

УДК: 331.45  
OECD: 02.03

## Теоретическое обоснование акустической эффективности шумозащиты при ручной абразивной обработке сварных швов

Исаев А.Г.

Доцент кафедры «Эксплуатация транспортных систем и логистика», Донской государственной технической университет, г. Ростов-на-Дону, РФ

### Аннотация

Обеспечение безопасных условий труда имеет важное значение при обработке и упрочнении сварных швов стержневых конструкций. Это связано с тем, что сварка относится к одной из наиболее популярных технологий соединения металлических конструкций, а обработка одним из обязательных этапов после выполнения сварочных работ. В связи с этим представляется целесообразным выполнить проектирование специального устройства для широкой номенклатуры элементов рамных конструкций. В данной статье представлена схема звукоизоляции системы шумозащиты устройства, способная обеспечить выполнение санитарных норм при обработке сварных швов. Определены скорости колебаний для условий абразивной обработки при различных условиях закрепления. Представлен расчет системы шумозащиты основанный на выполнении санитарных норм шума. Обоснован выбор материала и толщины ограждения. Результаты показывают, что сравнение теоретически рассчитанной звукоизоляции и экспериментально определенной имеют достаточную для инженерных целей точность испытаний системы шумозащиты в производственных условиях и показали выполнение санитарных норм шума во всем нормируемом диапазоне частот.

**Ключевые слова:** абразивная обработка, уровни звукового давления, спектры шума, сварной шов, рамные конструкции.

### *Theoretical substantiation of acoustic efficiency of noise protection during manual abrasive treatment of welds*

Isaev A.G.

Senior Lecturer 'Operation of transport systems and logistics', Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia

### Abstract

Ensuring safe working conditions is important when processing and strengthening the welds of rod structures. This is due to the fact that welding is one of the most popular technologies for joining metal structures, and processing is one of the mandatory stages after welding. In this regard, it seems appropriate to design a special device for a wide range of elements of frame structures. This article presents a sound insulation scheme of the noise protection system of the device, capable of ensuring compliance with sanitary standards when processing welds. The oscillation rates for the conditions of abrasive treatment under various conditions of fixation are determined. The calculation of the noise protection system based on the implementation of sanitary noise standards is presented. The choice of the material and thickness of the fence is justified. The results show that the comparison of theoretically calculated sound insulation and experimentally determined have sufficient

accuracy for engineering purposes of testing the noise protection system in production conditions and showed compliance with sanitary noise standards in the entire normalized frequency range.

**Keywords:** abrasive treatment, sound pressure levels, noise spectra, welds, frame structures.

## Введение

Применение сварных стыковых соединений находят широкое распространение в машиностроении и строительстве, и повышение надежности таких соединений является одной из важнейших задач. Одним из обязательных этапов проведения сварочных работ, является абразивная обработка сварных швов. Обработка таким методом пользуется особой популярностью и может осуществляться как вручную, так и на плоскошлифовальных станках в открытом пространстве и в условиях производственных помещений. Однако процесс обработки приводит к неблагоприятным условиям труда, превышающим допустимые уровни шума в рабочей зоне оператора. По данным работы [1] экспериментальных исследований для конструкций из швеллеров и уголков с различными геометрическими размерами показал практически полную идентичность в формировании характеров спектров. Различия заключались только в уровнях спектральных составляющих. Отмечено, что спектральный состав стержневых конструкций имеет высокочастотный характер.

### 1. Конструкция специального устройства для обработки сварных швов

Поскольку технологический процесс обработки сварных швов стержневых конструкций является необходимой процедурой при выполнении сварочных работ, представляется целесообразным выполнить проектирование специального устройства для широкой номенклатуры элементов рамных конструкций, такие как уголки, швеллера, двутавровый профиль, при этом данная конструкция способна обеспечить выполнение санитарных норм в рабочей зоне оператора и для процесса обработки шарико-стержневым упрочнителем.

Конструкция специального устройства представлена на рисунке 1.

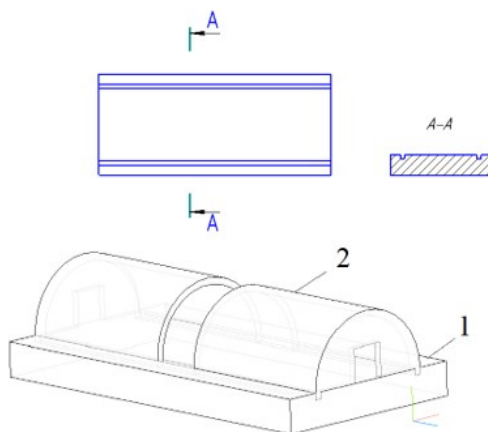


Рис. 1. Специальное устройство

Специальный стенд состоит из плиты основания (1) и шумозащитных экранов. В верхней части плиты имеются проточки для установки дугообразных экранов системы шумозащиты (2) вдоль обрабатываемого изделия выполненных из органического стекла,

толщина которого определялась из требуемых величин звукоизоляции. Материал экраны выбран для необходимости визуального контроля оператором за технологическим процессом обработки сварных швов и служит барьером от прямого попадания абразивных частиц, искры и т.д. С торцевой стороны экранов предусмотрены прямоугольные отверстия для подачи элементов стержневых конструкций различных геометрических размеров, включая продольные балки сваренных из двух швеллеров используемых для изготовления рам наземного транспорта.

Схема звукоизоляции системы шумозащиты устройства приведена на рисунке 2.

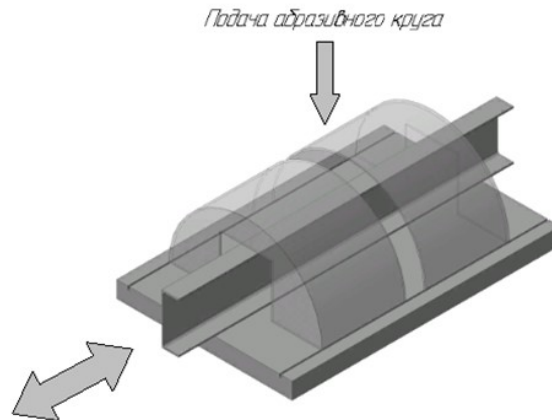


Рис. 2. Схема шумозащиты устройства при абразивной обработке сварных швов стержневых конструкций

Установка работает следующим методом. Подача элементов рамных конструкций осуществляется через торцевую часть защитного экрана и фиксируется на плите устройства, таким образом, чтоб сварной шов находился между защитными экранами, образуя между собой паз для подачи абразивного инструмента с последующей обработкой. При этом в местах обработки осуществляется отвод пыли, что также позволит выполнить санитарные нормы в рабочей зоне.

## 2. Определение скоростей колебаний

Для условия абразивной обработки сварных швов на стержнях прямоугольного полого профиля, устанавливаемых на столе станка уравнения колебаний определяются следующим образом:

$$\begin{aligned} & \left[ J_z \left( \frac{\pi k}{l} \right)^2 + F \right] \frac{d^2 \eta}{dt^2} + \left[ 2,7 \cdot 10^4 J_z \left( \frac{\pi k}{l} \right)^4 + 1,3 \cdot 10^{-4} j_{\text{пр}} \right] \xi = \\ & = \frac{2,6 \cdot 10^{-4} P}{l} \sum \sin(0,1 K_c n t + \varphi) \sin \frac{\pi k z_0}{l}; \\ & \left[ J_y \left( \frac{\pi k}{l} \right)^2 + F \right] \frac{d^2 \varepsilon}{dt^2} + \left[ 2,7 \cdot 10^4 J_y \left( \frac{\pi k}{l} \right)^4 + 1,3 \cdot 10^{-4} j_{\text{пр}} \right] \varepsilon = \\ & = \frac{2,6 \cdot 10^{-4} P}{l} \sum \sin(0,1 K_c n t + \varphi) \sin \frac{\pi k z_0}{l}, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $J_{z,y}$  – моменты инерции в направлении осей координат OX и OY, м<sup>4</sup>;  $k$  – коэффициент, определяющий собственные частоты колебания;  $l$  – длина источника, м;  $F = h(b+a-h)$ ;  $b$

и  $a$  – ширина и высота профиля, м,  $h$  – толщина профиля;  $K_c$  – коэффициент зернистости;  $n$  – частота вращения шлифовального круга, об/мин;  $t$  – глубина шлифования, мм;  $\eta$  и  $\varepsilon$  – деформации изгиба изделия в направлении осей ОХ и ОУ (соответственно), м;  $P$  – силовое воздействие со стороны технологического процесса, Н;  $j_{пр}$  – приведенная жесткость технологической системы, Н/м.

При установке профиля в делительной головке следует рассмотреть два соотношения для условий закрепления:

Шарнирно-опертая заготовка

$$\begin{aligned}
 & \frac{d^2\eta}{dt^2} + 2,7 \cdot 10^4 \frac{J_z}{F} \left( \frac{\pi k}{l} \right)^4 \xi = \\
 & = \frac{2,6 \cdot 10^{-4} P}{l} \cdot \sin \frac{\pi k z_0}{l} \cdot \sum \sum \left[ \frac{\tau}{T} + \frac{1}{\pi i} \sin \frac{\pi i \tau}{T} \sin \left( \frac{2\pi i}{T} t + \varphi \right) \right] \sin \frac{\pi k z_0}{l}; \\
 & \frac{d^2\varepsilon}{dt^2} + 2,7 \cdot 10^4 \frac{J_y}{F} \left( \frac{\pi k}{l} \right)^4 \varepsilon = \\
 & = \frac{2,6 \cdot 10^{-4} P}{l} \cdot \sin \frac{\pi k z_0}{l} \cdot \sum \sum \left[ \frac{\tau}{T} + \frac{1}{\pi i} \sin \frac{\pi i \tau}{T} \sin \left( \frac{2\pi i}{T} t + \varphi \right) \right] \sin \frac{\pi k z_0}{l}.
 \end{aligned} \tag{2}$$

Для условий упруго-диссипативных опор

$$\begin{aligned}
 & \frac{d^2\eta}{dt^2} + 2,7 \cdot 10^4 \frac{J_z}{F} \left( \frac{\pi k}{l} \right)^4 \xi = \\
 & = \frac{2,6 \cdot 10^{-4} P}{l} \cdot \cos^3 \frac{\pi k z_0}{l} \cdot \sum \sum \left[ \frac{3\tau}{T} + \frac{1}{\pi i} \sin \frac{\pi i \tau}{T} \sin \left( \frac{2\pi i}{T} t + \varphi \right) \right] \sin \frac{\pi k z_0}{l}; \\
 & \frac{d^2\varepsilon}{dt^2} + 2,7 \cdot 10^4 \frac{J_y}{F} \left( \frac{\pi k}{l} \right)^4 \varepsilon = \\
 & = \frac{2,6 \cdot 10^{-4} P}{l} \cdot \cos^3 \frac{\pi k z_0}{l} \cdot \sum \sum \left[ \frac{3\tau}{T} + \frac{1}{\pi i} \sin \frac{\pi i \tau}{T} \sin \left( \frac{2\pi i}{T} t + \varphi \right) \right] \sin \frac{\pi k z_0}{l}; \\
 & \frac{d^2\eta}{dt^2} + 2,7 \cdot 10^4 \frac{J_z}{F} \left( \frac{3\pi k}{l} \right)^4 \xi = \\
 & = \frac{2,6 \cdot 10^{-4} P}{l} \cdot \cos^3 \frac{\pi k z_0}{l} \cdot \sum \sum \left[ \frac{\tau}{T} + \frac{1}{\pi i} \sin \frac{\pi i \tau}{T} \sin \left( \frac{2\pi i}{T} t + \varphi \right) \right] \sin \frac{\pi k z_0}{l} \\
 & \frac{d^2\varepsilon}{dt^2} + 2,7 \cdot 10^4 \frac{J_y}{F} \left( \frac{3\pi k}{l} \right)^4 \varepsilon = \\
 & = \frac{2,6 \cdot 10^{-4} P}{l} \cdot \cos^3 \frac{\pi k l_1}{l} \cdot \sum \sum \left[ \frac{\tau}{T} + \frac{1}{\pi i} \sin \frac{\pi i \tau}{T} \sin \left( \frac{2\pi i}{T} t + \varphi \right) \right] \sin \frac{\pi k z_0}{l},
 \end{aligned}$$

где  $\tau$  – время силового воздействия, с;  $T$  – период возмущений;  $i$  – номер гармоники колебаний;  $J_{z,y}$ ,  $k$ ,  $l$ ,  $F$ ,  $n$ ,  $t$ ,  $\eta$  и  $\varepsilon$ ,  $P$  – то же, что и в формуле (1).

Решения уравнений получены с следующим виде:

$$\begin{aligned} \xi &= \frac{2,6 \cdot 10^{-4} P}{l} \left\{ \sum \left[ 2,7 \cdot 10^4 J_z \left( \frac{\pi k}{l} \right)^4 + 1,3 \cdot 10^{-4} j_{\text{нр}} \right] - \left[ J_z \left( \frac{\pi k}{l} \right)^2 + F \right] (0,1nk_c)^2 \right\} \cdot \\ &\cdot \left\{ \left[ 2,7 \cdot 10^4 J_z \left( \frac{\pi k}{l} \right)^4 + 1,3 \cdot 10^{-4} j_{\text{нр}} \right] - \left[ J_z \left( \frac{\pi k}{l} \right)^2 + F \right] (0,1nk_c)^2 \right\}^2 + \\ &+ \left[ 2,7 \cdot 10^4 J_z \left( \frac{\pi k}{l} \right)^4 \eta_1 + 1,3 \cdot 10^{-4} j_{\text{нр}} \eta_2 \right]^{-1} \cdot \sin \frac{\pi k z_0}{l} \cdot \sin(0,1nk_c t + \varphi); \\ \varepsilon &= \frac{2,6 \cdot 10^{-4} P}{l} \left\{ \sum \left[ 2,7 \cdot 10^4 J_y \left( \frac{\pi k}{l} \right)^4 + 1,3 \cdot 10^{-4} j_{\text{нр}} \right] - \left[ J_y \left( \frac{\pi k}{l} \right)^2 + F \right] (0,1nk_c)^2 \right\} \cdot \\ &\cdot \left\{ \left[ 2,7 \cdot 10^4 J_y \left( \frac{\pi k}{l} \right)^4 + 1,3 \cdot 10^{-4} j_{\text{нр}} \right] - \left[ J_y \left( \frac{\pi k}{l} \right)^2 + F \right] (0,1nk_c)^2 \right\}^2 + \\ &+ \left[ 2,7 \cdot 10^4 J_y \left( \frac{\pi k}{l} \right)^4 \eta_1 + 1,3 \cdot 10^{-4} j_{\text{нр}} \eta_2 \right]^{-1} \cdot \sin \frac{\pi k z_0}{l} \cdot \sin(0,1nk_c t + \varphi). \end{aligned}$$

Шарнирно-опертая заготовка

$$\begin{aligned} \xi &= \sum \frac{10^{-8} P F l^3}{J_z(\pi k)^4} \cdot \frac{\tau}{T} \sin \frac{\pi k z_0}{l} + \frac{2,6 \cdot 10^{-4} P}{l} \cdot \\ &\cdot \sum \sum \sin \frac{\pi k z_0}{l} \cdot \frac{1}{\pi i} \sin \frac{\pi i \tau}{T} \left[ 2,7 \cdot 10^4 \frac{J_z}{F} \left( \frac{\pi k}{l} \right)^4 - \eta_0 \left( \frac{i}{T} \right)^2 \right] \cdot \\ &\cdot \left\{ \left[ 2,7 \cdot 10^4 \frac{J_z}{F} \left( \frac{\pi k}{l} \right)^4 - \eta_0 \left( \frac{i}{T} \right)^2 \right]^2 + 7,3 \cdot 10^8 \left( \frac{J_z}{F} \eta \right)^2 \left( \frac{\pi k}{l} \right)^8 \right\}^{-1} \cdot \sin \left( \frac{2\pi i}{T} t + \varphi \right); \\ \varepsilon &= \sum \frac{10^{-8} P F l^3}{J_y(\pi k)^4} \cdot \frac{\tau}{T} \sin \frac{\pi k z_0}{l} + \frac{2,6 \cdot 10^{-4} P}{l} \cdot \\ &\cdot \sum \sum \sin \frac{\pi k z_0}{l} \cdot \frac{1}{\pi i} \sin \frac{\pi i \tau}{T} \left[ 2,7 \cdot 10^4 \frac{J_y}{F} \left( \frac{\pi k}{l} \right)^4 - \eta_0 \left( \frac{i}{T} \right)^2 \right] \cdot \\ &\cdot \left\{ \left[ 2,7 \cdot 10^4 \frac{J_y}{F} \left( \frac{\pi k}{l} \right)^4 - \eta_0 \left( \frac{i}{T} \right)^2 \right]^2 + 7,3 \cdot 10^8 \left( \frac{J_y}{F} \eta \right)^2 \left( \frac{\pi k}{l} \right)^8 \right\}^{-1} \cdot \sin \left( \frac{2\pi i}{T} t + \varphi \right). \end{aligned}$$

Для условий упруго-диссипативных опор

$$\begin{aligned} \xi &= \sum \frac{10^{-8} P F l^3}{J_z(\pi k)^4} \cdot \frac{3\tau}{T} \cos^3 \frac{\pi k z_0}{l} + \frac{2,6 \cdot 10^{-4} P}{l} \cdot \\ &\cdot \sum \sum \sin \frac{\pi k z_0}{l} \cdot \frac{1}{\pi i} \sin \frac{\pi i \tau}{T} \left[ 2,7 \cdot 10^4 \frac{J_z}{F} \left( \frac{\pi k}{l} \right)^4 - \eta_0 \left( \frac{i}{T} \right)^2 \right] \cdot \\ &\cdot \left\{ \left[ 2,7 \cdot 10^4 \frac{J_z}{F} \left( \frac{\pi k}{l} \right)^4 - \eta_0 \left( \frac{i}{T} \right)^2 \right]^2 + 7,3 \cdot 10^8 \left( \frac{J_z}{F} \eta \right)^2 \left( \frac{\pi k}{l} \right)^8 \right\}^{-1} \cdot \sin \left( \frac{2\pi i}{T} t + \varphi \right); \\ \varepsilon &= \sum \frac{10^{-8} P F l^3}{J_y(\pi k)^4} \cdot \frac{3\tau}{T} \cos^3 \frac{\pi k z_0}{l} + \frac{2,6 \cdot 10^{-4} P}{l} \cdot \\ &\cdot \sum \sum \sin \frac{\pi k z_0}{l} \cdot \frac{1}{\pi i} \sin \frac{\pi i \tau}{T} \left[ 2,7 \cdot 10^4 \frac{J_y}{F} \left( \frac{\pi k}{l} \right)^4 - \eta_0 \left( \frac{i}{T} \right)^2 \right] \cdot \\ &\cdot \left\{ \left[ 2,7 \cdot 10^4 \frac{J_y}{F} \left( \frac{\pi k}{l} \right)^4 - \eta_0 \left( \frac{i}{T} \right)^2 \right]^2 + 7,3 \cdot 10^8 \left( \frac{J_y}{F} \eta \right)^2 \left( \frac{\pi k}{l} \right)^8 \right\}^{-1} \cdot \sin \left( \frac{2\pi i}{T} t + \varphi \right). \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \xi &= \sum \frac{1,2 \cdot 10^{-10} P F l^3}{J_z(\pi k)^4} \cdot \frac{\tau}{T} \cos^3 \frac{\pi k z_0}{l} + \frac{2,6 \cdot 10^{-4} P}{l} \cdot \\ &\cdot \sum \sum \sin \frac{\pi k z_0}{l} \cdot \frac{1}{\pi i} \sin \frac{\pi i \tau}{T} \left[ 2,7 \cdot 10^4 \frac{J_z}{F} \left( \frac{3\pi k}{l} \right)^4 - \eta_0 \left( \frac{i}{T} \right)^2 \right] \cdot \\ &\cdot \left\{ \left[ 2,7 \cdot 10^4 \frac{J_z}{F} \left( \frac{3\pi k}{l} \right)^4 - \eta_0 \left( \frac{i}{T} \right)^2 \right]^2 + 7,3 \cdot 10^8 \left( \frac{J_z}{F} \eta \right)^2 \left( \frac{3\pi k}{l} \right)^8 \right\}^{-1} \sin \left( \frac{2\pi i}{T} t + \varphi \right); \\ \varepsilon &= \sum \frac{1,2 \cdot 10^{-10} P F l^3}{J_y(\pi k)^4} \cdot \frac{\tau}{T} \cos^3 \frac{\pi k z_0}{l} + \frac{2,6 \cdot 10^{-4} P}{l} \cdot \\ &\cdot \sum \sum \sin \frac{\pi k z_0}{l} \cdot \frac{1}{\pi i} \sin \frac{\pi i \tau}{T} \left[ 2,7 \cdot 10^4 \frac{J_y}{F} \left( \frac{3\pi k}{l} \right)^4 - \eta_0 \left( \frac{i}{T} \right)^2 \right] \cdot \\ &\cdot \left\{ \left[ 2,7 \cdot 10^4 \frac{J_y}{F} \left( \frac{3\pi k}{l} \right)^4 - \eta_0 \left( \frac{i}{T} \right)^2 \right]^2 + 7,3 \cdot 10^8 \left( \frac{J_y}{F} \eta \right)^2 \left( \frac{3\pi k}{l} \right)^8 \right\}^{-1} \sin \left( \frac{2\pi i}{T} t + \varphi \right). \end{aligned}$$

где  $J_{z,y}, k, l, F, n, t, \eta$  и  $\varphi, P$  - то же, что и в формуле (1);  $\tau, T, i$  - то же, что и в формуле (2).

Скорость колебаний определяют как

Для условий абразивной обработки

$$v_{k\xi} = \frac{0,26 \cdot 10^{-4} n k_c}{l T} \left\{ \sum \left[ 2,7 \cdot 10^4 J_z \left( \frac{\pi k}{l} \right)^4 + 1,3 \cdot 10^{-4} j_{np} \right] - \left[ J_z \left( \frac{\pi k}{l} \right)^2 + F \right] (0,1 n k_c)^2 \right\} \cdot \\ \cdot \left\{ \left[ 2,7 \cdot 10^4 J_z \left( \frac{\pi k}{l} \right)^4 + 1,3 \cdot 10^{-4} j_{np} \right] - \left[ J_z \left( \frac{\pi k}{l} \right)^2 + F \right] (0,1 n k_c)^2 \right\}^2 + \\ + \left\{ \left[ 2,7 \cdot 10^4 J_z \left( \frac{\pi k}{l} \right)^4 \eta_1 + 1,3 \cdot 10^{-4} j_{np} \eta_2 \right]^{-1} \right\} \cdot \sin \frac{\pi k z_0}{l} \cdot \cos (0,1 n k_c t + \varphi)$$

$$v_{k\epsilon} = \frac{0,26 \cdot 10^{-4} P n k_c}{l} \cdot \left\{ \sum \left[ 2,7 \cdot 10^4 J_y \left( \frac{\pi k}{l} \right)^4 + 1,3 \cdot 10^{-4} j_{np} \right] - \left[ J_y \left( \frac{\pi k}{l} \right)^2 + F \right] (0,1 n k_c)^2 \right\} \cdot \\ \cdot \left\{ \left[ 2,7 \cdot 10^4 J_y \left( \frac{\pi k}{l} \right)^4 + 1,3 \cdot 10^{-4} j_{np} \right] - \left[ J_y \left( \frac{\pi k}{l} \right)^2 + F \right] (0,1 n k_c)^2 \right\}^2 + \\ + \left\{ \left[ 2,7 \cdot 10^4 J_y \left( \frac{\pi k}{l} \right)^4 \eta_1 + 1,3 \cdot 10^{-4} j_{np} \eta_2 \right]^{-1} \right\} \cdot \sin \frac{\pi k z_0}{l} \cdot \cos (0,1 n k_c t + \varphi)$$

Шарнирно-опертая заготовка

$$v_{k\xi} = \frac{16,3 \cdot 10^{-4} P i}{l T} \sum \sum \sin \frac{\pi k z_0}{l} \cdot \frac{1}{\pi i} \sin \frac{\pi i \tau}{T} \left[ 2,7 \cdot 10^4 \frac{J_z}{F} \left( \frac{\pi k}{l} \right)^4 - \eta_0 \left( \frac{i}{T} \right)^2 \right] \cdot \\ \cdot \left\{ \left[ 2,7 \cdot 10^4 \frac{J_z}{F} \left( \frac{\pi k}{l} \right)^4 - \eta_0 \left( \frac{i}{T} \right)^2 \right]^2 + 7,3 \cdot 10^8 \left( \frac{J_z}{F} \eta \right)^2 \left( \frac{\pi k}{l} \right)^8 \right\}^{-1} \cdot \sin \left( \frac{2\pi i}{T} t + \varphi \right)$$

$$v_{k\epsilon} = \frac{16,3 \cdot 10^{-4} P i}{l T} \sum \sum \sin \frac{\pi k z_0}{l} \cdot \frac{1}{\pi i} \sin \frac{\pi i \tau}{T} \left[ 2,7 \cdot 10^4 \frac{J_y}{F} \left( \frac{\pi k}{l} \right)^4 - \eta_0 \left( \frac{i}{T} \right)^2 \right] \cdot \\ \cdot \left\{ \left[ 2,7 \cdot 10^4 \frac{J_y}{F} \left( \frac{\pi k}{l} \right)^4 - \eta_0 \left( \frac{i}{T} \right)^2 \right]^2 + 7,3 \cdot 10^8 \left( \frac{J_y}{F} \eta \right)^2 \left( \frac{\pi k}{l} \right)^8 \right\}^{-1} \cdot \sin \left( \frac{2\pi i}{T} t + \varphi \right)$$

Для условий упруго-диссипативных опор

$$v_{k\xi} = \frac{16,3 \cdot 10^{-4} P i}{l T} \sum \sum \sin \frac{\pi k z_0}{l} \cdot \frac{1}{\pi i} \sin \frac{\pi i \tau}{T} \left[ 2,7 \cdot 10^4 \frac{J_z}{F} \left( \frac{3\pi k}{l} \right)^4 - \eta_0 \left( \frac{i}{T} \right)^2 \right] \cdot \\ \cdot \left\{ \left[ 2,7 \cdot 10^4 \frac{J_z}{F} \left( \frac{3\pi k}{l} \right)^4 - \eta_0 \left( \frac{i}{T} \right)^2 \right]^2 + 7,3 \cdot 10^8 \left( \frac{J_z}{F} \eta \right)^2 \left( \frac{3\pi k}{l} \right)^8 \right\}^{-1} \cdot \sin \left( \frac{2\pi i}{T} t + \varphi \right)$$

$$v_{k\epsilon} = \frac{16,3 \cdot 10^{-4} P i}{l T} \sum \sum \sin \frac{\pi k z_0}{l} \cdot \frac{1}{\pi i} \sin \frac{\pi i \tau}{T} \left[ 2,7 \cdot 10^4 \frac{J_y}{F} \left( \frac{3\pi k}{l} \right)^4 - \eta_0 \left( \frac{i}{T} \right)^2 \right] \cdot \left\{ \left[ 2,7 \cdot 10^4 \frac{J_y}{F} \left( \frac{3\pi k}{l} \right)^4 - \eta_0 \left( \frac{i}{T} \right)^2 \right]^2 + 7,3 \cdot 10^8 \left( \frac{J_y}{F} \eta \right)^2 \left( \frac{3\pi k}{l} \right)^8 \right\}^{-1} \cdot \sin \left( \frac{2\pi i}{T} t + \varphi \right)$$

где  $J_{z,y}, k, l, F, n, t, \eta$  и  $\epsilon, P, j_{np}$  - то же, что и в формуле (1);  $\tau, i$  - то же, что и в формуле (2).

### 3. Расчет конструкции устройства

Расчетная схема системы шумозащиты представляет собой линейный источник шума, расположенный на плоской поверхности, т.е. жестком основании и звукоизолирующего ограждения. Само ограждение по соображениям технологичности и эргономичности представляет собой оболочку полуцилиндрической геометрической конфигурации. Обозначим: источник имеет длину  $l$  и размер поперечного сечения  $b_u$ ; звуковое давление под системой шумозащиты -  $P_1$ , а вне системы -  $P_2$ ; радиус системы шумозащиты  $r_0$ . Расчет акустической эффективности системы выполняются при допущении, что система ограждений являются абсолютно жесткими. Уравнения колебаний корпуса системы шумозащиты определяется следующими зависимостями:

$$\left( \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + \frac{1-\mu}{r_0^2} \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial \varphi^2} + k_0^2 \right) u + \frac{1+\mu}{2r_0} \cdot \frac{\partial^2 v}{\partial \varphi \cdot \partial z} - \frac{\mu}{r_0} \cdot \frac{\partial w}{\partial \varphi} = 0 \quad (3)$$

$$\frac{1+\mu}{2r_0} \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial \theta \cdot \partial z} + \left( \frac{1-\mu}{2} \cdot \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} + \frac{1}{r_0^2} \cdot \frac{\partial^2 v}{\partial \varphi^2} + \frac{\omega^2}{C_0} \right) v - \frac{1}{r_0^2} \cdot \frac{\partial w}{\partial \varphi} = 0 \quad (4)$$

$$\frac{\omega^2}{C_n^2} - \frac{1}{r_0^2} - \frac{h_0^2}{12} \left( \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} + \frac{1}{r_0^2} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial \varphi^2} \right) w = \frac{(P_1 - P_2)_{z=z_0}}{\rho h C_0^2} \quad (5)$$

где  $u, v$  и  $w$  - осевое, азимутальное и радиальное смещения корпуса системы шумозащиты;  $\mu$  - коэффициент Пуансона;  $C_n$  - скорость распространения продольной волны в корпусе, м/с;  $r_0$  - радиус корпуса, м;  $C_0$  - скорость распространения продольных волн в корпусе, м/с;  $\rho$  - плотность материала корпуса;  $h$  - толщина оболочки, м;  $P_1$  - звуковое давление внутри системы шумозащиты, Па;  $P_2$  - звуковое давление вне системы шумозащиты;  $k_0$  - волновое число в корпусе, м.

Систему шумозащиты целесообразно изготавливать из органического стекла, тогда с учетом физико-механических характеристик материала системы шумозащиты уравнения примут вид:

$$\left( \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + \frac{1}{r_0^2} \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial \varphi^2} + 10^{-4} f_0^2 \right) u + \frac{1}{2r_0} \cdot \frac{\partial^2 v}{\partial \varphi \cdot \partial z} = 0 \quad (6)$$

$$\frac{1}{2r_0} \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial \theta \cdot \partial z} + \left( \frac{1}{2} \cdot \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} + \frac{1}{r_0^2} \cdot \frac{\partial^2 v}{\partial \varphi^2} + 10^{-4} f_0^2 \right) v - \frac{1}{r_0} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial \varphi} = 0 \quad (7)$$



$$10^{-4} f_0^2 - \frac{1}{r_0^2} - \frac{h^2}{12} \left( \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} + \frac{1}{r_0^2} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial \varphi^2} \right) w = \frac{(P_1 - P_2)}{2,4 \cdot 10^9 h} \quad (8)$$

где  $u, v$  и  $w, r_0, h, P_1, P_2$  – то же, что и в формуле (3).

Выражение уровней звукового давления, создаваемых источником внутри системы шумозащиты приведено к виду:

где  $f_0$  – собственные частоты колебаний корпуса, Гц

$$f_0 = \frac{3 \cdot 10^{-2}}{(kR_0)^2(k^2 + 1)} \sqrt{\frac{hR_0^2 + Jk^4(k^4 - 1)}{h}}$$

где  $J$  – момент инерции корпуса системы шумозащиты, м<sup>4</sup>

$$P_1 = \frac{6,5 \cdot 10^4}{r_0^2 l} v_k S'_u \sum \frac{f_u}{\left(\frac{f_N}{\pi} \cdot \delta_N\right)^2 + (f_N^2 f_u^2)^2}$$

$$\delta_N = \frac{1,4\alpha}{r_0^2 l} \cdot \frac{m^2 - 29\alpha^2}{m^2 - 10\alpha^2}$$

$$f_N = 10^3 \sqrt{\left(\frac{m}{l_0}\right)^2 + \left(\frac{\alpha}{r_0}\right)^2}$$

где  $m$  – коэффициент, определяющий собственные частоты колебаний;  $l_0$  – длина системы шумозащиты, м;  $\alpha$  – коэффициент звукопоглощения;  $v_k$  – скорость колебаний, м/с;  $J$  – момент инерции детали, м<sup>4</sup>;  $f_N$  – собственные частоты колебаний воздушного объема внутри системы шумозащиты, Гц;  $f_u$  – собственные частоты колебаний источника, Гц;  $S'_u$  – площадь звукового излучения источника, м<sup>2</sup>.

Расчет системы шумозащиты основан на выполнении санитарных норм шума. Тогда выражение  $P_2$  определяется также, исходя из предельно-допустимых октавных уровней звукового давления ( $L_{ci}$ ), т.е.

$$P_2 = 10^{0,05L_{ci}-4,7}$$

Фактический расчет в этом случае сводится к определению толщины корпуса системы шумозащиты.

Уровни звукового давления при ручной обработке как ШСУ, так и абразивной на 4-5 дБ выше, чем при обработке на базе фрезерного станка.

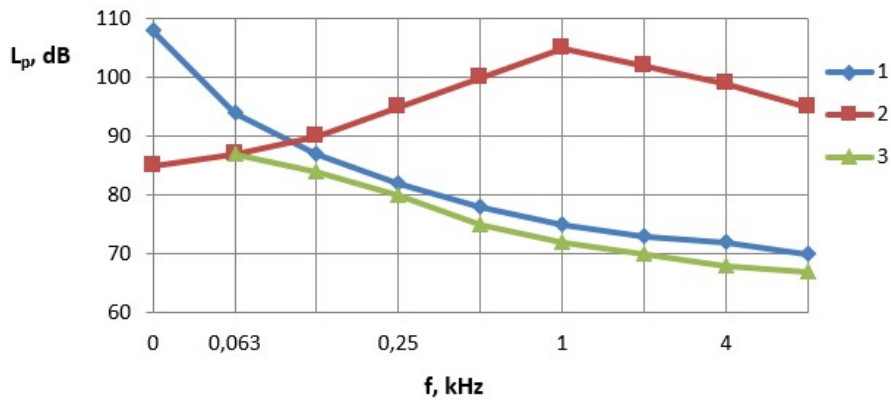


Рис. 3. Спектры шума при обработке ШСУ: 1 - предельно-допустимые октавные уровни звукового давления, 2 - шум при обработке без системы шумозащиты, 3 - шум при обработке с системой шумозащиты

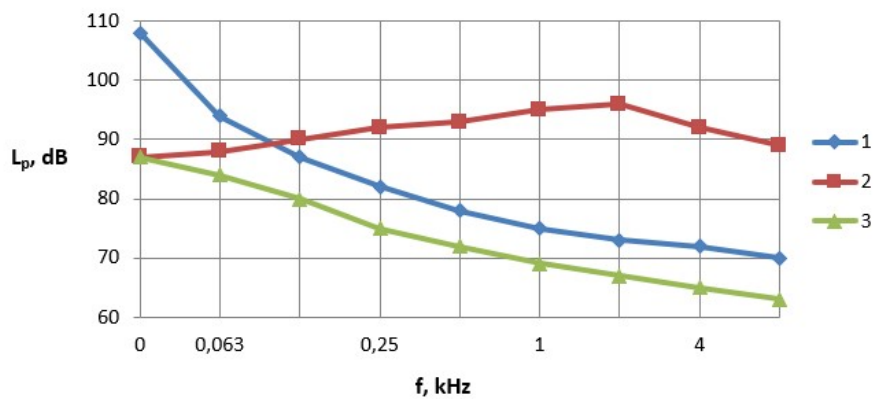


Рис. 4. Спектры шума при абразивной обработке: 1 - предельно-допустимые октавные уровни звукового давления, 2 - шум при обработке без системы шумозащиты, 3 - шум при обработке с системой шумозащиты

## Заключение

Результаты расчетов показали, что для максимальных значений превышений фактических уровней звукового давления над санитарными нормами, достигающими 30 дБ в шестой октаве для ШСУ, толщина органического стекла должна составлять 5-6 мм.

Звукоизоляция экспериментальная 125 Гц – 15дБ; 250 Гц – 17дБ; 500 Гц – 21дБ; 1000 Гц – 28дБ; 2000 Гц – 32дБ; 4000 Гц – 34дБ; 8000 Гц – 35дБ.

Сравнение теоретически рассчитанной звукоизоляции и экспериментально определенной (рис. 5) показали достаточную для инженерных целей точность испытаний системы шумозащиты, в производственных условиях показали выполнение санитарных норм шума во всем нормируемом диапазоне частот.

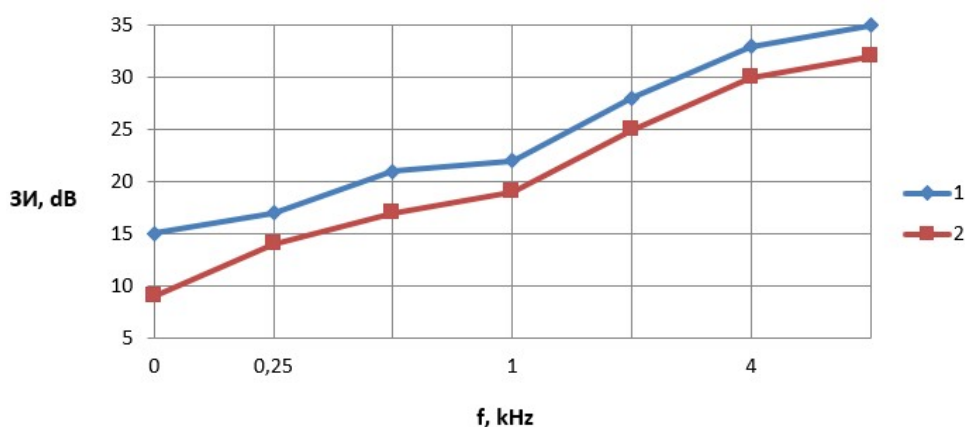


Рис. 5. Сравнение рассчитанной звукоизоляции 1 - теоретически рассчитанная звукоизоляция, 2 - экспериментально определенная звукоизоляция

Следует отметить, что для технологического процесса ШСУ уровни шума на рабочем месте находятся на предельно-допустимых значениях, а при абразивной обработке на 6-7 дБ ниже предельно-допустимых.

### Список литературы

1. Чукарин А.Н., Бескопыльный А.Н., Исаев А.Г. Исследования виброакустических характеристик в рабочей зоне оператора при абразивной обработке сварных швов // Безопасность труда в промышленности. — 2019. — № 11. — С. 7-12. DOI: 10.24000/0409-2961-2019-11-7-12.
2. Иванов Н. И. Основы виброакустики / Н. И. Иванов, А. С. Никифоров. — Санкт-Петербург. - Политехника, 2000. — 482 с.
3. Тамаркин М.А., Тищенко Э.Э., Исаев А.Г. Обеспечение акустической безопасности при обработке плоских деталей шарико-стержневым упрочнителем / Вестник Брянского государственного технического университета . 2018. № 2 (63). С. 12-19.
4. Beskopylny A., Meskhi B., Chukarin A., Isaev A. Spectral characteristics of noise during hardening of welds of rod structures // В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Collection of materials of the International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment: Mechanical Engineering and Materials Science (ICMTMTE 2019). Sevastopol State University, National University of Science and Technology «MISIS», Polzunov Altai State Technical University, Crimean Federal University, Inlink Ltd. and International Union of Machine Builders. 2020. С. 044087.
5. Экспериментальные исследования шума и вибрации при местном упрочнении деталей шарико-стержневым упрочнителем / Морозов С.А., Чукарин А.Н., Финоченко Т.А. // Мониторинг. Наука и технологии. 2019. № 1 (39). С. 65-69.
6. Чукарин, А. Н. Обеспечение комфортных условий труда при виброударной отделочной обработке фасонных деталей за счет снижения вибраций и шума / А. Н. Чукарин, Л. М. Щерба // Прогрессивные технологии в машино- и приборостроении: сб. ст. по мат-лам Всерос. науч.-техн. конф. — Нижний Новгород; Арзамас, 2002. — С. 352–355.

## References

1. Chukarin A.N., Beskopylny A.N., Isaev A.G. Studies of vibroacoustic characteristics in the operator's work area during abrasive treatment of welds // *Work safety in industry*. — 2019. — № 11. — pp. 7-12. DOI: 10.24000/0409-2961-2019-11-7-12.
2. Ivanov N.I. Basics of vibroacoustics / Ivanov N.I., Nikiforov A.S. — Saint Petersburg. - Polytechnic, 2000. — 482 p.
3. Tamarkin M. A., Tishchenko E. E., Isaev A. G. Ensuring acoustic safety when processing flat parts with a ball-rod hardener / *Bulletin of the Bryansk state technical University*. 2018. No. 2 (63). pp. 12-19.
4. Beskopylny A., Meskhi B., Chukarin A., Isaev A. Spectral characteristics of noise during hardening of welds of rod structures // В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Collection of materials of the International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment: Mechanical Engineering and Materials Science (ICMTMTE 2019). Sevastopol State University, National University of Science and Technology «MISIS», Polzunov Altai State Technical University, Crimean Federal University, Inlink Ltd. and International Union of Machine Builders. 2020. C. 044087.
5. Experimental studies of noise and vibration during local hardening of parts with a ball-rod hardener / Morozov S.A., Chukarin A.N., Finochenko T.A. // *Monitoring. Science and technology*. 2019. No. 1 (39). pp. 65-69.
6. Chukarin, A. N. ensuring comfortable working conditions during vibration-shock finishing of shaped parts by reducing vibrations and noise / A. N. Chukarin, L. M. Shcherba // *Progressive technologies in machine and instrument engineering: a collection of articles based on the materials of the All-Russian Scientific and Technical Conference— Nizhny Novgorod; Arzamas, 2002*. — pp. 352-355.