

## СНИЖЕНИЕ АКУСТИЧЕСКОГО ШУМА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ РЭС

Одним из наиболее распространенных факторов внешней среды, неблагоприятно влияющих на работу РЭС, технологические процессы и организм человека, является акустический шум. Часто уровень шума непосредственно влияет на качество труда (звукозапись, ультразвуковая диагностика, регулировка, настройка РЭС и т.п.). Известно, что источниками акустического шума в металлообрабатывающих цехах главным образом являются технологическое оборудование и станочный инструмент (несбалансированные роторы электродвигателей, пневматические приводы станков, резцы, фрезы, сверла и т.д.). В гальванических и сборочных цехах, конструкторских бюро и вычислительных центрах преобладает шум от кондиционеров и вентиляционных устройств. На участках регулировки и настройки РЭС в качестве источников шума преобладают системы обеспечения теплового режима (СОТР).

При длительном воздействии акустического шума на организм происходят различные нежелательные явления в виде снижения остроты слуха и зрения, повышения кровяного давления, снижения внимания. Сильный продолжительный шум может стать причиной функциональных изменений сердечно-сосудистой и нервной систем. Поэтому снижение акустического шума на сегодняшний день продолжает оставаться актуальной задачей. В рассмотренных случаях шум по характеру происхождения можно разделить на механический, аэродинамический и электромагнитный. Часто приходится иметь дело с многотональным шумом, характеризующимся сложным спектром с характерными максимумами на различных частотах. Это вызвано разнообразными источниками и характером происхождения шума. Если источник шума находится в производственном помещении, то для его снижения применяют звукопоглощающие материалы, которыми покрывают преимущественно стены и потолок. При этом уровень шума снижается за счет снижения интенсивности отраженной волны. Частотные свойства некоторых звукопоглощающих материалов [2] показаны на рис. 1.

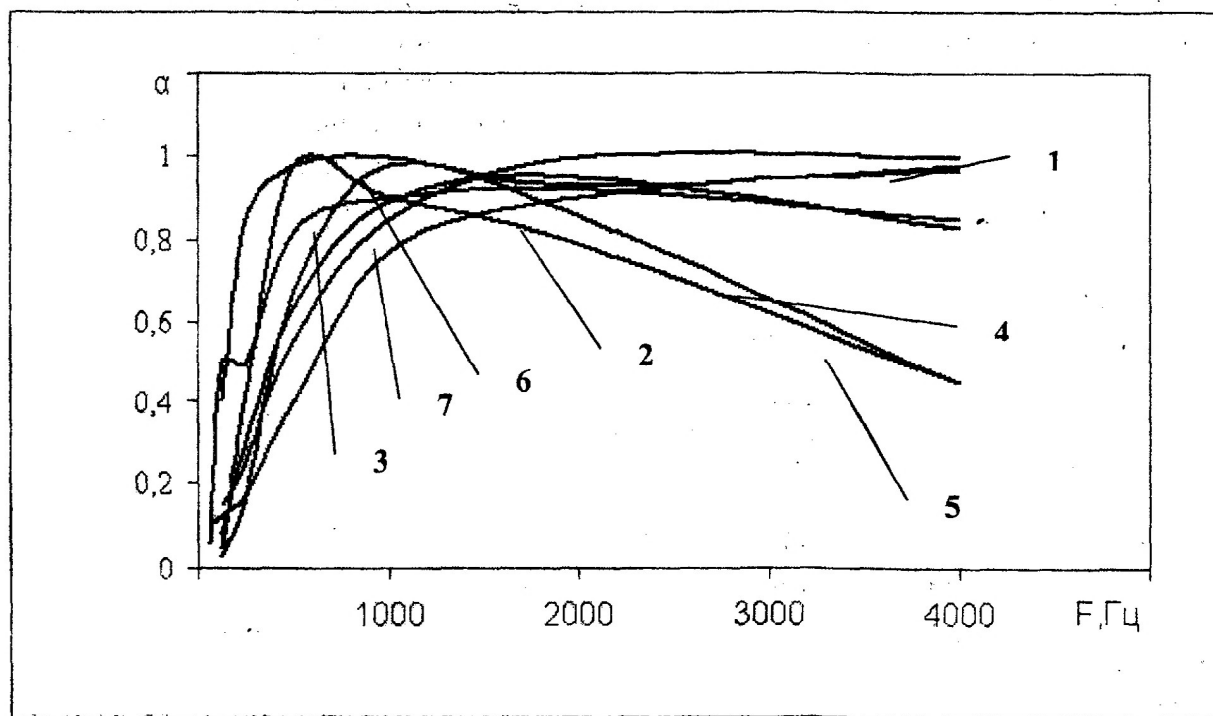


Рис. 1

На рис. 1 приведены следующие обозначения: 1 – “Винипор” (полужесткий) толщиной 30 мм. 2 – маты из штапельного капронового волокна толщиной 50-60 мм. 3 – супертонкое базальтовое волокно, стеклоткань типа ЭЗ-100, металлический перфорированный лист с перфорацией 27% толщиной 50 мм. 4 – акустическая плита ПАО толщиной 20 мм. 5 – то же, толщиной 50 мм. 6 – маты из супертонкого стекловолокна, оболочка из стеклоткани толщиной 50 мм. 7 – ПП-80, ППМ, ПММ звукопоглощающие полужесткие толщиной 30 мм.

Стандартная методика проектирования [1;2] звукопоглощения сводится к следующему:

- 1) определяют требуемое снижение шума в каждой октавной полосе сравнением измеренных значений с нормами;
- 2) подбирают звукопоглощающий материал (материалы) таким образом, чтобы максимум частотной характеристики коэффициента звукопоглощения соответствовал максимуму в спектре требуемого снижения шума;
- 3) рассчитывают эквивалентную площадь звукопоглощения соответственно до и после обработки помещения в каждой октавной полосе;
- 4) рассчитывают ожидаемое снижение шума в каждой октавной полосе по формуле:

$$\Delta L_j = 10 \lg \frac{A_{2j}}{A_{1j}} = 10 \lg \frac{\sum \alpha_{aj} S_a + \sum \alpha_{bj} S_b}{\sum \alpha_{cj} S_c},$$

где  $j$  – номер октавной полосы (соответственно для среднегеометрических частот октавной полосы: 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000; 8000 Гц);  $A_{2j}$  и  $A_{1j}$  – эквивалентные площади звукопоглощения соответственно до и после обработки помещения;  $\alpha_{aj}$  и  $S_a$  – соответственно коэффициент звукопоглощения и площадь вводимого звукопоглощающего материала;  $\alpha_{bj}$  и  $S_b$  – соответственно коэффициент звукопоглощения и площадь необлицованной после обработки помещения поверхности (окон, пола, дверей, оборудования и т.д.);  $\alpha_{cj}$  и  $S_c$  – соответственно коэффициент звукопоглощения и площадь звукопоглощающего материала до обработки помещения (стен, потолка, пола, дверей, окон, оборудования и т.д.);

5) сравнивают ожидаемое снижение шума с требуемым в каждой октавной полосе и делают вывод об эффективности применения звукопоглощающего материала (материалов).

Пользуясь этой методикой, разработчик задается величинами площади выбранных звукопоглощающих материалов и в дальнейшем выполняет проверку. Если в каждой октавной полосе ожидаемое снижение шума превышает требуемое, расчет заканчивается. При этом выбранные значения площади не являются оптимальными и влекут за собой лишние экономические затраты. В этом заключается недостаток данной методики.

С целью снижения экономических затрат выбор площади звукопоглощающих материалов необходимо оптимизировать. Научная новизна данной статьи состоит в постановке оптимизационной задачи. Она основана на ряде ограничений:

- 1) уровня шума в каждой октавной полосе;
- 2) площади помещения, отводимой под облицовку звукопоглощающими материалами;
- 3) экономических затрат на облицовку помещения.

Если какие-либо из этих условий рассматривать в качестве целевой функции, то остальные следует рассматривать в качестве системы ограничений. Согласно выражению (1) эквивалентная площадь звукопоглощения однозначно определяется требуемым уровнем шума. Поэтому ограничение уровня шума (см.п.1) можно представить ограничением эквивалентной площади звукопоглощения снизу. Принимая во внимание линейную модель введенных условий (пп. 1...3), задачу оптимизации можно решать методами линейного программирования.

Рассмотрим одну из возможных постановок задачи. В помещении испытательного участка РЭС имеются источники многотонального шума. Для его нормализации (приведения к норме) необходимо облицевать помещение звукопоглощающими материалами, каждый из которых наиболее эффективен в определенной части спектра. Допускается выбирать материал из состава, приведенного на рис. 1. Требуется минимизировать экономические затраты на облицовку помещения согласно выражению:

$$F(S_a) = \sum_{a=1}^n k_a S_a \quad (2)$$

где  $a$  – номер звукопоглощающего материала;  $n$  – количество применяемых звукопоглощающих материалов;  $k_a$  – удельная стоимость материала облицовки с учетом транспортировки, хранения и установки.

Система ограничений имеет вид

$$\begin{cases} \sum_{a=1}^n \alpha_{aj} S_a \geq A_{2j} = \Delta L_j \sum \alpha_{cj} S_c \\ \sum_{a=1}^n S_a \leq S \end{cases} \quad (3)$$

где  $S$  – общая площадь помещения, отводимая под облицовку.

Помещение находится в одноэтажном здании. Размеры помещения  $6 \times 8 \times 4$  м. Площадь помещения, отводимая под облицовку,  $130 \text{ м}^2$ . Имеется два застекленных окна общей площадью  $12 \text{ м}^2$  и металлическая дверь площадью  $4 \text{ м}^2$ . Пол – бетонный, покрытый линолеумом (толщиной  $5 \text{ мм}$ ). Измеренный шумовой спектр имеет два максимума, превышающих норму и находящихся в 4 и 6-й октавной полосах.

Рассмотрим решение. Предлагается использовать акустическую плиту ПА/О толщиной  $50 \text{ мм}$  и материал ПП-80 толщиной  $30 \text{ мм}$ , т.к. в этих октавных полосах они обладают наилучшими поглощающими свойствами (см. рис.1). Удельная стоимость этих материалов с учетом транспортировки, хранения и установки соответственно равна  $40$  и  $36 \text{ грн/м}^2$ .

Целевая функция, которую нужно минимизировать, в данном случае имеет вид

$$F(S_a) = 40S_{\text{ПА/О}} + 36S_{\text{ПП-80}} \quad (4)$$

Система ограничений имеет следующий вид:

$$0.98S_{\text{ПА/О}} + 0.64S_{\text{ПП-80}} \geq 80 \quad (5)$$

$$0.79S_{\text{ПА/О}} + 0.95S_{\text{ПП-80}} \geq 82 \quad (6)$$

$$S_{\text{ПА/О}} + S_{\text{ПП-80}} \leq 130 \quad (7)$$

$$S_{\text{ПА/О}} \geq 0 \quad (8)$$

$$S_{\text{ПП-80}} \geq 0 \quad (9)$$

На рис. 2 изображена область допустимых решений задачи (ОДР). Нумерация прямых совпадает с нумерацией математических выражений данной статьи. Очевидно, что целевая функция (4) приобретает минимальные значения в точке с координатами

$$(S_{\text{ПА/О}} = 56 \text{ м}^2; S_{\text{ПП-80}} = 39 \text{ м}^2).$$

Для сравнения эффективности полученного решения в таблице приведены координаты других вершин ОДР, соответствующие им значения целевой функции и экономические затраты в сравнении с оптимальным решением. Это подтверждает актуальность данной постановки задачи.

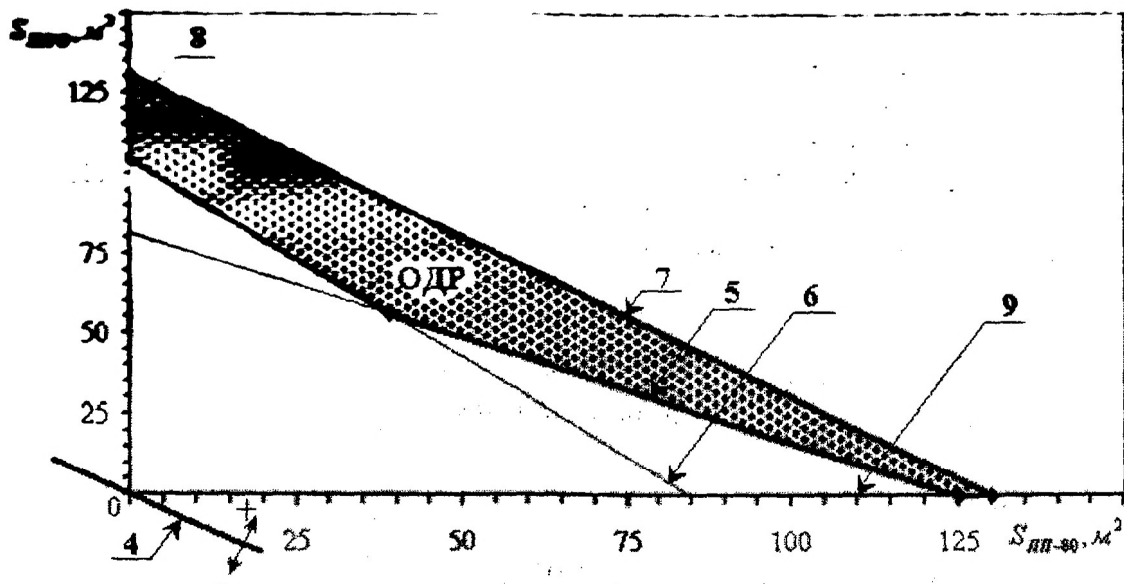


Рис. 2

Координаты вершин ОДР		Значение целевой функции $F(S_a)$ (затраты на облицовку), грн.	Экономические затраты в сравнении с оптимальным решением $[F(S_a) - F(S_{опт})]$ , грн.
$S_{пл-80}, м^2$	$S_{пл-10}, м^2$		
39	56	3644	-
-	104	4160	516
130	-	4680	1036
125	-	4500	856
-	130	5200	1556

Таким образом, экономический эффект от оптимизации в рассмотренных условиях очевиден. Ее практическая ценность будет наиболее ощутима на крупных предприятиях, где суммарная площадь облицовки различных технологических помещений превышает рассмотренную величину на 1-2 порядка.

Список литературы: 1. Ярошевська В.Н. та ін. Охорона праці в галузі. К.: Професіонал, 2004. 286 с. 2. Жидецький В.Ц. та ін. Практикум із охорони праці. Львів.: Афіша, 2000. 318 с. 3. Сухарев и др. Курс методов оптимизации. М.: Наука, 1986. 349 с.

Харьковский национальный  
университет радиоэлектроники

Поступила в редколлегию 01.09.2004