

УДК: 534.6; 331.45; 613

OECD: 01.03.АА; 10.63.49; 76.01.93

## Эффективность мероприятий по снижению шума расточного и осетокарных станков

Шашурин А.Е.<sup>1</sup>, Лубянченко А.А.<sup>2</sup>, Гогоадзе М.Г.<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup> Д.т.н., профессор кафедры «Экология и безопасность жизнедеятельности»

<sup>2</sup> К.т.н., старший преподаватель кафедры «Экология и безопасность жизнедеятельности»

<sup>1,2</sup> Балтийский государственный технический университет  
«ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург, РФ

<sup>3</sup> Аспирант, Ростовский государственный университет путей и сообщений,  
г. Ростов-на-Дону, РФ

### Аннотация

Повышенные уровни шума на рабочих местах металлообрабатывающих предприятий один из преобладающих вредных факторов. Анализ компоновок станков показывает, что методом вибропоглощения не всегда даёт высокий результат и не снижает уровни шума до нормативных значений. Для снижения шума все чаще используются различные ограждения и экраны. В статье подробно описаны методы расчета таких конструкций с учетом параметров помещения, с учетом геометрических размеров конструкций. Выполнение расчетов по полученным формулам позволяет значительно уточнить расчет уровней звукового давления от источников и соответственно, систем снижения шума. Разработка мероприятий по шумозащите с предложенной методикой позволит снизить уровни шума в цехах металлообрабатывающих предприятий до нормативных значений.

**Ключевые слова:** шум, снижение шума, расточный станок, осетокарный станок, металлообрабатывающий станок, шумозащита.

## *Noise mitigation measures efficiency for boring and axle lathe machines*

*Shashurin A.E.<sup>1</sup>, Lubianchenko A.A.<sup>2</sup>, Gogvadze M.G.<sup>3\*</sup>*

<sup>1</sup> *DSc, professor of department 'Ecology and life safety'*

<sup>2</sup> *Phd, senior lecturer of department 'Ecology and life safety'*

<sup>1,2</sup> *Baltic State Technical University 'VOENMEH' named after D.F. Ustinova, St.Petersburg, Russia*

<sup>3</sup> *Postgraduate student, Rostov State Transport University, Rostov-on-Don, Russia*

### **Abstract**

*Excessive noise in the workplaces of the metalworking enterprises is one of the prevailing harmful factors. Analysis of the machine layouts shows that the vibration absorption method does not always give a high result and does not reduce noise levels to standard values. Various barriers and screens are increasingly used to reduce noise. The article describes in detail the methods for calculating such structures, taking into account the parameters of the premises and geometric dimensions of the structures. Performing calculations based on the obtained formulas provides significantly more accurate calculations of sound pressure levels from sources and, accordingly, noise reduction systems. Developing noise mitigation measures using the proposed method will reduce the noise levels in the workshops of metalworking enterprises to standard values.*

**Keywords:** *noise, noise reduction, boring machine, axle lathe, metalworking machine, noise protection.*

## Введение

Анализ компоновок металлообрабатывающих станков и характерных особенностей технологических процессов растачивания отверстий [1] и точения двух посадочных поверхностей осей колесных пар показывает, что снижение шума режущего инструмента и осей методом вибропоглощения не всегда целесообразно.

Выполнение санитарных норм по уровню шума на рабочих местах операторов технологичнее и проще достичь пассивными методами, такими как локальные ограничения и шумозащитные экраны. Акустическая эффективность системы снижения шума представляет собой разницу между фактическими октавными уровнями звукового давления на рабочих местах операторов и предельно-допустимыми значениями.

### 1. Требуемая эффективность снижения шума станочного оборудования

В данной статье предполагается, что системы шумозащиты должны обеспечивать санитарные нормы на рабочих местах операторов не только одного отдельного станка, но и в условиях работы участков, то есть нескольких одновременно работающих станков. Были проведены замеры уровней шума как от отдельных станков, так и в цехе в целом. Значения необходимой для выполнения санитарных норм шума акустической эффективности для рассмотренных в работе станков приведены в таблице 1. Верхние цифры соответствуют рабочему месту для одного станка, нижние – условия производственного участка с группой станков.

Таблица 1

Акустическая эффективность систем шумозащиты

| Тип станка                           | Требуемая величина снижения шума (дБ) в октавных полосах частот (Гц) |     |     |     |      |      |      |      |
|--------------------------------------|--|-----|-----|-----|------|------|------|------|
|                                      | 63   | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
| Расточной                            | -  | -   | -   | 5   | 13   | 8    | 7    | 6    |
|                                      | -  | -   | -   | 9   | 16   | 12   | 11   | 10   |
| Гидрокопировальный                   | -  | -   | 4   | 11  | 10   | 7    | -    | -    |
|                                      | -  | -   | 7   | 14  | 14   | 10   | -    | -    |
| Модернизированный                    | -  | -   | -   | 8   | 8    | 5    | -    | -    |
|                                      | -  | -   | -   | 11  | 11   | 9    | -    | -    |
| С прямоугольными резцовыми головками | -  | -   | 5   | 12  | 15   | 7    | 5    | 2    |
|                                      | -  | -   | 8   | 16  | 18   | 10   | 8    | 5    |
| С круглыми резцовыми головками       | -  | -   | 8   | 13  | 17   | 10   | 7    | 4    |
|                                      | -  | -   | 11  | 16  | 20   | 14   | 11   | 8    |

Согласно компоновкам источников шума и требуемым значениям снижения уровней звукового давления разработаны и предложены следующие мероприятия:

- для *гидрокопировального станка* – установка системы звукопоглощения на вертикальную панель и акустического экрана на станину, закрывающего зону резания;
- для *модернизированного станка* – установка двух акустических экранов зоны резания на переднем и заднем участках станины;
- для *станков с резцовыми головками* – увеличение звукоизоляции и вибропоглощения серийных ограждений зоны резания;
- для *специального расточного станка* – установка быстросъемных вибропоглощающих покрытий на растачиваемом корпусе, установка ограждения с высокой степенью

герметизации между ближним к рабочему месту торцом корпуса и приводами движения.

## 2. Акустический расчет системы снижения шума

При расчете октавных уровней звукового давления на рабочих местах операторов следует учитывать параметры производственного помещения и системы шумозащиты. Используя данные работ [2, 3], зависимость уровней звукового давления на рабочих местах приведены к следующему виду:

- при наличии акустических экранов в помещении:

$$L = L_p + 10 \lg \left( \frac{X_{\Pi}}{4\pi r^2} + \frac{4\varphi_{\Pi}}{B_{\Pi}} \right) + 10 \lg K - AЭ; \quad (1)$$

- с системой шумозащиты в производственном помещении:

$$L = L_p + 10 \lg \left( \frac{X_{\Pi}}{4\pi r^2} + \frac{4\varphi_{\Pi}}{B_{\Pi}} \right) - ЗИ + 10 \lg \frac{S_c}{X_c} + 10 \lg \left( \frac{X_{\Pi}}{S_c^1} + \frac{4\varphi_c}{B_c} \right) + 10 \lg K, \quad (2)$$

где  $L_p$  - уровни звуковой мощности, совокупности источников шума, дБ;

$r$  - расстояние от источника шума до расчетной точки, м;

$B_{\Pi}$  - постоянная производственного помещения, м<sup>2</sup>;

$X_{\Pi}$ ,  $\varphi_{\Pi}$  и  $X_c$ ,  $\varphi_c$  - коэффициенты искажения поля и диффузности (соответственно) производственного помещения (индекс «п») и системы шумоизоляции (индекс «с»);

$AЭ$  - акустическая эффективность экрана, дБ;

$ЗИ$  - звукоизоляция ограждения, дБ;

$B_c$  - постоянная объема системы шумоизоляции, м<sup>2</sup>;

$S_c$  - площадь системы шумоизоляции, м<sup>2</sup>;

$S_c^1$  - площадь системы шумоизоляции у источника шума, м<sup>2</sup>;

$K$  - количество станков, шт.

Используя известные зависимости, связывающие звуковое давление и звуковую мощность, а также соотношения размеров источников, расстояние до расчетной точки и их компоновку, зависимость принимает вид:

- при наличии акустических экранов, зоны резания гидрокопировального и модернизированного станков:

$$L = 10 \lg [2 \cdot 10^{\lg(ab+bc+ac)+2 \cdot \lg \nu_{kp}} + 10^{\lg nd_0 l_0 + 2 \cdot \lg \nu_{k0}}] + 12 + 10 \lg \left[ \frac{0,32}{r^2} + \frac{16(1 - \alpha_{\Pi})}{\alpha_{\Pi} S_{\Pi}^1} \right] + 10 \lg K - ЗИ + 18, \quad (3)$$

где  $a$ ,  $b$ ,  $c$  - длина, ширина и толщина резца, м;

$k$  - количество станков;

$\nu_{kp}$  - скорость колебания резцов, мк;

$\nu_{k0}$  - скорость колебания оси, мк;

$\alpha_{\Pi}$  и  $S_{\Pi}^1$  - коэффициент звукопоглощения и площадь внутренней поверхности производственного помещения (м<sup>2</sup>);

$d_0$  - диаметр оси, м;

$AЭ$  - то же, что и в формуле (1);

$n$  - кол-во резцов, шт.;

$l_0$  - длина оси, м;

$r$  - расстояние до резца, м.

- при наличии ограждения зоны резания осетокарных станков с резцовыми головками прямоугольного сечения:

$$L = 10 \lg [2 \cdot 10^{\lg(ab+bc+ac)+2 \cdot \lg \nu_{kp}} + 10^{\lg nd_0 l_0 + 2 \cdot \lg \nu_{k0}}] + \\ + 10 \lg \left[ \frac{0,32}{r^2} + \frac{16(1 - \alpha_{\Pi})}{\alpha_{\Pi} S_{\Pi}^1} \right] + 10 \lg \frac{0,8\alpha_c + 1}{\alpha_c} + 10 \lg K - \text{ЗИ} + 18, \quad (4)$$

где  $\alpha_c$  - коэффициент звукопоглощения ограждения;

$S_{\Pi}^1$  площадь зоны ограждения, м<sup>2</sup>;

$a, b, c, n, d_0, k, l_0, r, \alpha_{\Pi}, \nu_{kp}, \nu_{k0}, K$  то же, что в формуле (3);

ЗИ то же, что и в формуле (2).

При наличии ограждения зоны резания осетокарных станков с круглыми резцовыми головками:

$$L = 10 \lg [2 \cdot 10^{\lg \pi d_r (d_r + l_r) + 2 \cdot \lg \nu_{kp}} + 10^{\lg nd_0 l_0 + 2 \cdot \lg \nu_{k0}}] + \\ + 10 \lg \left[ \frac{0,32}{r^2} + \frac{16(1 - \alpha_{\Pi})}{\alpha_{\Pi} S_{\Pi}^1} \right] + 10 \lg \frac{0,8d_c + 1}{d_c} + 10 \lg K + 18 - \text{ЗИ}, \quad (5)$$

где  $d_r$  - диаметр резцовой головки, м;

$l_r$  - толщина резцовой головки, м;

$d_c$  - диаметр ограждения, м;

$\nu_{kp}, n, d_0, l_0, \nu_{k0}, r, \alpha_{\Pi}, S_{\Pi}^1, K, \text{ЗИ}$  то же, что и в формуле (4).

- при наличии ограждения зоны резания специального расточного станка с ограждением, установленным между корпусом и приводом борштанг:

$$L = 10 \lg \left[ 2 \cdot 10^{\lg \pi d_1 l_1 + 2 \cdot \lg \nu_{k1}} + 10^{\lg \pi d_2 l_1 + 2 \cdot \lg \nu_{k2}} + 10^{\lg \pi d_{\text{отв1}}^2 + 2 \cdot \lg \nu_{\text{котв1}}} + \right. \\ \left. + 10^{\lg \pi d_{\text{отв2}}^2 + 2 \cdot \lg \nu_{\text{котв2}}} \right] + 10 \lg \left[ \frac{0,32}{r^2} + \frac{16(1 - \alpha_{\Pi})}{\alpha_{\Pi} S_{\Pi}^1} \right] + \\ + 10 \lg \frac{0,8d_c + 1}{d_c} + 10 \lg K + 18 - \text{ЗИ}, \quad (6)$$

где  $d_1, d_2$  - диаметры борштанг, м;

$l_1$  - длина борштанги между торцом корпуса и приводом, м;

$d_{\text{отв1}}, d_{\text{отв2}}$ , диаметры растачиваемых отверстий, м;

$\nu_{k1}$  - скорость колебания борштанги 1, м/с;

$\nu_{k2}$  - скорость колебания борштанги 2, м/с;

$\nu_{\text{котв1}}$  - скорость колебания отверстия 1, м/с;

$\nu_{\text{котв2}}$  - скорость колебания отверстия 2, м/с;

$d_c, K, \text{ЗИ}, r, \alpha_{\Pi}, S_{\Pi}^1$  то же, что и в формуле (5).

Для расчета требуемых значений акустической эффективности экрана и ограждений в левую часть выражений (5) и (6) подставляются предельно-допустимые октавные уровни звукового давления, тогда:

$$A\mathcal{E}_{\text{треб}} = L + 10 \lg [2 \cdot 10^{\lg(ab+bc+ac)+2 \cdot \lg \nu_{kp}} + 10^{\lg nd_0 l_0 + 2 \cdot \lg \nu_{k0}}] + 12 + \\ + 10 \lg \left[ \frac{0,32}{r^2} + \frac{16(1 - \alpha_{\Pi})}{\alpha_{\Pi} S_{\Pi}^1} \right] + 10 \lg K - L_c, \quad (7)$$

где  $A\mathcal{E}_{\text{треб}}$  - требуемая эффективность экрана, дБ.

Для осетокарных станков с резами прямоугольного сечения:

$$\begin{aligned} \text{ЗИ}_{\text{треб}} = & L - 10 \lg \left[ 2 \cdot 10^{\lg(ab+bc+ac)+2 \cdot \lg \nu_{kp}} + 10^{\lg nd_0 l_0 + 2 \cdot \lg \nu_{k0}} \right] + \\ & + 10 \lg \left[ \frac{0,32}{r^2} + \frac{16(1 - \alpha_{\Pi})}{\alpha_{\Pi} S_{\Pi}} \right] + 10 \lg \frac{0,8d_c + 1}{d_c} + 10 \lg K + 18, \end{aligned} \quad (8)$$

где  $\text{ЗИ}_{\text{треб}}$  - требуемая звукоизоляция экрана, дБ.

Для ограничения осетокарных станков с круглыми резцовыми головками:

$$\begin{aligned} \text{ЗИ}_{\text{треб}} = & L - 10 \lg \left[ 2 \cdot 10^{\lg \pi d_r (d_r + l_r) + 2 \cdot \lg \nu_{kp}} + 10^{\lg nd_0 l_0 + 2 \cdot \lg \nu_{k0}} \right] + \\ & + 10 \lg \left[ \frac{0,32}{r^2} + \frac{16(1 - \alpha_{\Pi})}{\alpha_{\Pi} S_{\Pi}^1} \right] + 10 \lg \frac{0,8d_c + 1}{d_c} + 10 \lg K + 18, \end{aligned} \quad (9)$$

Для ограждения специального расточного станка:

$$\begin{aligned} \text{ЗИ}_{\text{треб}} = & L - 10 \lg \left[ 2 \cdot 10^{\lg \pi d_1 l_1 + 2 \cdot \lg \nu_{k1}} + 10^{\lg \pi d_2 l_1 + 2 \cdot \lg \nu_{k2}} + 10^{\lg \pi d_{\text{отв1}}^2 + 2 \cdot \lg \nu_{\text{котв1}}} + \right. \\ & \left. + 10^{\lg \pi d_{\text{отв2}}^2 + 2 \cdot \lg \nu_{\text{котв2}}} \right] + 10 \lg \left[ \frac{0,32}{r^2} + \frac{16(1 - \alpha_{\Pi})}{\alpha_{\Pi} S_{\Pi}^1} \right] + 10 \lg \frac{0,8d_c + 1}{d_c} + 10 \lg K + 18, \end{aligned} \quad (10)$$

Практически наиболее просто и эффективно обеспечить требуемую звукоизоляцию ограждения следует подбором толщины элементов ограждения. При нормальном падении звука звукоизоляция определяется как:

$$\text{ЗИ}_{\text{треб}} = \lg \left[ 1 + 5,7 \cdot 10^{-5} (\rho h f) \right], \quad (11)$$

где  $\rho$  - плотность материала ограждения, кг/м<sup>3</sup>;

$h$  - толщина, м;

$f$  - частота, Гц.

Тогда, с учетом того, что превышения уровней звукового давления начинаются с четвертой, а чаще с пятой октавы, толщина ограждения определяется по формуле:

$$h_{\text{треб}} = 10^{0,534+2,6} (\rho f)^{-1}, \quad (12)$$

где  $\rho, f$  то же, что и в формуле (12),

$h_{\text{треб}}$  - требуемая толщина конструкции, м.

Данная зависимость позволяет определить материал и толщину, когда ограждение выполнено из единого материала. При наличии в ограждении смотровых окон, что характерно для осетокарных станков с резцовыми головками следует использовать зависимость приведенной звукоизоляции [3]. Применительно к рассматриваемым станкам зависимость звукоизоляции определяется как:

$$\begin{aligned} \text{ЗИ}_{\text{треб}} = & \text{ЗИ}_{\text{осн}} - \Delta \text{ЗИ} = \text{ЗИ}_{\text{осн}} - 10 \lg \left[ S_{\text{осн}}^1 + S^1 \cdot 10^{0,1(\text{ЗИ}_{\text{ист}} - \text{ЗИ})} \right] + \\ & + 10 \lg (S_{\text{осн}}^1 + S^1), \end{aligned} \quad (13)$$

где  $S_{\text{осн}}^1$  и  $\text{ЗИ}_{\text{осн}}$  - площадь (м) и звукоизоляция (дБ) остекления;

$\text{ЗИ}_{\text{треб}}$  то же, что и в формуле (8),  $\text{ЗИ}$  то же, что и в формуле (2);

$\Delta \text{ЗИ}$  - приведенная звукоизоляция, дБ;

$S^1$  - площадь конструкции системы шумозащиты, м<sup>2</sup>;

$\text{ЗИ}_{\text{ист}}$  - звукоизоляция рассматриваемого источника, дБ.

## Заключение

Таким образом, расчет и проектирование систем снижения шума практически зависит от точности расчетов конструкций и расчета скоростей колебаний источников шума. Такие расчеты применительно к геометрическим размерам и способам закрепления обрабатываемых изделий и режущего инструмента могут быть выполнены по алгоритмам и программному обеспечению работы [4]. Однако отличие полученных зависимостей заключается в учете диссипативной функции, задаваемой коэффициентом потерь колебательной энергии отдельных заготовок различной конфигурации [5], с учетом всей технологической системы. Выполнение расчетов по полученным формулам позволяет значительно уточнить расчет уровней звукового давления от источников и соответственно, систем снижения шума. Разработка мероприятий по шумозащите с предложенной методикой позволит снизить уровни шума в цехах металлообрабатывающих предприятий до нормативных значений.

## Список литературы

1. Analysis of the experimental study of the axle lathe machine vibroacoustic characteristics for workplace noise reduction, A. Shashurin M. Goguadze A. Chukarin, АКУСТИКА, Volume 34, 2019, с. 104-107 ISSN 1801-9064.
2. Иванов Н.И., Никифоров А.С. Основы виброакустики. – СПб.: Политехника, 2000. – 482 с.
3. Борисов Л.П., Гужас Д.Р. Звукоизоляция в машиностроении. – М.: Машиностроение, 1990. – 250 с.
4. Чукарин А.Н. Теория и методы акустических расчетов и проектирования технологических машин для механической обработки // Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2004. –152 с.
5. Подуст С.Ф. Основы виброакустических расчетов отечественных электровозов: монография / С.Ф. Подуст, А.Н. Чукарин, И.В. Богуславский. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2014. – 157 с.

## References

1. Analysis of the experimental study of the axle lathe machine vibroacoustic characteristics for workplace noise reduction, A. Shashurin M. Goguadze A. Chukarin, АКУСТИКА, Volume 34, 2019, с. 104-107 ISSN 1801-9064.
2. Ivanov N.I., Nikiforov A.S. Osnovy vibroakustiki. – SPb.: Politekhnik, 2000. – 482 p.
3. Borisov L.P., Guzhas D.R. Zvukoizolyaciya v mashinostroenii. – M.: Mashinostroenie, 1990. – 250 p.
4. Chukarin A.N. Teoriya i metody akusticheskikh raschetov i proektirovaniya tekhnologicheskikh mashin dlya mekhanicheskoy obrabotki // Rostov n/D: Izdatel'skij centr DGTU, 2004. –152 p.
5. Podust S.F. Osnovy vibroakusticheskikh raschetov otechestvennyh elektrovozov: monografiya / S.F. Podust, A.N. Chukarin, I.V. Boguslavskij. – Rostov n/D: Izdatel'skij centr DGTU, 2014. – 157 p.