

УДК 67.05

UDC 67.05

05.00.00 Технические науки

Engineering sciences

**ИССЛЕДОВАНИЕ ШУМОВ И ВИБРАЦИИ  
ОТРЕЗНЫХ КРУГЛОПИЛЬНЫХ СТАНКОВ**

**INVESTIGATION OF NOISE AND VIBRATION  
OF CUTTING CIRCULAR SAWS**

Литвинов Артем Евгеньевич  
к.т.н., доцент  
SPIN-код:9345-4185  
Скопус author Id=36988041300  
*Кубанский Государственный Технологический  
Университет, Краснодар, Россия*

Litvinov Artem Evgenievich  
Cand.Tech.Sci., associate professor  
SPIN-code:9345-4185  
Scopus author ID: 36988041300  
*Kuban State Technological University, Krasnodar,  
Russia*

Чукарин Александр Николаевич  
д.т.н, профессор  
SPIN-код: 5881-9764  
*Ростовский Государственный Университет  
Путей Сообщения, Ростов-на-Дону, Россия*

Chukarin Alexander Nikolaevich  
Dr.Sci.Tech., professor  
SPIN-code: 5881-9764  
*Rostov State Transport University, Rostov-on-Don,  
Russia*

В статье представлены результаты теоретических исследований шумообразования отрезных круглопильных станков. Практический расчет спектров шума основан на определении зависимостей звукового давления источников шума объекта исследования. В акустической системе круглопильных станков звуковая энергия излучается следующими источниками: дисковой фрезой и оправкой. Поэтому в качестве доминирующих источников шума следует выделить технологическую подсистему «фреза – оправка», обладающие немного меньшей жесткостью, чем несущая система станка и непосредственно воспринимающие силы резания при фрезеровании. Таким образом, снизить уровни звукового давления практически можно двумя способами: увеличением звукопоглощения производственного помещения и (или) уменьшением звукового давления, самого источника шума. В данной работе обоснован второй способ – уменьшение интенсивности звукового излучения источника

The article presents the results of theoretical studies of noise cutting circular sawing machines. Practical calculation of the noise spectra is based on the determination of the dependency of the sound pressure of the noise sources of the object of study. In the sound system, circular sawing machines sound energy is emitted by the following sources: disc cutter and the mandrel. Therefore, the dominant noise sources should be allocated to the technological subsystem "tool – mandrel" with a bit less rigidity than the carrier system of the machine and directly receives the cutting forces when milling. Thus, it is possible to reduce sound pressure levels in almost two ways: by increasing absorption production facilities and (or) decrease in sound pressure of the noise source. In this work, we have justified the second way – reduction of the intensity of acoustic radiation of the source

Ключевые слова: ЛЕНТОЧНОПИЛЬНЫЙ  
СТАНОК, ПИЛА, ШУМ, УСТОЙЧИВОСТЬ

Keywords: BAND-SAW MACHINE, SAW, NOISE,  
STABILITY

**Doi: 10.21515/1990-4665-122-026**

Расчет шума и звуковой вибрации рассматриваемого оборудования основан на главных положениях статистической теории акустики: акустический сигнал широкополосный, звуковое поле в производственном помещении диффузное, источники звука одновременно излучают звуковую энергию, акустическая мощность источников постоянная. Такие

допущения позволяют получить достоверные результаты для практических целей, начиная с частоты со среднегеометрическим значением 125 Гц, т.е. начиная с третьей октавы.[1-12] Для металлорежущего оборудования превышение санитарных норм практически для всех типов станков наблюдается с четвертой октавы со среднегеометрической частоты 250 Гц.

Условия расположения станка в производственном помещении таковы, что габаритные размеры самого станка того же порядка, что и производственного помещения. Поэтому процесс шумообразования в рабочей зоне следует рассматривать для источников, расположенных в соразмерных помещениях. В этом случае зависимость для уровней шума приведена к виду:

$$L = L_p + 10 \lg \left( \frac{\chi}{2\pi r^2} + \frac{4\psi}{B} \right) + 20 \lg r + 8, \quad (2.1)$$

где  $L_p$  – уровни звукового давления источника шума, дБ;

$r$  – расстояние от источника до рабочей зоны, м;

$\chi$  – коэффициент, учитывающий влияние ближнего звукового поля и принимаемый в зависимости от отношения расстояния между акустическим центром источника к линейному размеру источника;

$B$  – постоянная помещения,  $1/\text{м}^2$ ;

$\psi$  – коэффициент, учитывающий нарушение диффузности звукового поля

$$\psi = 1 - 0,3 \frac{B}{S} \quad \text{при } 1 < \frac{B}{S} \leq 1,5$$

$$\psi = 0,55 \quad \text{при } \frac{B}{S} > 1,5$$

$S$  – площадь внутренней поверхности производственного помещения,  $\text{м}^2$ .

$$\frac{B}{S} = \frac{\bar{\alpha} S}{1 - \bar{\alpha}},$$

$\bar{\alpha}$  – среднее значение коэффициента звукопоглощения помещения.

Для рассматриваемой планировки и компоновки станка выражение (2.1) приведено к виду:

$$L = L_p + 20 \lg r + 10 \lg \left( \frac{0,12}{r^2} + \frac{1 - 1,3 \bar{\alpha}}{\bar{\alpha} S} \right) + 14. \quad (2.2)$$

Практический расчет спектров шума основан на определении зависимостей звукового давления источников шума объекта исследования.

В акустической системе круглопильных станков звуковая энергия излучается следующими источниками: дисковой фрезой и оправкой. Поэтому звуковое давление в формуле (2.1) определяется по принципу энергетического суммирования:

$$L_p = 10 \lg \left( K_\phi 10^{0,1L_1} + 10^{0,1L_2} \right), \quad (2.3)$$

где  $L_1$  и  $L_2$  – уровни звукового давления, создаваемые фрезами и оправкой колесных пар (соответственно), дБ;

$K_\phi$  – количество фрез на оправке.

Несущая система рассматриваемого станка представляет собой конструкцию, обладающую значительной массой и виброустойчивостью. Кинематика станка достаточно проста и обеспечивает бесступенчатое изменение частот вращения 70–180 об/мин. Поэтому можно предположить, что звуковым излучением несущей системы можно пренебречь. Вместе с тем при величинах глубины резания до 8 мм возникают значительные технологические нагрузки. Поэтому в качестве доминирующих источников шума следует выделить технологическую подсистему «фреза – оправка», обладающие немного меньшей жесткостью, чем несущая система станка и непосредственно воспринимающие силы резания при фрезеровании.

С учетом выполнения санитарных норм шума зависимость (2.1) приведена к следующему виду:

$$L_p = L_c - 10 \lg \left( \frac{0,12}{r^2} + \frac{1 - 1,3 \bar{\alpha} S}{\bar{\alpha} r^2 S} \right) - 14, \quad (2.4)$$

где  $\bar{\alpha}$  – средний коэффициент звукопоглощения производственного помещения;

$S$  – площадь поверхности производственного помещения, м<sup>2</sup>;

$L_c$  – предельно-допустимые октавные уровни звукового давления, дБ.

Таким образом, снизить уровни звукового давления практически можно двумя способами: увеличением звукопоглощения производственного помещения и (или) уменьшением звукового давления, самого источника шума. В данной работе обоснован второй способ – уменьшение интенсивности звукового излучения источника.

Моделью источника шума дисковой фрезы принята круглая пластина, заземленная в центре. Звуковое давление ( $P$ ) и собственные частоты колебаний ( $f_k$ ) для такого источника определяются следующими зависимостями.

Для выбранного типа излучателя звука на основе работ [2- 14] зависимость для расчета звукового давления фрезы определяется следующим образом:

$$P = \frac{2,3V_k}{Dr} k \sqrt{\frac{Eh^3}{3(1-\mu^2)\rho}}, \quad (2.5)$$

где  $V_k$  – скорость колебаний колеса на собственных частотах, м/с;  
 $D$  – диаметр, м;

$E$  – модуль упругости, Па;

$h$  – толщина, м;  $\mu$  – коэффициент Пуассона;

$\rho$  – плотность материала, кг/м<sup>3</sup>.

Для оправки в качестве источника шума принят цилиндр ограниченной длины. Поскольку источники, излучающие звук в замкнутое

пространство, рассматриваются как ненаправленные, то звуковое давление и собственные частоты колебаний таких источников определяются следующими выражениями на основе работ [2-14]:

- для условий шарнирного закрепления

$$P = 9,5 \frac{V_r}{r} (f_k \pi k^2 D)^{0,5}; \quad f_k = \frac{\pi k^2}{2l^2} \sqrt{\frac{EJ}{m_0}}, \quad (2.6)$$

где  $l$  – длина источника, м;

$J$  – момент инерции, м<sup>4</sup>;

$m_0$  – распределенная масса, кг/м;

$k$  – коэффициент, определяющий собственную частоту колебаний;

- для условий жесткого закрепления:

$$f_k = \left[ \frac{2(k+1)+1}{2} \right] \frac{\pi}{2l} \sqrt{\frac{EJ}{m_0}}. \quad (2.7)$$

Для стальных фрезы и оправки зависимости звукового давления и собственные частоты колебаний приведены к следующему виду:

фреза:

$$P = 6,7 \cdot 10^3 \frac{V_k k \pi^{1,5}}{r \cdot R}; \quad f_k = 2,5 \cdot 10^3 \frac{hk}{R^2} \quad (2.8)$$

оправка:

- для условий шарнирного закрепления:

$$P = 3,5 \cdot 10^3 \frac{V_k k}{r} D^{1,5} \left( \frac{l}{M} \right)^{0,25}; \quad (2.9)$$

- для условий жесткого закрепления:

$$P = 2,5 \cdot 10^3 \left[ \frac{2(k+1)+1}{2} \right] D^{1,5} \left( \frac{l}{M} \right)^{0,25} \frac{V_k}{r}, \quad (2.10)$$

где  $M$  – масса, кг.

На этой основе определены уровни звукового давления источников

фреза:

$$L_2 = 20 \lg V_k k + 20 \lg \frac{h}{r} + 154; \quad (2.11)$$

оправка:

- для условий шарнирного закрепления:

$$L_2 = 20 \lg V_k k - 20 \lg r + 30 \lg d + 5 \lg \frac{l}{M} + 165; \quad (2.12)$$

- для условий жесткого закрепления:

$$L_2 = 20 \lg V_k (2k + 3) - 20 \lg r + 30 \lg d + 5 \lg \frac{l}{M} + 162. \quad (2.13)$$

Как видно из полученных зависимостей для расчета спектров шума необходимо определить скорости колебаний соответствующих источников на их собственных частотах колебаний.[10-22]

### Список литературы

1. Проектирование металлорежущих станков / ShinnoHidenori, NishisumeHitoshi/Nohonkikaigakkaironbunshu/ С–Trans. Jap. Soc. Mech. Eng. С. –1999. –№636. – С. 399-405.
2. Защитное устройство станка. Safetysecurigdevice: Заявка 0665405 А1 ЕВП, МКИ F 16 Р 3/08/Sugimotonoboru, TheNipoonsignalCo/LTD, Yamataka&Co. -Ltd. # 93913483.7; Заявл. 4.6.93; Оpubл. 2.8.95.
3. Ограждение станка. Fatlenbald, insbesondereFalwand: Заявка 4437766 Германия, МКИ F 16 J 3/04/ bunselmeyer Dieter; Moller WerkeGmbh.-№ 4437766/5; Заявл. 24.10.94; Оpubл. 25.4.96.
4. Защитные экраны многоцелевых станков. Protectiveshield // Mod. Mach. Shop. –1998. –71, –№5. – 257 с.
5. Шумозащитные устройства. OffenZellen// Production. –1997, №38. – С. 20.
6. Чукарин А.Н. Теория и методы акустических расчетов и проектирования технологических машин для механической обработки // А.Н. Чукарин. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2005. – 152 с.
7. Чукарин А.Н., Каганов В.С. Звукоизлучение заготовки при токарной обработке // Борьба с шумом и звуковой вибрацией. –М., 1993. – С. 21-24.
8. Заверняев Б.Г., Попов Р.В., Чукарин А.Н. Влияние режимов резания на виброакустические характеристики металлорежущих станков // XI Всесоюзная акустическая конференция: Аннотация докл. –М., 1991. – С. 49.
9. Чукарин А.Н. Акустическая модель системы деталь-инструмент при токарной обработке // Надёжность и эффективность станочных и инструментальных систем. –Ростов н/Д, 1993. – С. 19-28.

10. Балыков И.А., Чукарин А.Н., Евсеев Д.З. Влияние процессов резания на шум фрезерных станков // Новое в безопасности и жизнедеятельности и экологии: Сб. ст. докл. конф., Санкт-Петербург 14-16 октября. –Санкт-Петербург, 1996. – С. 222-223.
11. Балыков И.А. О расчёте шума, излучаемого заготовкой при фрезеровании / Донской гос. тех. ун-т. –Ростов-н/Д, 1996. –Деп. в ВИНТИ 16.08.96, № 2687-В96.
12. Чукарин А.Н., Балыков И.А. Экспериментальные исследования шума и вибрации фрезерных станков / Донской гос. тех. ун-т. –Ростов-н/Д, Деп. в ВИНТИ 16.08.96, № 2687-В96.
13. Гергерт В.А., Месхи Б.Ч. Математическое моделирование шумообразования системы инструмент–заготовка при фрезеровании и шлифовании // Строительство – 2003: Материалы Междунар. науч.-практ. конф. / РГСУ. –Ростов н/Д, 2003. – С. 50-57.
14. Замшин В.А. Математическое моделирование шумообразования системы "заготовка-инструмент" заточных станков / В.А. Замшин, Г.Ю. Виноградова, А.Н. Чукарин // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2006. –№3. –С.112-118.
15. Литвинов А.Е., Чукарин А.Н., Корниенко В.Г. Экспериментальные исследования шумов и вибрации на ленточнопильных станках. Политематический сетевой электронный научный журнал КубГАУ.-2011.-№69(05)
16. Литвинов А.Е., Сухонос Н.И., Корниенко В.Г. Ленточно-отрезной станок (патент) № 2548853 МПК В23D 55/08 (2006.01) по заявке № 2013154955/02 от 10.12.2013.
17. Litvinov A.E. Improving tool life and machining precision in band saws. Russian engineering research 2016 г. № 9 с.761-760
18. Литвинов А.Е. Некоторые аспекты шумообразования отрезных ленточнопильных станков. Сборник статей студентов, аспирантов, молодых ученых и преподавателей международной конференции "Векторы развития науки" 2015 г. с 74-75
19. Литвинов А.Е. Методика расчета ленточной пилы на прочность и усилия натяжения для обеспечения устойчивости резания//Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) №9(113)2015 г
20. Литвинов А.Е. Оценка влияния резонансной частоты колебаний системы "пила-направляющая пилы" на процесс резания ленточными пилами//Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ)№2(96)2014 г .
21. Литвинов А.Е. Технические решения по повышению стойкости режущего инструмента и улучшению эксплуатационных свойств ленточнопильных металлорежущих станков/А.Е. Литвинов, В.Г, Корниенко//Сборник международной конференции "Современное состояние и перспективы развития технических наук" 2014 г. с 49-51
22. Литвинов А.Е. Износ и производительность, как основные факторы, влияющие на процесс резания на ленточнопильных станках//Современные проблемы науки и образования № 6, 2013 г. С. 42

## References

1. Proektirovanie metallorzhushhih stankov / ShinnoHidenori, NishisumeHitoshi//Nohonkikaigakkaironbunshu/ C–Trans. Jap. Soc. Mech. Eng. C. –1999. –№636. – S. 399-405.

2. Zashhitnoe ustrojstvo stanka. Safetysecuringdevice: Zajavka 0665405 A1 EVP, MKI F 16 R 3/08/Sugimotonoboru, TheNipoonsignalCo/LTD, Yamataka&Co. -Ltd. # 93913483.7; Zajavl. 4.6.93; Opubl. 2.8.95.
3. Ograzhdenie stanka. Fatlenbald, insbesondereFalwand: Zajavka 4437766 Germanija, MKI F 16 J 3/04/ bunselmeyer Dieter; Moller WerkeGmbh.-№ 4437766/5; Zajavl. 24.10.94; Opubl. 25.4.96.
4. Zashhitnye jekrany mnogocelevyh stankov. Protectiveshield // Mod. Mach. Shop. –1998. –71, –№5. – 257 s.
5. Shumozashhitnye ustrojstva. OffenZellen// Production. –1997, №38. – S. 20.
6. Chukarin A.N. Teorija i metody akusticheskikh raschetov i proektirovanija tehnologicheskikh mashin dlja mehanicheskoy obrabotki // A.N. Chukarin. – Rostov n/D: Izdatel'skij centr DGTU, 2005. – 152 s.
7. Chukarin A.N., Kaganov V.S. Zvukoizluchenie zagotovki pri tokarnoj obrabotke // Bor'ba s shumom i zvukovoj vibraciej. –M., 1993. – S. 21-24.
8. Zavernjaev B.G., Popov R.V., Chukarin A.N. Vlijanie rezhimov rezanija na vibroakusticheskie harakteristiki metallorazreshhijh stankov // XI Vsesojuznaja akusticheskaja konferencija: Annotacija dokl. –M., 1991. – S. 49.
9. Chukarin A.N. Akusticheskaja model' sistemy detal'-instrument pri tokarnoj obrabotke // Nadjozhnost' i jeffektivnost' stanochnyh i instrumental'nyh sistem. –Rostov n/D, 1993. – S. 19-28.
10. Balykov I.A., Chukarin A.N., Evseev D.Z. Vlijanie processov rezanija na shum frezernyh stankov // Novoe v bezopasnosti i zhiznedejatel'nosti i jekologii: Sb. st. dokl. konf., Sankt-Peterburg 14-16 oktjabrja. –Sankt-Peterburg, 1996. – S. 222-223.
11. Balykov I.A. O raschjote shuma, izluchaemogo zagotovkoj pri frezerovanii / Donskoj gos. teh. un-t. –Rostov-n/D, 1996. –Dep. v VINITI 16.08.96, № 2687-V96.
12. Chukarin A.N., Balykov I.A. Jeksperimental'nye issledovanija shuma i vibracii frezernyh stankov / Donskoj gos. teh. un-t. –Rostov-n/D, Dep. v VINITI 16.08.96, № 2687-V96.
13. Gergert V.A., Meshi B.Ch. Matematicheskoe modelirovanie shumooobrazovanija sistemy instrument–zagotovka pri frezerovanii i shlifovanii // Stroitel'stvo – 2003: Materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. / RGSU. –Rostov n/D, 2003. – S. 50-57.
14. Zamshin V.A. Matematicheskoe modelirovanie shumooobrazovanija sistemy "zagotovka-instrument" zatochnyh stankov / V.A. Zamshin, G.Ju. Vinogradova, A.N. Chukarin // Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putej soobshhenija. –2006. –№3. –S.112-118.
15. Litvinov A.E., Chukarin A.N., Kornienko V.G. Jeksperimental'nye issledovanija шумов и вибрации на ленточнопильных станках. Политехнический сетевой электронный научный журнал КубГАУ.-2011.-№69(05)
16. Litvinov A.E., Suhonosov N.I., Kornienko V.G. Lentochno-otreznoj stanok (patent) № 2548853 MPK B23D 55/08 (2006.01) po zajavke № 2013154955/02 ot 10.12.2013.
17. Litvinov A.E. Improving tool life and machining precision in band saws. Russian engineering research 2016 g. № 9 s.761-760
18. Litvinov A.E. Nekotorye aspekty shumooobrazovanija otreznych lentochnopil'nyh stankov. Sbornik statej studentov, aspirantov, molodyh uchenyh i prepodavatelej mezhdunarodnoj konferencii "Vektory razvitija nauki" 2015 g. s 74-75
19. Litvinov A.E. Metodika rascheta lentochnoj pily na prochnost' i usilija natjazhenija dlja obespechenija ustojchivosti rezanija//Политехнический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) №9(113)2015 g



20. Litvinov A.E. Ocenka vlijanija rezonansnoj chastoty kolebanij sistemy "pila-napravljajushhaja pily" na process rezanija lentochnymi pilami//Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU)№2(96)2014 g .

21. Litvinov A.E. Tehnicheskie reshenija po povysheniju stojkosti rezhushhego instrumenta i uluchsheniju jekspluatacionnyh svojstv lentochnopil'nyh metallorehushhijh stankov/A.E. Litvinov, V.G, Kornienko//Sbornik mezhdunarodnoj konferencii "Sovremennoe sostojanie i perspektivy razvitija tehniceskijh nauk" 2014 g. s 49-51

22. Litvinov A.E. Iznos i proizvoditel'nost', kak osnovnye faktory, vlijajushhie na process rezanija na lentochnopil'nyh stankah//Sovremennye problemy nauki i obrazovanija № 6, 2013 g. S. 42