

УДК: 534.83  
OECD: 01.03.AA

## Расчет акустических характеристик заготовок резьбошлифовальных и шлицшлифовальных станков для расчета уровней шума на рабочем месте

Разаков Ж.П.

Аспирант кафедры «Экология и производственная безопасность», Балтийский Государственный Технический Университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург, РФ

### Аннотация

Уровень шума на рабочих местах операторов металлообрабатывающих станков довольно часто превышает нормативные значения и достигают уровней звука свыше 90 дБА. Скорости обработок с каждым годом возрастают, и это может в ряде случаев приводить к еще большим превышениям уровней шума в цехах на рабочих местах, превышающих установленные санитарные нормы. В статье показан расчет уровней акустических характеристик заготовок резьбошлифовальных и шлицшлифовальных станков для расчета уровней шума на рабочем месте. Наиболее технически и экономически обоснованным направлением снижения шума является разработка мероприятий на этапе проектирования станочного оборудования и технологических процессов обработки. Для этого необходимо иметь возможность расчета спектров шума на этапе проектирования. Поэтому в данной статье приведены результаты теоретического исследования виброакустических характеристик, учитывающих режимы шлифования, геометрические размеры шлифовальных кругов и заготовок, а также способы их закрепления.

**Ключевые слова:** уровень звука, акустическая энергия, колебания, частота, момент инерции.

### *Calculation of acoustic characteristics of workpieces of thread-grinding and slot-grinding machines for calculating noise levels in the workplace*

*Razakov Zh.P.*

*Postgraduate student of the department of Ecology and Industrial Safety, Baltic State Technical University 'VOENMEH' named after D.F. Ustinov, St. Petersburg, Russia*

### **Abstract**

*The noise level at the workplaces of operators of metalworking machines quite often exceeds the normative values and reaches sound levels over 90 dBA. The processing speeds are increasing every year, and this can in some cases lead to even greater excess of noise levels in workshops at workplaces exceeding the established sanitary standards. The article shows the calculation of the levels of acoustic characteristics of the workpieces of thread-grinding and slot-grinding machines for calculating noise levels in the workplace.*

**Keywords:** *sound level, acoustic energy, vibrations, frequency, moment of inertia.*

## Введение

Резьбошлифовальные и шлицешлифовальные станки интенсивно эксплуатируются в инструментальных и механических цехах машиностроительных предприятий. Процесс шлифования является финишной операцией технологического цикла и фактически обеспечивает точность и шероховатость поверхностей обрабатываемых изделий.

Как резьбовые и шлицевые заготовки с акустической точки зрения представляют собой стержни ограниченной длины постоянного момента инерции.

Для условий резьбошлифования разница в моментах инерции заготовок с резьбой и круглых заготовок не превышает 2-3%. Поэтому для условий резьбошлифования зависимости уровней звукового давления и звуковой мощности (на основе данных исследований [1,2]) приведены к виду:

$$\begin{aligned} L_P &= 20 \lg V_k R + 10 \lg f_k - 10 \lg r + 137; \\ L_N &= 20 \lg V_k f_k + 30 \lg R + 10 \lg l + 131, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $V_k$  - скорость колебаний на собственных частотах заготовок, м/с;

$R$  - радиус заготовки, м;

$f_k$  - собственные частоты колебаний, Гц;

$r$  - расстояние от источника шума до рабочего места, м;

$l$  - длина заготовки, м;

$L_P$  - уровни звукового давления, дБ;

$L_N$  - уровни звуковой мощности, дБ.

Для условий шлицешлифования

$$\begin{aligned} L_P &= 20 \lg V_k + 10 \frac{\lg f_k F_g}{r} + 132; \\ L_N &= 20 \lg V_k f_k + 15 \lg F_g + 10 \lg l + 117, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $F_g$  - площадь поверхности шлицевого вала, м<sup>2</sup>;

$l$  - длина резьбовой или шлицевой заготовки, м.

### 1. Зависимости скоростей колебания заготовок при обработке

На резьбошлифовальных и шлицешлифовальных станках обрабатываются изделия очень значительно отличающиеся по диаметрам и длинам, соответственно, по величинам изгибной жесткости и их соотношению с жесткостью опор. Поэтому ниже приведены зависимости скоростей колебаний для условий закрепления шарнирно-опертых заготовок, жестко закрепленных и на упруго-диссипативных опорах.

Собственные частоты колебаний определяются следующими зависимостями:

– для условий резьбошлифования:

шарнирно-опорная заготовка  $f_k = 0,4 \left(\frac{k}{l}\right)^2 d \sqrt{\frac{E}{\rho}}$ ;

жестко закрепленная  $f_k = 0,1 \left(\frac{2k+3}{l}\right)^2 d \sqrt{\frac{E}{\rho}}$ ,

где  $k$  - коэффициент, характеризующий собственные частоты колебаний,

$d$  - диаметр заготовки, м,

$E$  - модуль упругости, Па,

$\rho$  - Плотность материала, кг/м<sup>3</sup>.

— для условий шлифования шлицов шарнирно-опертой заготовки

$$f_h = 1,577 \left( \frac{k}{l} \right)^2 d \sqrt{\frac{EJ}{\rho F_2}}, \quad (3)$$

где  $J$  - момент инерции,  $m^4$ ,  $F_2$  - площадь поперечного сечения,  $m^2$ .

— для условий жестко закрепленной заготовки

$$f_k = 0,4 \left( \frac{2k+3}{l} \right)^2 \sqrt{\frac{EJ}{\rho F_2}}. \quad (4)$$

Приведенные выше зависимости справедливы для соотношения частот колебаний и длины заготовки для соотношения  $0,018 f_k l < 1$ . Фактически это соотношение пригодно для коротких источников и низких частот, в частности,

$l = 0,09$ м	$f_k < 617$ Гц;
$l = 0,5$ м	$f_k < 111$ Гц;
$l = 0,36$ м	$f_k < 154$ Гц;
$l = 0,28$ м	$f_k < 198$ Гц;
$l = 1$ м	$f_k < 55$ Гц;
$l = 1,5$ м	$f_k < 37$ Гц;
$l = 2$ м	$f_k < 28$ Гц;
$l = 4$ м	$f_k < 14$ Гц.

Однако для объектов исследования характерны длины заготовки и превышение уровней звукового давления наблюдаются в средние и высокочастотной части спектра. Этот вариант должен учитывать функцию амплитудно-фазового распределения скорости колебаний вдоль поверхности источника, тогда

$$P = \frac{i\omega\rho_0}{\sqrt{2\pi kr}} \cdot \frac{B(k \sin \beta) l^{ikr}}{\cos \beta \cdot H^1(kR_k \cos \beta)^1} \quad (5)$$

где  $\omega$  - круговая частота колебаний, рад/с,

$\rho_0$  - плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>,

$\beta$  - угол излучения,

$B$  - функция, характеризующая распределение скорости колебаний на поверхности заготовки,

$H^1(kR_k \cos \beta)^1$  - функция Гаккеля, асимптотическое представление которой для условий  $0,018 f_k l \geq 1$  определяется как:

$$H^1 = -i \sqrt{\frac{2}{\pi k R_k \cos \beta}}; \quad (6)$$

$$B = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^e V_k(t,x) \exp^{-ik} \sin \beta x \, dx = 0,4B_1. \quad (7)$$

Тогда из звукового давления и уровней звукового давления получены следующие выражения  $P = 16 \frac{\sqrt{f_k R}}{r} B_1$

$$L = 10 \lg f_k R - 20 \lg r + 20 \lg B_1 + 118. \quad (8)$$

Обрабатываемые изделия рассматриваются как системы с распределёнными параметрами и скорости колебаний определяются из дифференцированного уравнения:

$$\frac{d^2 Y}{dt^2} + \frac{EJ}{\rho F_2} \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} = \frac{P(t)}{\rho F_i} V(x - x_0), \quad (9)$$

где  $x_0$  – координаты приложения нагрузки, которая для всех условий обработки определяться как  $x_0 = Vt$ , где  $V$  – скорость продольной подачи, м/с.

Для условий резбощлифования шарнирно-опертого изделия дифференциальное уравнение колебаний имеет вид:

$$\frac{d^2 Y}{dt^2} + 24 \frac{E}{\rho} R^2 \left( \frac{k}{l} \right)^4 y = \frac{0,32P}{R^2 l \rho} \cdot \sum_{k=1}^k \sin \left[ \left( \frac{\pi k v}{l} + 0,1nK_3 \right) t + \varphi \right] + \sin \left[ \left( \frac{\pi k v}{l} - 0,1nK_3 \right) t - \varphi \right],$$

где  $P$  – амплитуда силового воздействия, Н;  $n$  – частота вращения, об/мин;  $K_3$  – коэффициент, характеризующий зернистость шлифовального круга.

Действительная часть скорости колебаний (с учетом задания модуля упругости в комплексном виде) имеет вид:

$$R_e \{V_k\} = \frac{0,32P}{R^2 l \rho} \sum \frac{\left[ 24 \frac{ER^2}{\rho} \left( \frac{k}{l} \right)^4 - \left( \frac{\pi k v}{l} + 0,1nK_3 \right)^2 \right] \cdot \left( \frac{\pi k v}{l} + 0,1nK_3 \right)}{\left[ 24 \frac{E}{\rho R^2} \left( \frac{k}{l} \right)^4 - \left( \frac{\pi k v}{l} + 0,1nK_3 \right)^2 \right]^2 + 5,76 \left( \frac{E\eta}{\rho} \right)^2 \left( \frac{k}{l} \right)^8 R^4} \cdot \cos \left[ \left( \frac{\pi k v}{l} + 0,1nK_3 \right) t + \varphi \right] +$$

$$+ \frac{\left[ 24 \frac{E}{\rho} \left( \frac{k}{l} \right)^4 - \left( \frac{\pi k v}{l} - 0,1nK_3 \right)^2 \right] \cdot \left( \frac{\pi k v}{l} + 0,1nK_3 \right)}{\left[ 24 \frac{E}{\rho R^2} \left( \frac{k}{l} \right)^4 - \left( \frac{\pi k v}{l} - 0,1nK_3 \right)^2 \right]^2 + 5,76 \left( \frac{E\eta}{\rho} \right)^2 \left( \frac{k}{l} \right)^8 R^4} \cdot \cos \left[ \left( \frac{\pi k v}{l} - 0,1nK_3 \right) t - \varphi \right] \cdot \sin \frac{\pi k v}{l} = |R_e \{V_k(t)\}| \cdot \sin \frac{\pi k x}{l};$$

$$B_1 = \left| R_e \{V_k\} \left( \frac{\sin^2 \frac{\pi k + 0,013 f_k \sin \beta l}{2}}{\frac{\pi k}{l} + 0,018 f_k \sin \beta} + \frac{\sin^2 \frac{\pi k - 0,018 f_k \sin \beta l}{2}}{\frac{\pi k}{l} - 0,013 f_k \sin \beta} \right) \right|;$$

$$\frac{d^2 Y}{dt^2} + \frac{EY}{\rho F} 97 \left( \frac{k}{l} \right)^4 y = \frac{0,32P}{R^2 l \rho} \cdot \sum_{k=1}^k \sin \left[ \left( \frac{\pi k v}{l} + 0,1nK_3 \right) t + \varphi \right] + \sin \left[ \left( \frac{\pi k v}{l} - 0,1nK_3 \right) t - \varphi \right],$$

Для аналогичных условий шлицшлифования уравнение колебаний и скорость колебаний имеют вид:

$$R_e\{V_k\} = \left\{ \frac{P}{M} \sum \frac{\left[ 97 \frac{EY}{\rho F} \left( \frac{k}{l} \right)^4 - \left( \frac{\pi k v}{l} + 0,1nK_3 \right)^2 \right] \cdot \left( \frac{\pi k v}{l} + 0,1nK_3 \right)}{\left[ 97 \frac{EY}{\rho F} \left( \frac{k}{l} \right)^4 - \left( \frac{\pi k v}{l} + 0,1nK_3 \right)^2 \right] + 9,4 \cdot 10^3 \left( \frac{EY\eta}{\rho F} \right)^2 \left( \frac{k}{l} \right)^3} \cdot \cos \left[ \left( \frac{\pi k v}{l} + 0,1nK_3 \right) t + \varphi \right] + \frac{\left[ 97 \frac{EY}{\rho F} \left( \frac{k}{l} \right)^4 - \left( \frac{\pi k v}{l} - 0,1nK_3 \right)^2 \right] \cdot \left( \frac{\pi k v}{l} - 0,1nK_3 \right) \cdot \cos \left[ \left( \frac{\pi k v}{l} - 0,1nK_3 \right) t - \varphi \right]}{\left[ 97 \frac{EY}{\rho F} \left( \frac{k}{l} \right)^4 - \left( \frac{\pi k v}{l} - 0,1nK_3 \right)^2 \right] + 9,4 \cdot 10^3 \left( \frac{EY\eta}{\rho F} \right)^2 \left( \frac{k}{l} \right)^8 R^4} \right\} \cdot \sin \frac{\pi k x}{l} = |R_e\{V_k(t)\}| \cdot \sin \frac{\pi k x}{l};$$

$$B_1 = \left| R_e\{V_k(t)\} \left( \frac{\sin^2 \frac{\pi k + 0,013 f_k \sin \beta l}{2}}{\frac{\pi k}{l} + 0,018 f_k \sin \beta} + \frac{\sin^2 \frac{\pi k - 0,018 f_k \sin \beta l}{2}}{\frac{\pi k}{l} - 0,018 f_k \sin \beta} \right) \right|;$$

## 2. Уравнения колебаний и решения для условий шлифования шлицов

Для условий шлифования шлицов уравнения колебаний и решения относительно действительной части скорой колебаний определяются следующим образом:

$$\frac{d^2 Y_1}{dt^2} + 97 \frac{EJ}{\rho F} \left( \frac{k}{l} \right)^4 y_1 = \frac{P}{M} \sum \frac{\left[ 97 \frac{EY}{\rho F} \left( \frac{k}{l} \right)^4 - \left( \frac{\pi k v}{l} + 0,1nK_3 \right)^2 \right] \cdot \left( \frac{\pi k v}{l} + 0,1nK_3 \right)}{\left[ 97 \frac{EY}{\rho F} \left( \frac{k}{l} \right)^4 - \left( \frac{\pi k v}{l} + 0,1nK_3 \right)^2 \right] + 9,4 \cdot 10^3 \left( \frac{EY\eta}{\rho F} \right)^2 \left( \frac{k}{l} \right)^3} \cdot \cos \left[ \left( \frac{\pi k v}{l} + 0,1nK_3 \right) t + \varphi \right] + \frac{\left[ 97 \frac{EY}{\rho F} \left( \frac{k}{l} \right)^4 - \left( \frac{\pi k v}{l} - 0,1nK_3 \right)^2 \right] \cdot \left( \frac{\pi k v}{l} - 0,1nK_3 \right) \cdot \cos \left[ \left( \frac{\pi k v}{l} - 0,1nK_3 \right) t - \varphi \right]}{\left[ 97 \frac{EY}{\rho F} \left( \frac{k}{l} \right)^4 - \left( \frac{\pi k v}{l} - 0,1nK_3 \right)^2 \right] + 9,4 \cdot 10^3 \left( \frac{EY\eta}{\rho F} \right)^2 \left( \frac{k}{l} \right)^8} \cdot \sin \frac{\pi k x}{l};$$

$$\frac{d^2 Y_1}{dt^2} + 3 \cdot 10^3 \frac{EJ}{\rho F} \left( \frac{k}{l} \right)^4 y_2 = \frac{1}{M} \sum 3 \left\{ \sin \left[ \left( \frac{\pi k v}{l} + 0,1nK_3 \right) t + \varphi \right] + \sin \left[ \left( \frac{\pi k v}{l} + 0,1nK_3 \right) t - \varphi \right] - \sin \left[ \left( \frac{3\pi k v}{l} + 0,1nK_3 \right) t + \varphi \right] - \sin \left[ \left( \frac{\pi k v}{l} + 0,1nK_3 \right) t - \varphi \right] \right\}.$$

Особенно следует рассмотреть вариант закрепления обрабатываемых изделий на упруго-диссипативных опорах. Действительно, подшипниковые опоры и шпиндель и задней бабки имеет конечные выражения жесткости, поэтому данный вариант колебательной системы является наиболее общим [4,5]. Расчетная схема приведена на рис.1

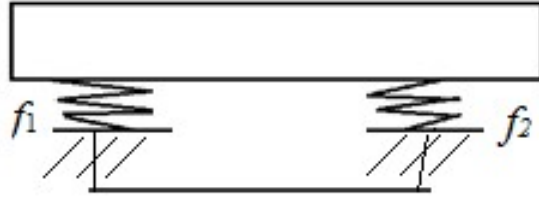


Рис. 1. Расчетная схема колебаний заготовок при резбo- и шлицевшлифовании:  $f_1$  и  $f_2$  – жесткости передней и задней опор (Н/м)

В этом случае граничные условия определяются выражениями:

$$\begin{aligned} \text{при } x=0 \quad y &= \frac{Q}{j_1} \quad \text{и} \quad \frac{d^2 y}{dx^2} = 0, \\ \text{при } x=l \quad y &= \frac{Q}{j_2} \quad \text{и} \quad \frac{d^2 y}{dx^2} = 0. \end{aligned}$$

Поскольку поперечные силы  $Q$  определяются как

$$Q = EJ \frac{d^3 y}{dx^3},$$

то граничные условия примут вид

$$\begin{aligned} \left( y + \frac{1}{C_1} EJ \frac{d^3 y}{dx^3} \right)_{x=0} &= 0; \\ \left( y + \frac{1}{C_2} EJ \frac{d^3 y}{dx^3} \right)_{x=l} &= 0. \end{aligned}$$

Подставив в данные уравнения общую зависимость

$$y = C_1 k_1(dx) + C_2 k_2(dx) + C_3 k_3(dx) + C_4 k_4(\lambda x),$$

где  $k_1, k_2, k_3, k_4$  – функции А.Н. Крылова [3].

$$\lambda = 2,5 f_k^{0,5} \left( \frac{\rho F}{EJ} \right)^{0,25} l; \quad \alpha = 2,5 f_k^{0,5} \left( \frac{\rho F}{EJ} \right)^{0,2}.$$

Учитывая известные соотношения

$$\begin{aligned} k_1''(dx) &= \alpha^2 k_3(\lambda x); & k_1'''(dx) &= \alpha^3 k_2(dx); & k_2''(dx) &= \alpha^2 k_4(dx); \\ k_2'''(dx) &= \alpha^3 k_3(dx); & k_3''(dx) &= \alpha^2 k_1(dx); & k_3'''(dx) &= \alpha^3 k_4(dx); \\ & & k_4''(dx) &= \alpha^2 k_2(dx); & k_4'''(dx) &= \alpha^3 k_2(dx) \end{aligned}$$

получена следующая система уравнений

$$\begin{aligned} C_1 - \frac{1}{j_2} EJ \alpha^2 C_4 &= 0; \\ C_3 &= 0; \\ C_1 \left[ k_1(\lambda) - \frac{1}{j_2} EJ \alpha^3 k_2(\lambda) \right] + C_2 \left[ k_2(\lambda) - \frac{1}{C_2} EJ \alpha^3 k_3(\lambda) \right] + C_4 \left[ k_4(\lambda) - \frac{1}{C_2} EJ \alpha^3 k_1(\lambda) \right] &= 0; \\ C_1 k_3(\lambda) + C_2 k_4(\lambda) + C_4 k_2(\lambda) &= 0. \end{aligned}$$

Собственные частотные колебания находятся из определителя

$$\begin{vmatrix} 1 & 0 & k_1\lambda^3 \\ k_1(\lambda) - k_1\lambda^3 K_2(\lambda) & k_2(\lambda) - k_2\lambda^3 K_3(\lambda) & k_4(\lambda) - k_2\lambda^3 K_1(\lambda) \\ K_3(\lambda) & K_4(\lambda) & K_2(\lambda) \end{vmatrix} = 0.$$

Дифференциальные уравнения колебаний и их решения относительно скоростей колебаний определяются следующим образом для условий резьбошлифования

$$\begin{aligned} \frac{d^2 y}{dt^2} + 24 \frac{E}{\rho} R^2 \left(\frac{k}{l}\right)^4 J_1 = \\ = \frac{8 \cdot 10^{-2} P}{R^2 l \rho} \sum \left\{ 3 \cos \left[ \left(\frac{\pi k v}{l}\right) + 0,1 n K_3 \right] t + \varphi \right\} + \\ + \cos \left[ \left(\frac{\pi k v}{l}\right) - 0,1 n K_3 \right] t - \varphi \right\} + \cos \left[ \left(\frac{3 \pi k v}{l}\right) + 0,1 n K_3 \right] t + \varphi \right\} - \\ - \cos \left[ \left(\frac{3 \pi k v}{l}\right) - 0,1 n K_3 \right] t - \varphi \right\}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{d^2 y_2}{dt^2} + 2 \cdot 10^3 \frac{E}{\rho} R^2 \left(\frac{k}{l}\right)^4 J_2 = \\ = \frac{3,2 \cdot 10^{-2} P}{R^2 l \rho} \sum \left\{ 3 \cos \left[ \left(\frac{\pi k v}{l}\right) + 0,1 n K_3 \right] t + \varphi \right\} + \\ + \cos \left[ \left(\frac{\pi k v}{l}\right) - 0,1 n K_3 \right] t - \varphi \right\} + \cos \left[ \left(\frac{3 \pi k v}{l}\right) + 0,1 n K_3 \right] t + \varphi \right\} - \\ - \cos \left[ \left(\frac{3 \pi k v}{l}\right) - 0,1 n K_3 \right] t - \varphi \right\}. \end{aligned}$$

Следует отметить, что в практических расчетах следует учитывать максимальные значения скоростей колебаний и, соответственно, уровней звукового давления, то есть в зависимости уровней звукового давления следует подставить  $V_k \max$  за время  $0 \leq t \leq l/V$ .

### Заключение

Результаты теоретических исследований дают возможность прогнозирования ожидаемых уровней шума на этапе проектирования как станочного оборудования, так и технологических процессов, так как учитывают все геометрические, физико-механические параметры обрабатываемых изделий и режущего инструмента, а также технологические режимы обработки и способы закрепления.

Акустическая эффективность систем шумозащиты определяется как разница расчетных октавных уровней звукового давления и предельно-допустимых величин. Фактически эти данные и определяют возможность акустического расчета и проектирования систем снижения шума до нормативных значений, на этапах проектирования.

### Список литературы

1. Чукарин А.Н. Теория и методы акустических расчетов и проектирования технологических машин для механической обработки // Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2004. –152 с.

2. Чукарин А.Н. Акустическая модель системы деталь-инструмент при токарной обработке // Надежность и эффективность станочных и инструментальных систем. – Ростов н/Д, 1993 – с. 19-28.

3. Жарков И.Г. Вибрация при обработке лезвийным инструментом. – М: Машиностроение. Ленинградское отд., 1985. – 184 с.

4. Shashurin A.E. Experimental studies on the noise and vibration of a special boring machine due to formation of the operator's workplace sound field. AKUSTIKA, Volume 34, 2019, с. 100-104 - ISSN 1801-9064.

5. Shashurin A.E. Analysis of the experimental study of the axle lathe machine vibroacoustic characteristics for workplace noise reduction. AKUSTIKA, Volume 34, 2019, с. 104-107 - ISSN 1801-9064

6. Beskopylny A., Meskhi B., Chukarin A., Isaev A., Spectral characteristics of noise during hardening of welds of rod structures

7. М.Г. Гогуадзе, Т.Г. Шульга Анализ условий труда на рабочих местах операторов осетокарных станков, Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. 2019. № 4 (49). С. 41-44.

8. Beskopylny A., Chukarin A., Isaev A. Noise Spectra of Ball-Rod Hardening of Welds of Rod Structures, International Scientific Conference Energy Management of Municipal Facilities and Sustainable Energy Technologies EMMFT 2018. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol. 983.

## References

1. Чукарин А.Н. Теория и методы акустических расчетов и проектирования технологических машин для механической обработки (рус.)// Ростов-on-Don: Izdatel'skiy centr DGTU, 2004. –152 p.

2. Чукарин А.Н. Акустическая модель системы деталь-инструмент при токарной обработке // Надежность и эффективность станочных и инструментальных систем. (рус.)// Ростов-on-Don, 1993 – pp. 19-28.

3. Zharkov I.G. Vibratsiya pri obrabotke lezviynym instrumentom (rus.) – М: Mashinostroenie. Leningradskoe otd., 1985. – 184 p.

4. Shashurin A.E. Experimental studies on the noise and vibration of a special boring machine due to formation of the operator's workplace sound field. AKUSTIKA, Volume 34, 2019, с. 100-104 - ISSN 1801-9064.

5. Shashurin A.E. Analysis of the experimental study of the axle lathe machine vibroacoustic characteristics for workplace noise reduction. AKUSTIKA, Volume 34, 2019, с. 104-107 - ISSN 1801-9064

6. Beskopylny A., Meskhi B., Chukarin A., Isaev A., Spectral characteristics of noise during hardening of welds of rod structures

7. М.Г. Гогуадзе, Т.Г. Шульга Анализ условий труда на рабочих местах операторов осетокарных станков, Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. 2019. № 4 (49). С. 41-44.

8. Beskopylny A., Chukarin A., Isaev A. Noise Spectra of Ball-Rod Hardening of Welds of Rod Structures, International Scientific Conference Energy Management of Municipal Facilities and Sustainable Energy Technologies EMMFT 2018. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol. 983.