1,4	1,27	1,187	1,13	1,093
		W_i	1,83	1,133	0,653	0,4	0,27	0,187	0,13	0,93
	75	W_r	3,09	2,4	1,9	1,586	1,4	1,28	1,2	1,14
		W_i	2,09	1,4	0,9	0,586	0,4	0,28	0,2	0,14
	100	W_r	3,438	2,694	2,144	1,77	1,533	1,374	1,264	1,187
		W_i	2,438	1,694	1,144	0,77	0,533	0,374	0,264	0,187
	125	W_r	3,857	3,01	2,39	1,955	1,665	1,467	1,33	1,233
		W_i	2,857	2,01	1,39	0,955	0,665	0,467	0,33	0,233

Приложение 3

Расчетные частотные характеристики коэффициента звукопоглощения объемных звукопоглотителей из различных материалов

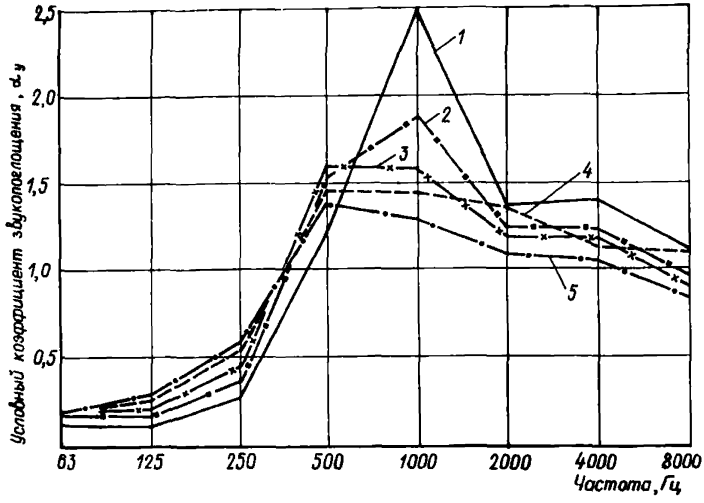


Рис. 1. Частотные характеристики расчетного КЗП объемных сферических звукопоглотителей различного радиуса r со слоем минераловатных плит толщиной 50 мм

1 – r = 10 см; 2 – r = 20 см; 3 – r = 30 см; 4 – r = 40 см; 5 – r = 50 см

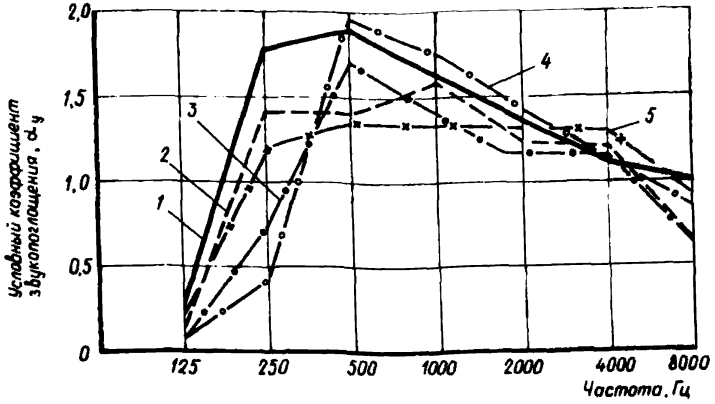
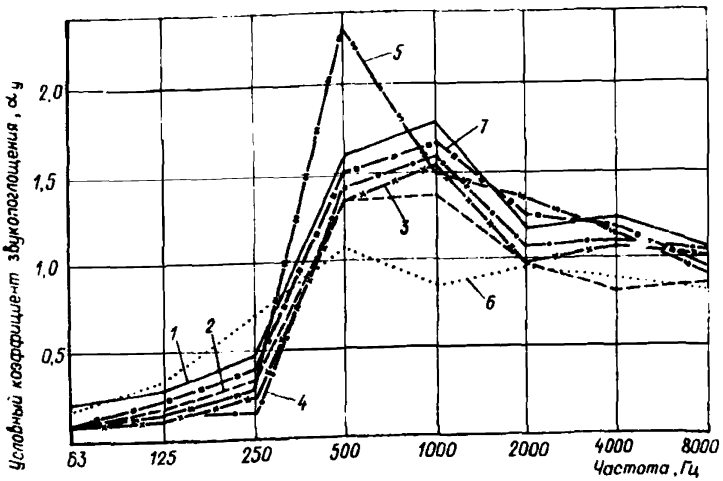


Рис. 2. Частотные характеристики расчетного КЗП объемного сферического звукопоглотителя радиусом 25 см с акустически прозрачным покрытием и слоем звукопоглощающего материала толщиной 50 мм 1 – холст СТВ; 2, 3, 4, 5 – базальтовое волокно диаметром 0,97 мкм, 0,62 мкм, 1,19 мкм, 1,06 мкм соответственно



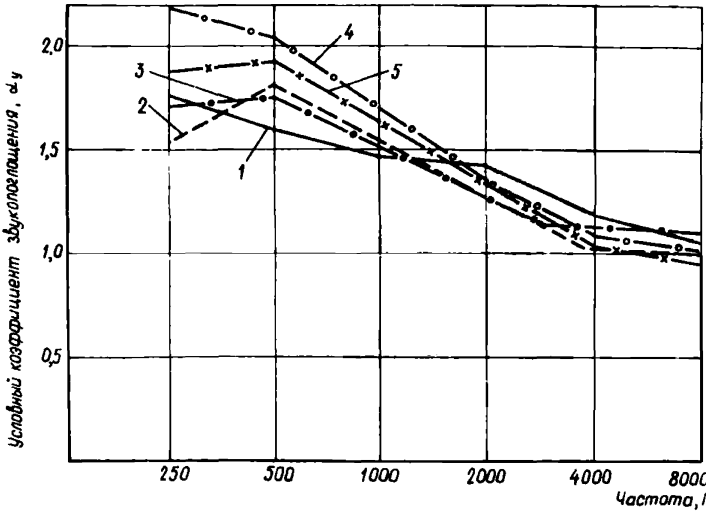


Рис. 4. Частотные характеристики расчетного КЗП объемного сферического звукопоглотителя радиусом 25 см с акустически прозрачным покрытием, заполненного волокнистым звукопоглощающим материалом

1 – минераловатные плиты, γ = 130 кг/м^3; 2 – минераловатные плиты, γ = 100 кг/м^3; 3 – холст СТВ, γ = 8–10 кг/м^3; 4 – штапельное стекловолокно, γ = =50–75 кг/м^3; 5 – базальтовое волокно, γ = 20–25 кг/м^3

Рис. 3. Частотные характеристики расчетного КЗП объемного сферического звукопоглотителя радиусом 25 см с акустически прозрачным покрытием и слоем звукопоглощающего материала толщиной 50 мм

1 – плиты из стекловолокна марки Б; 2 – маты ВТ–4 из капронового волокна; 3 – плиты АТИМСС из штапельного стекловолокна; 4 – маты Вт–4С из капронового волокна; 5 – маты АТМ–1; 6 – минераловатные плиты на фенольной связке; 7 – пенополиуретан

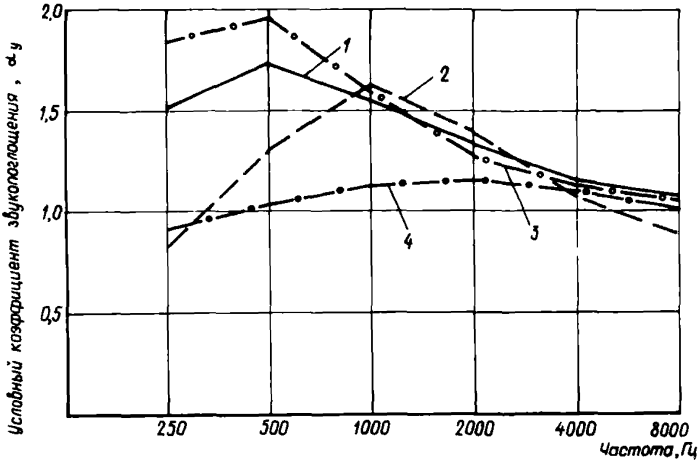


Рис. 5. Частотные характеристики расчетного КЗП объемного сферического звукопоглотителя радиусом 25 см с акустически прозрачным покрытием, заполненного звукопоглощающим материалом
1 – маты АТМ-1, γ = 10 кг/м^3; 2 – плиты АТИМСС, γ = 90–100 кг/м^3; 3 – маты ВТ-4С, γ = 50 кг/м^3; 4 – пенопласт полиуретановый, γ = 40 кг/м^3

gost.e-ecolog.ru