

УДК: 534.835.464  
OECD: 01.03.AA

## Экспериментальные исследования спектрального состава вибраций и шума координатно- и профильно- шлифовальных станков

Курченко П.С.

Соискатель, Ростовский государственный университет путей и сообщений,  
г. Ростов-на-Дону, РФ

### Аннотация

В данной работе рассматриваются результаты экспериментальных исследований спектрального состава вибраций и шума координатно- и профильно- шлифовальных станков моделей 393М, 395МФ10, 3951ВФ10. Рассмотрен режим работы холостого хода. Проведён анализ по превышению нормативных значений шума и вибрации в нормируемом диапазоне частот, также выделены основные источники шума. Было проведено сравнение экспериментальных данных, полученных в процессе эксплуатации профилишлифовальных и координатно-шлифовальных станков, с теоретическими расчетами шумового загрязнения на рабочих местах операторов станков. Была произведена оценка превышений санитарных норм в широком диапазоне частот на рабочих местах операторов станков.

**Ключевые слова:** спектральная характеристика шума, вибрация, анализ экспериментальных данных, шум, профильно- шлифовальный станок, координатно- шлифовальный станок.

### *Experimental studies of the spectral composition of vibrations and noise of coordinate and profile grinding machines*

*Kurchenko P.S.*

*Applicant, Rostov State Transport University, Rostov-on-Don, Russia*

### **Abstract**

*This paper discusses the results of experimental studies of the spectral composition of vibrations and noise of coordinate and profile grinding machines of models 393M, 395MF10, 3951VF10. The idle operation mode is considered. The analysis of exceeding the normative values of noise and vibration in the normalized frequency range was carried out, and the main sources of noise were also identified. Experimental data obtained during the operation of profile grinding and coordinate grinding machines were compared with theoretical calculations of noise pollution at the workplaces of machine operators. The assessment of excess of sanitary standards in a wide range of frequencies at the workplaces of machine operators was carried out.*

**Keywords:** *spectral characteristics of noise, vibration, analysis of experimental data, noise, profile grinding machine, coordinate grinding machine.*

## Введение

Среди всей гаммы металлорежущих станков обеспечению акустической безопасности на рабочих местах станочников особое внимание следует уделить станкам шлифовальной группы и, в частности, профильно- и координатно-шлифовальным. Эти станки относятся к категории наиболее высокоточных. Профилешлифовальные станки предназначены для шлифования поверхностей, образующих кривые или ломаные линии. Такой вид шлифования встречается при изготовлении оснастки, фасонного режущего инструмента, копиров, шаблонов, лекал и детали машин. А координатно-шлифовальные станки предназначаются для выполнения технологического процесса финишных операций шлифования в деталях малых и средних размеров, где требуется достигнуть особо высокой точности взаимного расположения и чистоты обрабатываемых отверстий. На станке можно шлифовать цилиндрические и конические отверстия, секторы, пазы.

В данной работе рассматриваются результаты экспериментальных исследований спектрального состава вибраций и шума координатно- и профильно- шлифовальных станков моделей 393М, 395МФ10, 3951ВФ10.

### 1. Определение сил, действующих на инструмент

Анализ закономерностей формирования спектров вибраций и шума выполнен для условий наиболее шумоопасного режима работы станка. Следует отметить, что уровни вибраций на рабочих местах станков не превышают 55 дБ, что значительно ниже нормативных величин [1]. Поэтому спектры вибраций на рабочих местах не приведены.

Измерения уровней звукового давления (УЗД) профилешлифовальных станков на холостом режиме работы показали, что на рабочих местах станочников уровни звукового давления ниже предельно-допустимых значений во всем нормируемом диапазоне частот (рис.1).

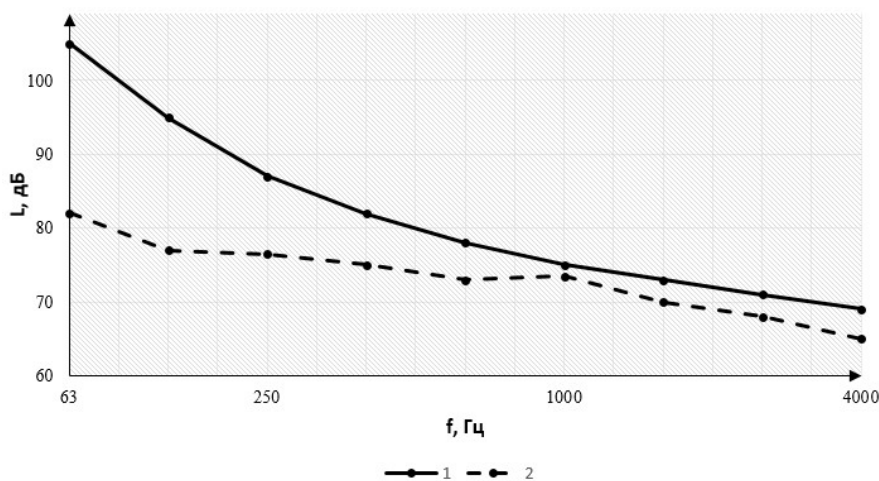


Рис. 1. Спектр шума холостого хода на рабочих станочников профилешлифовальных станков: 1 – предельно допустимые уровни; 2 – уровни звукового давления

У координатно-шлифовального станка при частоте вращения шлифовального круга  $f = 1000$  Гц уровни холостого хода уже превышают санитарные нормы на рабочих местах станочников на 2-5 дБ в высокочастотной части спектра 1000-8000 Гц, а на частоте вращения 200 Гц норматив не превышен во всем нормируемом диапазоне звуковых частот (рис.2).

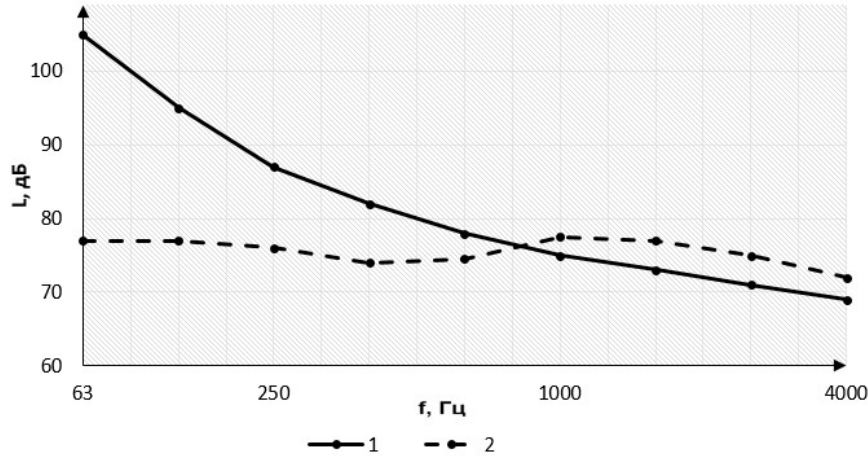


Рис. 2. Спектр шума холостого хода координатно-шлифовального станка: 1 – предельно допустимые уровни; 2 – уровни звукового давления

При реализации технологического процесса шлифования спектров шума претерпевают значительные изменения в октавных уровнях звукового давления, но при идентичном характере спектрального состава. Теоретическое изменение уровней для различных частот вращения абразивного инструмента составляют:

$$\Delta L = 20 \lg \frac{4500}{2850} = 4 \text{ дБА}$$

$$\Delta L = 20 \lg \frac{3700}{2850} = 2,3 \text{ дБА}$$

$$\Delta L = 20 \lg \frac{4500}{3700} = 1,7 \text{ дБА}$$

$$\Delta L = 20 \lg \frac{3500}{2850} = 2 \text{ дБА}$$

$$\Delta L = 20 \lg \frac{50000}{12000} = 14 \text{ дБА}$$

Экспериментальные значения составляют (соответственно) 6; 3; 2,5; 3 и 11 дБА. Такое соотношение можно признать вполне достаточным для инженерных расчетов акустических характеристик [2].

На холостом ходу у вышеуказанных станков основными источниками шума являются: бабка шлифовального круга, электродвигатель привода главного движения и гидростанция. Уровни звукового давления при включении только двигателя показали, что они не превышают 60 дБ в интервале частот 500-8000 Гц, при работе гидростанции уровни звукового давления не превышают 65 дБ. Эта закономерность характерна как для профильно-шлифовальных, так и координатно-шлифовальных станков. Превышение же уровней звукового давления координатно-шлифовального станка на холостом режиме работы создается звуковым излучением шпиндельной бабки вследствие очень высоких частот вращения. Уровни звукового давления профилю-шлифовальных станков моделей 395МФ10 и 3951ВФ10 практически не отличаются, что объясняется одинаковыми значениями частот вращения шлифовальных кругов.

Уровни вибраций холостого хода на профильно-шлифовальных и координатно-шлифовальных станках измерялись на шлифовальных бабках, столах и станинах. У профилюшлифовального станка на всех элементах общей колебательной системы спектры вибраций имеют низко- и среднечастотный характер (рис.3).

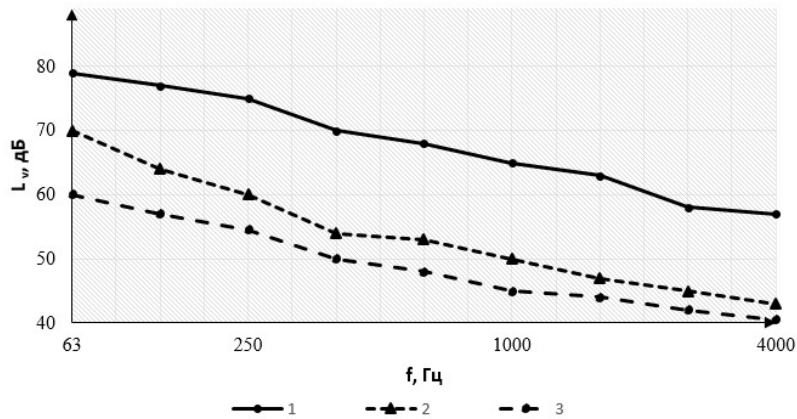


Рис. 3. Спектры вибраций профишлифовального станка:  
1 – шлифовальной бабки; 2 – стола; 3 – станины

Максимальные уровни вибрации зафиксированы на корпусе шлифовальной бабки, а на столе и станке уровни вибраций на 2-15 дБ ниже. Во всех точках измерений наблюдается тенденция снижения уровней вибраций на 2-3 дБ на октаву. У координатно-шлифовального станка максимальные уровни вибраций имеет бабка шлифовального круга (рис.4).

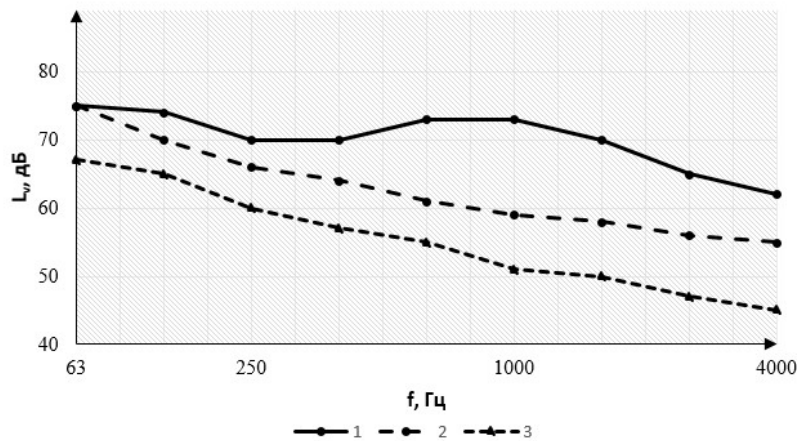


Рис. 4. Спектры вибраций координатно-шлифовального станка:  
1 – бабка шлифовального круга; 2 – стол; 3 – станина

В области низких и средних частот 31,5-250 Гц закономерности спектрального состава аналогичны вышеуказанным. Но в интервале частот 30-8000 Гц у бабки профишлифовального станка уровни вибраций на 5-12 дБ выше, чем у профишлифовального. Фактические максимальные уровни вибраций расположены в пятой-седьмой октавах и достигают значений 72 дБ. Эти данные так же подтверждают увеличением частот вращения. В частности, теоретическое значение составляет  $\Delta L = 20 \lg \frac{60000}{4500} = 13$  дБ, что подтверждено экспериментальными данными. Поэтому анализ спектрального состава акустических характеристик выполнен по данным измерений октавных уровней звукового давления для наиболее шумоактивных условий на рабочих местах операторов.

## 2. Спектральный состав шума и вибрации станков модели 393М

УЗД на рабочих местах станочников станков модели 393М при частоте вращения абразивного инструмента 3500 об/мин (рис.5) носят четко выраженный широкополосный характер.

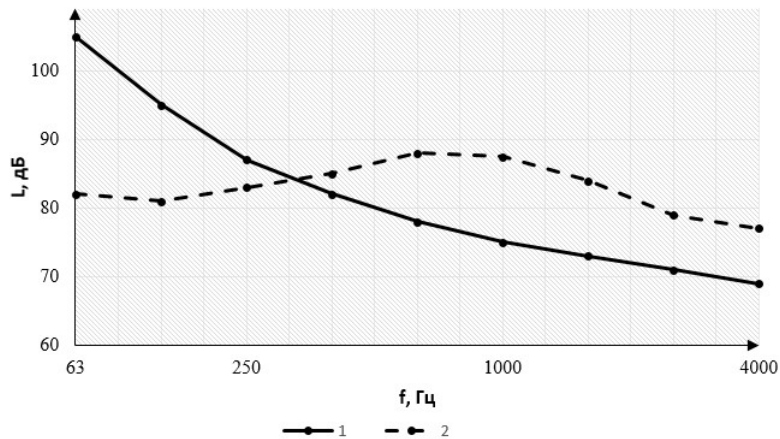


Рис. 5. Спектр шума станка модели 395М:

1 – предельно допустимые уровни; 2 – уровни звукового давления

Максимальные уровни звукового давления соответствуют пятой и шестой октавам и составляют 36-37 дБ. Санитарные нормы шума превышены в широкой полосе частот 250-8000 Гц (рис.6).

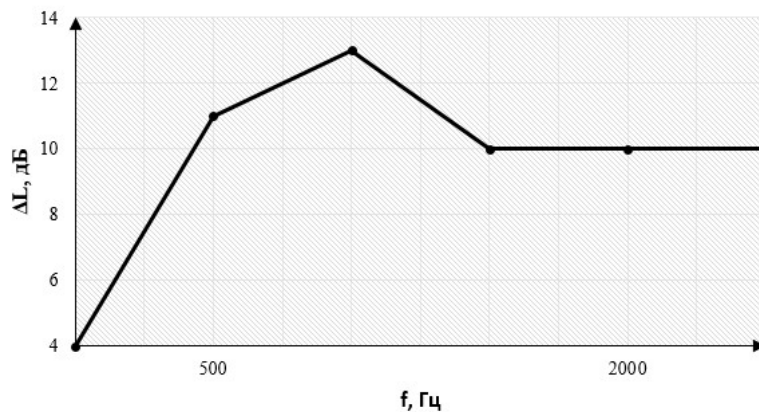


Рис. 6. Спектр шума станка модели 395М. Величины превышения УЗД станка 395М, при  $n = 3500$  об/мин

Только в первой, второй и третьей октавах УЗД существенно ниже санитарных норм, а уже в четвертой октаве норматив превышает на 4 дБ. К характерным закономерностям акустических характеристик данного станка следует отнести постоянство величин превышений уровней шума над нормативом в пятой-восьмой октавах, составляющих 10 дБ. Только в шестой октаве уровень звукового давления превышает норматив на 12 дБ, т.е. разница составляет 2 дБ, а это фактически входит в погрешность измерений.

### 3. Спектральный состав шума и вибрации станков модели 395МФ10

Спектральный состав шума на рабочих местах станочников станков моделей 395МФ10 при частоте вращения шлифовального круга 4500 об/мин (рис.7) практически полностью идентичен предыдущему, но по интенсивности звукового излучения выше на 3-4 дБ в четвертой – шестой октавах, в которых уровни звукового давления достигают 91 дБ, а значения превышений составляют 10-15 дБ (рис.8).

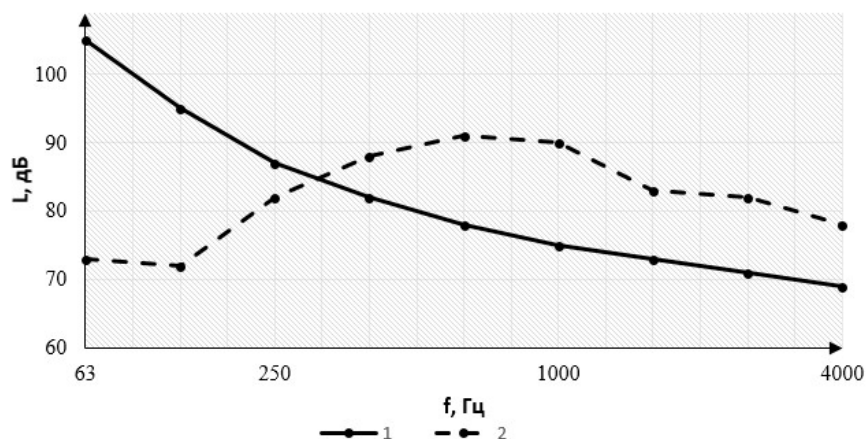


Рис. 7. Спектр шума на рабочем месте станка модели 395МФ10, при  $n = 4500$  об/мин, 1 – предельно допустимые уровни; 2 – уровни звукового давления

Обращает на себя внимание, что величина превышений в высокочастотной части спектра 2000-8000 Гц составляет 10 дБ, что полностью соответствует станку 395М.

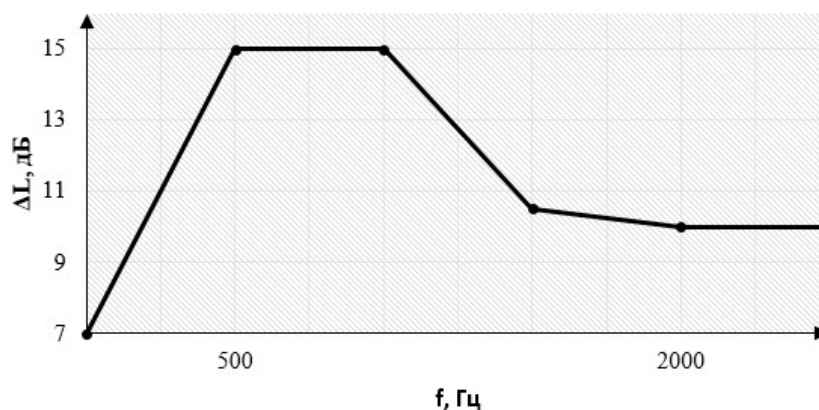


Рис. 8. Величины превышений УЗД станка модели 395МФ10

Увеличение УЗД объясняется большей частотой вращения абразивного инструмента, в частности  $\Delta L = 20 \lg \frac{4500}{3500} = 2,2$  дБ, что полностью подтверждается экспериментальными данными.

### 4. Спектральный состав шума и вибрации станков модели 3951ВФ10

У станка 3951ВФ10 при частоте вращения абразивного инструмента 4500 об/мин закономерности формирования спектра практически идентичны (рис.9).

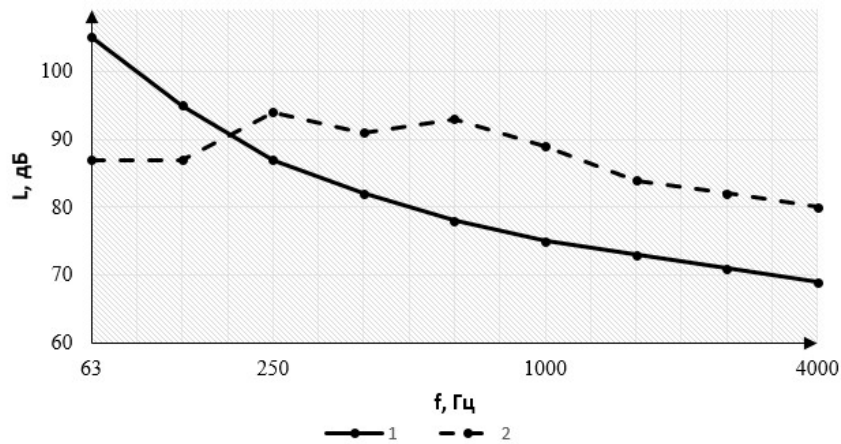


Рис. 9. Спектр шума станка модели 3951ВФ10:  
1 – предельно допустимые уровни; 2 – уровни звукового давления

Фактические изменения интенсивности звукового излучения зафиксированы в четвертой и седьмой октавах. Величины превышений в этих октавах над санитарными нормами составляют 11 и 14 дБ (рис.10).

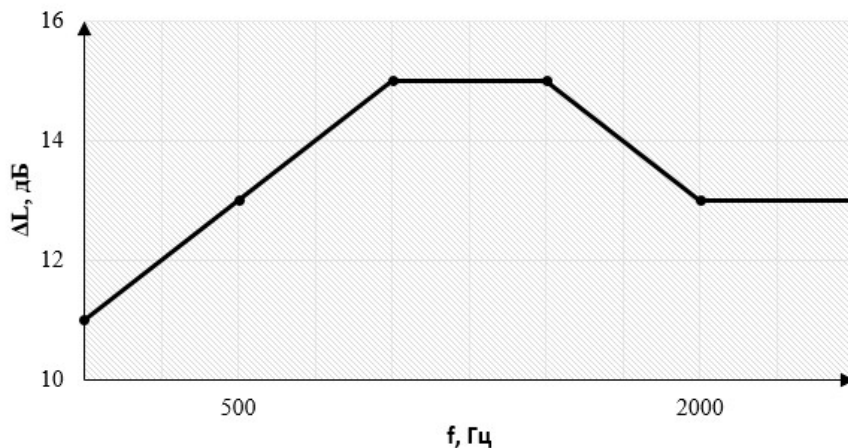


Рис. 10. Превышения УЗД станка модели 3951ВФ10

Следует отметить также высокочастотный диапазон спектра 4000-8000 Гц, где превышения УЗД составляют 11-12 дБ. Эти данные могут быть объяснены увеличенной мощностью привода главного движения в сравнении со станком 395МФ10, и, следовательно, увеличением силового воздействия на систему «заготовка-узел резания».

##### 5. Спектральный состав шума и вибрации координатно- и профильно-шлифовальных станков

Уровни звукового давления у координатно-шлифовального станка измерялись при частотах вращения шпинделя 12000, 20000 и 50000 об/мин (рис.11-16).

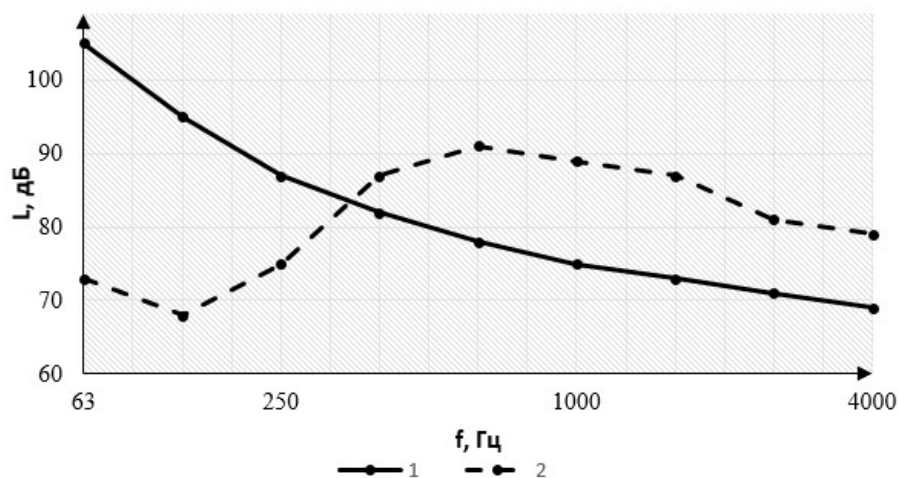


Рис. 11. Спектр шума координатно-шлифовального станка при частоте вращения 12000 об/мин: 1 – предельно допустимые уровни; 2 – уровни звукового давления

При частоте вращения 12000 об/мин (рис.11) уровни звукового давления превышают санитарные нормы в четвертой – восьмой октавах.

Максимальные величины превышений зафиксированы в пятой-седьмой октавах. Величины превышений достигают 15 дБ (рис.12).

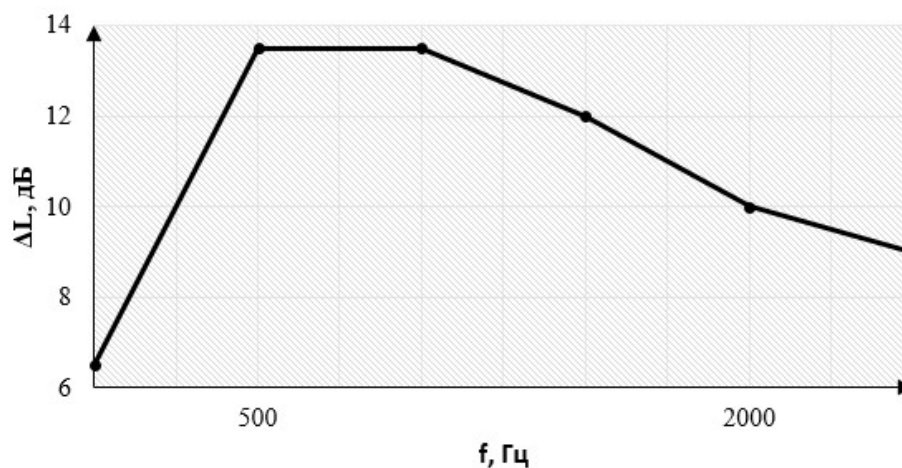


Рис. 12. Превышения УЗД на рабочем месте координатно-шлифовального станка при частоте вращения 12000 об/мин

При частоте вращения 20000 об/мин (рис.13) уровни звукового давления возрастают на 5-6 дБ в четвертой-восьмой октавах.



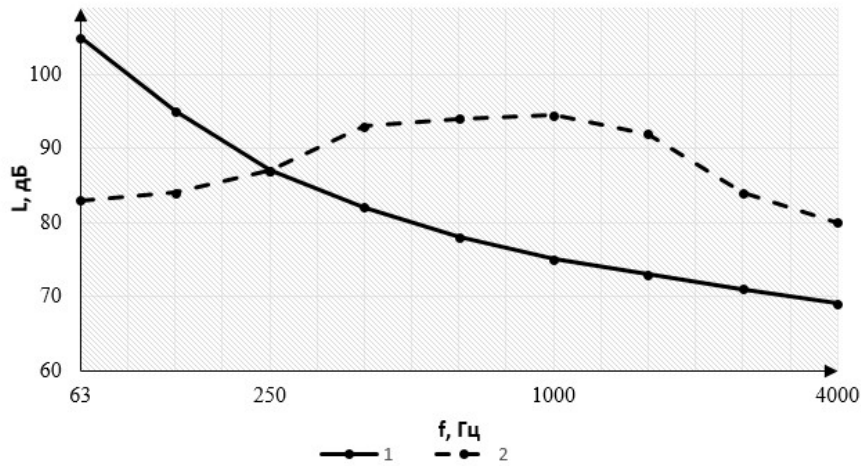


Рис. 13. Спектр шума координатно-шлифовального станка при частоте вращения 20000 об/мин: 1 – предельно допустимые уровни; 2 – уровни звукового давления

Эти данные подтверждают теоретические расчеты увеличения уровней шума на  $\Delta L = 20 \lg \frac{20000}{12000} = 4,4$  дБ.

Величины превышений при таком режиме работы составляют от 11 до 20 дБ (рис.14).

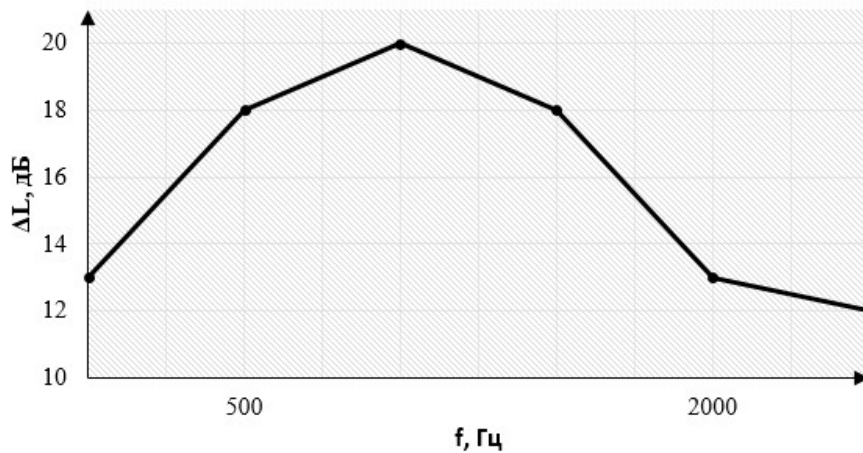


Рис. 14. Превышения УЗД на рабочем месте координатно-шлифовального станка при частоте вращения 20000 об/мин

При частоте вращения 50000 об/мин уровни звукового давления превышают санитарные нормы уже с третьей октавы (рис.15).

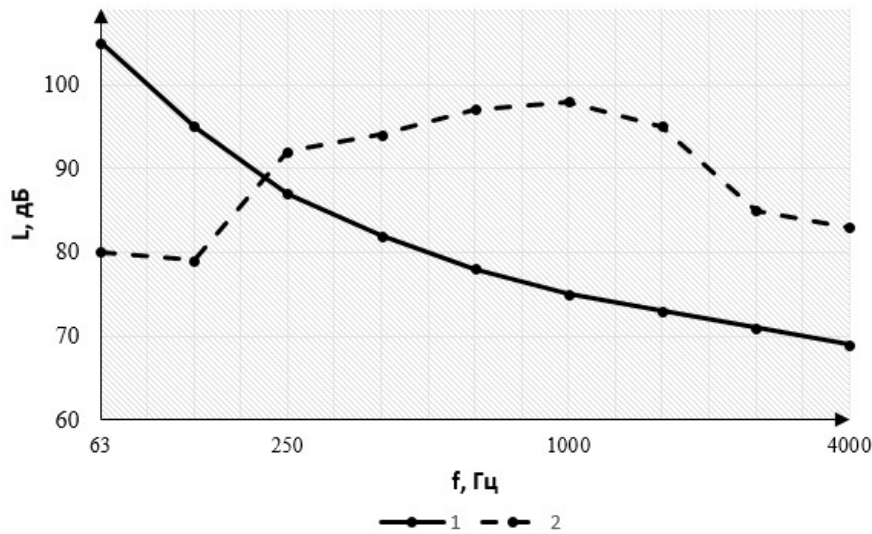


Рис. 15. Спектр шума координатно-шлифовального станка при частоте вращения 50000 об/мин: 1 – предельно допустимые уровни; 2 – уровни звукового давления

Уровни звукового давления возрастают на 4-6 дБ (теоретическое значение составляет  $\Delta L = 20 \lg \frac{20000}{20000} = 8$  дБ. Величины превышений достигают 24 дБ (рис.16).

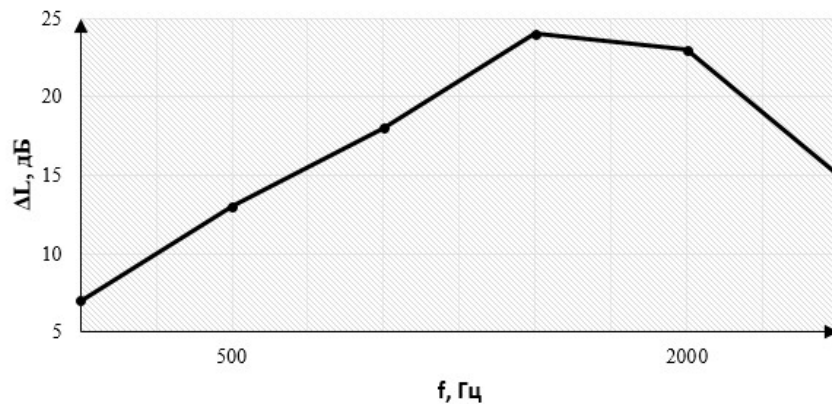


Рис. 16. Превышения УЗД на рабочем месте координатно-шлифовального станка при частоте вращения 50000 об/мин

Измерения вибраций на корпусе шлифовальной бабки, заготовке и столах координатно-шлифовального станка показали, что несущей системе станков увеличение уровней вибрации при реализации технологического процесса не превышает 2-2,5 дБ, что фактически сравнимо с погрешностью измерений [3,4]. Уровни вибраций шлифовального круга профильно-координатного станка, шлифуемой заготовке приведены на рис.17.

Как показали результаты измерений наиболее высокие уровни вибраций в том диапазоне частот, в котором превышаются санитарные нормы шума, создаются на узлах резания и шлифуемых заготовках.

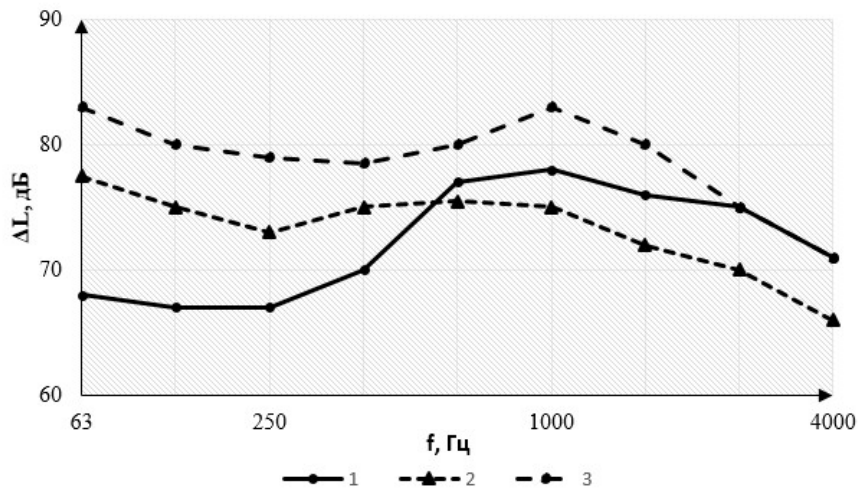


Рис. 17. Спектры вибраций: 1 – на круге; 2 – на шлифуемой заготовке; 3 – на корпусе шлифовальной бабки координатно-шлифовального станка

Экспериментальные исследования показали, что и у профильно-шлифовальных и у координатно-шлифовальных закономерности спектрального состава, формируемого излучением звуковой энергии системой «угол резания – шлифуемая заготовка».

В условиях машиностроительного производства вышеуказанные станки в большинстве случаев устанавливаются в соразмерных помещениях [5]. Поэтому для выявления влияния акустического излучения на соседние рабочие места уровни звукового давления измерялись на расстоянии 10 м и сзади станков, куда фактически распространяется дифрагирующий звук (рис.18-21). На расстоянии 10 м уровни звукового давления профилишлифовальных станков превышают санитарные нормы на 5-8 дБ (рис.18).

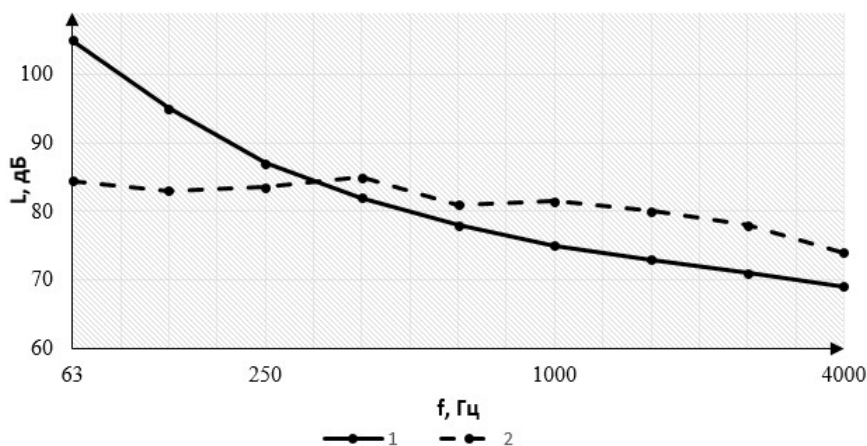


Рис. 18. Спектр шума профильного станка на расстоянии 10 м: 1 – предельно допустимые уровни; 2 – уровни звукового давления

Координатно-шлифовальный на расстоянии 10 м создает превышение октавных уровней звукового давления на 5-12 дБ.

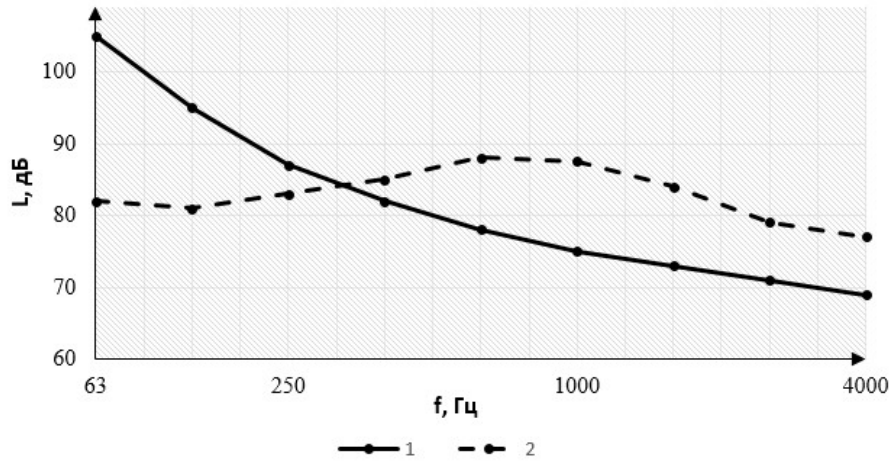


Рис. 19. Спектр шума координатно-шлифовального станка на удалении 10 м:  
1 – предельно допустимые уровни; 2 – уровни звукового давления

Аналогичным образом проявляет себя дифрагирующий звук из зон шлифования. В частности, для станка профишлифовального сзади станка создается превышение уровней звукового давления на 3-5 дБ (рис.20).

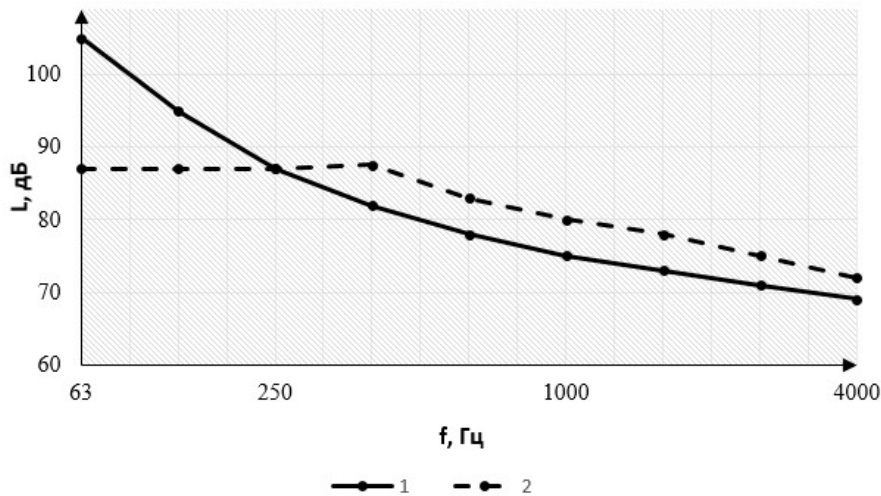


Рис. 20. Спектр шума сзади профишлифовального станка:  
1 – предельно допустимые уровни; 2 – уровни звукового давления

Превышение санитарных норм дифрагирующим звуком координатно-шлифовального станка достигает 10 дБ (рис.21).

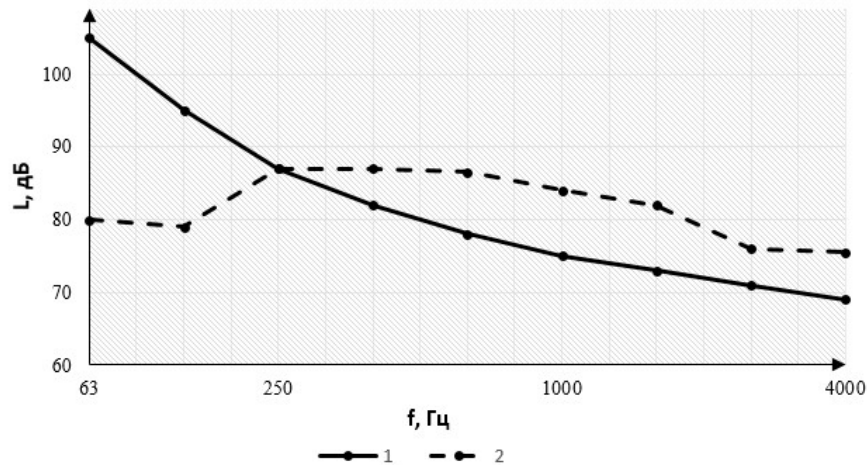


Рис. 21. Спектр шума сзади координатно-шлифовального станка:  
1 – предельно допустимые уровни; 2 – уровни звукового давления

Таким образом, звуковое излучение элементов несущей системы профиле и координатно-шлифовальных станков следует исключить при оценке звукового поля на рабочих местах станочников.

Выполнение санитарных норм практически может быть обеспечено только уменьшением интенсивности звукового излучения системы «узел шлифования – обрабатываемая заготовка».

### Заключение

Уровни звукового давления при холостом режиме работы всех обследованных станков не превышают санитарные нормы во всем нормируемом частотном диапазоне.

При шлифовании как профилешлифовальных и координатно-шлифовальных станков различных геометрических размеров спектральный состав шума практически идентичен, но значительно различается по интенсивности спектральных составляющих.

Экспериментальные исследования в реальных условиях эксплуатации профилешлифовальных и координатно-шлифовальных станков подтвердили правильность теоретических исследований процессов шумообразования на рабочих местах станочников.

### Список литературы

1. Иванов Н.И. Защита от шума и вибрации: учебное пособие / Н.И. Иванов, А.Е. Шашурин. 2-е изд, перераб и доп. СПб.: Печатный цех. 2019. 282 с.
2. Чукарин А.Н. Теория и методы акустических расчетов и проектирования технологических машин для механической обработки // Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2004. –152 с.
3. Теоретическое исследование процессов возбуждения вибраций и шумообразования шлифовальных кругов резбо- и шлицешлифовальных станков / Разаков Ж.П., Шашурин А.Е., Курченко П.С., Иванов Н.И. // АКУСТИКА, Vol. 38, 2021, ISSN 1801-9064
4. Shashurin A.E. Analysis of the experimental study of the axle lathe machine vibroacoustic characteristics for workplace noise reduction. АКУСТИКА, Volume 34, 2019, с. 104-107 - ISSN 1801-9064

---

5. 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, c. 100-104 - ISSN 1801-9064

### References

1. Ivanov N.I. Zashchita ot shuma i vibracii: uchebnoe posobie / N.I. Ivanov, A.E. SHashurin. 2-e izd, pererab i dop. SPb.: Pечатnyj cekh. 2019. – 282 p.
2. 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.
3. Teoreticheskoe issledovanie processov vozbuzhdeniya vibracij i shumooobrazovaniya shlifoval'nyh krugov rez'bo- i shliceshlifoval'nyh stankov / Razakov ZH.P., Shashurin A.E., Kurchenko P.S., Ivanov N.I.// *AKUSTIKA*, Vol. 38, 2021, ISSN 1801-9064
4. Shashurin A.E. Analysis of the experimental study of the axle lathe machine vibroacoustic characteristics for workplace noise reduction. *AKUSTIKA*, Volume 34, 2019, c. 104-107 - ISSN 1801-9064
5. 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, c. 100-104 - ISSN 1801-9064.