

DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-6-106-113

Шлаев К.И.

Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»

E-mail: kir.shl@ya.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ВИБРАЦИЙ УГЛОВОЙ ФРЕЗЕРНОЙ ГОЛОВКИ В ЦЕЛЯХ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ

Аннотация. Для расширения технологических возможностей станков в производственных процессах применяется дополнительное оборудование – угловые фрезерные головки. Такого рода оборудование повышает эффективность станка, но также оказывают влияние на его динамические характеристики. Установка дополнительного оборудования влияет на надежность станка, поскольку в его конструкцию добавляется еще один элемент, обладающий массой и податливостью, а также содержащий стыки между деталями. В настоящее время сроки технического обслуживания, в основном, определяются на основе опыта специалистов, ответственных за состояние оборудования. Актуальной задачей является оценка методик, которые позволяют оценить техническое состояние угловых головок.

В данной работе исследуется применение методов импульсного возбуждения и анализа вибраций для оценки технического состояния угловой фрезерной головки MultiTec3000AT в процессе ее использования на станке Multitec Vertical Bridge Mill. Рассматривается комплексная методика диагностики угловых головок, которая позволяет на основе технического состояния планировать дату технического обслуживания или ремонта. Был получен и проанализирован спектр вибросигнала с акселерометров, записанных во время холостого хода и во время процесса резания. Проведена оценка состояния составных частей угловой головки. Была построена АЧХ головки и диаграммы колебаний по двум осям (XY диаграммы). Было выполнено сравнение спектра сигнала угловой головки во время резания и холостого хода.

Ключевые слова: угловая фрезерная головка, динамические характеристики, вибродиагностика, импульсное возбуждение, техническое обслуживание.

Введение. Внедрение современных методов мониторинга состояния и технической диагностики играет значительную роль в повышении эффективности металлорежущих станков, особенно при использовании вспомогательной оснастки. Применение данной оснастки может привести к снижению точности обработки в силу добавления в несущую систему станка дополнительного узла, обладающего массой, податливостью и содержащего стыки между деталями. Техническое состояние вспомогательной оснастки оказывает существенное влияние на надежность станка, что, в свою очередь, приводит к уменьшению производительности и качества продукции.

В большинстве случаев сроки технического обслуживания и ремонта определяются опытом специалистов, ответственных за состояние оборудования. Этот подход может привести к неэффективному использованию ресурсов и увеличению риска аварий. Как результат, производительность станка и качество продукции снижаются.

Необходимость проведения технического обслуживания или ремонта в зависимости от фактического состояния оборудования становится актуальной задачей для предотвращения неожиданных отказов и оптимизации временных

затрат. Эта актуальность подчеркивается не только финансовыми рисками, связанными с поломками оборудования, но и необходимостью оптимизации производственных процессов. Развитие методов диагностики и мониторинга технического состояния угловых фрезерных головок может существенно повысить надежность оборудования и снизить эксплуатационные расходы.

Цель настоящей работы заключается в оценке технического состояния фрезерной головки MultiTec3000AT (рис. 1) путем исследования ее вибрационных характеристик. Дополнительно, исследование позволит провести анализ эффективности методики диагностики [1].



Рис. 1. Обработка станины токарного станка с применением угловой головки MultiTec3000AT

Обзор работ по теме исследования. Исследованию динамических характеристик угловых фрезерных головок уделено ограниченное внимание в научной литературе. Недостаточная изученность может быть объяснена узкой специализацией такого оборудования, которое применяется в основном для обработки деталей сложной формы в определенных производственных условиях [2].

Методология проведения исследований. Исследование методом импульсного возбуждения заключалось в следующем: при неработающем станке с помощью динамометрического молотка наносится удар по режущему инструменту. Динамический молоток – это специализированный

инструмент, аналогичный обычному молотку, соединенному с усилителем через кабель для передачи сигнала (рис. 2а). Рабочая часть молотка состоит из наконечника, изготовленного из фторопласта, через который импульсы передаются на пьезокерамический элемент, который переводит силовое возбуждение в электрические импульсы. Фторопласт обеспечивает эффективную передачу энергии удара на анализатор с минимальными потерями. Это материалом достаточной твердости, обеспечивающий отсутствие помех и шумов в процессе записи удара.

На корпус угловой головки крепится два акселерометра (вибродатчики). Схема стенда для проведения эксперимента приведена на рисунке 2б.

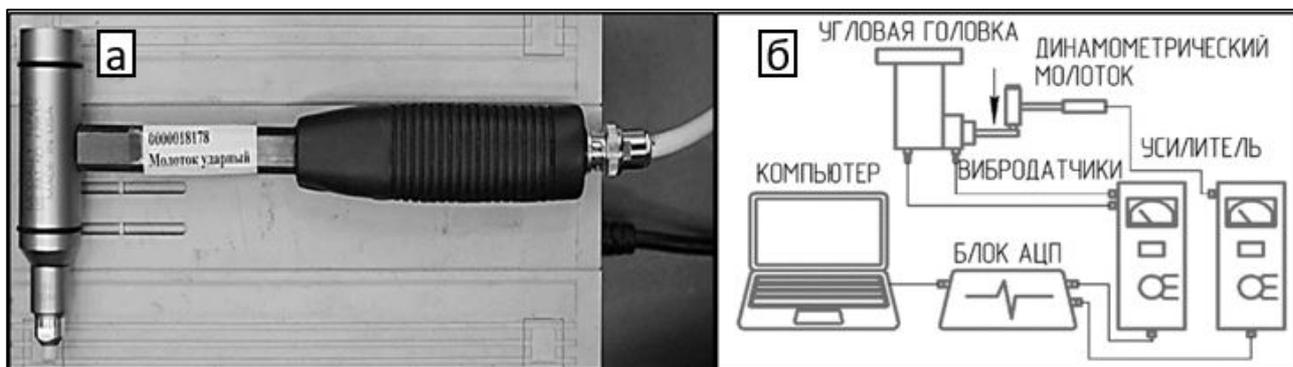


Рис. 2. Схема стенда регистрации колебаний при импульсном возбуждении

Удар динамометрическим молотком генерирует некоторое возбуждение в несущей системе станка и установленной фрезерной головке. Датчики регистрируют момент удара и сигнал с них передается (через высокочастотный кабель для помехоустойчивости и усилитель сигнала) на аналогово-цифровой преобразователь (АЦП). АЦП способен воспринимать сигнал с нескольких датчиков по разным каналам. Оцифрованный сигнал передается в компьютер для анализа. Для анализа из вибросигнала оценивается импульс, соответствующий одному удару. Для исключения случайных шумов и погрешностей выбирается нижний порог для анализа. В рассматриваемом случае рассматривается диапазон от 0 Гц до 1000 Гц. На более высоких частотах выделяются гармоники собственных частот более высоких порядков, которые не представляют интереса для данного исследования, т.к. имеют малую амплитуду колебаний и не оказывают существенного влияния на работу станка [5]. Анализ сигнала выполнен в программном комплексе nkRecorder [6], разработанном на кафедре станков в МГТУ «Станкин». Данная программа позволяет провести всесторонний анализ записанного сигнала, в частности, получить АЧХ системы.

Другое исследование проводилось при работающем станке. Вместо динамометрического молотка использовался оптический датчик регистрации частоты вращения шпинделя. Исследование проводилось при холостом ходе и при обработке чугуна марки СЧ30. Регистрация колебаний проводилась в следующем порядке: на стойке пульта ЧПУ оператором выставлялась частота вращения шпинделя 100 об/мин. После 1 минуты работы в таком режиме частота вращения увеличивалась до 2000 об/мин. Это необходимо для выравнивания внутренних напряжений сборки конструкции и стабилизации зазоров и натягов между деталями конструкции. Проработав в заданном режиме 1 мин. шпиндель останавливался. На корпус головки крепились вибродатчики и датчик регистрации частоты вращения [7].

На следующем этапе оператор запускал вращение шпинделя и плавно наращивал обороты от 0 до требуемой частоты. При этом начиналась запись сигнала со всех датчиков. Схема стенда для записи вибросигнала приведена на рисунке 3.

На схеме стенда для проведения вибродиагностики себя (1) - корпус шпинделя, на который посредством переходного фланца (2) закреплена угловая фрезерная головка (3) (вид с местным

разрезом), состоящая из закрепленного на подшипниковых опорах (4) ведущего вала (5), который передает, через коническую зубчатую передачу (6), вращение шпинделя ведомому валу (7). Конструкция ведомого вала выполнена с установочным конусом (9), к которому присоединен режущий инструмент (10).

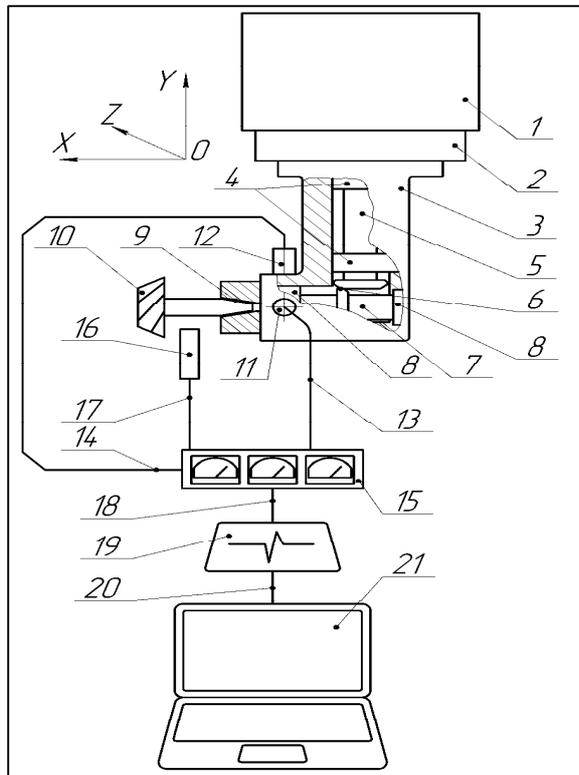


Рис. 3. Схема станка регистрации колебаний при холостом ходе и резании

К корпусу угловой фрезерной головки жестко закреплены два акселерометра (11) и (12), расположенных взаимоперпендикулярно в плоскости подшипниковых опор и измеряющих колебания в направлении собственной оси (по оси Z

для (11), по оси Y для (12)). Акселерометры соединены высокочастотными коаксиальными кабелями (13) и (14) с усилителем аналогового сигнала (15).

Фотоэлектрический датчик оборотов (16) позволяет определить частоту вращения шпинделя. Фотоэлектрический датчик оборотов, также известный как оптодатчик, работает на основе принципа действия фотоэлектрического эффекта. Принцип работы датчика основан на измерении изменения светового потока, вызванного движением объекта, и преобразовании этого изменения в электрический сигнал для дальнейшей обработки. Роль элемента, изменяющего световой поток, может играть кусок контрастной ленты, наклеенного на вращающийся шпиндель или инструмент. Полученный аналоговый сигнал с датчика так же передается на усилитель аналогового сигнала (15) посредством кабеля (17).

Далее усиленный сигнал передается в блок АЦП (19). АЦП преобразует полученный аналоговый сигнал в цифровой вид и передает его по кросс-кабелю (20) в компьютер (21). Компьютер содержит пакет программ для получения спектра вибросигнала с акселерометров и XY диаграмм колебаний угловой фрезерной головки. Аналогичным образом выполнялась запись сигнала при обработке резанием.

Регистрация колебаний проводилась при частотах вращения шпинделя 400, 800, 2000 и 4000 об/мин. при двух вариантах расположения вибродатчиков (рис. 4). В плоскости YZ датчики закреплялись у передних опор ведомого (горизонтального) вала, в плоскости XZ – у передних опор ведущего (вертикального) вала. Исследовались в основном передние опоры, т.к. на них приходится основная нагрузка при работе, и именно они первыми выходят из строя.

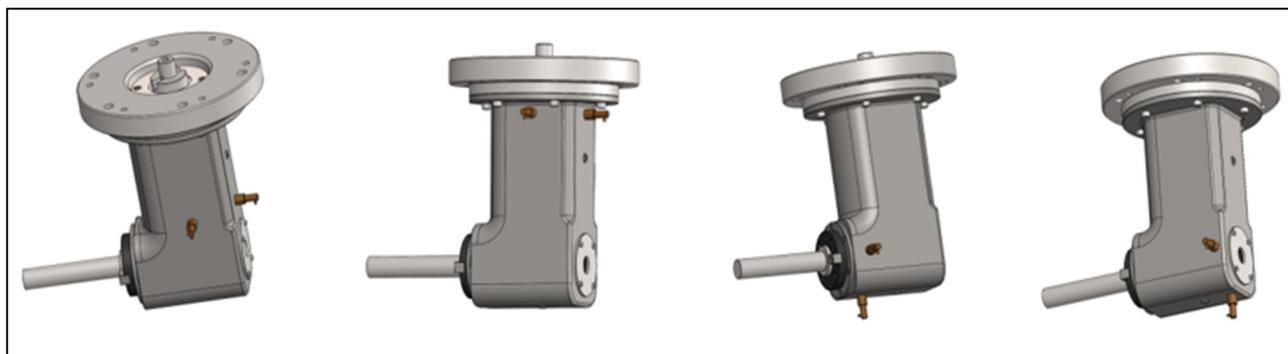


Рис. 4. Схемы расположения датчиков при измерении вибраций

Анализ результатов исследования. После обработки сигналов была получена АЧХ фрезерной головки. По графику собственная частота составила 792 Гц (рис. 5).

Виброакустическая диагностика проводится на основе метода спектрального разложения огибающей высокочастотного сигнала. Анализ сигнала позволяет выделить частоты, источников возмущений, например, от оборотной частоты,

частоты вращения сепаратора, тел качения и т.д. На рисунке 6 представлен спектр вибросигнала

угловой головки на частоте вращения 2 000 об/мин. при резании и при холостом ходе.

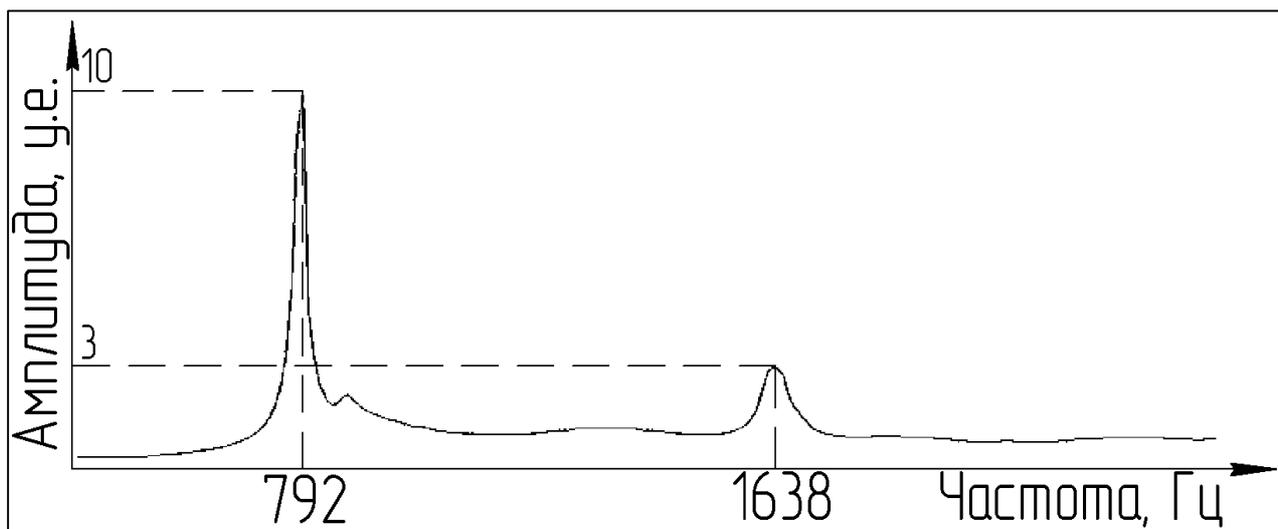


Рис. 5. график АЧХ угловой головки MultiTec3000AT

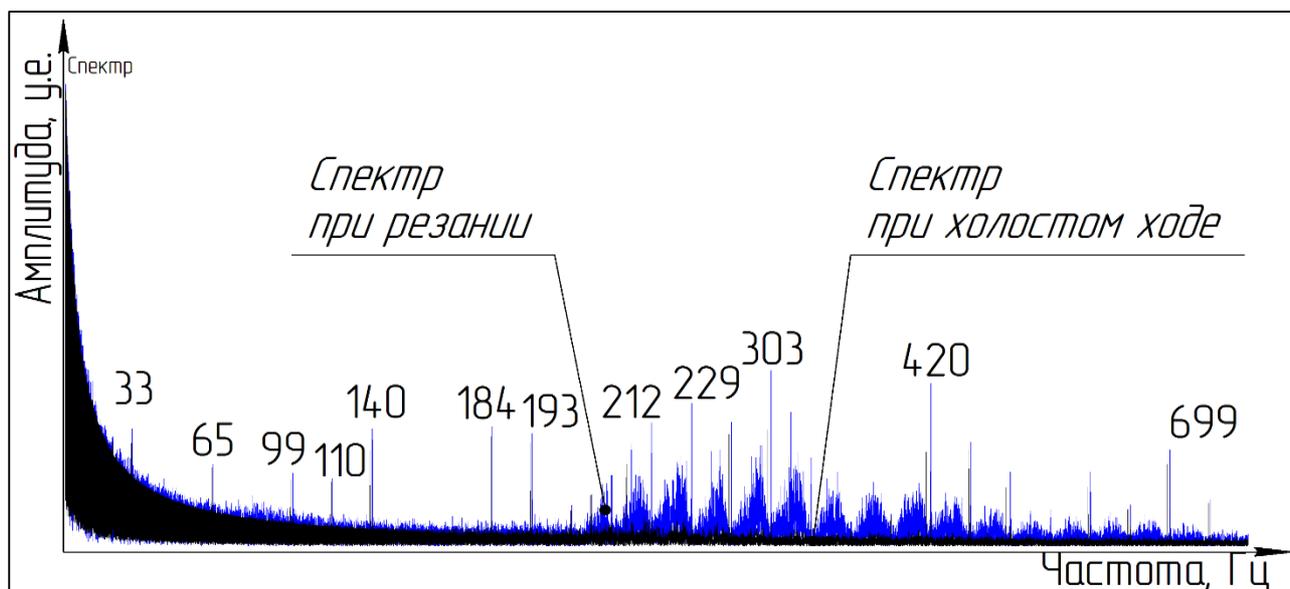


Рис. 6. Спектр вибросигнала с акселерометров при частоте вращения 2000 об/мин

На спектре сигнала пик, соответствующий 33 Гц это оборотная частота, 65 Гц и 99 Гц ее вторая и третья гармоники, 212 Гц это зубцовая частота, 420 Гц ее вторая гармоника, 193 Гц это частота перекачивания тел качения по наружному кольцу и т.д. Так же спектр вибраций позволяет оценить состояния конструктивных элементов угловой головки (подшипников, зубчатых колес и т.д.) по допустимому уровню дефектов [8, 9]. Например, для частоты перекачивания тел качения по наружному кольцу подшипника порог дефекта составляет +16 % от номинального значения. В среднем, порог дефекта для частоты деталей подшипникового узла на 13 % выше расчетного значения.

Для сравнения уровня вибраций у опор вертикального и горизонтального вала головки по величине среднеквадратичного значения (СКЗ), построены диаграммы колебания по двум осям (XY диаграммы) (рис. 7). Вибродатчики для записи вибраций горизонтального вала располагались в плоскости YZ а для вертикального вала - в плоскости XZ угловой головки [10, 11].

На графиках плотная часть — это среднее квадратичное значение (СКЗ) амплитуды, а отдельные выбросы — это эксцесс. Видно, что СКЗ и эксцесс отличаются для ведущего и ведомого вала. СКЗ амплитуды вибросигнала больше на ведомом валу. Разница составляет в среднем 9 %. Такая разница возникает, вероятно, из-за изменения вибросигнала при переходе через зубчатое

зацепление с ведущего вала на ведомый (на сигнал накладываются вибровозмущения от деталей

ведомого вала и конического зубчатого зацепления, передающего вращение шпинделя).

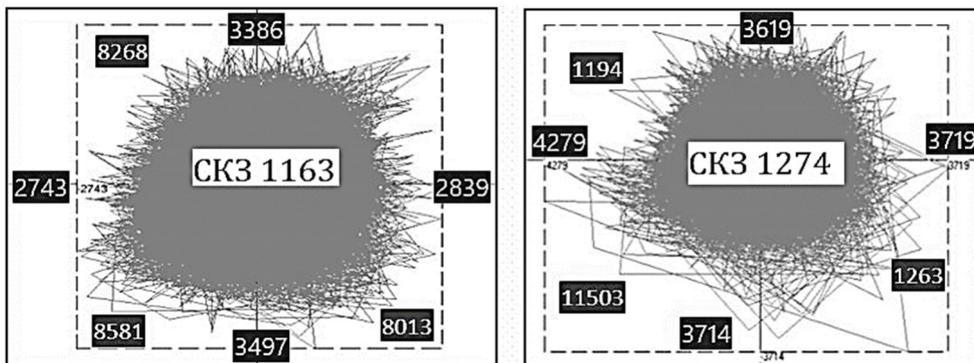


Рис. 7. XY диаграммы. Вертикальный вал (а) горизонтальный вал (б)

Максимальные амплитудные значения сигналов для ведущего вала отличаются от аналогичных значений для ведомого вала в среднем на 15 %. Это говорит том, что амплитуда колебаний в радиальной плоскости ведомого вала больше, чем в плоскости ведущего. Это можно объяснить тем, что ведомый вал воспринимает наибольшую нагрузку в процессе резания [12, 13].

Для оценки технического состояния угловой головки в процессе эксплуатации, на графике зависимости собственной частоты от наработки отмечена собственная частота, полученная экспериментально. Расчетным способом получена собственная частота, моделирующая состояние нового оборудования. Для определения даты следующего технического обслуживания, построена кривая экстраполяции (рис. 8).



Рис. 8. График зависимости собственной частоты от наработки угловой головки

Опираясь на данные моделирования и вибродиагностики была определена дата следующей диагностики. Она назначена исходя из собственной частоты, меньшей на 3% (780 Гц) относительно частоты, полученной экспериментально. Учитывая кривую экстраполяции, следующую диагностику необходимо провести через 3000 часов наработки. Плановая дата диагностики была назначена исходя из принятого на производстве плана технического обслуживания.

Рекомендации по проведению вибродиагностики. Существенное влияние на результат вибродиагностики оказывает места установки вибродатчиков и способ их крепления. При выборе точек установки вибродатчиков для вибродиагностики оборудования следует учитывать несколько факторов. Основные из них:

1. Конструкция оборудования: необходимо изучить конструкцию оборудования и определить компоненты или части, которые могут быть

подвержены вибрации или механическим колебаниям. В основном, такими компонентами являются подшипниковые узлы, валы, зубчатые колеса, роторы и другие движущиеся или вращающиеся элементы.

2. Ожидаемые источники вибрации: необходимо идентифицировать источники, которые могут вызывать вибрацию в оборудовании. Это могут быть дисбаланс, неправильное выравнивание, износ подшипников, резонансные явления и другие факторы. Необходимо определить места, где эти источники наиболее вероятны.

3. Рекомендации производителя: важно учитывать сведения из руководства по эксплуатации и рекомендации производителя оборудования. Они могут содержать указания относительно оптимальных точек установки вибродатчиков для проведения диагностики или данные о конструкции изделия, что поможет наиболее эффективно определить эти точки самостоятельно.

4. История проблем: необходимо изучить исторические данные и записи о ремонтах, заменах компонентов или других проблемах, которые могли возникнуть в прошлом. Они могут указывать на определенные места, которые требуют более пристального внимания и мониторинга.

5. Доступность и безопасность: важно учесть доступность точек установки вибродатчиков и проведения измерений. Выбранные точки должны обеспечивать безопасность при работе с оборудованием и не представлять риска для персонала и измерительного оборудования.

Необходимо также уделить должное внимание форме сигнала при импульсном возбуждении, чтобы исключить возможное воздействие побочных гармоник на результаты исследования. Также следует обратить внимание на форму сигнала, получаемого с вибродатчиков, которые регистрируют колебания системы в различных режимах работы станка [14, 15]. Это важно для обеспечения надежной диагностики и точной оценки технического состояния оборудования.

Выводы.

Комплексный подход диагностики угловых фрезерных головок, описанный в работе, позволяет оценивать их техническое состояние и планировать дату следующей диагностики. Результаты проведенных экспериментов подтверждают эффективность предложенной методики.

Применение методов импульсного возбуждения и анализа вибраций позволяет оперативно выявлять дефекты и оценивать техническое состояние в процессе эксплуатации. Методика прогнозирования технического состояния угловых головок на основе вибродиагностики дополнительно позволяет оценивать их состояние и

назначать дату следующего технического обслуживания. Такой подход позволит наиболее точно выбирать время проведения технического обслуживания, оптимизируя использование временных ресурсов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шлаев К.И., Сабилов Ф.С. Вибродиагностика технического состояния угловых фрезерных головок // Вестник МГТУ «Станкин». 2024. № 1 (68). С. 68–74
2. Шереметьев К.В. Влияние ускорительной головки планетарного типа на качество обрабатываемой поверхности при фрезеровании концевыми фрезами. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. М., 2008. 250 с.
3. Krol O., Sokolov V. Development of models and research into tooling for machining centers // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. No. 3. Pp. 12–22. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.131778
4. Hung J., Lin W. Investigation of the Dynamic Characteristics and Machining Stability of a Bi-rotary Milling Tool // Advances in Science and Technology Research Journal. 2019. No. 13. Pp. 14–22. DOI: 10.12913/22998624/100449
5. Козочкин М.П., Сабилов Ф.С., Селезнев А.Е. Виброакустический мониторинг лезвийной обработки заготовок из закаленной стали // Вестник МГТУ «СТАНКИН». 2018. № 1(44). С. 23–30.
6. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №20096132214 Российская Федерация. Программный комплекс сбора, обработки и анализа вибрационных сигналов nkRecorder / Кочинев Н.А., Сабилов Ф.С., Козочкин М.П. ОБПБТ. 2009. №4 (69).
7. Гаврилин А.Н., Мойзес Б.Б. Диагностика технологических систем. Часть 2: учебное пособие. Томск: Изд-во Томского политехнического университета. 2013. 128 с.
8. Костюков В.Н., Науменко А.П. Основы виброакустической диагностики и мониторинга машин. Омск: Изд-во ОмГТУ. 2011. 360 с.
9. Бушуев В.В., Еремин А.В., Какоило А.А. Металлорежущие станки: учебник. В 2 т. Том 2. М.: Машиностроение. 2013. 584 с.
10. Гольдин А.С. Вибрация роторных машин. М.: Машиностроение. 2000. 344 с.
11. Stamm J.A. Machinery diagnostics via mechanical vibration analysis using spectral Analysis techniques. Naval postgraduate school montereyca. 1988. 332 p.
12. Vance J., Murphy B., Zeidan F. Machinery vibration and rotordynamics. New Jersey. 2010. 402 p.

13. Mohanty A.R. Machinery condition monitoring principles and practices. Indian Institute of Technology Mechanical Engineering Department Kharagpur. West Bengal, India. 2015. 232 p.

14. Correa J.A., Guzman A.A. Mechanical Vibrations And Condition Monitoring. National Polytechnic Institute Queretaro. Mexico. 2020. 197 p.

15. Sinha J.K., Raton B. Industrial Approaches in Vibration-Based Condition Monitoring. FL. 2020. 238 p.

Информация об авторе

Шлаев Кирилл Иванович, аспирант Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»
E-mail: kir.shl@ya.ru. 127994, Россия, Москва, ГСП-4, Вадковский пер., д.1

Поступила 31.03.2024 г.

© Шлаев К.И. 2024

Shlaev K.I.

Moscow State University of Technology "STANKIN"

E-mail: kir.shl@ya.ru

VIBRATION ANALYSIS OF THE ANGULAR MILLING HEAD FOR TECHNICAL CONDITION ASSESSMENT

Abstract. To expand the technological capabilities of machine tools in manufacturing processes, additional equipment is used - angular milling heads. Such equipment enhances the efficiency of the machine tool but also influences its dynamic characteristics. The installation of additional equipment affects the reliability of the machine tool because another element is added to its structure, which has mass and flexibility and also contains joints between parts. Currently, the timing of technical maintenance is mainly determined based on the experience of specialists responsible for the condition of the equipment. An important task is the evaluation of methods that allow assessing the technical condition of angular heads. The paper examines the application of impulse excitation and vibration analysis methods for assessing the technical condition of the MultiTec3000AT angular milling head during its operation on the Multitec Vertical Bridge Mill. A comprehensive diagnostic methodology for angular heads is considered, allowing to plan the date of maintenance or repair based on their technical condition. The spectrum of vibration signals from accelerometers recorded during idle operation and cutting is obtained and analyzed. An assessment of the condition of the components of the angular head is carried out. The frequency response function of the head and vibration diagrams along two axes (XY diagrams) are constructed. A comparison of the spectrum of the angular head signal during cutting and idle operation is performed.

Keyword: angular milling head, dynamic characteristics, vibration diagnostics, impulse excitation, technical maintenance.

REFERENCES

1. Shlaev K.I., Sabirov F.S. Vibroacoustic diagnostics of the technical condition of angular milling heads [Vibrodiagnostika tekhnicheskogo sostoyaniya uglovyh frezeryh golovok]. Vestnik MSUT "STANKIN". 2024. No. 1 (68). Pp. 68–74. (rus)

2. Sheremetyev K.V. The influence of a planetary-type accelerator head on the quality of the treated surface when milling with end mills. [Vliyaniye uskoritel'noj golovki planetarnogo tipa na kachestvo obrabatyvaemoj poverhnosti pri frezerovanii koncevymi frezami]. Dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences. Moscow. 2008. 250 p. (rus)

3. Krol O., Sokolov V. Development of models and research into tooling for machining centers.

Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. No. 3. Pp. 12–22. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.131778

4. Hung J., Lin W. Investigation of the Dynamic Characteristics and Machining Stability of a Bi-rotary Milling Tool. Advances in Science and Technology Research Journal. 2019. No. 13. Pp. 14–22. DOI: 10.12913/22998624/100449

5. Kozochkin M.P., Sabirov F.S., Seleznev A.E. Vibroacoustic monitoring of cutting edge machining of hardened steel [Vibroakusticheskij monitoring lezvijnoj obrabotki zagotovok iz zakalenoj stali]. Vestnik MSTU «STANKIN». 2018. No. 1 (44). Pp. 23–30. (rus)

6. Certificate of state registration of the computer program №20096132214 Russian Federation. Software Complex for Collection, Processing and

Analysis of Vibration Signals nkRecorder / Kochinev N.A., Sabirov F.S., Kozochkin M.P. OBP. 2009. №.4 (69). (rus)

7. Gavrilin A.N., Moises B.B. Diagnostics of technological systems: a textbook. Part 2 [Diagnostika tekhnologicheskikh sistem. CHast' 2: uchebnoe posobie]. Tomsk Polytechnic University. Tomsk: Publishing House of Tomsk Polytechnic University. 2014. 128 p. (rus)

8. Kostyukov V.N., Naumenko A.P. Fundamentals of vibroacoustic diagnostics and monitoring of machines: textbook. the manual. [Osnovy vibroakusticheskoy diagnostiki i monitoringa mashin: ucheb. posobie]. Omsk: Publishing house of OmSTU, 2011. 360 p. (rus)

9. Bushuev V.V., Eremin A.V., Kakoilo A.A. Metal cutting machines: textbook. In 2 vols. [Metallorezhushie stanki: uchebnik. V 2 vol.] Vol. 2. Moscow: Mashinostroenie. 2013. 584 p. (rus)

10. Goldin A.S. Vibration of rotating machines. [Vibraciya rotornyh mashin]. Moscow. 2000. 344 p. (rus)

11. Stamm J.A., Machinery diagnostics via mechanical vibration analysis using spectral Analysis techniques. Naval postgraduate school montereyca, 1988. 332 p.

12. Vance J., Murphy B., Zeidan F. Machinery vibration and rotordynamics. New Jersey. 2010. 402 p.

13. Mohanty A.R. Machinery condition monitoring principles and practices. Indian Institute of Technology Mechanical Engineering Department Kharagpur. West Bengal, India. 2015. 232 p.

14. Correa J.A., Guzman A.A. Mechanical Vibrations And Condition Monitoring. National Polytechnic Institute Queretaro. Mexico. 2020. 197 p.

15. Sinha J.K., Raton B. Industrial Approaches in Vibration-Based Condition Monitoring. FL. 2020. 238 p.

Information about the author

Shlaev, Kirill I. Postgraduate student of MSTU «STANKIN». E-mail: kir.shl@ya.ru. 127994, Russia, Moscow, GSP-4, Vadkovsky lane, 1

Received 31.03.2024

Для цитирования:

Шлаев К.И. Исследование вибраций угловой фрезерной головки в целях оценки технического состояния // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2024. №6. С. 106–113. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-6-106-113

For citation:

Shlaev K.I. Vibration analysis of the angular milling head for technical condition assessment. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2024. No. 6. Pp. 106–113. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-6-106-113