

УДК 628.517.2

DOI 10.47367/0021-3497\_2021\_2\_118

## РАСЧЕТ ЗВУКОИЗОЛИРУЮЩИХ ОГРАЖДЕНИЙ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАШИН

### SOUNDPROOFING PROTECTIONS FOR THE INDUSTRIAL EQUIPMENT

*О.С. КОЧЕТОВ, Г.И. ХАЗАНОВ, М.А. АПАРУШКИНА*

*O.S. KOCHETOV, G.I. KHAZANOV, M.A. APARUSHKINA*

(Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство))

(Russian State University named after A.N. Kosygin (Technologies. Design. Art))

E-mail: o\_kochetov@mail.ru; paxt@yandex.ru

*Работа посвящена снижению шума на рабочих местах производственных помещений с использованием звукоизолирующих ограждений, устанавливаемых на наиболее шумное оборудование с учетом его акустических характеристик. Рассмотрен вопрос установки звукоизолирующих ограждений на оборудование в целом и на отдельные его узлы. В качестве примера звукоизоляции в источнике возникновения шума машины приведен расчет звукоизолирующего ограждения, предназначенного для установки его на аэродинамические устройства прядильных машин.*

*Work is devoted noise decrease on workplaces of industrial premises with use of the soundproofing protections, established on the most noisy equipment taking into account its acoustic characteristics. The question of installation of soundproofing protections on the equipment as a whole and on its separate knots is considered. As a sound insulation example in a source of occurrence of noise of the car calculation of the soundproofing protection intended for its installation on aerodynamic devices of spinning cars is resulted.*

**Ключевые слова:** производственные помещения, рабочие места, снижение шума, звукоизолирующие ограждения, акустические характеристики.

**Keywords:** industrial premises, workplaces, noise decrease, soundproofing protections, acoustic characteristics.

Для снижения шума на рабочих местах производственных помещений используются как звукопоглощающие облицовки и конструкции, так и звукоизолирующие ограждения, устанавливаемые на наиболее шумное оборудование с учетом их акустических характеристик [1], [2]. При этом установка звукоизолирующих ограждений может осуществляться как на оборудование в целом [3], так и на отдельные его узлы [2].

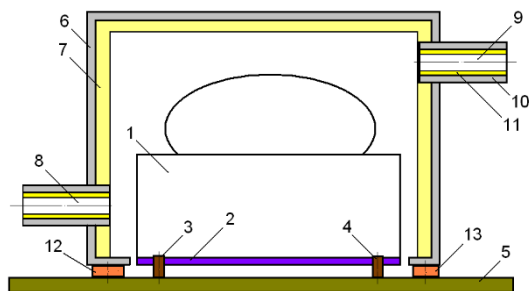


Рис. 1

На рис.1 представлена схема звукоизолирующего ограждения, предназначенного для установки его на технологическое оборудование 1 в целом. Ограждение содержит выполненные из упругого материала, например мягкой резины, виброизолирующие опоры 12 и 13, и установленный на них кожух 6, внутренние стенки которого облицованы звукопоглощающим материалом 7. В кожухе 6 выполнены вентиляционные каналы 8 и 9 для устранения перегрева оборудования, внутренние стенки 10 которых обработаны звукопоглощающим материалом 11 и акустически прозрачным материалом, например типа повиден. Платформа 2 оборудования 1 также установлена на виброизолирующие опоры 3 и 4, которые базируются на перекрытии 5 производственного здания. Каркас кожуха 6 выполнен либо цельным, либо состоящим из шумопоглощающих элементов, вписанных в его контур.

При работе технологического оборудования 1 вибрация и шум воспринимаются виброизолирующими опорами 3, 4, 12, 13, а звукопоглощающий материал 7 снижает уровень шума, производимого машиной. Переход звуковой энергии в тепловую (диссипация, рассеивание энергии) происходит

в порах звукопоглотителя, представляющих собою модель резонаторов Гельмгольца, где потери энергии происходят за счет трения колеблющейся с частотой возбуждения массы воздуха, находящегося в горловине резонатора, о стенки самой горловины, имеющей вид разветвленной сети пор звукопоглотителя.

Авторами разработана программа расчета уровней звукового давления негерметичных ограждений на ПЭВМ в среде Excel.

Расчет проводится по следующей зависимости:

$$R_{\text{кож.тр}} \leq R_{s_i} - 10 \lg \left( \frac{\sqrt{1-\alpha} + \frac{\sum \tau_i S_{oi}}{\sum S_i} \cdot 10^{0,1R_{si}}}{\alpha + \frac{\sum \tau_i S_{oi}}{\sum S_i} + (\sqrt{1-\alpha}) \cdot 10^{-0,1R_{si}}} \right), \quad (1)$$

где  $R_{\text{кож.тр}}$  – требуемая звукоизоляция кожуха, дБ, определяемая по формуле:

$$R_{\text{кож.тр}} = L_i - L_{\text{доп}} + 5, \quad (2)$$

$L_i$  – октавный уровень звукового давления в расчетной точке от одиночно работающей изолируемой машины, дБ;  $L_{\text{доп}}$  – допустимый по нормам уровень звукового давления в расчетной точке, дБ;  $R_{s_i}$  – средняя звукоизоляция сплошной части ограждений  $i$ -го кожуха, дБ;  $\alpha$  – реверберационный коэффициент звукопоглощения внутри  $i$ -го кожуха;  $\tau_i$  – энергетический коэффициент прохождения звука через глушитель технологического отверстия (для простого отверстия  $\tau_i = 1$ , причем простым отверстием считается отверстие без глушителя шума, как в нашем случае);  $\sum S_{oi}$  – суммарная площадь технологических отверстий для  $i$ -го кожуха машины,  $\text{м}^2$ ;  $\sum S_i$  – суммарная площадь сплошной части ограждения,  $\text{м}^2$ , определяемая по формуле

$$\sum S_i = 2(\ell_i b_i + b_i h_i + \ell_i h_i) - \sum S_{oi}, \quad (3)$$

где  $\ell_i$ ,  $b_i$ ,  $h_i$  – соответственно длина, ширина и высота  $i$ -го кожуха, м.

Величина реверберационного коэффициента звукопоглощения внутри ограждения определяется по формуле:

$$\alpha = \frac{\alpha_o (\sum S_i - \sum S_{oc}) + \alpha_{oc} \sum S_{oc}}{\sum S_i}, \quad (4)$$

где  $\alpha_o$  – реверберационный коэффициент звукопоглощения для ограждений без звукопоглощающего материала;  $\alpha_m$  – реверберационный коэффициент звукопоглощения звукопоглощающего материала;  $\sum S_m$  – площадь нанесения звукопоглощающего материала,  $m^2$ .

Октавные уровни звукового давления в зоне прямого звука  $L_{2-jpr}$ , дБ, при наличии в цехе штапельного производства ОАО "Киевское производственное объединение "Химволокно" звукопоглощающих конструкций определялись с учетом максимально возможного звукопоглощения следующим образом:

$$L_{2-jpr} = L_{P_o} + 10 \lg \left( \sum_{i=1}^m \frac{\chi_i \Phi_i}{S_i} + \frac{4\Psi_{1-j} n}{B_{1-j}} \right), \quad (5)$$

где  $L_{P_o}$  – звуковая мощность источника шума, дБ (принимается по паспортным данным на технологическое оборудование);  $S_i$  – площадь воображаемой поверхности правильной геометрической формы, окружающей  $i$ -й источник шума и проходящей через расчетную точку;  $m$  – количество источников шума, ближайших к расчетной точке;  $n$  – общее количество источников шума в помещении с учетом среднего коэффициента одновременности работы оборудования;  $\chi_i$  – коэффициент, учитывающий влияние ближнего акустического поля [1], [5];  $\Phi_i$  – фактор направленности  $i$ -го источника шума, безразмерный, определяемый по технической документации на источник шума (для ИШ с равномерным полем звука следует принимать  $\Phi_i = 1,0$ );  $\Psi_{1-j}$  – коэффициент, учитывающий нарушение диффузности звукового поля в помещении, принимаемый по графику в зависимости от отношения  $B_{1-j}/S_{огр}$ , [1], [5];  $B_{1-j}$  – постоянная по-

мещения после его акустической обработки,  $m^2$ ;  $j=1,2,3,4$  – число последовательных приближений к выбору максимально достаточной площади  $\Delta A_j$  дополнительного звукопоглощения в цехе;  $S_{огр}$  – площадь ограждающих поверхностей помещения,  $m^2$ .

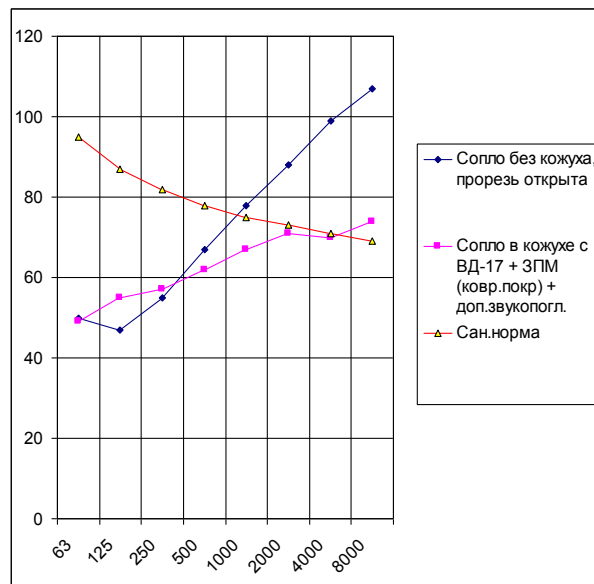


Рис. 2

На рис. 2 представлены спектры уровней звукового давления устройства для пневмопереплетения комплексных нитей при различных параметрах звукопоглощающей облицовки кожуха. Измерения акустических характеристик проводились в лаборатории аэродинамических исследований на расстоянии 1 м от контура устройства с использованием измерительного комплекса типа 4145, 2203,1616 фирмы Брюль и Къер (Дания). Условия проведения испытаний включали в себя последовательное изменение параметров звукоизолирующей облицовки кожуха, в который помещена форсунка, и введение дополнительных шумопоглощающих элементов. Анализ результатов расчета характеристик звукоизолирующего кожуха, проведенного на ПЭВМ, показал совпадение теоретической модели с результатами эксперимента. Таким образом, комплекс разработанных средств снижения шума в устройстве для пневмопереплетения комплексных нитей позволил снизить уровни звукового давле-

ния до нормативных значений, регламентированных ГОСТ 12.1.003–83.

Для комплектации звукоизолирующего кожуха можно воспользоваться элементами новых эффективных звукопоглощающих конструкций [3], [4], [6].

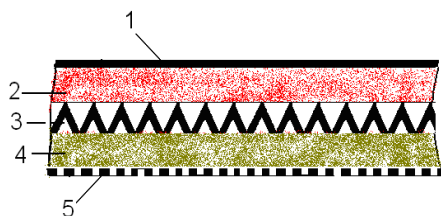


Рис. 3

На рис. 3 изображен общий вид конструкции шумопоглощающей облицовки.

Шумопоглощающая облицовка для технологических сооружений выполнена в виде сплошной 1 и перфорированной 5 стенок (поверхностей), между которыми расположен многослойный звукопоглощающий элемент, выполненный в виде трех слоев: центрального слоя 3 из звукоотражающего материала, сложного профиля, состоящего из равномерно распределенных пустотелых тетраэдров, позволяющих отражать падающие во всех направлениях звуковые волны, и симметрично прилегающих к нему звукопоглощающих слоев 2 и 4 из материалов разной плотности. Перфорированная стенка 5 имеет следующие параметры перфорации: диаметр отверстий –  $3 \div 7$  мм, процент перфорации 10 %  $\div$  15 %, причем по форме отверстия могут быть выполнены в виде отверстий круглого, треугольного, квадратного, прямоугольного или ромбовидного профиля, при этом в случае некруглых отверстий в качестве условного диаметра следует считать максимальный диаметр вписываемой в многоугольник окружности.

Каждая из стенок 1 и 5 может быть выполнена из:

- конструкционных материалов, с нанесенным на их поверхности с одной или двух сторон слоя мягкого вибродемпфирующего материала, например мастики ВД-17, или материала типа Герлен-Д, при этом соотношение между толщинами материала и вибродемпфирующего покрытия лежит в оптимальном интервале величин:  $1 / (2,5 \dots 3,5)$ ;

родемпфирующего покрытия лежит в оптимальном интервале величин:  $1 / (2,5 \dots 3,5)$ ;

- нержавеющей стали или оцинкованного листа толщиной 0,7 мм с полимерным защитно-декоративным покрытием типа Пурал толщиной 50 мкм или Полиэстер толщиной 25 мкм, или алюминиевого листа толщиной 1,0 мм и толщиной покрытия 25 мкм. Коэффициент перфорации перфорированных листов принимается равным или более 0,25;

- твердых, декоративных вибродемпфирующих материалов, например пластика типа Агат, Антивибрит, Швим, причем внутренняя поверхность перфорированной поверхности, обращенная в сторону звукопоглощающей конструкция, облицована акустически прозрачным материалом, например, стеклотканью типа ЭЗ-100 или полимером типа повиден, или неткаными материалами, например лутрасилом.

В качестве материала звукоотражающего слоя 3 может быть применен материал на основе алюминесодержащих сплавов с последующим наполнением их гидридом титана или воздухом с плотностью в пределах  $0,5 \dots 0,9$  кг/м<sup>3</sup> со следующими прочностными свойствами: прочность на сжатие в пределах 5...10 МПа, прочность на изгиб в пределах 10...20 Мпа, например пеноалюминия, или применены звукоизоляционные плиты на базе стеклянного штапельного волокна типа Шумостоп с плотностью материала, равной 60...80 кг/м<sup>3</sup>.

В качестве звукопоглощающего материала слоев 2 и 4 может быть применена минеральная вата на базальтовой основе типа Rockwool, или минеральная вата типа URSA, или базальтовая вата типа П-75, или стекловата с облицовкой стекловолокном, или вспененного полимера, например полиэтилена или полипропилена. Причем звукопоглощающий материал по всей своей поверхности облицован акустически прозрачным материалом, например стеклотканью типа ЭЗ-100 или полимером типа повиден, или поверхность волокнистых звукопоглотителей обрабатывается специальными пористыми красками, пропускающими воздух (например, Acutex Т) или покрывается воздухопроницаемыми тканями или нетка-

ными материалами, например Лутрасилом. Кроме того, в качестве звукопоглощающего материала слоев 2 и 4 может быть использован пористый шумопоглощающий материал, например, пеноалюминий или металлокерамика, или камень-ракушечник со степенью пористости, находящейся в диапазоне оптимальных величин: 30...45%, или металлопоролон, или материал в виде спрессованной крошки из твердых вибродемпфирующих материалов, например, эластомера, полиуретана, или пластика типа Агат, Антивибрит, Швим, причем размер фракций крошки лежит в оптимальном интервале величин: 0,3...2,5 мм, а также могут быть использованы пористые минеральные штучные материалы, например, пемза, вермикулит, каолин, шлаки с цементом или другим вяжущим, или синтетические волокна, при этом поверхность волокнистых звукопоглотителей обрабатывается специальными пористыми красками, пропускающими воздух, например, типа Acutex T, или покрывается воздухопроницаемыми тканями или неткаными материалами, например Лутрасилом.

В настоящее время волокнистые звукопоглотители являются наиболее употребительными в строительной практике. Они не только оказались наиболее эффективными с акустической точки зрения в широком частотном диапазоне, но и отвечают возросшим требованиям, предъявляемым к дизайну помещений.

В волокнистых поглотителях рассеяние энергии колебания воздуха и превращение ее в тепло происходит на нескольких физических уровнях. Во-первых, вследствие вязкости воздуха, а его очень много в межволоконном пространстве, колебание частиц воздуха внутри поглотителя приводит к трению. Кроме этого, происходит трение воздуха о волокна, поверхность которых также велика. В-третьих, волокна трутся друг о друга, и, наконец, происходит рассеяние энергии из-за трения кристаллов самих волокон. Этим объясняется, что на средних и высоких частотах коэффициент звукопоглощения волокнистых материалов находится в пределах 0,4...1,0.

В качестве звукоотражающего материала может быть применен:

- материал на основе фольги, или стеклопластика, или углепластика, или пластмассы, содержащей в качестве упрочняющего наполнителя углеродные волокна;

- материал на основе магнезимального вяжущего с армирующей стеклотканью или стеклохолстом.

В качестве звукопоглощающего материала использован полиэстер, а также пористый волокнистый или пенный звукопоглощающий материал, который выполнен на основе базальтовых или стеклянных волокон, или открытоячеистого пенополиуретана с защитной звукопрозрачной оболочкой из тонкой стеклоткани или алюминизированной лавсановой пленки.

В качестве звукопоглощающего материала использован пористый звукопоглощающий керамический материал, имеющий объемную плотность 500...1000 кг/м<sup>3</sup> и состоящий из 100 массовых частей перлита с диаметром частиц 0,5...2,0 мм, 100...200 массовых частей одного или нескольких спекающих материалов и 10÷20 массовых частей связующих материалов. В процессе спекания частицы перлита в точках соприкосновения образуют смежные поры. Этот материал обладает хорошей звукопоглощающей способностью в широком диапазоне частот, но имеет высокую плотность, связанную с содержанием большого количества спекающих материалов.

Шумопоглощающая облицовка работает следующим образом. Звуковая энергия от оборудования, находящегося в помещении, или другого, излучающего интенсивный шум, объекта, пройдя через стенки 1 и 5, попадает на звукопоглощающие слои 2 и 4 из материалов разной плотности, а затем звуковые волны падают на центральный слой 3 из звукоотражающего материала, состоящего из равномерно распределенных пустотелых тетраэдров, позволяющих отражать падающие во всех направлениях звуковые волны, а затем падает на слои 2 и 4 мягкого звукопоглощающего материала разной плотности, расположенные в два слоя (например, выполненного из базальто-

вого или стеклянного волокна). В волокнистых поглотителях рассеяние энергии колебания воздуха и превращение ее в тепло происходит на нескольких физических уровнях. Во-первых, вследствие вязкости воздуха, а его очень много в межволоконном пространстве, колебание частиц воздуха внутри поглотителя приводит к трению. Переход звуковой энергии в тепловую (диссипация, рассеивание энергии) происходит в порах звукопоглотителя, представляющих собою модель резонаторов Гельмгольца, где потери энергии происходят за счет трения колеблющейся с частотой возбуждения массы воздуха, находящегося в горловине резонатора о стенки самой горловины, имеющей вид разветвленной сети пор звукопоглотителя. Кроме того, происходит трение воздуха о волокна, поверхность которых также велика. В-третьих, волокна трутся друг о друга и, наконец, происходит рассеяние энергии из-за трения кристаллов самих волокон. Этим объясняется, что на средних и высоких частотах коэффициент звукопоглощения волокнистых материалов находится в пределах 0,4...1,0.

## ВЫВОДЫ

Таким образом, методика расчета звукоизолирующего кожуха для устройств пневмопереплетения комплексных нитей как негерметичного ограждения с технологическими отверстиями подтверждена результатами экспериментальных исследований. Разработанная конструкция звукоизолирующего кожуха с покрытием вибродемпфирующей мастикой ВД-17-58 позволила снизить уровень звукового давления в спектре на 14...15 дБ, (уровень звука на 5...6 дБА). Звукопоглощающий слой из синтетического коврового покрытия уменьшает шум дополнительно на 8...10 дБ, а введение в зону работы форсунки дополнительных звукопоглотителей из пенополиуретана позволило довести уровень излучаемого шума до санитарных норм.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кочетов О.С., Сажин Б.С. Снижение шума и вибраций в производстве: Теория, расчет, технические решения. – М.: МГТУ им. А.Н. Косыгина, 2001.
2. А. с. 1326657 СССР. Устройство для пневмопереплетения комплексных нитей / Волхонский А.А., Лев С.Г., Кочетов О.С. и др. – заявл.; опублик., Бюл. № 28.
3. Пат. 2295089. Звукоизолирующее ограждение / Кочетов О.С. Бюллетень изобретений № 7 от 10.03.2007.
4. Пат. 2324793 Панель шумопоглощающая / Кочетов О.С. Бюллетень изобретений №14 от 20.05.2008.
5. Кочетов О.С., Апарушкина М.А., Моргун О.С., Токарев М.В., Алейников В.Ю. Методика расчета эффективности снижения шума машин для вязкозных текстильных нитей // Сб. мат. Междунар. научн.-техн. конф.: Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности (ИННОВАЦИИ-2018). – М., 2018. С. 115...117.
6. Пат. 2324794. Панель шумоотражающая светопрозрачная / Кочетов О.С. Бюллетень изобретений №14 от 20.05.2008.

## REFERENCES

1. Kochetov O.S., Sazhin B.S. Snizhenie shuma i vibratsiy v proizvodstve: Teoriya, raschet, tekhnicheskie resheniya. – M.: MG TU im. A.N. Kosygina, 2001.
2. A. s. 1326657 SSSR. Ustroystvo dlya pnevmoperepleteniya kompleksnykh nitey / Volkhonskiy A.A., Lev S.G., Kochetov O.S. i dr. – zayavl.; publ., Byul. № 28.
3. Pat. 2295089. Zvukoizoliruyushchee ograzhdenie / Kochetov O.S. Byulleten' izobreteniy № 7 ot 10.03.2007.
4. Pat. 2324793 Panel' shumopogloshchayushchaya / Kochetov O.S. Byulleten' izobreteniy №14 ot 20.05.2008.
5. Kochetov O.S., Aparushkina M.A., Morgun O.S., Tokarev M.V., Aleynikov V.Yu. Metodika rascheta effektivnosti snizheniya shuma mashin dlya viskoznykh tekstil'nykh nitey // Sb. mat. Mezhdunar. nauchn.-tekhn. konf.: Dizayn, tekhnologii i innovatsii v tekstil'noy i legkoy promyshlennosti (INNOVATsII-2018). – M., 2018. S. 115...117.
6. Pat. 2324794. Panel' shumootrazhayushchaya svetoprozrachnaya / Kochetov O.S. Byulleten' izobreteniy №14 ot 20.05.2008.

Рекомендована кафедрой промышленной экологии и безопасности. Поступила 09.04.21.