

УДК: 621.9

OECD: 1.03 AA

Исследования и анализ закономерностей формирования акустических характеристик несущей системы станков расточной группы

Стуженко Н.И.¹, Шашурин А.Е.², Чукарин А.Н.^{3*}

¹К.т.н., доцент кафедры «Строительство и техносферная безопасность», Донской государственный технический университет, Институт сферы обслуживания и предпринимательства (филиал) ДГТУ, г. Шахты, РФ

²Д.т.н., профессор, ректор, Балтийский государственный университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург, РФ

³Д.т.н., профессор, профессор кафедры «Безопасность жизнедеятельности», Ростовский государственный университет путей сообщения, г. Ростов-на-Дону, РФ

Аннотация

В статье представлены результаты исследования спектрального состава шума станков расточной группы. Объектом исследования стали горизонтально-расточные и отделочно-расточные станки различных конструктивных исполнений. Целью работы является анализ закономерностей формирования спектрального состава шума. Проведены измерения октавных уровней звукового давления для станков с различным типом привода главного движения: ступенчатым (2Н615, 2Е78П) и бесступенчатым. В ходе исследования установлено, что спектральный состав шума носит преимущественно среднечастотный характер. Выявлено превышение предельно допустимых уровней звукового давления в диапазоне 4–7 октавных полос. Наибольший уровень шума зафиксирован у станка модели 2Н615 (до 85 дБ в пятой октаве). Проведён корреляционный анализ между спектрами шума и вибраций элементов несущей системы. Установлено, что основным источником шумообразования является привод главного движения, при этом вклад станины в формирование звукового поля незначителен. Практическая значимость работы заключается в выявлении закономерностей формирования шума, что позволяет: оценивать шумовую нагрузку на рабочих местах; разрабатывать меры по снижению шума; проводить диагностику состояния оборудования по акустическим характеристикам.

Ключевые слова: спектральный анализ, уровень звукового давления, станки расточной группы, шумообразование, виброакустические характеристики, привод главного движения

Research and analysis of the patterns of formation of acoustic characteristics of the supporting system of boring machine tools

Stuzhenko N.I.¹, Shashurin A.E.², Chukarin A.N.^{3}*

¹PhD, Associate Professor of the Department of Construction and Technosphere Safety, Don State Technical University, Institute of Service Sector and Entrepreneurship (branch) of DSTU, Shakhty, Russia

²D.Sc., Professor, Acting Rector, Baltic State University 'VOENMEH' named after D.F. Ustinov, St. Petersburg, Russia

³D.Sc., Professor, Professor of the Department of Life Safety, Rostov State Transport University, Rostov-on-Don, Russia

Abstract

The article presents the results of a study of the spectral composition of noise in boring machines. The object of the study was horizontal boring and finishing boring machines of various designs. The aim of the work is to analyze the patterns of formation of the spectral composition of noise. Measurements of octave sound pressure levels were carried out for machines with different types of main drive: stepped (2N615, 2E78P) and stepless. The study found that the spectral composition of the noise is predominantly mid-frequency in nature. Exceeding the maximum permissible sound pressure levels in the range of 4-7 octave bands was revealed. The highest noise level was recorded for the 2N615 machine model (up to 85 dB in the fifth octave). A correlation analysis was carried out between the spectra of noise and vibrations of the elements of the supporting system. It was established that the main drive is the main source of noise generation, while the contribution of the bed to the formation of the sound field is insignificant. The practical significance of this work lies in identifying patterns in noise generation, which allows for: assessing noise loads in workplaces; developing noise reduction measures; and diagnosing equipment condition based on acoustic characteristics.

Keywords: spectral analysis, sound pressure level, boring machines, noise generation, vibroacoustic characteristics, main drive

Введение

Станки расточной группы являются основным оборудованием в машиностроении, обеспечивающим высокоточную обработку отверстий. Их несущая система (станина, стойки, траверсы) испытывает динамические нагрузки, порождающие вибрации и шумы. Анализ спектрального состава этих колебаний – важнейший инструмент диагностики состояния станка, прогнозирования его ресурса и оптимизации режимов резания [1], [2].

Актуальность исследования обусловлена необходимостью оценки акустических характеристик металлорежущих станков, поскольку уровни шума на рабочих местах часто превышают нормативные значения. Целью работы является анализ закономерностей формирования спектрального состава шума при работе станков расточной группы.

Методика исследования

Учитывая особенности приводов главного движения объектом исследования стали станки различных конструктивных исполнений: горизонтально-расточные станки с 22-ступенчатым приводом (модель 2Н615), а также отделочно-расточные вертикальные станки с 12-ступенчатым приводом (модели 2Е78П, 2Е781) и станки с бесступенчатым приводом главного движения. Методы измерений включали: определение октавных уровней звукового давления; анализ вибрационных характеристик элементов несущей системы; сравнительную оценку различных типов приводов [4]-[6].

Анализ спектрального состава уровней звукового давления выполнен для различных стадий реализации технологического процесса и наиболее акустически интенсивных моментов. На первом этапе измерялись октавные уровни звукового давления станков на холостом режиме работы при максимальных частотах вращения шпинделя. Проведенные исследования показали, что формирование излучаемой звуковой энергией станка обусловлено акустической энергией, излучаемой обрабатываемыми деталями, режущим инструментом, а также элементами корпуса и базовыми деталями самих станков. Оценка вклад звукового излучения корпусных и базовых деталей возможна исключительно при работе станков без нагрузки, так как в этом случае исключено звуковое излучение деталей и режущего инструмента. Результаты проведенных измерений приведены на рисунках 1-3.

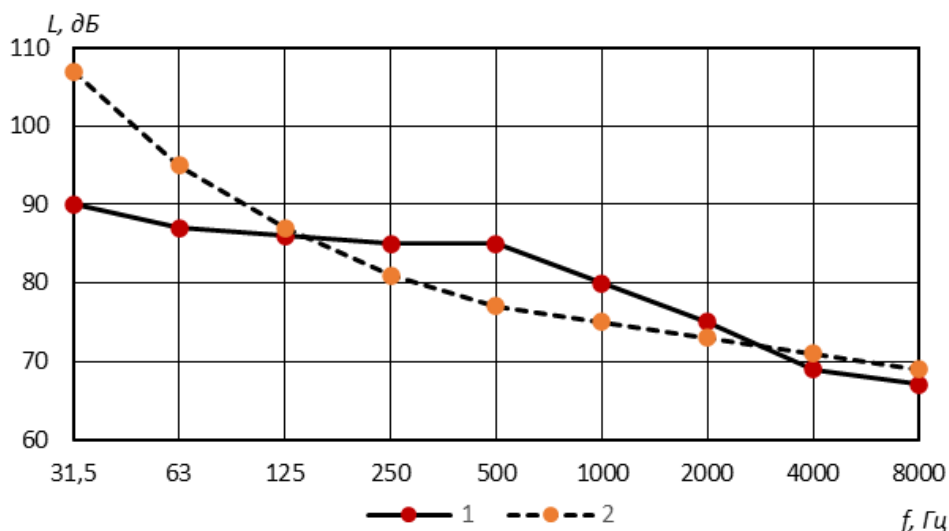


Рисунок 1 – Спектр шума холостого хода станка модели 2H615 (1), предельный спектр (2)

Наиболее высокие уровни звукового давления наблюдаются у горизонтально-расточного станка модели 2H615, имеющего 20 ступенчатую коробку передач (рисунок 1). Шумовой спектр станка характеризуется как среднечастотный. В диапазоне четвертой-седьмой октав регистрируются превышения установленных предельно допустимых уровней. Величины превышений составляют 4 дБ в четвертой, в пятой, где зафиксирован максимальный уровень звукового давления 85 дБ – 7 дБ, 5 дБ в шестой и 2 дБ в седьмой октавах.

Спектральные характеристики шума вертикальных отделочно-расточных станков в режиме холостого хода представлены на рисунке 2. Данное оборудование оснащено 12-ступенчатыми коробками передач, поэтому при идентичном спектральном составе, интенсивность звукового давления ниже на 2-3 дБ. Максимальный уровень звукового давления зафиксирован в пятой октаве и находится в пределах 82-83 дБ.

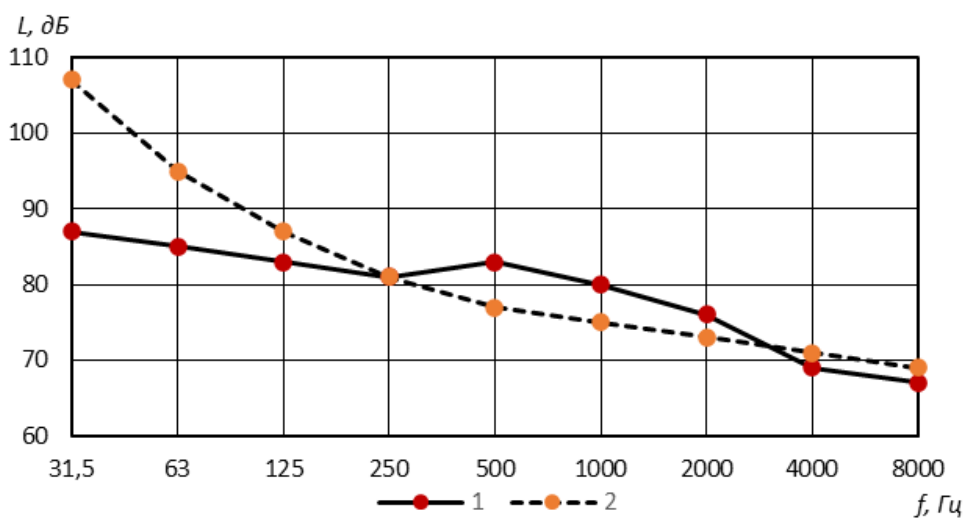


Рисунок 2 – Спектр шума холостого хода вертикальных отделочно-расточных станков (1), предельный спектр (2)

Уровни звукового давления превышают предельно-допустимые в пятой – седьмой октавах и величины превышений составляют 5, 4 и 2 дБ соответственно.

Эти данные соответствуют результатам исследований акустических характеристик при холостом режиме работы металлорежущих станков, оснащенных коробками передач со ступенчатым приводом. У станков с бесступенчатым приводом несмотря на значительную мощность привода, составляющую 19 кВт у станков моделей 2636 и 2637 и 55 кВт у станка модели 2Б660, уровни звукового давления холостого хода не превышают предельно-допустимые значения (рисунок 3).

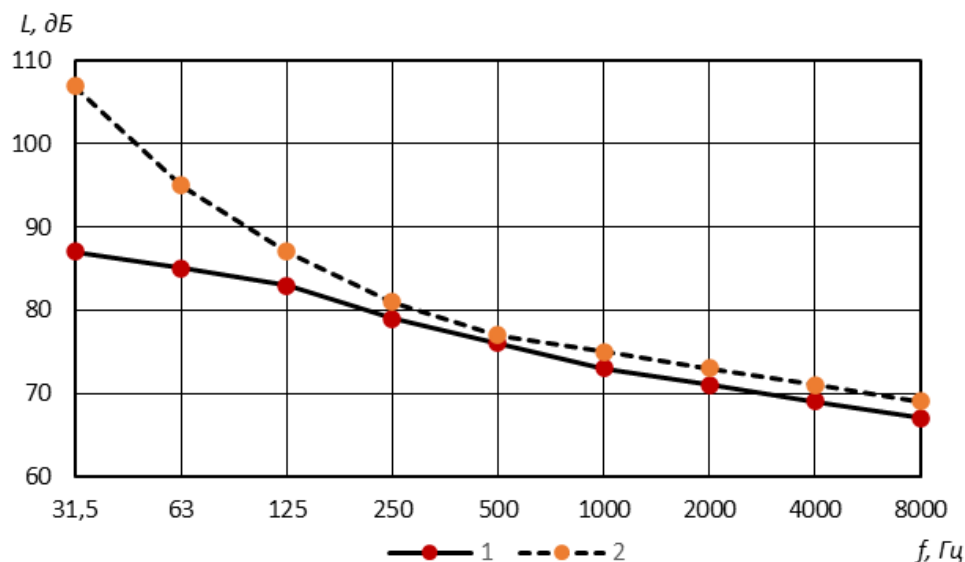


Рисунок 3 – Спектр холостого хода (1) станков с бесступенчатым приводом, (2) предельный спектр

Полученные данные демонстрируют, что уровни звукового давления, генерируемые станками вхолостую, значительно ниже показателей, фиксируемых в процессе обработки материалов. Вместе с тем, они позволяют идентифицировать доминирующие источники шума, связанные с работой двигателей, трансмиссии, системы охлаждения и других вспомогательных механизмов. Анализ спектрального состава выявил преобладание низкочастотных составляющих, что может быть обусловлено резонансными явлениями в массивных элементах конструкции и вибрацией корпуса. Данные измерений уровней звукового давления подтверждаются результатами измерений вибраций на корпусах привода главного движения.

Для дальнейшего подтверждения установленных закономерностей акустических свойств, в следующей серии экспериментов были определены значения виброскорости на поверхностях корпусов коробок передач тех же станков. Важно подчеркнуть, что замеры октавных уровней виброскорости проводились в акустическом диапазоне частот от 31,5 до 8000 Гц, что соответствует полосе частот, в которой регистрировались уровни звукового давления. Ввиду отсутствия нормативов по вибрации для элементов станка, графики 4-5 демонстрируют исключительно спектры вибрации. Максимальные уровни вибраций зафиксированы на корпусе коробки передач станка 2М165 (рисунок 4).

Спектральный состав вибраций корпуса коррелирует закономерностям акустических характеристик. Действительно, уровни вибраций, в диапазоне частот 250-1000 Гц, в котором превышаются уровни звукового давления, интенсивность вибраций составляет от 27 до 85 дБ. Уровни вибраций станины на 8-10 дБ ниже, чем на корпусе коробки передач. Дальнейший анализ показал, что источником вибраций с наибольшей амплитудой является ротор трансмиссии. Неравномерность его вращения, вызванная дисбалансом или дефектами подшипников, возбуждает колебания, которые

передаются на корпус трансмиссии, а затем и на общий корпус устройства. Амплитуда этих колебаний модулируется частотой вращения ротора и ее гармониками, что находит отражение в спектральном составе вибраций.

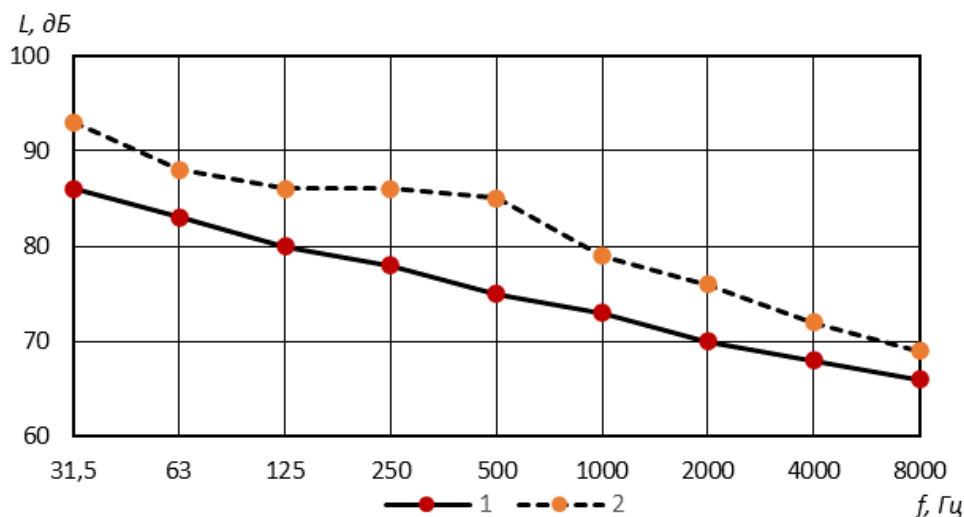


Рисунок 4 – Спектры вибраций станка модели 2М165: (1) коробка передач, (2) станина

Аналогичные закономерности распределения вибраций зафиксированы на элементах несущей системы станка модели 2Е78П (рисунок 5).

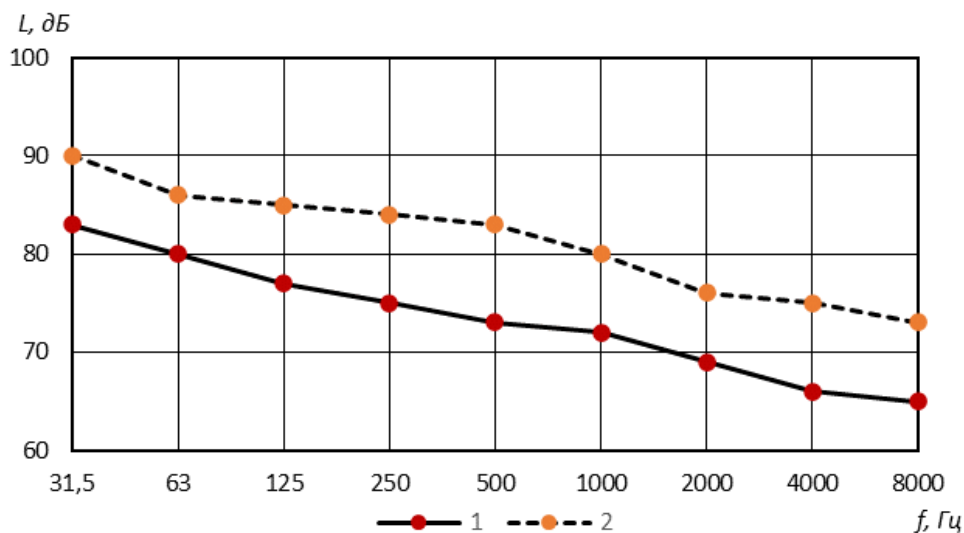


Рисунок 5 – Спектры вибраций станка модели 2Е78П: (1) коробка передач, (2) станина

При идентичности спектрального состава уровни вибраций на корпусе коробки, так и станины на 2-4 дБ ниже. Следует отметить, что у станка модели 2Б660 уровни вибраций также на 2-3 дБ ниже, чем у станка 2Е78П.

Выводы

Результаты экспериментальных исследований показали, что среди элементов несущей системы расточных станков в формировании звукового поля следует учитывать излучение звуковой энергии только привода главного движения, а излучением звука станины можно пренебречь [7-10].

Исходя из этих наблюдений, дальнейшие исследования и разработки, направленные на снижение акустического воздействия расточных станков, должны быть сфокусированы преимущественно на оптимизации работы привода главного движения. Это включает в себя анализ и модификацию конструктивных элементов привода, таких как редуктор, двигатель и шпиндель, с целью минимизации вибраций и шумов, возникающих в процессе их функционирования. В частности, перспективным направлением является применение виброизолирующих материалов и демпфирующих элементов в конструкции привода. Интеграция таких материалов в местах соединения различных компонентов, а также в корпусе привода, позволит значительно снизить передачу вибраций на несущую конструкцию станка и, как следствие, уменьшить уровень звукового излучения.

Список использованных источников

1. Чукарин, А.Н. Теория и методы акустических расчетов и проектирования технологических машин для механической обработки // Ростов н/Д: Изд. центр ДГТУ, 2005. - 151 с. - ISBN 5-7890-0326-5. - EDN QNAZWX.
2. Литвинов, А.Е. Корниенко В.Г., Сухонос Н.И. Исследование режимов резания на ленточнопильных станках // Станки Инструмент (СТИН). - 2010. - N 10. - С. 5-8.
3. Иванов, Н. И. Основы виброакустики : учебник для вузов. - Санкт-Петербург : Политехника, 2000. - 482 с. - ISBN 5-7325-0599-7. - EDN TGGCFB.
4. Баланова, М.В. Финоченко Т.А., Яицков И.А. Методика и техническое обеспечение проведения экспериментальных исследований по определению шума на рабочих местах // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. - 2019. - № 1. - С. 5-7. - EDN MKAIVJ.
5. Раздорский С.А., Финоченко Т.А., Чукарин А.Н., Яицков И.А. Характеристики шумового дискомфорта в рабочей зоне прутковых токарных станков // Мониторинг. Наука и технологии. - 2018. - № 3(36). - С. 81-84. - EDN YCMIFF.
6. Финоченко, Т.А. Методика проведения экспериментальных исследований шума прутковых токарных автоматов // Инновационные технологии в машиностроении и металлургии : Материалы IV Международной научно-практической конференции, Ростов-на Дону, 05-07 сентября 2012 года. - Ростов-на Дону: Донской государственный технический университет, 2012. - С. 263-268. - EDN JDVMJB.
7. Balanova M.V., Finochenko T.A., Pereverzev I.G. Physical factors affecting the reliability of rail crane operators // Dependability. - 2019. Т. 19(1). - С. 36-39. <https://doi.org/10.21683/1729-2646-2019-19-1-36-39> - EDN YZDXML.
8. Локтев А.Д., Гущин И.Ф., Батуев В.А. Общемашиностроительные нормативы режимов резани. Справочник: в 2-х т. М.: Машиностроение, 1999. - 640 с.
9. Курченко П.С., Шашурин А.Е., Разаков Ж.П., Чукарин А.Е. Theoretical study of the vibration excitation and noise generation processes of the grinding wheels of thread and spline grinding machines // AKUSTIKA. - 2021. -Т. 39. - С.175-178. DOI 10.36336/akustika202139173.
10. Яицкова, Н. М. Снижение шума металлорежущих станков / Н. М. Яицкова, Т. А. Финоченко, И. Г. Переверзев // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. - 2020. - N 2(51). - С. 112-115. - EDN BIWPKX.

References

1. Chukarin A.N. Theory and method of acoustic calculations and design of technological machines for machining. Rostov n/a, DSTU Publishing Center. - 2004. - 152 p. ISBN 5-7890-0326-5. – EDN QNAZWX
2. Litvinov A.E., Kornienko V.G., Sukhonosov N.I. Study of cutting modes on band saw machines // Machine Tool (STIN). - 2010. - N. 10. - P. 5-8.
3. Ivanov N.I.: Fundamentals of vibroacoustics. - St. Petersburg: Polytechnic, 2020. - 482 p.– ISBN 5-7325-0599-7. – EDN TGGCFB.
4. Balanova, M.V. Finochenko T.A., Yaitskov I.A. Methodology and technical support for conducting experimental studies to determine noise in the workplace // Proceedings of the Rostov State Transport University. - 2019. - N. 1. - P. 5-7. - EDN MKAIVJ.
5. Razdorsky S.A., Finochenko T.A., Chukarin A.N., Yaitskov I.A. Characteristics of noise discomfort in the working area of bar turning machines // Monitoring. Science and Technology. - 2018. - N. 3 (36). - P. 81-84. - EDN YCMIFF.
6. Finochenko, T.A. Methodology for conducting experimental studies of the noise of bar turning machines // Innovative technologies in mechanical engineering and metallurgy: Proceedings of the IV International scientific and practical conference, Rostov-on-Don, September 5–7, 2012. – Rostov-on-Don: Don State Technical University, 2012. – P. 263–268. – EDN JDVMJB.
7. Balanova M.V., Finochenko T.A., Pereverzev I.G. Physical factors affecting the reliability of rail crane operators. Dependability. – 2019. –Vol. 19(1). - P. 36–39. <https://doi.org/10.21683/1729-2646-2019-19-1-36-39> – EDN YZDXML.
8. Loktev A.D., Gushchin I.F., Batuev V.A., General engineering standards for cutting modes. Handbook: in 2 volumes // Moscow: Mashinostroenie, 19991. - 640 p.
9. Kurchenko P.S., Shashurin A.E., Razakov Zh.P., Chukarin A.E. Theoretical study of the vibration excitation and noise generation processes of the grinding wheels of thread and spline grinding machines // AKUSTIKA. – 2021. - Vol. 39. - P. 175-178. DOI 10.36336/akustika202139173.
10. Yaitskova, N.M. Finochenko T.A., Pereverzev I.G. Noise reduction of metal-cutting machines // Proceedings of the Rostov State Transport University. - 2020. - N 2 (51). - P. 112-115. - EDN BIWPKX.