

Оценка уровня шума на рабочем месте. Расчет средств защиты от шума

Татаркина А.А.*

Студентка кафедры «Техносферная безопасность», Муромский институт (филиал) Владимирского государственного университета, г. Муром, Владимирской области, ул. Орловская д. 23, РФ

Аннотация

В работе показана актуальность проблемы борьбы с акустическим загрязнением на рабочем месте мастера металлообрабатывающего производства. Представлен расчет уровня звука, формируемого двумя ненаправленными точечными источниками, полученный результат сопоставлен с действующими санитарными нормами и определен необходимый уровень требуемого снижения шума. Представлен наиболее распространенный метод, применяемый для снижения шума в помещении. Надежным и эффективным методом являются акустические кабины. Описаны этапы выбора конструкции, расчет параметров акустической кабины, выполнен габаритный чертеж предлагаемой акустической кабины. Произведен выбор материалов для звукоизолирующей кабины, которые отвечают современным требованиям. Решены задачи для создания благоприятной акустической обстановки на рабочем месте. Сделаны выводы о проделанной работе.

Ключевые слова: комфортные условия труда, шумозащита, звукоизолирующая кабина.

Assessment of the level of noise in the workplace. Calculation of protection from noise

*Tatarkina A.A.**

Student of the Department "Technosphere safety", Murom Institute (branch) of Vladimir State University, Murom, Vladimir region, st. Orel g. 23, Russian Federation

Abstract

The paper shows the importance of the problem of combating noise pollution in the workplace master production of metal. The calculations of the sound level generated by two non-directional point sources, the result is compared with the current sanitary standards and defined the required level of noise reduction required. The most common method used to reduce the noise in the room. A reliable and efficient method is sound booths. The stages of design choice, the calculation of the parameters of acoustic cabin, made outline drawing proposed acoustic cabin. Produced selection of materials for sound insulation cabins that meet modern requirements. The problems for the creation of a favorable acoustic environment in the workplace. The conclusions of the work done.

Key words: *comfortable conditions for workers, sound insulation, sound insulation cabin.*

Введение

Шум на производстве неблагоприятно действует на организм человека: повышает расход энергии при одинаковой физической нагрузке, ослабляет внимание работающих. Шум оказывает вредное влияние на физическое состояние человека. Установлено, что около 20 % работников, занятые в промышленности РФ в условиях, не отвечающих санитарно-гигиеническим нормативам, более трети из них (6,8 %) подвержены воздействию повышенного уровня шума и вибрации [1].

Металлообработка сегодня не только одно из самых развитых направлений производства, но и одно из наиболее шумных производств. Используемое

*E-mail: tatarkinaalena@gmail.com

оборудование создает на рабочих местах уровни шума, существенно превышающие предельно допустимые величины. Всё это доказывает актуальность данной темы.

Целью работы является снижение уровня звукового давления на рабочем месте мастера в производственном помещении. В связи с этим были поставлены следующие задачи:

- расчет ожидаемых уровней звукового давления в расчетной точке, находящейся в помещении;
- расчет требуемого снижения уровня шума;
- разработка средств снижения акустического загрязнения до нормативных значений.

1 Выбор мероприятий по снижению шума

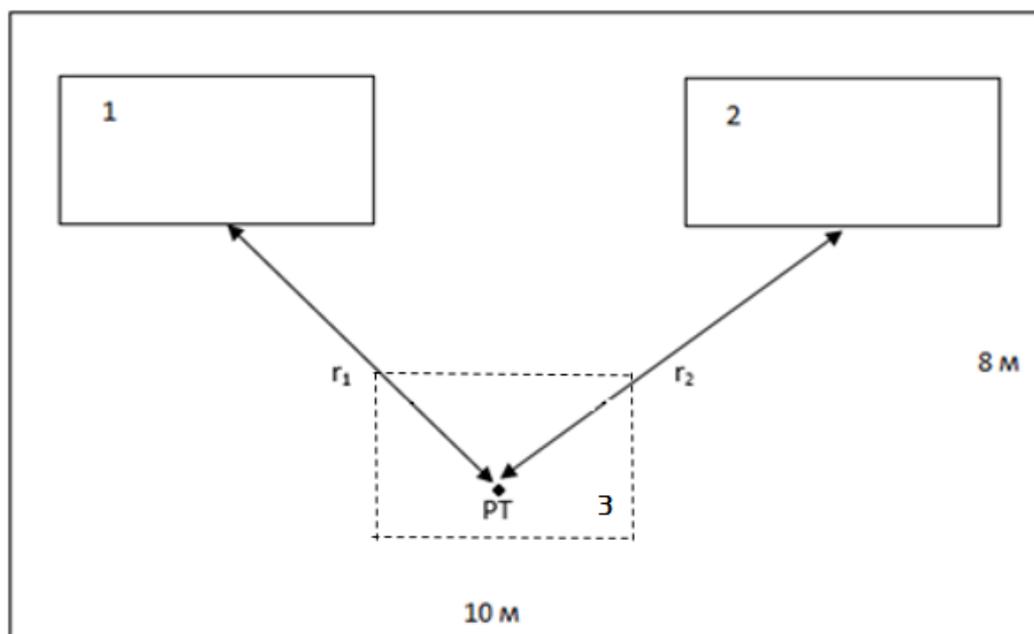
Выбор мероприятий для обеспечения требуемого снижения шума определяется особенностями производства и оборудования, величиной превышения допустимых уровней звукового давления, характером шума и другими факторами [2]. Наибольший эффект по снижению шума на пути распространения звуковой волны с помощью звукоизоляции, экранирования, звукопоглощения, расстояния наблюдается для высокочастотных звуков. Звукоизоляция обеспечивает снижение шума на 25-30 дБ, звукопоглощение – на 6-10дБ, а удвоение расстояния от источника шума до рабочего места уменьшает уровень шума примерно на 6 дБ.

Чтобы уменьшить шум в помещении с источниками его излучения, используются следующие строительно-акустические мероприятия [3]:

- кабины наблюдения, дистанционного управления и специальные боксы для наиболее шумного оборудования;
- звукоизолирующие кожухи, акустические экраны и выгородки;
- вибродемпфирующие покрытия на вибрирующие поверхности;
- звукопоглощающие облицовки потолка и стен или штучные звукопоглотители;
- звукоизолированные кабины и зоны отдыха для обслуживающего персонала.

2 Определение снижения шума при применении звукоизолированной кабины

Определим снижение шума в помещении, где расположено два источника шума с заданными шумовыми характеристиками. Размеры помещения: длина – 10 м, ширина – 8 м; высота – 6 м. При работе испытуемого двигателя максимум измеренных уровней звукового давления находится в диапазоне частот 250- 4000 Гц. Расположение источников шума представлено на рис. 1.



- 1 – автомат для электросварки (оборудование с шумовыми характеристиками L_1),
 2 – станок кругло-шлифовальный (оборудование с шумовыми характеристиками L_2),
 3 – предлагаемая звукоизолированная кабина, r_1 и r_2 – расстояния от РТ до источников шума 1 и 2 соответственно, РТ – расчетная точка (рабочее место мастера)

Рис. 1. Схема помещения с расположением оборудования

Т.к. помещение имеет малый коэффициент звукопоглощения и характеризуется множественным отражением звука от различных поверхностей, а размеры помещения соразмерны (все размеры помещения приблизительно одного порядка) предполагаем, что в данном помещении формируется квазидиффузное звуковое поле [4]. Источники шума – имеющееся оборудование, принимаем за ненаправленный точечный источник.

Определим ожидаемый уровень звукового давления (УЗД) в расчетной точке (РТ), т.е. на рабочем месте мастера, формируемый двумя точечными источниками шума. Октавные уровни звукового давления L , дБ, в РТ соразмерного помещения с несколькими источниками шума определяем по формуле:

$$L = 10 \lg \left(\sum_{i=1}^m \frac{10^{0,1L_i} \chi_i \Phi_i}{2\pi r_i^2} + \frac{4}{kV} \sum_{i=1}^n 10^{0,1L_i} \right), \quad (1)$$

где L_i – октавный уровень звуковой мощности i -го источника, дБ;

m – число источников шума, ближайших к расчетной точке (находящихся на расстоянии $r_i \leq 5 r_{\min}$, где r_{\min} – расстояние от расчетной точки до акустического центра ближайшего источника шума);

n – общее число источников шума в помещении;

k – коэффициент, учитывающий нарушение диффузности звукового поля в помещении;

V – акустическая постоянная помещения, м^2 ;

χ_i – коэффициент, учитывающий влияние ближнего поля для i -го источника;

Φ_i – фактор направленности источника шума (для источников с равномерным излучением $\Phi = 1$) для i -го источника;

r_i – расстояние от акустического центра источника шума до расчетной точки, м (если точное положение акустического центра неизвестно, он принимается совпадающим с геометрическим центром) для i -го источника.

Определяем коэффициент χ в зависимости от величины отношения r/l_{\max} по таблице 2 в [3] $\chi_1 = \chi_2 = 1$.

Определяем B – акустическую постоянную производственного помещения, м^2 , по формуле:

$$B = \frac{A}{1 - \alpha_{\text{ср}}}, \quad (2)$$

где A – эквивалентная площадь звукопоглощения, м^2 , определяемая по формуле:

$$A = \sum_{i=1}^n \alpha_i S_i + \sum_{j=1}^m A_j n_j, \quad (3)$$

где α_i – коэффициент звукопоглощения i -й поверхности;

S_i – площадь i -й поверхности, м^2 ;

A_j – эквивалентная площадь звукопоглощения j -го штучного поглотителя, м^2 ;

n_j – количество j -ых штучных поглотителей, шт.;

$\alpha_{\text{ср}}$ – средний коэффициент звукопоглощения, определяемый по формуле:

$$\alpha_{\text{ср}} = \frac{A}{S_{\text{огр}}}, \quad (4)$$

где $S_{\text{огр}}$ – суммарная площадь ограждающих поверхностей помещения, м^2 .

Результаты расчётов сведём в таблицу 1. Рассчитанные ожидаемые октавные уровни звукового давления в РТ (L) оказались практически на всех среднегеометрических частотах выше допустимых.

Требуемое снижение уровня звукового давления на рабочем месте мастера определяется как разность между ожидаемым уровнем звукового давления в расчётной точке и допусаемым уровнем $L_{\text{доп}}$:

$$\Delta L_{\text{треб}} = L - L_{\text{доп}}. \quad (5)$$

Таблица 1

Расчёт ожидаемых октавных уровней звукового давления в расчётной точке

№ п. п.	Величина	Ед. измерен	Пояснение	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц					
				125	250	500	1000	2000	4000
1	автомат для электросварки (L_1)	дБ	Уровень звуковой мощности, излучаемый автоматом	76	78	79	80	72	75
2	станок круглошлифовальный (L_2)	дБ	Уровень звуковой мощности, излучаемый станком	78	80	73	75	77	73
3	μ	-	Значение коэффициента при $V_{\text{цеха}} = 480 \text{ м}^3$	0,62	0,64	0,75	1,0	1,5	2,4
4	B	м^2	Формула (2)	9,9	10,2	12,0	16,0	24,0	38,4
5	L	дБ	Формула (1)	84	87	89	86	81	78

6	$L_{\text{доп}}$	дБ	Допустимый октавный УЗД в РТ	87	82	78	75	73	71
7	$\Delta L_{\text{треб}}$	дБ	$\Delta L_{\text{тр}} = L - L_{\text{доп}}$	-3	5	11	11	8	7

Из расчетов следует, что требуется снизить звуковое давление на средних частотах не менее чем на 11 дБ. В связи с этим, предлагается в качестве шумозащитного средства использовать звукоизолирующую кабину для обеспечения комфортных акустических условий рабочего места мастера.

3 Выбор материалов для конструкции акустической кабины

С учетом основных требований, изложенных в отечественных нормативных документах, была спроектирована акустическая кабина для рабочего места мастера.

Изоляция воздушного шума кабиной зависит от конструктивного и планировочного решения кабины, материала и конструкции стен, перекрытий, оконных проемов, дверей, виброизоляции кабины, наличия звукопоглощающей облицовки внутри кабины и других факторов.

Подбор необходимых и достаточных по звукоизоляции ограждающих конструкций кабины производился по справочным таблицам звукоизоляции ограждений, перекрытий, окон и дверей от воздушного шума. Для облицовки внутренних поверхностей кабины выбирались звукопоглощающие конструкции, имеющие максимальные коэффициенты звукопоглощения в октавных полосах 250-2000 Гц.

Исходя из вышесказанного, была сконструирована акустическая кабина, представляющая собой совмещенную звукоизолирующую и звукопоглощающую конструкцию, сконструированную в виде прямоугольного параллелепипеда размером 3,0×4,0×6,0 м., металлическими профилями из оцинкованной стали (см. рис. 1).

На передней стене находится окно размером 2,0×1,5 м с оконными блоками SOK-4 с однокамерным стеклопакетом, изоляция воздушного шума – 27 дБ (соответствует требованиям ГОСТ 30674-99 не менее 26 дБ).

В боковую стену перегородки вставлена дверь размером 2,0×0,9 м. По результатам исследования АКУСТИК БАТТС®, индекс изоляции воздушного шума составляет от 43 дБ. Дверь кабины имеет уплотняющие прокладки в притворе и запорное устройство, обеспечивающее обжатие прокладок. Внешние стены короба выполнены из стекломгнезитовых плит (2500×1200×12 мм).

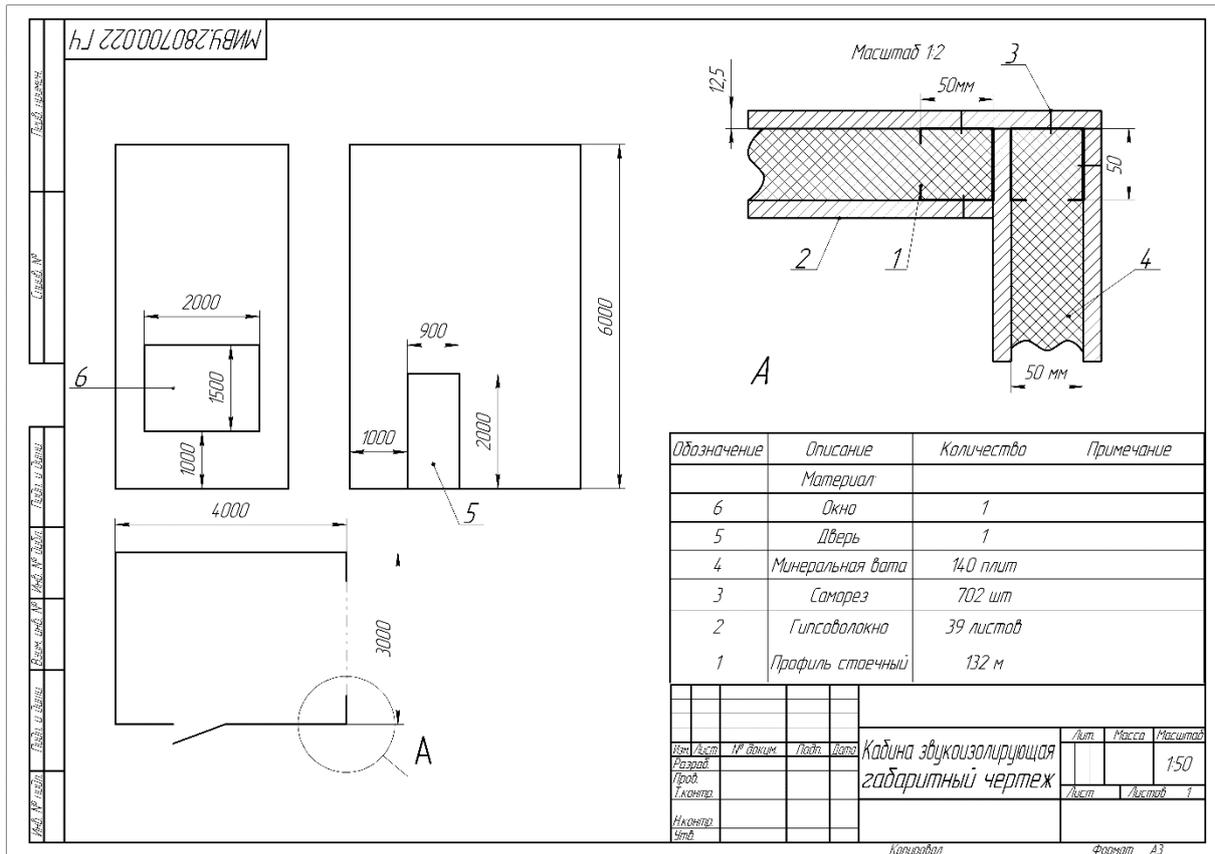


Рис. 1. Кабина звукоизолирующая. Габаритный чертёж

Внутренние поверхности основного ограждения кабины облицованы плитой перфорированного гипскартонного звукопоглощающего материала КНАУФ-Акустика типа С1-8/18КР с наполнителем воздушной полости минеральной ватой «Акустическая перегородка» [5].

Конструкцию акустической кабины устанавливают на резиновых виброизоляторах для предотвращения передачи вибраций на ограждающие конструкции и каркас кабины.

4 Определение звукоизолирующей способности конструкции кабины

Определение эффективности акустической кабины рассчитывали по методике, изложенной в [2]. Исходными данными для расчета являются:

- 1) размеры кабины 3,0×4,0×6,0 м, общий объем кабины V=72 м³;
- 2) общая площадь ограждений кабины S=108 м²;
- 3) площадь глухой части стен и перекрытия (основного ограждения кабины) S₁=91,2 м², площадь пола 12 м²;
- 4) площадь окна S₂=3 м²;
- 5) площадь двери S₃=1,8 м²;
- 6) внутренние поверхности основного ограждения кабины облицованы звукопоглощающим материалом. В таком случае S_{обл}=S₁=91,2 м².

Определяем средний коэффициент звукопоглощения ограждающих поверхностей помещения α_{0ср}, до звукоизолирующей облицовки по формуле

$$\alpha_{0ср} = \frac{\alpha_0(S_{огр}-S_{обл})+\Delta A}{S_{огр}}, \tag{6}$$

где α_0 – средний коэффициент звукопоглощения ограждающих поверхностей помещения до устройства звукопоглощающей облицовки, учитывающий поглощение, вносимое находящимися в помещении предметами и оборудованием (справочные данные [6]);

$S_{\text{огр}}$ – общая площадь ограждающих поверхностей помещения, м^2 ;

$S_{\text{обл}}$ – площадь, занятая звукопоглощающей облицовкой, м^2 ;

ΔA – величина звукопоглощения, вносимая звукопоглощающими конструкциями, м^2 ;

$\alpha_{\text{обл}}$ – реверберационный коэффициент звукопоглощения звукопоглощающей облицовки в рассматриваемой октавной полосе частот.

Постоянную помещения $V_{\text{и}}, \text{м}^2$, в октавных полосах частот для соразмерных помещений следует определять по формуле

$$V_{\text{и}} = \frac{\alpha \times S_{\text{огр}}}{1 - \alpha}, \quad (7)$$

где α – средний коэффициент звукопоглощения в помещении, безразмерный.

$S_{\text{огр}}$ – общая площадь ограждающих поверхностей, м^2 .

Расчет требуемой изоляции воздушного шума элементами ограждений кабины

$$R_{\text{тpи}} = L - 10 \lg V_{\text{и}} + 10 \lg S_{\text{i}} - L_{\text{доп}} + 10 \lg m, \quad (8)$$

где L – октавный УЗД на рабочем месте в помещении с источником шума на предполагаемом месте установки кабины, дБ;

$V_{\text{и}}$ – акустическая постоянная помещения кабины, м^2 ;

S_{i} – площадь ограждения кабины, м^2 ;

$L_{\text{доп}}$ – допустимый по нормам октавный УЗД на рабочем месте в кабине, дБ;

m – общее количество различных по изоляции элементов ограждений кабины, через которые проникает шум в кабину (стена, окно, дверь и т.п.).

Определяем требуемую изоляцию воздушного шума отдельными элементами кабины в октавных полосах в расчетной точке (на рабочем месте в кабине). Расчеты сводим в таблицу 2.

Таблица 2

Определение требуемой изоляции воздушного шума

№ п. п.	Величина	Ед.изм.	Пояснение	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц					
				125	250	500	1000	2000	4000
1	L	дБ	Формула(1)	84	87	89	86	81	78
2	α_0 (без облицовки)	-	Для типа помещения - металлообрабатывающие цехи	0,10	0,11	0,11	0,11	0,12	0,13
3	α_0	-	$\alpha_0(S_{\text{огр}} - S_{\text{обл}})$ ($S_{\text{огр}} = 108 \text{ м}^2$; $S_{\text{обл}} = 91,2 \text{ м}^2$)	1,68	1,85	1,85	1,85	2,02	2,18
4	$\alpha_{\text{обл}}$	-	Для плит С1-8/18КР КНАУФ-Акустика	0,30	0,60	1,00	0,85	0,55	0,50
5	ΔA	м^2	$\Delta A = \alpha_{\text{обл}} \times S_{\text{обл}}$	27,4	54,7	91,2	77,5	50,2	45,6

6	α_{0cp}	-	Формула (6)	0,27	0,53	0,86	0,73	0,48	0,44
7	q	1/м	Показатель затухания звука в воздухе	0,0009	0,0033	0,0084	0,0150	0,0270	0,0687
8	$B_{и}$	м ²	Формула (7)	39,9	121,8	663,4	292,0	99,7	84,9
9	$10lg B_{и}$	дБ	-	16,0	20,9	28,2	24,7	20,0	19,3
10	$10lg S_1$	-	$S_1=91,2 \text{ м}^2$	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6
11	$10lg S_2$	-	$S_2=3 \text{ м}^2$	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8
12	$10lg S_3$	-	$S_3=1,8 \text{ м}^2$	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6
13	$L_{доп}$	дБ	Допустимый октавный УЗД в РТ	74	68	63	60	57	55
14	$10lg m$	-	$m=3$	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8
15	$L-10lg B_{и}$ $-L_{доп}+10lg n$	-	-	-3,5	1,2	0,3	4,6	6,5	6,7
16	$R_{тр1}$ (основные ограждения)	дБ	Формула (8)	16,1	20,8	19,9	26,4	26,1	26,3
17	$R_{тр2}$ (окна)	дБ	Формула (8)	1,3	6	5,1	11,6	11,3	11,5
18	$R_{тр3}$ (двери)	дБ	Формула (8)	-0,9	3,8	2,9	9,4	9,1	9,3
19	$R_{каб}$	дБ	$R_{каб}=L-L_{доп}$	10	19	26	26	24	23

Расчёт требуемой изоляции воздушного шума элементами ограждений кабины позволил выбрать и (или) проверить правильность уже выбранных конструкций ограждений. Стены и верхнее перекрытие – каркасная конструкция из стальных уголков, к которым крепятся стекломagneзитовые плиты (2500×1200×12 мм).

Внутренние поверхности основного ограждения кабины облицованы плитой перфорированного круглыми отверстиями (диаметр 8 мм) гипсокартонного звукопоглощающего материала КНАУФ-Акустика типа С1-8/18КР с наполнителем воздушной полости минеральной ватой «Акустическая перегородка». Толщина плиты 60 мм [5]. Окно и дверь удовлетворяют конструктивным и звукоизоляционным требованиям.

Звукоизолирующая способность этих конструкций определена экспериментально и (или) взята из справочной литературы.

5 Расчет ожидаемого снижения шума кабиной

Проверочный расчет ожидаемого снижения шума кабиной $R_{каб}$, дБ, произведен по формулам (9) и (10) и сведен в таблицу 3.

$$R_{каб} = \overline{R}_{cp} + 10lg \cdot B_{и} - 10lg \sum_{i=1}^m S_i, \quad (9)$$

$$\overline{R}_{cp} = 10lg \frac{\sum_{i=1}^m S_i}{\sum_{i=1}^m S_i \cdot 10^{-0,1 \cdot R_i}}, \quad (10)$$

где S_i и R_i – соответственно площади, м², и величины изоляции воздушного шума отдельными элементами ограждения кабины, дБ;

$B_{и}$ и m – то же, что в формуле (8).

Таблица 3
Проверочный расчет ожидаемого снижения шума кабиной

№п.п	Величина	Ед.изм.	Пояснение	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц					
				125	250	500	1000	2000	4000
1	R ₁ огражд.	дБ	По эксперимент. данным	23	28	36	36	36	38
2	R ₁ окна	дБ	-	14	21	27	28	31	36
3	R ₁ двери	дБ	-	19	24	30	30	31	32
4	10 ^{-0,1R₁}	-	-	0,5·10 ⁻²	0,16·10 ⁻²	0,25·10 ⁻³	0,16·10 ⁻³	0,16·10 ⁻³	0,16·10 ⁻³
5	10 ^{-0,1R₂}	-	-	0,4·10 ⁻¹	0,8·10 ⁻²	0,2·10 ⁻²	0,16·10 ⁻²	0,8·10 ⁻³	0,25·10 ⁻³
6	10 ^{-0,1R₃}	-	-	0,13·10 ⁻¹	0,4·10 ⁻²	1·10 ⁻³	1·10 ⁻³	0,8·10 ⁻³	0,63·10 ⁻³
7	S _{огр} ·10 ^{-0,1R₁}	-	S _{огр} =91,2 м ²	0,450	0,144	0,022	0,022	0,014	0,014
8	S _{ок} ·10 ^{-0,1R₂}	-	S _{ок} =3 м ²	0,120	0,024	0,006	0,005	0,002	0,001
9	S _{дв} ·10 ^{-0,1R₃}	-	S _{дв} =1,8 м ²	0,023	0,007	0,002	0,002	0,001	0,001
10	$\sum_{i=1}^3 S_i \times 10^{-0,1R_i}$	-	-	0,593	0,175	0,030	0,029	0,017	0,016
11	$\sum_{i=1}^3 S_i$	м ²	-	96	96	96	96	96	96
12	R _{ср}	дБ	R _{ср} =10lg(по з.11/поз.10)	22,1	27,4	35,1	35,2	37,5	37,8
13	10lgB _и	дБ		16,0	20,9	28,2	24,7	20,0	19,3
14	10lg96	-	10lg $\sum_{i=1}^3 S_i=10lg96$	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8
15	R _{каб}	дБ	R _{каб} =(R _{ср} +10lgB _и -10lg96)	18,3	28,5	43,5	40,1	37,7	37,3
16	R _{тр}	дБ	R _{тр} =L-L _{доп}	10	19	26	26	24	23

Из расчетов видно, что предлагаемое шумозащитное средство, т.е. звукоизолирующая кабина, обеспечивает комфортные шумовые условия на рабочем месте мастера. Её применение обеспечит необходимое снижение уровня звукового давления на среднегеометрических частотах от 125 Гц до 4000 Гц.

Заключение

С развитием средств автоматизации и электроники, шумы от используемого оборудования присутствуют повсеместно. Известно, что длительное воздействие шумов и вибраций отрицательно сказывается на самочувствии человека. И потому, знание как уберечь свое здоровье весьма необходимо.

Люди, работающие в цехах, где основными источниками шума являются шумы, возникающие при технологическом процессе, подвергают свой организм вредному воздействию. Введение дистанционного управления технологического оборудования цеха могло бы решить проблему защиты от шума и сохранить здоровье сотрудников.

Конструирование акустической кабины из выбранных материалов обеспечит защиту от шумового воздействия, до нормативных значений, регламентированных

санитарными нормами. Благодаря наличию звукоизолирующей кабины обеспечиваются комфортные уровни шума на рабочем месте мастера производства.

Список литературы

1. Занько Н.Г., Ретнев В.М. Медико-биологические основы безопасности жизнедеятельности. Учебник. – 2-е изд., стер. – М.: Академия, 2004. - 288 с.
2. Выбор и расчет средств защиты от шума и вибрации: учеб. пособие по выполнению дипломных, курсовых и практических работ для студентов / И.Г. Трунова, А.Б. Елькин, В.М. Смирнова; НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – Н.Новгород, 2012. - 116 с.
3. СП 51.13330.2011 Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003.
4. Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом: учебник: Н.И. Иванов. – 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Логос, 2015.-432 с.
5. http://w3.knauf.ru/img/catalog/download/Plity_perforirovannye_KNAUF-Akustika.pdf (дата обращения 30.10.2015).
6. Руководство по расчету и проектированию шумоглушения в промышленных зданиях / НИИСФ Госстроя СССР. –М.: Стройиздат, 1982. – 128 с.