

**МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РФ**  
**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ**  
**УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ**  
**УНИВЕРСИТЕТ**  
**ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ**

---

**Кафедра "Безопасность полетов и жизнедеятельности"**

Т.Г. Феоктистова, О.Г. Феоктистова, Т.В. Наумова

**РАСЧЕТ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ**  
**ОТ ШУМА**

**МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ**  
**для выполнения практических работ**  
**по дисциплине**  
**"БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ"**

Москва - 2005

В данном методическом пособии изложены методы и порядок расчета средств звукоизоляции и звукопоглощения, применяемых для защиты от шумового воздействия в производственных помещениях.

Пособие предназначено для студентов всех специальностей, изучающих дисциплины «Безопасность жизнедеятельности» и «Производственная санитария и гигиена труда», а также может быть использовано при разработке вопросов безопасности производственных процессов в дипломных проектах.

Методическое пособие рассмотрено и одобрено на заседаниях кафедры "Безопасность полетов и жизнедеятельности" \_\_\_\_\_ 2005 г. и Методического совета специальности 330500 \_\_\_\_\_ 2005 г.

## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
1. ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ	4
2. РАСЧЕТ ЗВУКОИЗОЛЯЦИИ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ	8
2.1. Краткая теоретическая часть	8
2.2. Порядок расчета звукоизолирующего кожуха	11
2.3. Пример расчета	14
2.4. Расчетная работа № 1	16
3. РАСЧЕТ И ВЫБОР КОНСТРУКЦИЙ ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩЕЙ ОБЛИЦОВКИ	19
3.1. Краткая теоретическая часть	19
3.2. Порядок расчета звукопоглощающей облицовки	20
3.3. Пример расчета	26
3.4. Расчетная работа № 2	27
ЛИТЕРАТУРА	29
Приложение 1. ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМЫЕ УРОВНИ ЗВУКОВОГО ДАВЛЕНИЯ, УРОВНИ ЗВУКА И ЭКВИВАЛЕНТНЫЕ УРОВНИ ЗВУКА ДЛЯ ОСНОВНЫХ НАИБОЛЕЕ ТИПИЧНЫХ ВИДОВ ТРУДОВОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ И РАБОЧИХ МЕСТ	30
Приложение 2. ЗВУКОИЗОЛЯЦИЯ ОКНАМИ	33
Приложение 3. ЗВУКОИЗОЛЯЦИЯ ГЛУШИТЕЛЕЙ	34
Приложение 4. АКУСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ	35

## 1. ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Одним из отрицательных факторов окружающей среды на предприятиях промышленности является шум. К шуму относятся любые звуки, мешающие нормальному режиму труда и отдыха, независимо от их происхождения.

При расчете шумового режима и разработке рекомендаций по снижению шума приходится сталкиваться с двумя понятиями. Это:

- шумовые характеристики аппаратуры;
- уровни акустических шумов в производственных помещениях.

Основными шумовыми характеристиками машины и оборудования являются:

а) уровни звуковой мощности шума в октавных полосах со среднегеометрическими

частотами 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 и 8000 Гц ( $L_p$ );

б) скорректированный уровень звуковой мощности ( $L_{pa}$ );

в) фактор направленности шума ( $\Phi$ );

г) уровни звукового давления в октавных полосах частот, характеризующие спектральный состав шума ( $L$ );

д) уровни звука, под которыми понимают интегральный уровень шума, измеренный прибором с частотной характеристикой типа А ( $L_A$ ).

Уровни звукового давления, интенсивности и уровни звуковой мощности соответственно определяются по формулам:

$$L = 20 \lg (p/p_0); L_j = 10 \lg (J/J_0); L_p = 20 \lg (P/P_0);$$

где

$L, L_p, L_j$       Уровни звукового давления, интенсивности, звуковой мощности, дБ;

$p$                 Звуковое давление, Па;

J	Интенсивность звука, Вт/м <sup>2</sup> ;
P	Звуковая мощность, Вт;
p <sub>0</sub> ; J <sub>0</sub> ; P <sub>0</sub>	Соответствующие пороговые значения звукового давления, интенсивности и звуковой мощности; p <sub>0</sub> = 2·10 <sup>-5</sup> Па; J <sub>0</sub> = 10 <sup>-12</sup> Вт/м <sup>2</sup> ; P <sub>0</sub> = 10 <sup>-12</sup> Вт.

Одним из методов обеспечения безопасности работающих при воздействии шума является нормирование шума. Цель нормирования – установление предельно допустимых величин характеристик шума, которые при ежедневном систематическом воздействии в течение всего рабочего дня и в течение многих лет не могут вызвать заболеваний организма человека и не мешают его нормальной его нормальной трудовой деятельности.

Физиологическое воздействие шума на человека зависит от многих факторов: уровня звукового давления (интенсивности) шума, его частотного состава, временных характеристик, продолжительности действия, индивидуальных особенностей человека. Поэтому для нормирования выбирают основные характеристики, а остальные учитывают в виде поправок.

Предельные величины шума на рабочих местах регламентируются ГОСТ 12.1.003-76\* "Шум. Общие требования безопасности" и СН 2.2.4/2.1.8.562-96 "Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки". Нормируемой характеристикой являются уровни звукового давления в октавных полосах в дБ со среднегеометрическими частотами 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Гц. Нормы построены на принципе предельных спектров, которые служат для характеристики определенного шума одним числом (например, ПС-70) с учетом интенсивности и спектрального распределения шума. Номер предельного спектра численно равен уровню звукового давления в октавной полосе со среднегеометрической частотой 1000 Гц. Для ориентировочной оценки

допускается за характеристику постоянного шума на рабочем месте принимать уровень звука в дБА, измеряемый по шкале А шумомера.

Технические средства защиты от шума, применяемые на предприятиях, подразделяются на: средства коллективной защиты и средства индивидуальной защиты. В свою очередь акустические средства коллективной защиты подразделяются на: средства звукоизоляции, средства звукопоглощения и глушители.

Разработка и выбор средств защиты от шума производится на основании акустического расчета. Акустический расчет включает:

выявление расчетных точек, для которых производится расчет;

установление допустимых уровней шума для этих точек;

определение ожидаемых уровней звукового давления в расчетных точках до осуществления мероприятий по снижению шума;

определение требуемого снижения уровней звукового давления (УЗД) в расчетных точках.

Расчетные точки выбираются на рабочих местах в производственных помещениях на высоте 1,2 – 1,5 м от уровня пола. В помещениях с одним источником или несколькими источниками шума, имеющие одинаковые УЗД, выбирают две расчетные точки. Одна точка выбирается на рабочем месте в зоне прямого звука, а другая – на рабочем месте, расположенном в зоне отраженного звука. Если в помещении несколько разных по УЗД источников шума, то в зоне прямого звука выбирают две расчетные точки: на рабочих местах у источников с наибольшими и наименьшими УЗД.

Величина собственной звукоизоляции ограждений от воздушного шума, определяется по формуле:  $R = 10 \lg (1/\tau)$ ,

где

$R$  - Собственная звукоизоляция ограждений, дБ

$\tau = (p_1/p_2)$  - Коэффициент звукопередачи;

$p_1$  и  $p_2$  - Звуковое давление в падающей и проходящей волнах.

При акустических расчетах звукопоглощение в проходящих волнах характеризуется постоянной помещения  $V$ :

$$V = A / (1 - \alpha_{\text{ср}}) \quad (1.1)$$

$$\alpha_{\text{ср}} = A / S_{\text{общ}} \quad (1.2)$$

где

$V$  - Постоянная помещения,  $\text{м}^2$ ;

$\alpha_{\text{ср}}$  - Средний коэффициент звукопоглощения;

$A$  - Эквивалентная площадь звукопоглощения,  $\text{м}^2$ ;

$S_{\text{общ}}$  - Общая площадь всех ограждающих поверхностей помещения,  $\text{м}^2$ .

Звуковое поле, создаваемое источником шума в замкнутом объеме (помещении), определяется как прямой звуковой волной (прямым звуком  $L_{\text{пр}}$ ), излучаемым непосредственно самим источником шума, так и отраженной звуковой волной (диффузным звуком  $L_{\text{диф}}$ ) от ограждающих поверхностей. (В данном случае будем считать, что энергия отраженного звука равна энергии диффузного звука).

Зона отраженного звука определяется величиной предельного радиуса  $r_{\text{пр}}$ , т.е. таким расстоянием от источника шума, на котором уровень звукового давления отраженного звука равен уровню прямого звука.

Когда в помещении находится один источник шума:

$$r_{\text{пр}} = 0,2 \cdot (V_{8000})^{1/2}. \quad (1.3)$$

Когда в помещении находится  $n$  одинаковых источников шума:

$$r_{\text{пр}} = 0,2 \cdot (V_{8000} / n)^{1/2}. \quad (1.4)$$

Когда в помещении находятся разные источники шума:

$$r_{\text{пр}} = 0,2 \cdot [(V_{8000} \cdot 10^{0,1 L_{\text{pi}}}) / (\sum 10^{0,1 L_{\text{pi}}})]^{1/2}, \quad (1.5)$$

где  $V_{8000}$  – постоянная помещения на частоте 8000 Гц,  $\text{м}^2$ .

$L_{\text{pi}}$  – уровень звуковой мощности на частоте 8000 Гц, дБ.

Если в данную точку пространства приходят звуковые волны с уровнями  $L_i$ , то суммарный уровень определится по формуле:

$$L = 10 \cdot \lg \sum 10^{0,1L_i}, \quad (1.6)$$

Вместо формулы (1.6) можно пользоваться данными табл.1.1. При пользовании таблицей надо последовательно складывать уровни, начиная с максимального. Сначала определяют разность двух складываемых уровней, затем определяют по табл. 1.1 добавку к более высокому из складываемых уровней.

Таблица 1.1

Таблица сложения уровней звуковой мощности и давления

Разность двух складываемых уровней, дБ	0	1	2	3	4	5	6	7	9	10	15	20
Добавка к более высокому получению суммарного уровня, дБ	3	2,2	2	1,8	1,5	1,2	1	0,8	0,5	0,4	0,2	0

## **2. РАСЧЕТ ЗВУКОИЗОЛЯЦИИ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ**

### **2.1. КРАТКАЯ ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ**

К средствам звукоизоляции относятся звукоизолирующие ограждения, звукоизолирующие кабины, звукоизолирующие кожухи и акустические экраны. Их целесообразно применять в тех случаях, когда нужно существенно снизить интенсивность прямого звука на рабочих местах.

2.1.1. Требуемую звукоизоляцию от шума, создаваемого звуковой волной, распространяющейся по воздуху (воздушный шум) рассчитывают в октавных полосах частот 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 и 8000 Гц. Для проведения расчета определяют общее количество ограждений или элементов ограждений (стены, окна, двери, перекрытия и т. п.), через которые шум может проникать в изолирующее помещение. Требуемую звукоизолирующую способность



рассчитывают отдельно для каждого элемента ограждения (перекрытие, дверь и т. п.).

В случае проникновения шума из помещения с источником шума в смежное помещение (изолируемое), звукоизолирующая способность определяется по формуле:

$$R_{mp} = L_{p_{сум}} - 10 \cdot \lg B_{и} - 10 \cdot \lg B_{ш} + 10 \cdot \lg S_i + 6 - L_{доп} + 10 \cdot \lg m \quad (2.1)$$

или, если известен усредненный уровень шума в помещении  $L_{cp}$ :

$$R_{mp} = L_{cp} - 10 \cdot \lg B_{и} + 10 \cdot \lg S_i - L_{доп} + 10 \cdot \lg m \quad (2.2)$$

где

- $L_{p_{сум}}$  - Суммарный октавный уровень звуковой мощности всех источников шума в помещении, дБ
- $n$  - Общее количество источников шума в «шумном» помещении, шт.
- $B_{ш}$  и  $B_{и}$  - Соответственно постоянные «шумного» и изолируемого помещений,  $m^2$ ;
- $S_i$  - Площадь рассматриваемого ограждения или его элемента, через который шум проникает в соседнее помещение,  $m^2$ ;
- $L_{доп}$  - Допустимый уровень звукового давления в изолируемом помещении, дБ;
- $m$  - Общее количество принимаемых в расчет отдельных элементов ограждения, шт.;
- $L_{cp}$  - Средний октавный уровень звукового давления в шумном помещении, дБ.

2.1.2. Требуемая эффективность звукоизолирующего кожуха определяется

по формулам:  $\Delta L_{эф. mp} = L_p - 10 \cdot \lg S - L_{доп} + 5 \quad (2.3)$

$$\Delta L_{эф. mp} = L - L_{доп} + 5, \quad (2.4)$$

где

- $L_p$  - октавный уровень звуковой мощности шума, дБ
- $S$  - Площадь воображаемой поверхности правильной геометрической формы, окружающей машину и проходящей через расчетную точку,  $m^2$ ;
- $L$  - Октавный уровень звукового давления в расчетной точке, дБ;
- $L_{доп}$  - Допустимый уровень звукового давления в расчетной точке, дБ

Акустическая эффективность кожуха зависит от звукоизолирующей способности его стенок, размеров кожуха и источников шума, наличия звукопоглощающей облицовки под кожухом и от способа установки кожуха.

Акустическая эффективность кожуха можно определить по формуле

$$\Delta L_{эф.к} = R_k - 10 \cdot \lg \left( \frac{S_k}{S_{ист}} \right) \quad (2.5)$$

где

- $R_k$  - Изолирующая способность стенок кожуха, дБ, определяется по табл. 2.2;
- $S_{ист}$  - Площадь воображаемой поверхности, вплотную окружающей источник,  $m^2$ ;
- $S_k$  - Площадь поверхности кожуха,  $m^2$ .

Требуемая звукоизолирующая способность стенок кожуха зависит от требуемой эффективности и определяется по формуле:

$$R_{к.тр.} = \Delta L_{эф.тр.} + 10 \cdot \lg \left( \frac{S_k}{S_{ист}} \right) \quad (2.6)$$

Если звукоизолирующая способность стенки кожуха ниже  $R_{к.тр.}$ , то следует увеличить толщину стенки или заменить материал кожуха, или нанести на внутренние поверхности кожуха слой звукопоглощающего материала.

## 2.2. ПОРЯДОК РАСЧЕТА ЗВУКОИЗОЛИРУЮЩЕГО КОЖУХА

Расчет звукоизолирующего кожуха проводится в следующем порядке:

2.2.1. Определяют требуемую звукоизоляцию кожуха  $L_{к.тр.}$  по формуле (2.3).

Для этого определяем площадь воображаемой поверхности правильной геометрической формы, окружающей машину и проходящей через расчетную точку (РТ) -  $S$ ,  $m^2$ .

Например, для прямоугольного параллелепипеда (см. рис.2.1):

$$S = 2(b + 2 \cdot a)h + 2(L + 2 \cdot a)h + (b + 2 \cdot a)(L + 2 \cdot a).$$

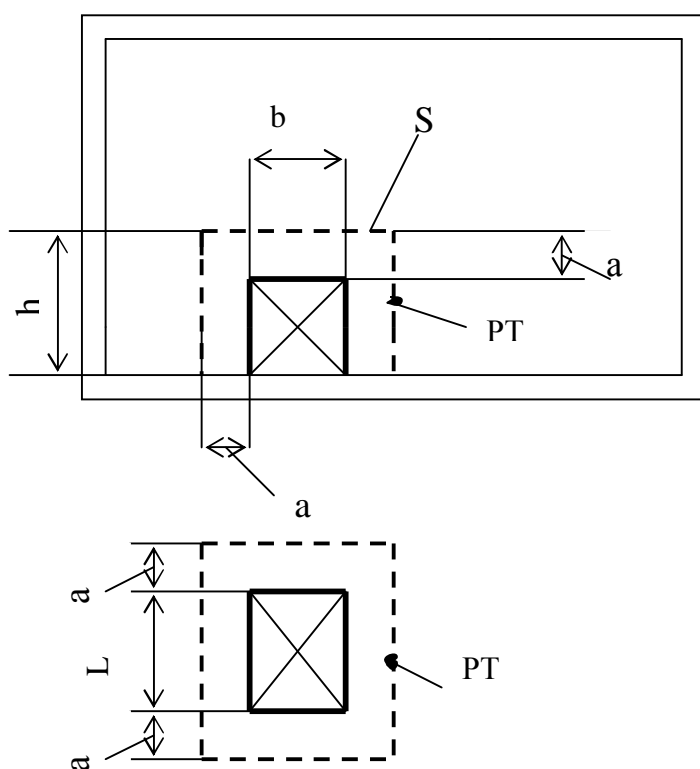


Рис. 2.1. Схема источника шума и расчетной точки

Допустимые уровни звукового давления принимаются по СН 2.2.4/2.1.8.562-96 (см. таблицу Приложения 1).

2.2.2. В соответствии с формой машины и условиями ее эксплуатации выбирают форму кожуха и его конструкцию (размеры зазоров и граней, звукопоглощающий материал для облицовки, необходимые отверстия).

2.2.3. Определяют требуемую звукоизоляцию элементов кожуха по формуле (2.6).

По таблице 2.2 подбираем материал и толщину стенок кожуха.

Если применяется кожух с внутренней облицовкой из звукопоглощающих материалов (ЗПМ), то звукоизоляция стенок определяется с учетом дополнительной звукоизоляции:

$$R = R_{и} + \Delta R$$

где

$R_{и}$  - Звукоизоляция стенок без облицовки. Для стенок из металла звукоизоляция может быть определена по табл.2.2;

$\Delta R$  - Дополнительная звукоизоляция слоем ЗПМ по табл. 2.1.

Таблица 2.1

Дополнительная звукоизоляция  $\Delta R$  от облицовки кожуха слоем супертонкого стеклянного или базальтового волокна

Размер стенки кожуха, м	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$a \leq 1$	-	1	2	5	6	8	9	10
$a \geq 1$	1	2	4	8	12	16	20	22

Таблица 2.2

Звукоизоляция стенок кожуха  $R_{и}$ , дБ

Материал	Размер стенки, м	Толщина стенки, мм	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц							
			63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Сталь	4x4	1,5-2	21	26	32	36	42	47	50	30
	3x3		19	25	30	35	40	45	49	30
	2x2		26	23	28	33	38	44	48	30

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	1x1		21	29	25	30	35	41	44	30
	0,5x0,5		18	25	31	29	33	37	40	30
	4x2		27	25	30	35	40	46	48	31
	3x1,5		25	33	30	34	39	45	47	31
	2x1		22	30	28	33	37	42	44	31
	1x0,5		17	25	31	29	34	39	42	31
	4x4	3- 4	24	29	35	30	45	47	33	42
	3x3		23	28	33	27	42	45	33	42
	2x2		28	25	30	35	41	44	33	42
	1x1		25	30	27	32	37	41	33	42
	0,5x0,5		21	26	33	30	35	37	33	42
	4x2		29	26	33	37	42	45	34	43
	3x1,5		27	33	31	36	41	44	4	43
	2x1		23	32	29	35	41	43	34	43
	1x0,5		17	25	32	31	35	37	34	43
Дюралюми- ниевые сплавы	4x4	1,5-2	14	19	24	28	33	38	42	24
	3x3		13	18	23	27	32	37	40	24
	2x2		18	15	20	25	30	35	38	23
	1x1		15	21	17	27	27	32	35	22
	0,5x0,5		13	18	23	20	25	30	33	20
	4x2		11	14	24	20	26	31	33	20
	3x1,5		15	24	21	25	31	36	38	22
	2x1		13	21	19	24	29	35	37	21
	1x0,5		6	14	24	21	26	31	33	20
	4x4	3-4	15	20	25	30	36	38	23	31
	3x3		13	18	23	28	34	36	23	31
	2x2		20	16	22	29	32	35	23	31
	1x1		16	22	19	25	30	32	23	31
	0,5x0,5		12	18	24	22	27	30	23	31
	4x2		21	18	23	27	33	36	23	31
	3x1,5		18	26	22	26	31	34	23	31
	2x1		15	23	20	25	30	32	23	31
	1x0,5		12	17	23	23	27	31	23	31

Для неоднородного кожуха выбор материала граней производится так же, как для сплошного кожуха. Выбор конструкции окна и глушителей шума с требуемой звукоизоляцией проводится с использованием таблиц Приложение 2 и Приложение 3, соблюдая условие  $R_i \geq R_{к.тр}$ .

2.2.4. После выбора материала граней и других элементов производят проверочный расчет неоднородного кожуха.

Для этого определяют среднюю звукоизоляцию  $R_{cp}$  по формуле (2.7) и сравнивают с  $R_{к.тр}$ .

$$R_{cp} = 10 \lg \left( \frac{S_{общ}}{\sum_{i=1}^n S_i \cdot 10^{-0,1R_i}} \right) \quad (2.7)$$

где

$n$  – количество элементов;

$S_{общ}$  – общая площадь неоднородного ограждения;

$S_i$ ,  $R_i$  – площадь и звукоизоляция отдельного элемента ограждения (окна, двери, сплошной части);

При этом необходимо учесть звукоизоляцию  $R_i$  принятых конструкций окон и глушителей.

Величина  $R_{cp}$  для каждой грани должна отвечать условию:  $R_{cp} \geq R_{к.тр}$  во всех частотных полосах. При невыполнении этого условия необходимо увеличить звукоизоляцию элементов и заново произвести расчет.

### **2.3. ПРИМЕР РАСЧЕТА**

З а д а н и е: Спроектировать звукоизолирующий кожух на электрическую машину (рис.2.2 ). Машина электрическая и поэтому требует охлаждения. Для этого в кожухе предусмотрены отверстия для циркуляции воздуха. Спектр звуковой мощности, излучаемой машиной, приведен в таблице 2.3.

Габариты машины: длина 4 м, ширина 2 м, высота 2 м. Расчетная точка находится на расстоянии 1 м от поверхности машины.

Р е ш е н и е:

Определим требуемую эффективность кожуха по формуле (2.3 ).

Площадь воображаемой поверхности, окружающей источник и проходящей через расчетную точку:

$$S = (6 \cdot 3) \cdot 2 + (4 \cdot 3) \cdot 2 + (6 \cdot 4) = 84 \text{ м}^2.$$

Допустимые уровни звукового давления принимаем по Приложению 1 (ПС-85).

Определим поверхность источника шума:

$$S_{\text{ист}} = (2 \cdot 4) \cdot 2 + (2 \cdot 2) \cdot 2 + (2 \cdot 4) = 32 \text{ м}^2.$$

Из конструктивных соображений выбираем кожух с плоскими гранями.

Допустим, что  $S_k = 40 \text{ м}^2$ .

Затем по формуле (2.6) рассчитываем требуемую звукоизолирующую способность стенок кожуха  $R_{\text{к.тр.}}$ , дБ. Расчет сводим в таблицу 2.3.

Таблица 2.3

Величина	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Звуковая мощность, $L_p$ , дБ	95	110	116	125	130	126	118	120
$L_{\text{доп}} = L_n$ , дБ	103	96	91	88	85	83	81	80
$10 \lg S$ ( $S=84 \text{ м}^2$ )	19	19	19	19	19	19	19	19
$\Delta L_{\text{эф.тр.}}$ , дБ	-7	-6	6	18	20	24	18	21
$10 \lg S_k / S_{\text{ист.}}$ , дБ	3	3	3	3	3	3	3	3
$R_{\text{к.тр.}}$ , дБ	-	-	9	21	29	27	21	24
$R_{\text{ст1}}$ , дБ (4x2; 2 шт)	27	25	30	35	40	46	48	31
$R_{\text{ст2}}$ , дБ (3x2; 2 шт)	19	25	30	35	40	45	49	30
$R_{\text{ст3}}$ , дБ (4x3; 1 шт)	21	26	32	36	42	47	50	30
$R_{\text{гл}}$ , дБ	18	18	20	25	33	38	40	34
$R_{\text{сп}}$ , дБ	-	-	30	35	40	46	49	30

Подбираем по таблице 2.2 материал для стенок кожуха. Дюралюминиевый сплав толщиной 2 мм, размерами 4x2 (2 шт.), 4x3 (1 шт.), 3x2. Из таблицы 2.2 определяем звукоизоляцию стенок кожуха. Если звукоизоляция стенок кожуха меньше  $R_{\text{к.тр.}}$ , используем дополнительную звукоизоляцию, характеристики которой указаны в таблице 2.1.

Глушители шума, через которые осуществляется доступ воздуха под кожух, встроенные в проемы кожуха, должны обладать эффективностью не ниже  $R_{к.тр}$ . Характеристики глушители подбираются по таблице Приложения 3.

Определяем среднюю звукоизоляцию  $R_{ср}$  граней по формуле (2.7) и проверяем на соответствие условию  $R_{ср} \geq R_{к.тр}$ . во всех частотных полосах.

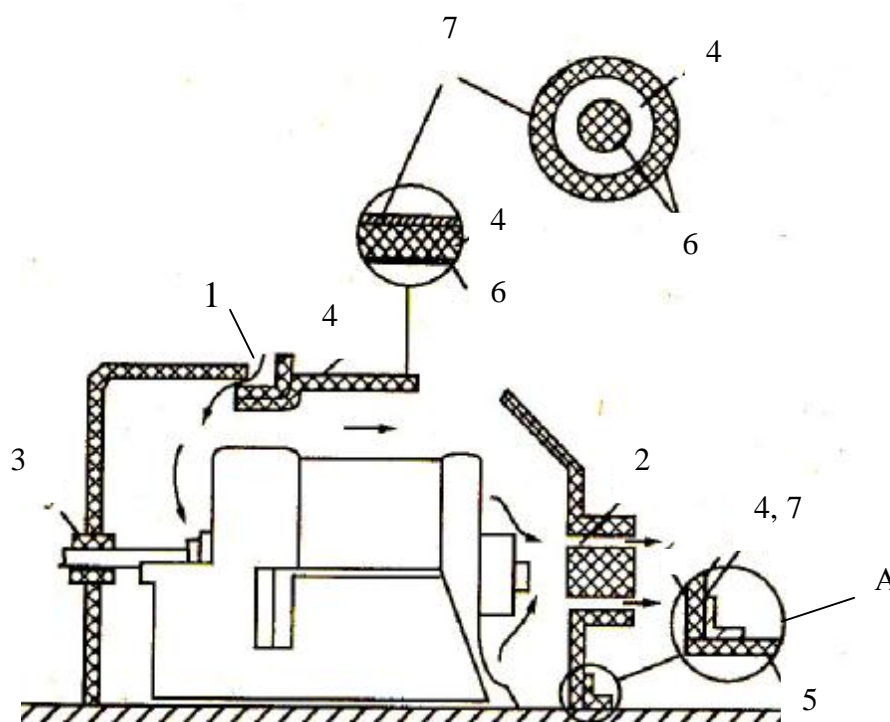


Рис. 2.2. Схема звукоизолирующего кожуха.

1, 2 – глушители в отверстиях для циркуляции воздуха; 3 – глушитель в отверстии для приводов; 4 – звукопоглощающая облицовка; 5 – резиновая прокладка; 6 – перфорированный лист или сетка; 7 – металлический лист.

## **2.4. РАСЧЕТНАЯ РАБОТА №1**

### **«РАСЧЕТ ЗВУКОИЗОЛИРУЮЩЕГО КОЖУХА»**

Требуется спроектировать звукоизолирующий кожух (рис 2.2).

Машина электрическая и поэтому требует охлаждения. Для этого в кожухе предусмотрены отверстия для циркуляции воздуха. Спектр звуковой



мощности, излучаемой машиной, и габариты машины приведены в таблице исходных данных 2.4.

Расчетная точка находится на расстоянии 1 м от поверхности машины.

При проведении расчета необходимо:

- определить требуемую звукоизоляцию стенок кожуха;
- подобрать материал стенок, глушители для отверстий;
- проверить среднюю звукоизоляцию спроектированного кожуха на соответствие требуемой звукоизоляции кожуха.

Варианты исходных данных указаны в таблице 2.5.

Таблица 2.4

### ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТА

Номера исходных данных	Значения							
		<i>Габариты машины: длина; ширина; высота:</i>						
1	- 4 м; 2 м; 2 м							
2	- 3 м; 1,5 м; 1 м							
3	- 2 м; 1 м; 1 м							
4	- 3 м; 2 м; 1 м							
5	- 2; 1 м; 2 м							
	<i>Допустимые уровни звукового давления (ПС)</i>							
6	- ПС-60							
7	- ПС- 70							
8	- ПС –75							
	<i>Октавные уровни звуковой мощности, L<sub>p</sub>, дБ</i>							
	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>
9	96	89	83	80	77	75	73	71
10	103	96	91	88	85	83	81	80

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>
11	107	101	97	93	91	89	87	86
12	112	106	102	99	97	95	93	92
13	117	112	108	105	103	101	99	98
14	110	106	113	122	131	130	132	132
15	108	112	117	122	128	128	127	126
16	95	105	105	105	113	109	101	92
17	99	102	106	109	109	107	106	101
18	90	88	87	87	81	79	75	66

Таблица 2.5

## ВАРИАНТЫ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

Номер варианта	Номера исходных данных		
1	5	6	9
2	4	6	10
3	3	7	11
4	2	8	12
5	1	8	13
6	5	7	14
7	4	7	15
8	3	8	16
9	2	8	17
10	1	6	18

### **3. РАСЧЕТ И ВЫБОР КОНСТРУКЦИЙ ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩЕЙ ОБЛИЦОВКИ**

#### **3.1. КРАТКАЯ ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ**

Средства звукопоглощения применяют для снижения шума на рабочих местах, находящихся в помещении с источниками шума. К средствам звукопоглощения относят звукопоглощающие облицовки и штучные звукопоглотители. Штучные звукопоглотители применяют в тех случаях, когда требуемое снижение шума в расчетных точках превышает 1-3 дБ не менее чем в трех октавных полосах или 5 дБ хотя бы в одной из полос. Установка в помещении таких средств называется акустической обработкой. Звукопоглощающую облицовку следует размещать на потолке и стенах помещений. При этом площадь облицовки следует определять расчетом.

Средства звукопоглощения, используемые для акустической обработки помещений, подразделяются на три группы:

А. Звукопоглощающие облицовки в виде акустических плит с жесткой и полужесткой волокнистой, зернистой или ячеистой структурой. Это плиты типа «Акмигран», «Акминит», «Силакпор», ПА/С, ПА, ПС и др.

Б. Звукопоглощающие облицовки многослойной конструкции, состоящей из слоя пористо-волокнистого материала (стеклянного или базальтового волокна, минеральной ваты) в защитной оболочке из ткани или пленки с перфорированным покрытием (металлическим, гипсовым и т.п.).

В. Штучные звукопоглотители, представляющие собой одно- или многослойные объемные звукопоглощающие конструкции в виде куба, параллелепипеда, конуса, которые подвешиваются к потолку помещения. Одним из видов штучных звукопоглотителей являются звукопоглощающие кулисы в виде плоских параллелепипедов (типа пластин) из минераловатных плит марок ПП-80 или ПП-100 в прозрачной оболочке из ткани или пленки.

## 3.2. ПОРЯДОК РАСЧЕТА ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩЕЙ ОБЛИЦОВКИ

### Порядок расчета №1.

3.2.1. Определяют значения требуемого снижения УЗД  $\Delta L_{тр}$  в расчетных точках помещения по формулам:

$$\text{- для одного источника шума} \quad \Delta L_{тр} = L - L_{доп}; \quad (3.1)$$

$$\text{- для нескольких источников шума} \quad \Delta L_{тр} = L_i - L_{доп} + 10 \lg n, \quad (3.2)$$

где

$L$  и  $L_i$  – октавные уровни звукового давления в дБ, создаваемые соответственно одним или отдельно рассматриваемым источником шума в расчетной точке;

$L_{доп}$  – допустимый октавный уровень звукового давления в дБ, принимается по СН 2.2.4/2.1.8.562-96 (см. таблицу приложения1).

$n$  - общее количество принимаемых в расчет источников шума.

При  $\Delta L_{тр} < 5...8$  дБ в средне- и высокочастотной части нормируемого диапазона частот можно использовать только одни средства звукопоглощения. В противном случае, прежде всего, для снижения шума необходимо использовать средства звукоизоляции.

3.2.2. Выбирается конструкция облицовки в зависимости от назначения помещения, условий эксплуатации облицовок (Приложение 4). Частотная характеристика коэффициента звукопоглощения облицовки  $\alpha_{обл}$  должна быть близка к частотной характеристике требуемого снижения шума.

3.2.3. Определяют постоянную помещения  $V$  в  $m^2$  в октавных полосах частот по формуле:  $V = V_{1000} * \mu$ , (3.3)

где

$V_{1000}$  - постоянная помещения в  $m^2$  на среднегеометрической частоте 1000 Гц, определяемая по табл. 3.1 в зависимости от объема  $V$   $m^3$  и типа помещения;

$\mu$  - Частотный множитель, определяемый по табл. 3.2.

Таблица 3.1

Тип помещения	Описание помещения	Постоянная помещения $V_{1000}, \text{м}^2$
1	С небольшим количеством людей (металлообрабатывающие цехи, вентиляционные камеры, генераторные залы, испытательные стенды и т.д.)	$V/20$
2	С жесткой мебелью и большим количеством людей или с небольшим количеством людей и мягкой мебелью (лаборатории, ткацкие и деревообрабатывающие цехи, кабинеты и т.п.)	$V/10$
3	С большим количеством людей и мягкой мебелью (рабочие помещения зданий управлений, залы конструкторских бюро, аудитории учебных заведений, залы ресторанов, торговые залы магазинов, залы ожидания аэропортов и вокзалов, читальные залы библиотек и т.п.)	$V/6$
4	Помещения со звукопоглощающей облицовкой потолка и части стен	$V/1,5$

Таблица 3.2

Объем помещения $V$ , $\text{м}^2$	Частотный множитель $\mu$ на среднегеометрических частотах октавных полос в 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
$V = 200 \dots 1000$	0,65	0,62	0,64	0,75	1	1,5	2,4	4,2
$V > 1000$	0,5	0,5	0,55	0,7	1	1,6	3	6

3.2.4. Определяем средний коэффициент звукопоглощения до установки звукопоглощающих ограждений по формуле:

$$a = \frac{B}{(B + S_{огр})} \quad (3.4)$$

где

- $V$  - Постоянная помещения до установки звукопоглощающих облицовок, м<sup>2</sup>;  
 $S_{огр}$  - Общая площадь ограждающих поверхностей помещения, м<sup>2</sup>.

3.2.5. Находим значение требуемого звукопоглощения  $\Delta A_{тр}$ , обеспечивающего требуемое снижение УЗД по номограммам на рис.3.1 и по известным значениям  $\alpha$ ,  $\Delta L_{тр}$  и  $S_{огр}$ .

3.2.6. Определяем необходимую площадь звукопоглощающей облицовки по формуле:

$$S_{обл} = \frac{\Delta A_{тр}}{a_{обл}} \quad (3.5)$$

Если ее величина окажется больше площади, возможной для облицовки в данном помещении, то в качестве проектной можно принять максимально возможную, а недостающее звукопоглощение обеспечить применением штучных звукопоглотителей, количество которых для каждой октавной полосы определяется по формуле:

$$n_{шт} = \frac{(\Delta A_{тр} - a_{обл} \cdot S_{обл})}{A_{шт}} \quad (3.6)$$

### 3.2.7. Порядок расчета №2.

При устройстве только одной облицовки можно, выбрав материал облицовки и задавшись величиной площади облицовки  $S_{обл}$ , определить снижение уровней звукового давления по формуле:

$$\Delta L = 10 \lg \frac{B_1 \cdot y}{B \cdot y_1} \quad (3.7)$$

где

$\Psi$  и  $\Psi_1$  - Коэффициенты, определяемые по рис. 3.2 до и после установки звукопоглощающих конструкций;

$B_1$  - Постоянная помещения в  $m^2$  после установки в нем звукопоглощающих конструкций. Определяется по формуле:

$$B_1 = \frac{A_1 + \Delta A}{1 - a_1} \quad (3.8)$$

$A_1$  - значение звукопоглощения необлицованных ограждающих поверхностей,  $m^2$ ;

$$A_1 = a(S_{огр} - S_{обл}) \quad (3.9)$$

$\alpha$  - Средний коэффициент звукопоглощения помещений до установки звукопоглощающих конструкций;

$$a = \frac{B}{(B + S_{огр})} \quad (3.10)$$

$\Delta A$  - Значение дополнительного звукопоглощения, вносимого облицовкой и штучными поглотителями;

$$\Delta A = \alpha_{обл} \cdot S_{обл} + A_{шт} \cdot n_{шт} \quad (3.11)$$

$\alpha_1$  - Средний коэффициент звукопоглощения помещения после установки звукопоглощающих конструкций:

$$\alpha_1 = (A_1 + \Delta A) / S_{огр}. \quad (3.12)$$

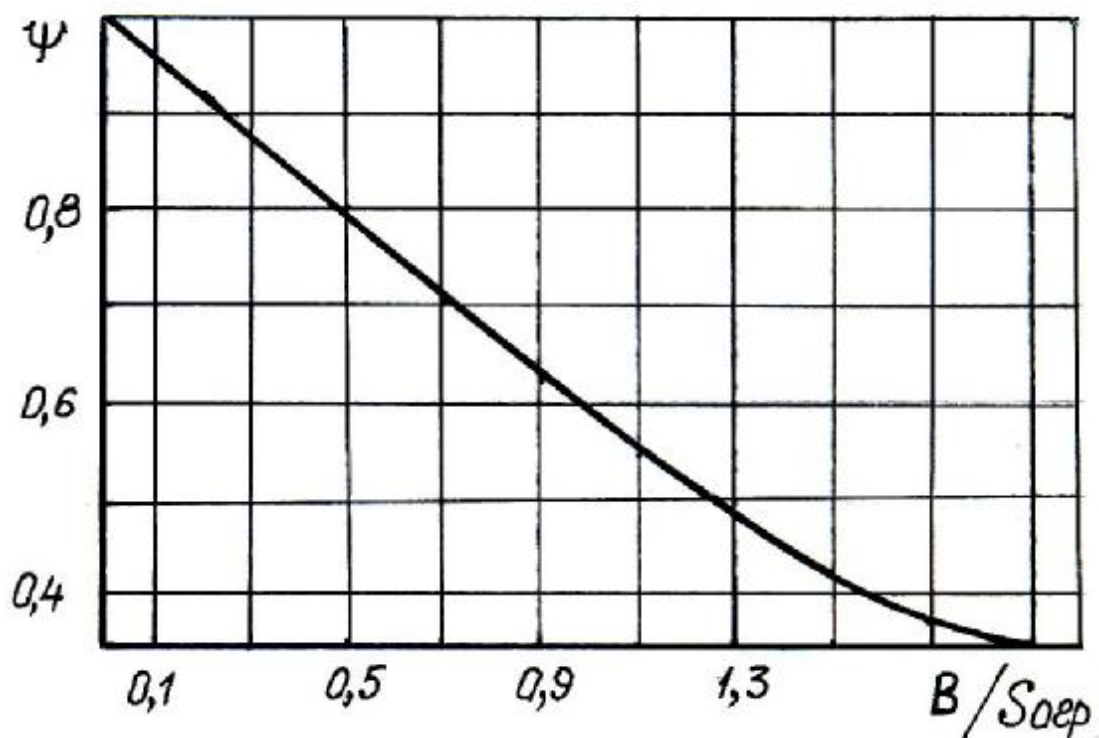


Рис.3.2. График для определения  $\Psi$

Снижение уровня звукового давления, определенное по формуле 3.7, должно отвечать условию  $\Delta L \geq \Delta L_{тр}$ .



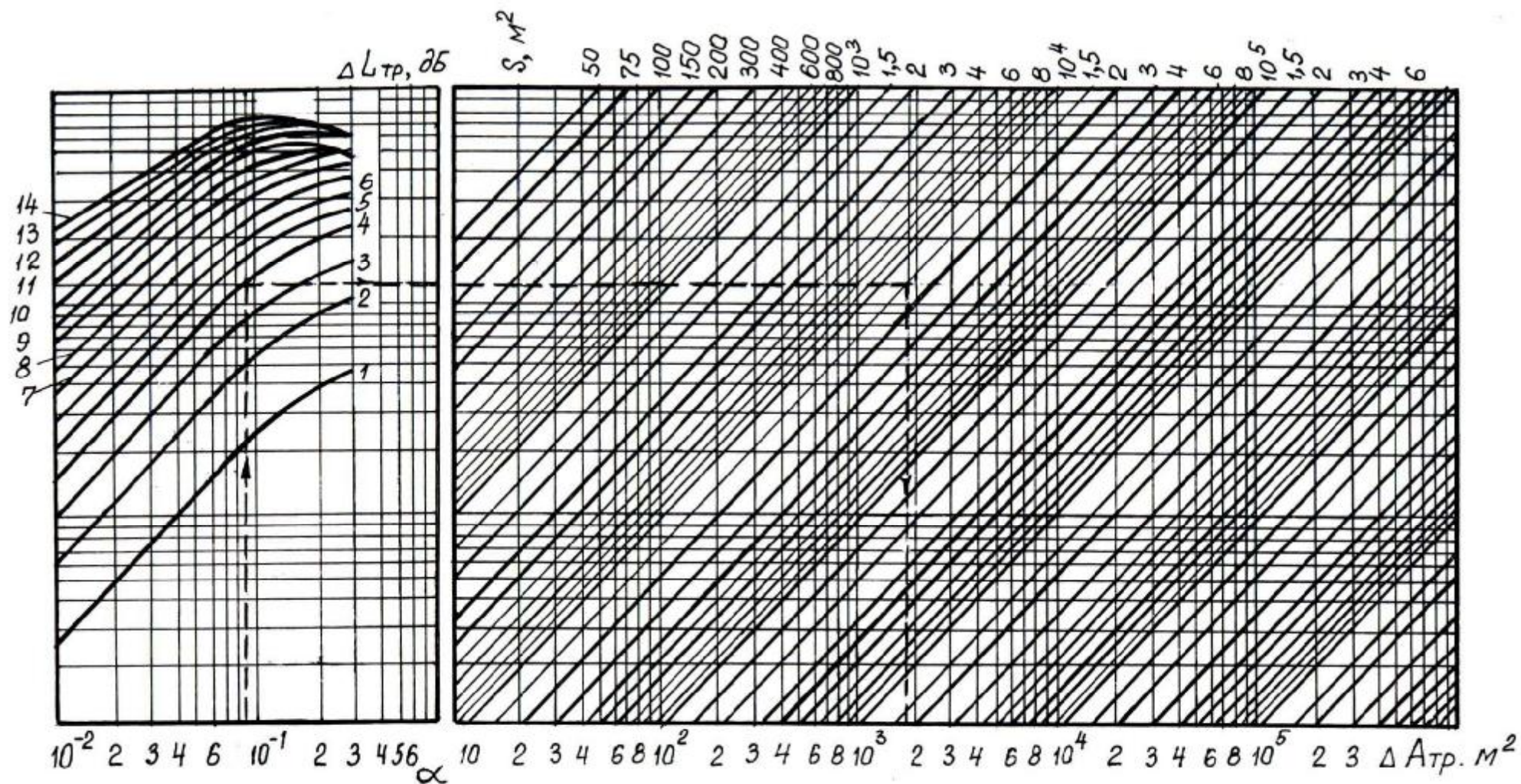


Рис 3.1. Номограммы для расчета  $\Delta A_{тр}$

### 3.3. ПРИМЕР РАСЧЕТА

З а д а н о:

Цех металлообработки, размерами 55 x 20 м. Высота помещения 3,5 м. Площадь ограждающих поверхностей стен 525 м<sup>2</sup>, потолка – 1100 м<sup>2</sup> и пола 1100 м<sup>2</sup> (общая площадь – 2725 м<sup>2</sup>). В расчетной точке, удаленной от ближайших аппаратов на 10 м задан усредненный спектр звукового давления, приведенный в табл. 3.3.

Расчетная точка находится на расстоянии  $r > r_{пр}$  от ближайшего станка, т.е. в зоне отраженного звука (1.3) ( $r_{пр} = 0,2 \cdot (3850:20 \cdot 6,0)^{1/2} = 6,72$ ).

Необходимо выбрать конструкцию звукопоглощающей облицовки и определить площадь звукопоглощающей облицовки.

Р е ш е н и е:

Определяем значения требуемого снижения УЗД  $\Delta L_{тр}$  в расчетных точках помещения по формуле (3.1). Все результаты расчетов заносим в таблицу (см. табл.3.3).

Подбираем материал «Акмигран» по таблице Приложения 4. Значения коэффициента звукопоглощения облицовки  $\alpha_{обл}$  заносит в таблицу 3.3.

Определяем постоянную помещения  $V$  для помещения с объемом 3850 м<sup>3</sup> в октавных полосах частот по формуле (3.3).

Определяем средний коэффициент звукопоглощения до установки звукопоглощающих ограждений по формуле (3.4).

Находим значение требуемого звукопоглощения  $\Delta A_{тр}$ , обеспечивающего требуемое снижение УЗД по номограммам на рис.3.1 и по известным значениям  $\alpha$ ,  $\Delta L_{тр}$  и  $S_{огр}$ .

Определяем необходимую площадь звукопоглощающей облицовки по формуле (3.5). Расчет сводим в таблицу 3.3.

Таблица 3.3

Величина	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
L, дБ	78	78	80	82	83	81	77	73
L <sub>доп</sub> , дБ	95	87	82	78	75	73	71	69
$\Delta L_{тр}$ , дБ	-	-	-	4	8	4	6	4
$\alpha_{обл}$	0,02	0,11	0,3	0,85	0,9	0,78	0,72	0,59
$B_{1000}$ , м <sup>2</sup>	-	-	-	-	192,5	-	-	-
$\mu$	0,5	0,5	0,55	0,7	1	1,6	3	6
B, м <sup>2</sup>	96	96	106	135	193	308	578	1155
S <sub>огр</sub>	2725	2725	2725	2725	2725	2725	2725	2725
B + S <sub>огр</sub>	2821	2821	2831	2860	2918	3033	3333	3880
$\alpha$	0,034	0,034	0,037	0,047	0,066	0,102	0,173	0,298
$\Delta A_{тр}$ , м <sup>2</sup>	-	-	-	270	600	400	800	600
S <sub>обл</sub> , м <sup>2</sup>	-	-	-	318	667	513	1111	1017

В результате проведенного расчета для акустической обработки помещения используем облицовку из материала «Акмигран», площадью равной 1111 м<sup>2</sup>.

### **3.4. РАСЧЕТНАЯ РАБОТА №2**

#### **«РАСЧЕТ ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩЕЙ ОБЛИЦОВКИ»**

Необходимо выбрать конструкцию звукопоглощающей облицовки для заданного помещения и определить площадь облицовки для обеспечения требуемого снижения уровня звукового давления.

Расчет звукопоглощающей облицовки проводить по заданию преподавателя согласно порядку расчета №1 (п.3.2.1-3.2.6) или порядку расчета №2 (п.3.2.7).

Расчетная точка находится в зоне отраженного звука.

Варианты исходных данных указаны в таблице 2.5.

Таблица 3.4

### ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТА

Номера исходных данных	Значения							
	<i>Тип помещения:</i>							
1	- 1. Металлообрабатывающий цех							
2	- 2. Лаборатория							
3	- 3. Учебная аудитория							
	<i>Габариты помещения: длина; ширина; высота:</i>							
4	- 10 м; 6 м; 4 м							
5	- 42 м; 10 м; 3,5 м							
6	- 6 м; 4 м; 3 м							
7	- 30 м; 20 м; 5 м							
8	- 50 м; 20 м; 4 м							
	<i>Допустимые уровни звукового давления (ПС)</i>							
9	- ПС - 45							
10	- ПС - 55							
11	- ПС - 70							
12	- ПС - 60							
	<i>Октавные уровни звукового давления в расчетной точке, L, дБ</i>							
	<i>Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц</i>							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
<i>I</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>
13	72	62	60	54	55	50	47	42
14	78	75	71	64	61	59	57	55
15	82	84	86	83	81	75	71	68
16	80	83	85	80	78	73	70	68
17	75	76	76	79	82	70	64	62
18	70	63	65	55	57	52	48	45
19	70	72	75	78	80	75	69	65
20	72	74	76	69	65	60	59	56

Таблица 3.5

## ВАРИАНТЫ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

Номер варианта	Номера исходных данных			
1	1	5	11	16
2	2	6	10	14
3	3	4	9	13
4	1	8	11	17
5	2	4	12	17
6	3	7	10	18
7	1	7	12	20
8	2	4	11	15
9	3	5	10	20
10	1	8	11	19

## ЛИТЕРАТУРА

1. Средства защиты в машиностроении: Расчет и проектирование. Справочник/ С.В.Белов, А.Ф.Козьяков, О.Ф.Партолин и др.; Под ред. С.В.Белова.-М.: Машиностроение, 1989.
2. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.
3. Инженерные расчеты систем безопасности труда и промышленной экологии. Справочник. Под ред. А.Ф.Борисова. – Нижний Новгород: «Вента-2», 2000.



## Приложение 1

**ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМЫЕ УРОВНИ ЗВУКОВОГО ДАВЛЕНИЯ, УРОВНИ ЗВУКА И  
ЭКВИВАЛЕНТНЫЕ УРОВНИ ЗВУКА ДЛЯ ОСНОВНЫХ НАИБОЛЕЕ ТИПИЧНЫХ ВИДОВ  
ТРУДОВОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ И РАБОЧИХ МЕСТ**

№ пп	Вид трудовой деятельности, рабочее место	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквива- лентные уровни звука (в дБА)
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Творческая деятельность, руководящая работа с повышенными требованиями, научная деятельность, конструирование и проектирование, программирование, преподавание и обучение, врачебная деятельность. Рабочие места в помещениях дирекции, проектно-конструкторских бюро, расчетчиков, программистов вычислительных машин, в лабораториях для теоретических работ и обработки данных, приема больных в здравпунктах	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50
2	Высококвалифицированная работа, требующая сосредоточенности, административно-управленческая деятельность, измерительные и аналитические работы в лаборатории; рабочие места в помещениях цехового управленческого аппарата, в рабочих комнатах конторских помещений, в лабораториях	93	79	70	68	58	55	52	52	49	60

## Продолжение приложения 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
3	Работа, выполняемая с часто получаемыми указаниями и акустическими сигналами; работа, требующая постоянного слухового контроля; операторская работа по точному графику с инструкцией; диспетчерская работа. Рабочие места в помещениях диспетчерской службы, кабинетах и помещениях наблюдения и дистанционного управления с речевой связью по телефону; машинописных бюро, на участках точной сборки, на телефонных и телеграфных станциях, в помещениях мастеров, в залах обработки информации на вычислительных машинах	96	83	74	68	63	60	57	55	54	65
4	Работа, требующая сосредоточенности; работа с повышенными требованиями к процессам наблюдения и дистанционного управления производственными циклами. Рабочие места за пультами в кабинах наблюдения и дистанционного управления без речевой связи по телефону, в помещениях лабораторий с шумным оборудованием, в помещениях для размещения шумных агрегатов вычислительных машин	103	91	83	77	73	70	68	66	64	75

## Продолжение приложения 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
5	Выполнение всех видов работ (за исключением перечисленных в п.п. 1-4 и аналогичных им) на постоянных рабочих местах в производственных помещениях и на территории предприятий	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80
6	Рабочие места водителей и обслуживающего персонала грузовых автомобилей	100	87	79	72	68	65	63	61	59	70
7	Рабочие места водителей и обслуживающего персонала тракторов, самоходных шасси, прицепных и навесных сельскохозяйственных машин, строительно-дорожных и др. аналогичных машин	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80
Пассажирские и транспортные самолеты и вертолеты											
8	Рабочие места в кабинах и салонах самолетов и вертолетов:										
	допустимые	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80
	оптимальные	96	83	74	68	63	60	57	55	54	65



## ЗВУКОИЗОЛЯЦИЯ ОКНАМИ

Конструкция	Толщина, мм		Условия прилегания по периметру	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц					
	стекла	Воздушного зазора		125	250	500	1000	2000	4000
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Одинарное окно с силикатным стеклом	3	-	По замаске	17	21	25	29	33	34
	4	-	«	19	23	27	31	35	29
	6	-	«	21	25	29	33	31	34
Одинарное окно с органическим стеклом	5	-	«	13	18	23	28	33	35
	10	-	«	18	23	28	33	35	32
	20	-	«	23	28	33	35	32	40
Двойное окно с силикатными стеклами	3 и 3	100	«	37	32	37	43	49	45
	7 и 7	100	«	38	38	45	46	46	58
Двойное окно с силикатными стеклами	3 и 3	100	Через прокладки из мягкой резины	32	33	41	49	52	49
	3 и 3	200		38	39	49	49	52	49
	7 и 7	100		37	39	48	49	51	58
Двойное окно с органическими стеклами	4 и 4	100	«	23	33	39	48	55	61
	4 и 4	150	«	27	36	45	48	53	61
Стеклоблоки	98	-	-	37	40	42	45	48	50
Смотровые окна из органического стекла	36 и 10	100	С герметизацией по периметру	31	41	50	60	62	70
	36 и 10	200		32	43	53	61	64	70
Смотровое окно	60 и 18	200	«	40	47	55	63	70	70
	80 и 18	400	«	45	52	59	69	75	75

ЗВУКОИЗОЛЯЦИЯ ГЛУШИТЕЛЕЙ  $\Delta L_{\text{ГЛ}}$ , ДБА

Тип глушителя	Ширина щели, мм	Площадь свободного сечения, м <sup>2</sup>	Длина, м	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц							
				63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Кольцевые и щелевые глушители с двусторонней облицовкой	40	0,035	0,25	15	13	13	14	17	19	20	17
			0,5	18	18	20	25	33	38	40	34
			0,75	20	22	27	36	45	45	45	40
			1	23	26	35	45	45	45	45	40
	30	0,022	0,25	17	16	15	17	19	24	26	25
			0,5	20	22	24	31	40	45	45	45
			0,75	22	27	33	45	45	45	45	45
			1	25	32	40	45	45	45	45	45
	20	0,015	0,25	19	20	19	21	26	32	38	40
			0,5	22	29	32	38	45	45	45	40
			0,75	26	38	40	45	45	45	45	40
			1	30	40	40	45	45	45	45	40
Кольцевые глушители с односторонней облицовкой	20	Не более 0,015	0,25	15	13	13	14	17	19	20	17
			0,5	18	18	20	25	33	38	40	34
			0,75	20	22	27	36	45	45	45	40
			1	23	26	35	45	45	45	45	40
	10	Не более 0,01	0,25	19	20	19	21	26	32	38	40
			0,5	22	29	32	38	45	45	45	40
			0,75	26	38	40	45	45	45	45	40
			1	30	40	40	45	45	45	45	40

## АКУСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ

Изделия или конструкции	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Коэффициент звукопоглощения $\alpha$							
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Плиты ПА/О, минераловатные, акустич. размер 500x500	0,02	0,03	0,17	0,68	0,98	0,86	0,45	0,2
Винипор полужесткий	0,01	0,15	0,25	0,56	0,85	1,0	1,0	1,0
Плиты ПА/С, минераловатные, размер 500x500	0,02	0,05	0,21	0,66	0,91	0,95	0,89	0,17
Плиты «АКМИГРАН», минераловатные, размер 300x300	0,02	0,11	0,3	0,85	0,9	0,78	0,72	0,59
Маты из супертонкого стекловолокна, оболочка из стеклоткани ССТЭ-6	0,1	0,25	0,7	0,98	1,0	1,0	1,0	0,95
Минераловатная плита в стеклоткани с гипсовой плитой, перфорация по квадрату 13%, $\Phi=10$ мм	0,1	0,31	0,7	0,95	0,69	0,59	0,5	0,3
Прошивные минераловатные плиты, гипсовая плита, перфорация по квадрату 13%, $\Phi=10$ мм, размер 500x500	0,03	0,42	0,81	0,82	0,69	0,58	0,59	0,58
Отходы капронового волокна, распушенные, сетка из стеклоткани ССТЭ-6, металлический лист толщиной 1,2 мм, перфорация «шахматы», $\Phi=13$ мм	0,23	0,48	0,72	0,89	0,97	0,98	0,98	0,98
Супертонкое стекловолокно, стеклоткань Э-01, гипсовая плита, перфорация 13 %, $\Phi=7-9$ мм, толщина 7 мм	0,3	0,66	1,0	1,0	1,0	0,96	0,7	0,55

## Продолжение приложения 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Штучный поглотитель, размер 400x400, шаг расстановки $b=2500$ мм, расстояние от потолка до центра звукопоглотителя $h=1250$ мм, металлический лист толщиной 2 мм, перфорация по квадрату 74%, $\Phi=10$ мм, внутри супертонкое волокно со стеклотканью ЭЗ-100	0,14	0,4	0,75	0,23	1,14	1,05	0,92	0,67
То же, но шаг расстановки $b=1500$ мм	0,08	0,23	0,55	1,03	0,97	0,86	0,75	0,6
Элемент кулисного типа из плит ПА	0,35	0,6	1,12	1,8	1,95	1,6	1,2	1,2
Параллелепипед, размерами 3000x500x50 мм; металлический лист толщиной 2 мм, перфорация по квадрату 74%, внутри маты из супертонкого базальтового волокна, оболочка из стеклоткани типа ТСД, $b=1300$ мм.	0,2	0,35	1,1	3,1	3,52	3,16	3,4	2,4

