

УДК 621.9.06.004

МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

М. П. Козочкин¹, Ф. С. Сабиров², А. Н. Боган³, К. В. Мысливцев⁴

²FANIRA5057@yandex.ru

Московский государственный технологический университет «Станкин»

Поступило в редакцию 22.07.2013

Аннотация. Рассматриваются вопросы диагностики и мониторинга дефектов подшипников качения шпиндельных узлов станков на основе анализа вибрационного сигнала, регистрируемого на корпусе шпиндельного узла. Предлагаются методы выявления различных дефектов на основе спектральной обработки сигналов, построения огибающей, анализа траекторий колебательного движения. Приводятся данные об изменении диагностических параметров состояния опор шпинделя токарного обрабатывающего центра за 8 месяцев эксплуатации.

Ключевые слова: шпиндельный узел; диагностика; спектральные методы анализа; огибающая; дефекты опор.

ВВЕДЕНИЕ

Качество процесса резания во многом определяется состоянием опор шпиндельных узлов технологического оборудования. Параметры точности станков также зависят от геометрической стабильности шпиндельных узлов [1–6]. Процессы зарождения дефектов в опорах шпинделей значительно опережают момент, когда развитие дефектов проявится в виде нарушений точностных параметров оборудования, влияющих на качество изделий. Предварительная проверка подшипников, служащих опорами шпинделя, не гарантирует стабильную работу шпинделя после сборки, поскольку многое определяется технологией сборки, погрешностями изготовления сопрягаемых деталей и взаимным влиянием опор друг на друга. Деформация и перекосы подшипниковых колец становятся источниками зарождающихся дефектов, от которых зависит скорость деградации опор и всего шпиндельного узла.

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ И МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ

Опыт показывает, что плано-предупредительное техническое обслуживание и ремонт оборудования часто оказываются экономически нецелесообразными. Наоборот, надежность работы машин после технического об-

служивания иногда временно снижается вследствие влияния человеческого фактора. Другой метод заключается в индивидуальном подходе к проведению технического обслуживания и ремонта дорогостоящего технологического оборудования. При этом часто руководствуются информацией, получаемой от операторов оборудования, или информацией о снижении качества выпускаемой продукции. Однако к этому моменту деградация подшипниковых узлов может дойти до того предела, когда единственным выходом из ситуации является ремонт шпиндельного узла и замена порой всех опор. В этой ситуации задачей технической диагностики является определение момента зарождения дефекта и прогнозирование времени проведения ремонта. К этому времени можно подготовить специалистов и требуемые комплектующие изделия, что позволит сократить время ремонта и простоя дорогостоящего оборудования.

Методики виброакустической (ВА) диагностики состояния подшипников после их изготовления давно приняты на вооружение. Условия реализации этих методик и нормативы на регистрируемые параметры закреплены в соответствующих стандартах. Промышленность выпускает станки, предназначенные для установки, закрепления и обкатки подшипников со стандартными угловыми скоростями и со стандартными усилиями осевого натяга, и приборы для контроля параметров ВА сигналов [7, 8], по

которым можно судить о состоянии тел качения, подшипниковых колец и сепаратора. Однако качество работы подшипников во многом определяется конструкцией самого шпиндельного узла, качеством изготовления и сборки его элементов. В настоящее время сборка высокоскоростных шпиндельных узлов проводится в термостатированных помещениях по строго определенной методике с контролем отклонений отдельных деталей от заданной геометрии. После сборки шпиндель подвергается многочасовой обкатке на специальном стенде с регистрацией температуры в нескольких точках узла и момента сопротивления вращению. Пока не везде контролируют вибрации, но уже понятно, что это делать необходимо, поскольку перечисленных мероприятий может оказаться недостаточно при создании шпинделей и моторшпинделей со скоростями вращения более $15\,000\text{ мин}^{-1}$. Здесь может быть полезным и даже необходимым применение существующих и новых методик ВА диагностики, позволяющих значительно глубже по сравнению с температурой проникать в сущность процессов, протекающих в опорах шпиндельных узлов – при холостом вращении, при работе под нагрузкой, при повышении температуры [2, 10].

После окончательного монтажа шпиндельного узла погрешности изготовления и сборки, отображающиеся в ВА сигнале, уже присутствуют. Скорость развития разного рода дефектов в конкретных условиях эксплуатации технологического оборудования может быть разной. На нее влияют и начальный уровень дефекта, и режимы работы технологического оборудования. Информация о скорости развития различных дефектов позволит более обоснованно предъявлять требования к приобретаемому оборудованию и вести целенаправленный мониторинг эксплуатируемых станков. Для этого на машиностроительных предприятиях необходимо шире внедрять методику периодического контроля состояния шпиндельных узлов с помощью, например, ВА диагностики. На первых порах можно наладить контроль финишного оборудования с применением самых простых методик.

2. ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ ДЕФЕКТОВ ПОДШИПНИКОВ

В технической литературе в разных вариациях говорится о нескольких этапах развития дефектов подшипников [10–12]. На рис. 1 схематично показаны изменения параметров ВА сигналов по мере прохождения этапов развития дефектов в подшипнике. Показано изменение эффективного и пикового значений ВА сигнала

и изменение величины пик-фактора, определяемого как отношение пикового значения к эффективному. Использование эффективного и пикового значений неудобно тем, что они зависят от места установки акселерометра относительно подшипника и характера крепления акселерометра в месте установки (последнее обстоятельство особенно важно при контроле высокочастотных составляющих ВА сигнала). Пик-фактор является безразмерной величиной, что делает его особенно удобным для применения в заводских условиях. Из рис. 1 видно, что из трех параметров только пик-фактор имеет экстремум при развитии дефекта во времени.

До начала первого этапа (до отметки 1), общее техническое состояние подшипника считается идеальным, пики вибрации превышают эффективные значения в пределах нормы (соотношение их амплитуд как 3:1 считается удовлетворительным). Амплитуда параметров невелика.

На первом этапе (с отметки 1) в подшипнике появляется и начинает развиваться какой-либо дефект, возникают постепенно возрастающие ударные импульсы. Энергия импульсов затрачивается на “углубление” дефекта, в результате чего происходит еще большее увеличение энергии импульсов. Эффективная амплитуда ВА сигнала меняется незначительно, т.к. дефект носит локальный характер и на общем состоянии подшипника пока не сказывается. Это этап возникновения дефекта в процессе эксплуатации. Он характеризуется быстрым ростом пик-фактора до точки 2, в окрестности которой он достигает экстремума.

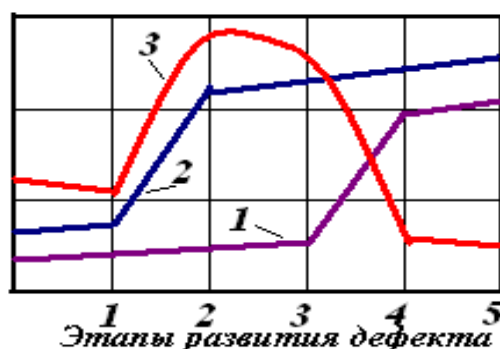


Рис. 1. Изменение параметров ВА сигнала в зависимости от этапов развития дефекта в подшипнике: 1 – эффективное значение амплитуды ВА сигнала; 2 – пиковое значение амплитуды ВА сигнала; 3 – пик-фактор ВА сигнала



а



б

Рис. 2. Внутреннее кольцо «сгоревшего» подшипника (а) и вид шариков передней опоры шпиндельного узла после аварии (б)

Здесь энергия ударных импульсов приближается к своему максимуму, что характеризует начало второго этапа развития дефекта. Для шпиндельных подшипников это состояние уже является недопустимым, поскольку остановить дальнейшее развитие дефекта практически невозможно, идет его саморазвитие. Начиная с третьего этапа (с точки 3), возрастают затраты энергии на вращение ротора. Увеличивается энергия вибраций и растет эффективная амплитуда ВА сигнала, что вызывает снижение величины пик-фактора. Идет саморазрушение подшипника. К четвертому этапу (с точки 4) весь ВА сигнал состоит из пиков, что ведет к дальнейшему падению значений пик-фактора.

Однако чем выше частотный диапазон, тем сильнее влияет характер контакта акселерометра с деталями станка в месте его установки. При периодическом контроле ВА сигналов на заводском оборудовании приходится пользоваться установкой акселерометров с помощью магнитов, которые ослабляют высокочастотный ВА сигнал, этот сигнал еще может быть более чувствительным к загрязнению контактных поверхностей. Компромиссным вариантом может быть диапазон в области до 10 кГц, где ВА сигнал незначительно ослабляется при прохождении через стыки, и где влияние помех от соседних узлов значительно ослабляется.

Этого этапа следует избегать не только в шпиндельных узлах, но в других видах машин, поскольку он ведет к аварии, которая ожидается на пятом этапе. Однако в фирмах, занимающихся ремонтом шпиндельных узлов, приходится наблюдать в аварийных шпиндельных узлах «сгоревшие» кольца подшипников (рис. 2, а) или шарики, только отдаленно напоминающие сферу (рис. 2, б). Это свидетельствует о бесконтрольной эксплуатации технологического оборудования.

Из вышеизложенного понятно, что на основании разового замера параметров ВА сигнала судить о состоянии подшипникового узла трудно. Ситуация усугубляется еще и тем, что начальное состояние опор может быть разным, и только периодические замеры смогут выявить этап и скорость развития дефекта. Значение имеет и частотный диапазон, где ведется контроль параметров ВА сигнала. В литературе по этому поводу даются различные примеры. В частности, для исключения влияния помех от работы других опор и узлов рекомендуется контролировать ВА сигналы в ультразвуковом диапазоне.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ СТАНКОВ НА ПРЕДПРИЯТИИ

Ниже для примера показаны результаты анализа ВА сигналов, снятых с разницей в 8 месяцев с токарного обрабатывающего центра мод. RNC 400.

На рис. 3 показана фотография шпинделя станка с установленными на корпусе акселерометрами, располагающимися по координатным осям станка. Шпиндель вращался на частоте 3000 мин⁻¹. Для выявления дефектов подшипников с помощью методов ВА диагностики рекомендуется проводить их испытания под нагрузкой. В данном случае для поддержания однородности условий испытания проводились на холостом ходу. Они показали, что и без нагрузки отчетливо проявляется изменение состояния опор шпинделя.

На рис. 4 представлены третьоктавные спектры ВА сигналов, записанные при вращении шпинделя на холостом ходу в разные периоды времени с разницей в 8 месяцев.

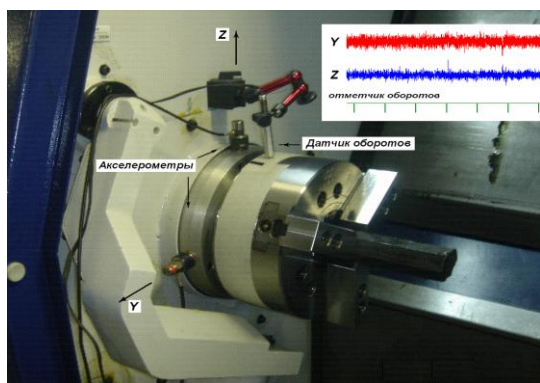


Рис. 3. Вид шпиндельного узла токарного станка Monforts мод. RNC400 с акселерометрами и отметчиком оборотов на корпусе (вверху пример записи ВА сигналов)

Сравнение спектров показывает, что за 8 месяцев эксплуатации эффективная амплитуда во всех частотных диапазонах значительно выросла. Например, в районе 5 кГц амплитуда выросла в 4 раза. Быстрый рост высокочастотной составляющей ВА сигнала говорит о развитии ударных процессов в опорах шпинделя, которые без своевременного вмешательства приведут к выходу из строя всего узла. На рис. 5 показано, как изменились записи высокочастотного ВА сигнала по разным осям за 8 месяцев эксплуатации станка.

К рис. 4 и 5 можно добавить результаты наблюдения за развитием пик-фактора [10–12] по разным осям, перпендикулярным к оси шпинделя.

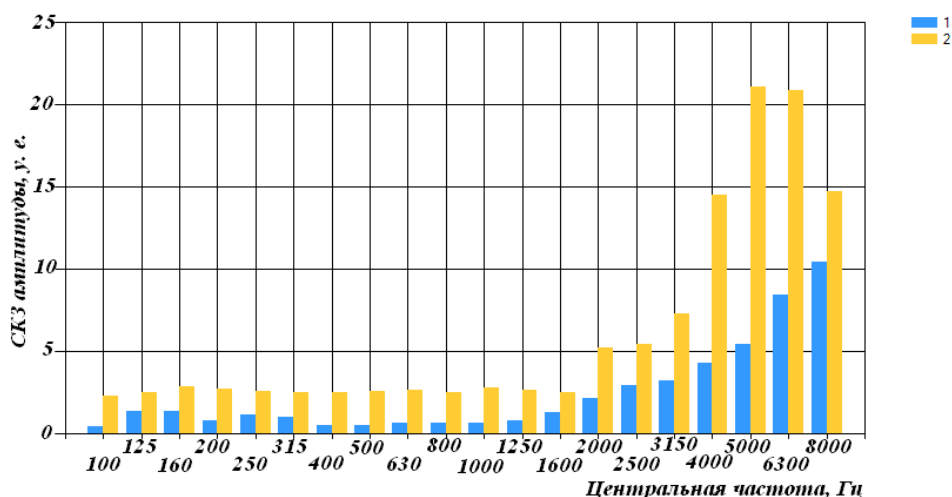


Рис. 4. Третьооктавные спектры ВА сигнала на корпусе шпинделя при 3000 мин⁻¹: 1 – 2011 г.; 2 – 2012 г.

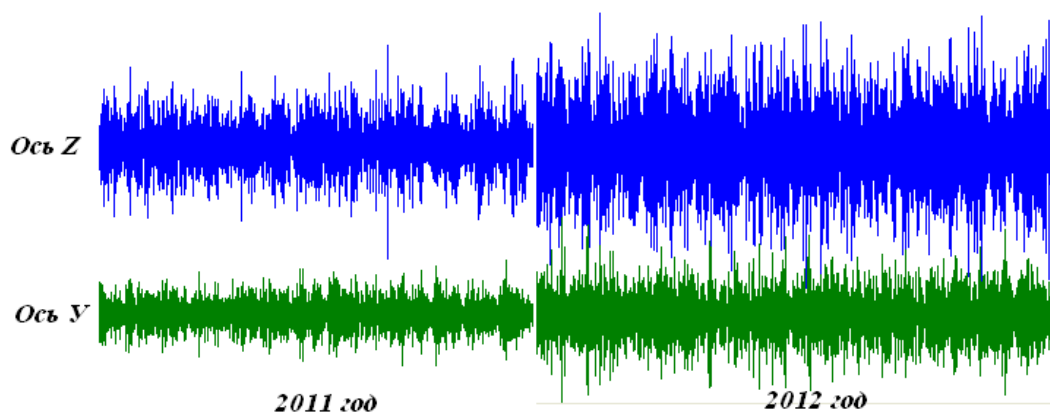


Рис. 5. Примеры записей высокочастотной составляющей ВА сигнала на корпусе шпинделя по осям Z и Y в разные периоды времени

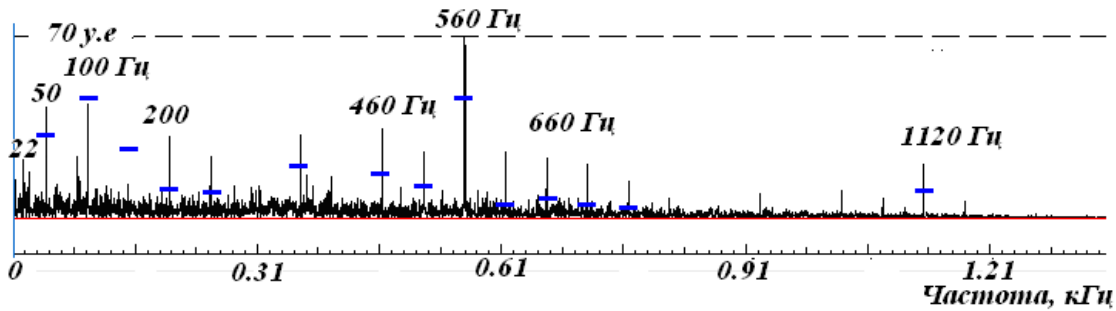


Рис. 6. Спектр огибающей высокочастотного ВА сигнала по оси Y при 3000 мин^{-1} , полученный в 2012 г. (черточками отмечены амплитуды спектральных составляющих 8 месяцами ранее)

Несмотря на рост эффективного значения амплитуды ВА сигнала по обеим осям, пик-фактор по оси Z снизился с 5,6 до 4,1, а по оси Y вырос с 4,74 до 6,0. Если рассмотреть 5 этапов деградации подшипника (рис. 1) применительно к разным осям, то положение по оси Z соответствует третьему этапу, где пиковые значения ВА сигнала приближаются к насыщению, а рост эффективных значений ускоряется, что и вызывает падение пик-фактора, а положение по оси Y соответствует первому этапу, где рост пиковых значений опережает рост эффективных значений. Первый этап говорит о возникновении дефекта в процессе эксплуатации, а третий – о переходе подшипника к полной деградации. Для шпиндельных подшипников появление признаков первого этапа свидетельствует о необходимости принимать меры, работа в условиях третьего этапа деградации является недопустимой. Признаки третьего этапа свидетельствуют о необходимости замены подшипника. Причины более быстрого развития дефектов в направлении оси Z могут заключаться в наличии дефектов до начала эксплуатации, например, неравномерный натяг, а, возможно, это связано с тем, что технологическая нагрузка на переднюю опору по оси Z существенно больше.

Конкретно о причинах изменения состояния подшипника можно говорить после спектрального анализа огибающей ВА сигнала [10–12]. Для этого из общего ВА сигнала выделялась высокочастотная составляющая (в данном случае это была октавная полоса с центральной частотой 4 кГц), для последовательности моментов времени определялись эффективные значения этой составляющей, они и формировали огибающую ВА сигнала, которая потом с помощью преобразования Фурье раскладывалась в спектр. На рис. 6 показан спектр огибающей высокочастотной составляющей ВА сигнала по оси Y для 2012 г., где есть отметки

амплитуд отдельных составляющих, полученных в 2011 г.

На спектре огибающей (рис. 6) выделяются составляющие, соответствующие следующим частотам: частоте вращения сепаратора (22 Гц), оборотной частоте (50 Гц), гармоникам оборотной частоты (100 Гц, 150 и т. д. до 350 Гц), частоте мелькания шариков по наружному кольцу $f_{ш}$ (560 Гц), частотам боковых составляющих, расположенных с шагом 50 Гц выше и ниже 560 Гц. На частоте 1120 Гц располагается вторая гармоника частоты 560 Гц. Сравнение спектров на рис. 6 показывает, что выросли амплитуды почти всех составляющих. Рост амплитуды на частоте $f_{ш}$ говорит о росте интенсивности соударения тел качения. Особенно об этом говорит многократный рост амплитуд боковых составляющих, отстоящих от частоты 560 Гц на ± 50 и 100 Гц. Рост амплитуды на оборотной частоте может говорить об увеличении зазора в подшипнике, что вызывает увеличение дисбаланса. Рост зазора позволяет телам качения отрываться от поверхности колец во время соударения, что позволяет большей доле энергии соударения преобразовываться в энергию вибраций. На спектре (рис. 6) видно, что боковые составляющие частоты $f_{ш}$ возросли в несколько раз по сравнению с предшествующим замером. Это говорит о росте глубины модуляции высокочастотного сигнала оборотной частотой и о значительном увеличении энергии соударения тел качения, свидетельствующего о высокой скорости роста дефекта. Можно отметить, что относительно 8 месяцев эксплуатации скорость развития дефектов очень большая, учитывая, что время эксплуатации станков подобного типа до капитального ремонта составляет 5–7 лет.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Регулярный мониторинг с помощью мобильных средств диагностики состояния шпиндельного узла [7, 8, 13–17] с регистрацией эффективных и пиковых значений ВА сигнала в одном из частотных диапазонов может позволить достаточно точно устанавливать момент перехода опор подшипника к началу опасной деградации. Контролировать ВА сигнал шпиндельных узлов необходимо не в одном из радиальных направлений, а в двух или более. Периодический контроль спектра огибающей ВА сигнала позволяет отслеживать скорость развития разных дефектов подшипниковых узлов различного технологического оборудования, базы данных по этому вопросу позволят взвешенно подходить к назначению периодов контроля, прогнозирования ремонтов и технических обслуживаний, а также к предварительному контролю состояния шпиндельных узлов закупаемого оборудования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Григорьев С. Н., Козочкин М. П., Сабиров Ф. С., Синопальников В. А. Техническая диагностика станочного оборудования автоматизированного производства // Контроль. Диагностика. 2011. № 8 (158). С. 48–54.
2. Юркевич В. В. Контроль и диагностика процесса формообразования при обработке на токарных станках // Контроль. Диагностика. 2005. № 1. С. 45–50.
3. Козочкин М. П., Солис Н. В. Исследование связи вибраций при резании с качеством получаемой поверхности // Вестник РУДН. Серия: Инженерные исследования. 2009. № 2. С. 16–23.
4. Игнатьев С. А., Игнатьев А. А., Иващенко В. А. Автоматизированные системы мониторинга технического состояния технологического оборудования // Мехатроника, автоматизация, управление. 2009. № 8. С. 43–47.
5. Kozochkin M. P., Kochinev N. A., Sabirov F. S. Diagnostics and monitoring of complex production processes using measurement of vibration-acoustic signals // Measurement Techniques. New York: Springer, 2006. Vol. 49, No 7. P. 672–678.
6. Козочкин М. П. Особенности вибраций при резании металлов // СТИН. 2009. № 1. С. 29–35.
7. Сабиров Ф. С., Кочинев Н. А., Козочкин М. П., Хомяков В. С., Сулов Д. Н., Сенькина В. В. Диагностика, моделирование и расчет шпиндельных узлов станков // Комплект: ИТО. 2009. № 3. С. 52–54.
8. Козочкин М. П., Порватов А. Н., Сабиров Ф. С. Оценка технологического оборудования информационно-измерительными системами // Измерительная техника. 2012. № 5. С. 29–32.
9. Поляков А. Н. Реализация параметрических моделей в инженерном анализе металлорежущих станков // Техника машиностроения. 2001. № 3. С. 82–88.
10. Неразрушающий контроль: справочник. Т. 7: Вибродиагностика / Ф. Я. Балицкий, А. В. Барков, Н. А. Баркова и др. М.: Машиностроение, 2005. 829 с.
11. Козочкин М. П., Маслов А. Р., Сабиров Ф. С. Испытания и диагностика технологического оборудования: учеб. пособие М.: ИЦ МГТУ «Станкин», 2012. 250 с.
12. Русов В. А. Спектральная вибродиагностика. Пермь: ВПФ "Вибро-центр", 1996. 167 с.
13. Козочкин М. П., Сабиров Ф. С. Виброакустическая диагностика шпиндельных узлов // СТИН. 2008. № 6. С. 30–33.
14. Kozochkin M. P., Sabirov F. S. Vibroacoustic diagnostics of spindles // Russian Engineering Research. 2009. 29 (8). P. 827–830.
15. Сабиров Ф. С. Диагностика станков с использованием трехкомпонентных датчиков вибрации // Контроль. Диагностика. 2012. № 12 (174). С. 66–72.
16. Бровкова М. Б., Свиридов С. В. Динамический мониторинг технологического оборудования // Южно-Сибирский научный вестник. 2012. № 1. С. 19–21.
17. Козочкин М. П., Сабиров Ф. С., Порватов А. Н., Боган А. Н. Вибрационный контроль технологического оборудования в производстве // Вестник МГТУ "Станкин". 2012. № 4 (23). С. 8–14.

ОБ АВТОРАХ

КОЗОЧКИН Михаил Павлович, проф. каф. станков. Дипл. инж.-мех. (МосСТАНКИН, 1969). Д-р техн. наук по технол. и оборуд. мех. и физ.-техн. обработки (ЭНИМС, 2002). Иссл. в обл. виброакустич. диагностики технол. оборудования и технол. процессов.

САБИРОВ Фан Сагирович, зав. каф. станков. Дипл. инж.-мех. (УАИ, 1973). Д-р техн. наук по технол. и оборуд. мех. и физ.-техн. обработки (МГТУ «Станкин», 2009). Иссл. в обл. металлореж. станков.

БОГАН Андрей Николаевич, асп. каф. станков. М-р техн. и технол. (МГТУ «Станкин», 2009).

МЫСЛИВЦЕВ Константин Владимирович, асп. каф. станков. М-р техн. и технол. (МГТУ «Станкин», 2009).

METADATA

Title: Monitoring of process equipment for industrial enterprises.

Authors: M. P. Kozochkin, F. S. Sabirov, A. N. Bogan, and K. V. Myslivcev.

Affiliation: Moscow State Technological University "STANKIN".

Email: ²FANIRA5057@yandex.ru

Language: Russian.

Source: Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), vol. 17, no. 8 (61), pp. 56-62, 2013. ISSN 2225-2789 (Online), ISSN 1992-6502 (Print).

Abstract: The diagnosis and monitoring of defects in rolling bearings machine tool spindles on the basis of the analysis of the vibration signal recorded on the body of the spindle unit. The methods of detecting various defects on the basis of spectral signal processing, building envelope analysis of the trajectories of the vibrational motion. Shows the evolution of diagnostic parameters of the state supports the spindle turning center for 8 months of operation.

Key words: spindle assembly; diagnostics; spectral methods of analysis; envelope; defects supports.

References (English transliteration):

1. S. N. Grigoriev, M. P. Kozochkin, F. Sabirov, V. A. Sino-palnikov, "Technical diagnostics of machine-aided manufacturing equipment," *Kontrol. Diagnostics*, vol. 8 (158), pp. 48-54, 2011.
2. V. V. Jurkiewicz, Monitoring and Diagnostics shaping process when processing lathes, *Control . Diagnostics*. vol. 1. pp. 45-50, 2005.
3. M. P. Kozochkin, N. V. Solis, "Study on vibration when cutting with the quality of the resulting surface". *Bulletin of Peoples' Friendship University. Series: Engineering studies*. Vol. 2. pp. 16-23, 2009.
4. S. A. Ignatiev, Automated systems for monitoring the technical condition of the process equipment / S. A. Ignatyev, A. A. Ignatiev, V. A. Ivashchenko // *Mechanics, Automation, Control* . Vol. 8. pp. 43-47, 2009.
5. M. P. Kozochkin, N. A. Kochinev, F. S. Sabirov, "Diagnostics and monitoring of com-plex production processes using measurement of vibration-acoustic signals", *Measurement Techniques*, Springer New York. Vol. 49, No 7, 2006, pp. 672-678.
6. M. P. Kozochkin, Features vibrations during cutting of a metal, *STIN*. Vol. 1. pp. 29-35, 2009.
7. F. S. Sabirov, N. A. Kochi-Neuve, M. P. Kozochkin, V. S. Hamsters, D. Suslov, V. V. Senkina "Diagnosis, modeling and distribution parity machine tool spindles", *Komplekt: ITO*. Vol. 3. pp. 52-54. 2009.
8. M.P. Kozochkin, A. N. Porvatov, F. Sabirov "Equipment technological equipment information- measuring systems governmental", *Measuring equipment*. Vol. 5. pp. 29-32. 2012.
9. A. Polyakov, Implementation of parametric models in engineering analysis of machine tools, *Technology Engineering*. Vol. 3. pp. 82-88 . 2001.
10. F. Y. Lika, A. V. Barkov, N. A. Barkov, *Nondestructive testing: Reference: vol. 7. (in Russian)*. *Vibrodiagnostick*. M.: Mechanical Engineering, 2005.
11. M. P. Kozochkin, A. R. Maslov, F. S. Sabirov "Test and Diagnosis technological engineering: Textbook", M. Bauman IC "Stankin". 2012.
12. V. A. Russov, "Spectral vibrodiagnostics" Perm: VPF "Vibro-center", 1996 .
13. M. P. Kozochkin, F. S. Sabirov "Vibration diagnostics spindles", *STIN* . Vol. 6. pp. 30-33, 2008.
14. M. P. Kozochkin, F. S. Sabirov, "Vibroacoustic diagnostics of spindles", *Russian Engineering Research*. Vol. 29 (8), pp. 827-830, 2009.
15. F.S. Sabirov, "Machine diagnosis with the use of three-component sensors vibration", *Control . Diagnostics* . - . Vol 12 (174). - pp. 66-72, 2012
16. M.B. Brovkova, Dynamic monitoring technological engineering / M.B. Brovkova , S.V. Sviridov / / *South-Siberian Scientific Bulletin* Vol. 1. p. 19-21, 2012
17. M.P. Kozochkin, F.S. Sabirov , A.N. Porvatov , A.N. Bogan "Vibration monitoring of technological equipment in the production" *Vestnik MSTU " STANKIN* Vol. 4 (23) pp. 8-14, 2012

About authors:

KOZOCHKIN, Mikhail Pavlovich, Prof., Dept. of machines, Dipl. Engineer (MosSTANKIN, 1969). Dr. tech. Science Technology and equipment for mechanical and physical - technical processing (ENIMS, 2002). Research in vibroacoustic diagnostics manufacturing equipment and processes.

SABIROV, Fan Sagirovich, Head., Dept. of machines. Dipl . engineer. (UAI , 1973). Dr . tech. sciences Technology and equipment for mechanical and physical-technical processing (MSTU "STANKIN", 2009). Research in the field of machine tools.

BOGAN, Andrey Nikolayevich, graduate student, dept. of machines. Master of Engineering and Technology (MSTU "STANKIN ", 2009) .

MYSLIVEC Konstantin, graduate student, dept. of machines. Master of Engineering and Technology (MSTU "STANKIN", 2009) .