

УДК: 621.9

OECD: 1.03 AA

DOI: 10.56408/2412-8627.2026.73.65.004

Исследование спектрального состава шума алмазно-расточного оборудования в условиях его эксплуатации

Стуженко Н.И.

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

Аннотация

В данной работе представлены результаты исследования спектрального состава шума алмазно-расточных станков. Целью работы является анализ закономерностей формирования спектрального состава шума. Измерения октавных уровней звукового давления проводились для станков с различным типом привода главного движения. Установлено, что спектральный состав шума исследованных станков носит высокочастотный характер с максимальными уровнями звукового давления в диапазоне 500-8000 Гц. Выявлены значительные превышения предельно допустимых уровней, достигающие 21 дБ в высокочастотных октавах. Определена акустическая эффективность защитных ограждений, составившая 5-8 дБ, что указывает на недостаточную герметичность и наличие структурной составляющей шума. Выполнен анализ вибрационных характеристик корпусных деталей станков, показавший равномерное распределение вибраций по площади источника и корреляцию с уровнями излучаемого шума.

Ключевые слова: спектральный анализ, уровень звукового давления, привод главного движения, алмазно-расточной станок

Study of the spectral composition of noise from diamond boring equipment under its operating conditions

Stuzhenko N.I.

Ph.D., Associate professor of the department of Construction and Technosphere Safety,
Don State Technical University, Institute of Service Sector and Entrepreneurship (branch)
of DSTU in Shakhty, Russia

Abstract

This paper presents the results of a study of the spectral composition of noise emitted by diamond boring machines. The aim is to analyze the patterns of noise spectral composition formation. Octave-level sound pressure measurements were conducted for machines with different main drive types. It was found that the spectral composition of noise from the studied machines is high-frequency, with maximum sound pressure levels in the range of 500-8000 Hz. Significant excesses of maximum permissible levels were detected, reaching 21 dB in high-frequency octaves. The acoustic efficiency of protective enclosures was determined to be 5-8 dB, indicating insufficient sealing and the presence of a structural component of noise. An analysis of the vibration

characteristics of the machine body components was performed, revealing a uniform vibration distribution over the source area and a correlation with emitted noise levels.

Keywords: spectral analysis, sound pressure level, main drive, diamond boring machine

Введение

Алмазно-расточные станки используются для финишной обработки отверстий, шлифования и доводки поверхностей с использованием алмазных инструментов, обеспечивающих высокую точность и качество поверхности. К таким деталям относятся цилиндрические гильзы, шатунные детали, втулочные узлы, подшипниковые вкладыши, посадочные гнёзда под поршневой палец, головки блока цилиндров. Такое растачивание выполняется с незначительными припусками на высоких скоростях резания, что позволяет достичь минимальной степени неровности обработанных поверхностей. Использование алмазного инструмента исключает возникновение эффекта шаржирования, при котором абразивные зерна внедряются в материал, так как обработка ведётся щадящим способом, не нарушая структуру верхнего слоя заготовки. Указанный негативный эффект проявляется в процессе хонингования, шлифования и окончательной притирки деталей (рисунок 1).



Рисунок 1 – Финишная обработка отверстий с высокой точностью на алмазно-расточных станках

Алмазно-расточное оборудование выпускается в нескольких конфигурациях: станки с вертикальной и горизонтальной компоновкой, а также версии с одним или несколькими шпинделями. У вертикальных одношпиндельных установок имеется собственный двигатель, при этом основное вращение шпинделя передаётся через ременной механизм. Горизонтальные варианты предназначены для операций, где необходима исключительная точность, поэтому их двигатель вынесен за пределы корпуса станка, редуктор отсутствует, а вращение шпинделей осуществляется с помощью ременных передач. Регулировка скорости вращения выполняется с помощью сменных и ступенчатых шкивов [1], [2].

Модель алмазно-расточного станка 2705, общий вид которого представлен на рисунке 2, применяется для обработки отверстий и состоит из станины, по направляющим которой перемещается рабочий стол, закрытый специальным щитом для защиты от стружки.



Рисунок 2 – Общий вид алмазно-расточного станка

Основное движение в алмазно-расточном оборудовании обеспечивается вращением инструментального шпинделя. Для вертикальных моделей с одним шпинделем применяется система раздельного привода, при которой передача вращения осуществляется посредством ремённой передачи от специальной коробки скоростей. Горизонтальные же станки, предназначенные для особо точной обработки, отличаются отсутствием коробок скоростей. Их конструкция предусматривает расположение двигателя отдельно от основного корпуса, а необходимое вращательное движение передаётся непосредственно на шпиндели специальных расточных головок исключительно ремнём. Регулировка частоты вращения достигается путём изменения диаметра шкивов либо применением ступенчатой системы передач. В специализированных алмазно-расточных станках подача осуществляется шпинделями, а деталь остается неподвижной.

1 Методика исследования

Измерения октавных уровней звукового давления проводились для наиболее шумных ситуаций реализации технологических процессов растачивания и сверления. Методология исследования базируется на измерении уровней звукового давления в октавных полосах частот с использованием прецизионного шумомера первого класса точности и анализатора спектра. Методика проведения экспериментальных исследований шума, описанная в источниках [3], [4], является основой для проведения акустических измерений на металлорежущем оборудовании, и ее применение в нашем исследовании необходимо для обеспечения воспроизводимости и корректности полученных результатов.

Измерения проводились в трех характерных точках: на рабочем месте оператора, на расстоянии одного метра от станка и в зоне прохода между станками. Для исключения влияния внешних акустических помех измерения синхронизировались с технологическими циклами обработки. Дополнительно регистрировались параметры резания: частота вращения шпинделя (3000, 6000 и 10000 об/мин), подача и глубина резания.

2 Результаты исследований

Уровни шума современных алмазно-расточных станков при работе на холостом ходу составляют 70–80 дБ. При резании они увеличиваются до 85–95 дБ. Спектр шума алмазно-расточного станка 2705, мощность привода которого составляет 2 кВт, а частота вращения шпинделя 5500 об/мин, приведен на рисунке 3.

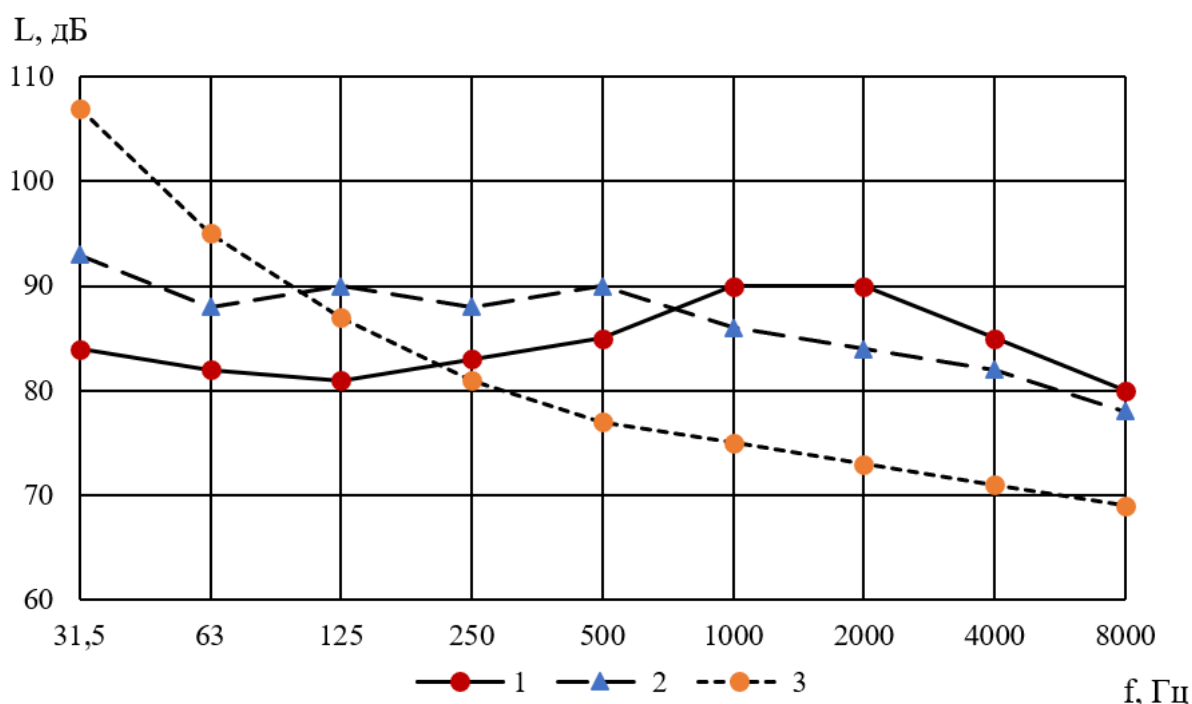


Рисунок 3 – Спектр шума алмазно-расточного станка модели 2705: 1 – при закрытом защитном ограждении зоны резания; 2 – при открытом ограждении зоны резания; 3 – предельно допустимый спектр

Спектр данного станка носит высокочастотный характер. К особенностям следует отнести более высокую интенсивность звукового излучения в диапазоне низких частот, где уровни звукового давления составляют 88–92 дБ. Это объясняется наличием у станка модели 2705 мощного привода и высокой скорости вращения шпинделя [5]. В полосе средних и высоких частот (125–8000 Гц) уровни звукового давления превышают допустимые значения. На частоте 250 Гц величина превышения находится в рамках погрешности проведения эксперимента 2 дБ. Основная зона значительного звукового излучения лежит в пределах от 500 до 8000 Гц. Максимальный уровень звукового давления 90 дБ наблюдается на частоте 1000 Гц. В частотном диапазоне 4000–8000 Гц громкость шума уменьшается, а спад его интенсивности достигает 4–5 дБ на каждую последующую октаву. Величины превышений уровней звукового давления составляют: 7 дБ на частоте 500 Гц, 12 дБ на частоте 1000 Гц, 17 дБ на частоте 2000 Гц, 14 дБ в диапазоне частот 4000–8000 Гц.

Данный станок оснащен защитным ограждением зоны обработки. Указанные выше данные получены при измерении, когда ограждение закрывает зону обработки. Для оценки акустической эффективности ограждения проводились измерения с открытой зоной обработки. Измерения показали, что акустическая эффективность ограждения составляет 5-8 дБ. Эти данные позволяют предположить, что столь низкая акустическая эффективность объясняется не только недостаточно высокой герметичностью, что значительно снижает звукоизоляцию, но и структурной составляющей шума самого ограждения под воздействием передаваемых вибраций от несущих элементов станка. В высокочастотной области, где длина звуковой волны сопоставима с размерами щелей, эффект дифракции минимален, однако даже малые зазоры способны существенно снизить звукоизоляцию. Кроме того, сам материал кожуха, вероятно, не обладает достаточной поверхностной плотностью для эффективного подавления высокочастотных составляющих, что также объясняет невысокую акустическую эффективность. Таким образом, конструкция ограждения требует доработки как в части герметизации, так и в части увеличения звукоизоляционной способности материалов [6], [7].

Спектры шума двухсторонних алмазно-расточных станков практически идентичны как по характеру, так и по интенсивности. Специфика двухсторонних станков заключается в одновременной работе двух шпиндельных групп, которые вращаются на частотах, достигающих 3000–6000 об/мин, что приводит к взаимному наложению. Разность частот вращения создает модуляцию шума с периодом, зависящим от рассинхронизации приводов. Анализ спектрального состава выполнен по результатам измерений станка модели 2706, приведенного на рисунке 4.

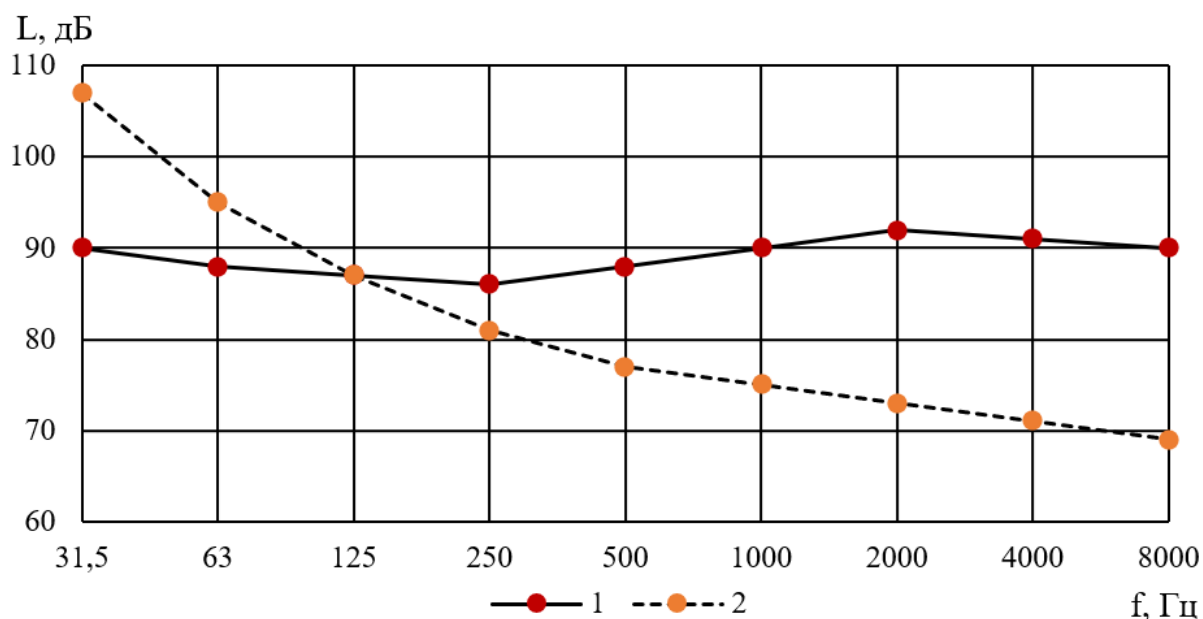


Рисунок 4 – Спектр шума двухсторонних алмазно-расточных станков (1), предельно допустимый спектр (2)

Спектр двухстороннего алмазного растачивания характеризуется преобладанием высоких частот. Наибольшие уровни звукового давления 90-92 дБ зафиксированы в частотном диапазоне 1000-8000 Гц. Необходимо отметить практически однородную интенсивность в этом диапазоне, так как колебания между уровнями не более 2 дБ. На низких частотах уровни звукового давления не превышают допустимых значений. Фактически превышение уровней звукового давления начинается с частоты 250 Гц и составляет 5 дБ. На частоте 500 Гц превышения достигают 9 дБ, на частоте 1000 Гц

– 15 дБ, на частоте 2000 Гц – 19 дБ, в диапазоне частот 4000-8000 Гц – 21 дБ. Таким образом, формирование шумового поля в условиях эксплуатации двухсторонних алмазно-расточных станков определяется не только кинематикой резания, но и конструктивными особенностями узлов, передающих вибрацию на корпусные элементы. Преобладание высокочастотных составляющих напрямую связано с малым шагом алмазных зёрен, высокой скоростью вращения шпинделя и интенсивным трением в зоне обработки.

Заключение

Полученные экспериментальные данные позволили выявить основные источники шума, характерные для алмазно-расточных станков в рабочем режиме. Установлено, что наибольший вклад в формирование общего акустического поля вносят процесс резания с использованием алмазного инструмента, а также работа узлов привода главного движения – шпиндельного узла и ременной передачи. Исследование уровней шума проводилось с использованием скорректированных величин (коррекция «А»), что позволяет оценить фактическое воздействие на оператора в соответствии с санитарными нормами. Исследование спектрального состава шума алмазно-расточного оборудования в условиях его эксплуатации позволило получить комплексную картину акустического воздействия данной группы металлорежущих станков на оператора и производственную среду. В ходе экспериментальных измерений, выполненных на станках моделей 2705 и 2706 с различными типами привода главного движения, установлено, что спектр шума станков носит высокочастотный характер с максимальной интенсивностью на частотах 2000 и 4000 Гц, где зафиксированы превышения допустимых уровней на 17–21 дБ [8].

Сравнительный анализ станков с различными типами привода главного движения выявил существенные различия в спектральном составе и уровнях шума. У станков с ременным приводом от электродвигателя переменного тока зафиксированы повышенные уровни звукового давления в среднечастотном диапазоне (500–1000 Гц), что связано с работой подшипниковых узлов и резонансными явлениями в ременной передаче. Уровни шума в высокочастотных октавах остаются практически неизменными, что указывает на доминирование процесса резания как основного шумообразующего фактора, не зависящего от способа передачи крутящего момента, и требует целенаправленных мероприятий по акустической защите независимо от модернизации привода [9].

Испытания защитных ограждений зоны резания показали, что их максимальная акустическая эффективность не превышает 5–8 дБ и реализуется только в среднечастотной области (500–2000 Гц). В высокочастотном диапазоне, где шум наиболее вреден для оператора, эффективность падает до 2–3 дБ, что объясняется щелевыми утечками в местах сопряжения ограждения со станком, а также излучением звука через неогражденные поверхности инструмента и технологической оснастки [10].

На основании полученных результатов можно сформулировать первоочередные направления снижения шума. Для уменьшения структурной составляющей необходима виброизоляция шпиндельного узла от станины с применением демпфирующих вставок и оптимизация жесткостных характеристик корпусных деталей. В части аэродинамической составляющей требуется разработка более герметичных ограждений с уплотнительными элементами, сохраняющими свои свойства при высокочастотных вибрациях. Комплексное решение, сочетающее вибродемпфирование и акустическую герметизацию, способно снизить общий уровень шума данных станков в рабочей зоне на 10–15 дБ, что позволит довести его до значений, близких к предельно допустимым.

Список использованных источников

1. Стуженко, Н. И. Исследования и анализ закономерностей формирования акустических характеристик несущей системы станков расточной группы / Н.И. Стуженко, А.Е. Шашурин, А.Н. Чукарин // *Noise Theory and Practice*. – 2025. – Т. 11, № 4(43). – С. 275-281.
2. Стуженко, Н.И. Анализ акустических характеристик при растачивании деталей типа колец / Н.И. Стуженко, А.Н. Чукарин, Т.А. Финоченко // *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. – 2024. – № 9. – С. 239-243. – DOI 10.24412/2071-6168-2024-9-240-241.
3. Баланова, М.В. Методика и техническое обеспечение проведения экспериментальных исследований по определению шума на рабочих местах / М.В. Баланова, Т.А. Финоченко, И.А. Яицков // *Труды Ростовского государственного университета путей сообщения*. – 2019. – № 1(46). – С. 5-7. – ISSN 1818-5509
4. Финоченко, Т.А. Методика проведения экспериментальных исследований шума прутковых токарных автоматов / Т. А. Финоченко // *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.
5. Набоков, А.Е. Экспериментальные исследования шума на рабочих местах станочников резьбообрабатывающих и шлицефрезерных станков / А. Е. Набоков // *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. – 2023. – № 5. – С. 77–84. – DOI 10.24412/2071-6168-2023-5-77-78.
6. Морозов, С.А. Экспериментальные исследования шума и вибрации при местном упрочнении деталей шарико-стержневым упрочнителем / С.А. Морозов, А.Н. Чукарин, Т.А. Финоченко // *Мониторинг. Наука и технологии*. – 2019. – № 1(39). – С. 65-69. – DOI 10.25714/MNT.2019.39.009.
7. Исаев, А.Г. Исследования виброакустических характеристик в рабочей зоне оператора при абразивной обработке сварных швов / Чукарин А.Н., Бескопильный А.Н., Исаев А.Г. // *Безопасность труда в промышленности*. 2019. – № 11. – С. 7-12. – DOI: 10.24000/0409-2961-2019-11-712.
8. Borisova A.V., Finochenko T.A., Finochenko V.A. The Use of the Expert Method in Solving the Issues of Choosing the Instrumentation of the Procedure for Controlling Production Factors. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*; IOP Publishing ([Bristol, UK], England) – 2021. Vol. 666, № 2. DOI: 10.1088/1755-1315/666/2/022022.
9. Яицкова, Н. М. Снижение шума металлорежущих станков / Н.М. Яицкова, Т.А. Финоченко, И.Г. Переверзев // *Труды Ростовского государственного университета путей сообщения*. – 2020. – № 2(51). – С. 112-115.
10. Theoretical study of the vibration excitation and noise generation processes of the grinding wheels of thread and spline grinding machines / Kurchenko P.S., Shashurin A.E., Razakov Zh.P., Chukarin A.E. // *AKUSTIKA*. 2021 Vol. 39. P.175-178. DOI 10.36336/akustika202139173.

References

1. Stuzhenko, N. I. Research and analysis of patterns of formation of acoustic characteristics of the supporting system of boring machine tools / N.I. Stuzhenko, A.E. Shashurin, A.N. Chukarin // *Noise Theory and Practice*. - 2025. - Vol. 11, No. 4 (43). - Pp. 275-281.

2. Stuzhenko, N. I. Analysis of acoustic characteristics during boring of ring-type parts / N.I. Stuzhenko, A.N. Chukarin, T.A. Finochenko // Bulletin of Tula State University. Technical sciences. - 2024. - No. 9. - Pp. 239-243. - DOI 10.24412/2071-6168-2024-9-240-241.
3. Balanova, M. V. Methodology and technical support for conducting experimental studies to determine noise in the workplace / M.V. Balanova, T.A. Finochenko, I.A. Yaitskov // Proceedings of the Rostov State Transport University. - 2019. - No. 1. - Pp. 5-7.
4. Finochenko, T. A. Methodology for conducting experimental studies of the noise of bar turning machines / T.A. Finochenko // 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. – Pp. 263–268.
5. Nabokov, A.E. Experimental studies of noise at the workplaces of thread-processing and spline-milling machine operators / A.E. Nabokov // Bulletin of Tula State University. Technical sciences. - 2023. - No. 5. - Pp. 77-84. - DOI 10.24412/2071-6168-2023-5-77-78.
6. Morozov, S.A. Experimental studies of noise and vibration during local hardening of parts with a ball-and-rod hardener / S. A. Morozov, A. N. Chukarin, T. A. Finochenko // Monitoring. Science and Technology. - 2019. - No. 1 (39). - Pp. 65-69. - DOI 10.25714/MNT.2019.39.009.
7. Isaev, A.G. Research of vibroacoustic characteristics in the operator's working area during abrasive processing of welded seams / Chukarin A.N., Beskopylny A.N., Isaev A.G. // Occupational safety in industry. 2019. - No. 11 - P. 7-12. - DOI: 10.24000/0409-2961-2019-11-712.
8. Borisova A.V., Finochenko T.A., Finochenko V.A. The Use of the Expert Method in Solving the Issues of Choosing the Instrumentation of the Procedure for Controlling Production Factors. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science; IOP Publishing ([Bristol, UK], England) – 2021. Vol. 666, No. 2. DOI: 10.1088/1755-1315/666/2/022022.
9. Yaitskova, N. M. Noise reduction of metal-cutting machines / N.M. Yaitskova, T.A. Finochenko, I.G. Pereverzev // Transactions of Rostov State Transport University. - 2020. - No. 2 (51). - Pp. 112-115.
10. Theoretical study of the vibration excitation and noise generation processes of the grinding wheels of thread and spline grinding machines / Kurchenko P.S., Shashurin A.E., Razakov Zh.P., Chukarin A.E. // AKUSTIKA. 2021 Vol. 39. P. 175-178. DOI 10.36336/akustika202139173.