

## **КОНТРОЛЬ ПОЛОЖЕНИЯ ШПИНДЕЛЯ НА ГАЗОСТАТИЧЕСКИХ ОПОРАХ МЕТОДОМ ВИБРОАКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ**

**Изложена методика контроля положения шпинделя на газостатических опорах методом виброакустической эмиссии. Приведено описание экспериментального стенда и измерительной аппаратуры.**

**Ключевые слова:** контроль, шпиндельный узел, аттрактор.

В условиях гибкого автоматизированного производства развитие систем автоматического контроля и управления процессом резания, обеспечивающих требуемое качество, высокую производительность и минимальные затраты на обработку деталей на металлорежущих станках, продолжает оставаться приоритетной научно-технической проблемой.

Исследования по оценке влияния различных факторов на точность механической обработки говорят, что ее до 80% определяет шпиндельный узел (ШУ). Поскольку движение формообразования осуществляется шпинделем и шпиндельными подшипниками, то именно они вносят решающий вклад в выходные характеристики точности [1]. В связи с этим одной из главных задач в оценке эффективности работы ШУ является текущий контроль точности вращения шпинделя.

Работа ШУ на опорах качения сопровождается нестабильной траекторией движения шпинделя, тепловыми смещениями подшипниковых узлов, периодическим изменением жесткости подшипников, что связано с изменением угла поворота сепаратора с комплектом тел качения. Таких недостатков лишены ШУ на газостатических подшипниках, которые используют при прецизионной обработке ответственных деталей. В связи с этим очень важным является контроль положения шпинделя во время работы с целью дальнейшего определения оптимальных условий его работы.

В работе [2] приводятся несколько методов контроля зазора между шпинделем и вкладышем газостатического подшипника. Здесь следует выделить бесконтактные методы контроля положения шпинделя. Одним из таких методов является метод виброакустической эмиссии (ВАЭ), который хорошо применим к контролю процессов в режиме реального времени.

При диагностике станочных систем часто нет возможности установки регистрирующего датчика в месте возникновения сигнала. Нет такой возможности и при определении положения шпинделя на газостатической опоре, поскольку невозможно установить датчик непосредственно на сам шпиндель. Наиболее близкое место расположения датчика – это корпус шпинделя. При удалении места регистрации, согласно принципу Аббе, погрешность измерений возрастает в квадратичной зависимости.

Место регистрации сигнала ВАЭ очень сильно влияет на достоверность принятого решения. Невозможность установки датчика в месте возникновения сигнала обуславливает появление шумовой составляющей. Очистку сигнала обычно производят с помощью частотной фильтрации, отсекая низкочастотные колебания, не выявляя природы возникновения самого сигнала. В классических методах обработки сигналов ВАЭ применяют разложение в ряд Фурье. Основные недостатки разложения в ряд Фурье заключаются в следующем. Во-первых, такая функция как синусоида, используемая при анализе Фурье, является гармонической и поэтому вызывает большую погрешность при анализе, так как анализируемый сигнал – затухающая функция. Во-вторых, при анализе Фурье происходит диффузия частот на спектре Фурье, что отрицательно сказывается на достоверности. Поэтому для обработки сигнала ВАЭ более корректно применять вейвлет-анализ, который по сравнению с разложением в ряд Фурье обладает и тем преимуществом, что слабо чувствителен к шумовым составляющим.

Установлено, что наиболее качественную очистку сигнала ВАЭ производит жесткая пороговая обработка вейвлет-анализа, заключающаяся в том, что из значений вейвлет-коэф-

фициентов вычитают предварительно определенный порог.

Вейвлет-анализ – это анализ регистрируемого сигнала, проведенный на основе вейвлет-преобразования. Сущность вейвлет-преобразования заключается в переводе исследуемой функции  $f(x)$  в набор вейвлет-коэффициентов  $W(f)$ :

$$W(f) = \frac{1}{\sqrt{C_\Psi}} \int \frac{1}{\sqrt{|a|}} \Psi\left(\frac{x-b}{a}\right) f(x) dx,$$

где  $a, b$  – параметры, определяющие соответственно масштаб и смещение функции  $\Psi$ ;  $\Psi$  – базисный вейвлет;  $C_\Psi$  – нормировочный множитель.

Интегрирование ведут по всей числовой оси, образуя посредством растяжений и сдвигов семейство  $\Psi\left(\frac{x-b}{a}\right)$ .

Исследования по контролю положения шпинделя, установленного на газостатические опоры, выполнено на экспериментальном стенде, показанном на рисунке 1.

Экспериментальный стенд включает в себя: 1 – опорные газостатические подшипники; 2 – шпиндель; 3 – нагружающее устройство; 4 – датчики ВАЭ; 5 – емкостные датчики; 6 – осциллограф; 7 – аналогово-цифровой преобразователь; 8 – ПЭВМ; 9 – частотомер; 10 – турбину.

При контроле положения шпинделя сигналы снимаются с датчиков, закрепленных на корпусе исследуемого подшипника радиально во взаимно перпендикулярных направлениях. Сиг-

нал ВАЭ, регистрируемый с помощью пьезоэлектрических датчиков, поступает через осциллограф на плату сбора данных, где происходит аналогово-цифровое преобразование, после которого сигнал поступает для обработки в память ЭВМ. Использование аналогового осциллографа позволяет усилить регистрируемый сигнал, поскольку величина амплитуды его не велика. С помощью ЭВМ производится очистка сигнала методом вейвлет-преобразования и выполняется реконструкция аттрактора, позволяющая получить траекторию движения оси шпинделя. По виду фазовых портретов колебаний шпинделя в вертикальном и горизонтальном направлении вычисляется траектория движения оси шпинделя в относительных координатах (рис. 2).

Построение траектории движения оси шпинделя в абсолютных координатах выполняется следующим образом. Предварительно определялся тарировочный коэффициент, равный среднеарифметическому отношению линейному перемещению оси шпинделя, замеренному с помощью емкостных датчиков, к значению сигнала ВАЭ в соответствующий момент времени. Отклонение оси шпинделя в линейных величинах находилось в режиме реального времени путем умножения тарировочного коэффициента на регистрируемый сигнал ВАЭ.

Траектория движения оси шпинделя в абсолютных координатах показана на рисунке 3.

Из представленного рисунка видно, что в газостатическом подшипнике траектория вращения шпинделя происходит по эллипсу. Эллиптическую форму траектории синхронного вихря вала при постоянной скорости вращения можно объяснить переменной динамической жесткостью (неравномерностью эпюры давления) по окружности подшипника. Линия, очерчивающая траекторию, – плавная и практически не имеет размытости. Это означает, что ось шпинделя движется по постоянной траектории, занимая стабильное положение в подшипниках.

Получить реальную траекторию движения оси шпинделя, с достаточной для эффективного

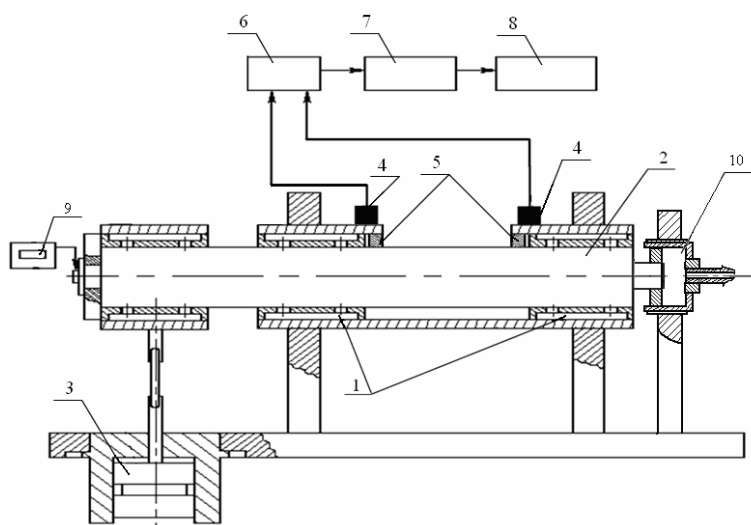


Рисунок 1. Схема экспериментального стенда

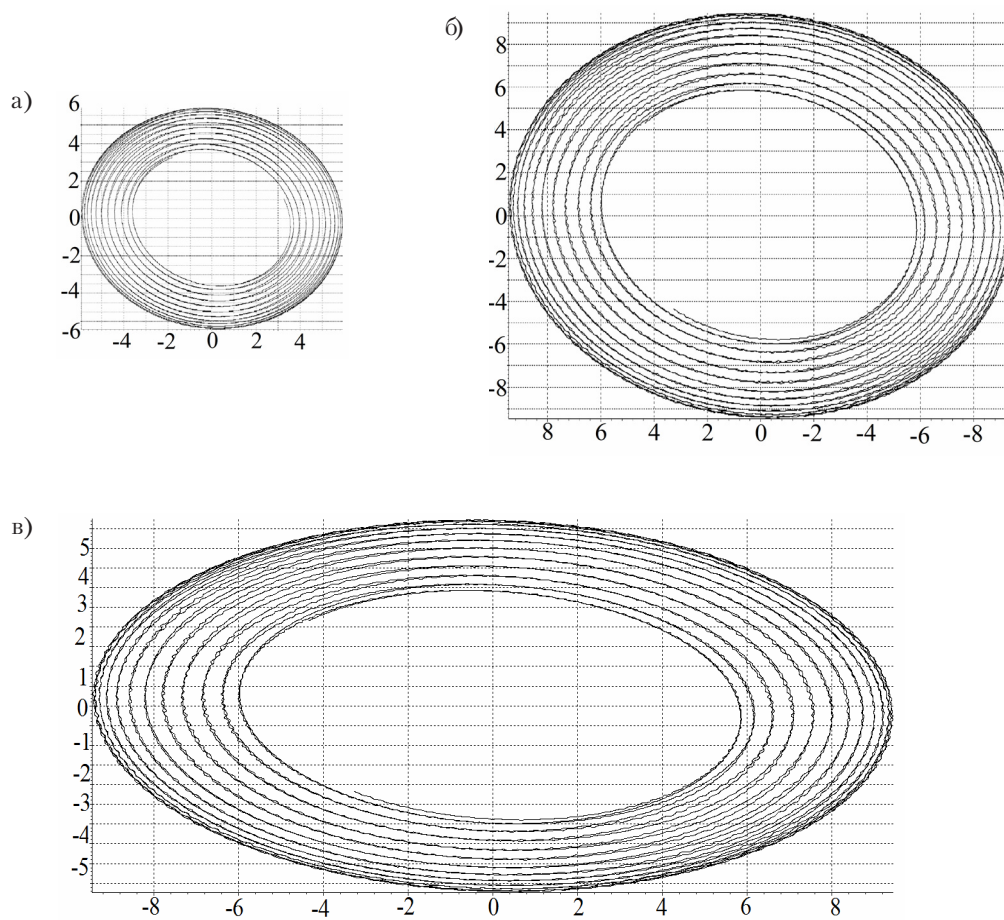


Рисунок 2. Построение траектории движения оси шпинделя в относительных координатах:  
 а) фазовый портрет колебания шпинделя в вертикальном направлении;  
 б) фазовый портрет колебания шпинделя в горизонтальном направлении;  
 в) траектория движения оси шпинделя в относительных координатах

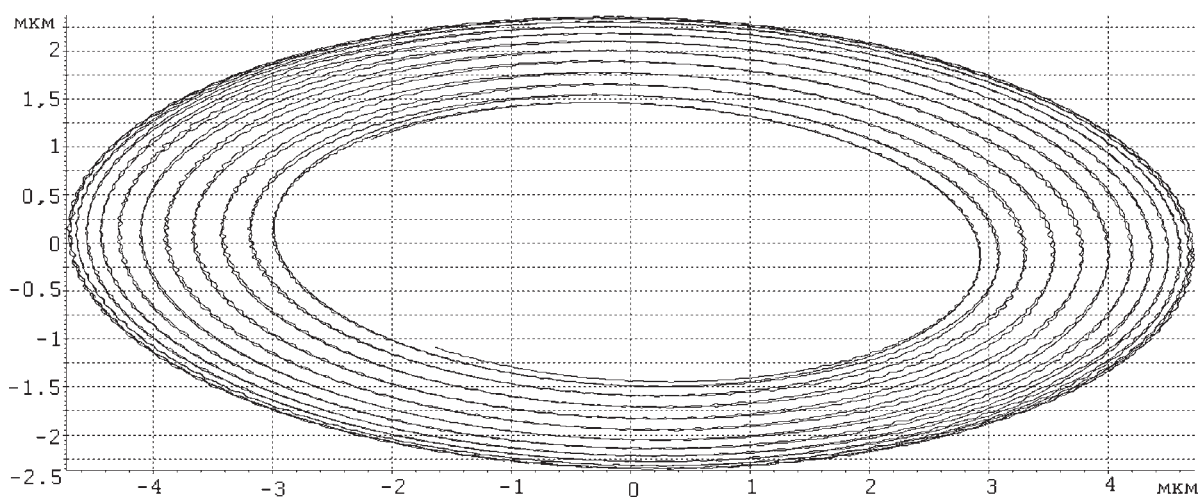


Рисунок 3. Траектория движения оси шпинделя в абсолютных координатах

контроля точностью, можно применив специальную высокоточную аппаратуру для прямых измерений, например, используя лазерный интерферометр. Естественно, использование столь сложного и дорогого оборудования в составе систем контроля работы металлорежущими станками экономически нецелесообразно из-за слишком высоких затрат на настройку и обслуживание. Поэтому для измерения ко-

лебаний, как правило, используют менее точные методы. Наиболее широкое применение в диагностике станочных систем получило использование метода ВАЭ, который при дополнении методом вейвлет-очистки позволяет получить точность, сопоставимую с результатами лазерной интерферометрии, и поэтому может эффективно использоваться в автоматизированном производстве.

11.07.2012

**Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки России  
(проект № 16.740.11.0258)**

**Список литературы:**

1. Пуш, А.В. Шпиндельные узлы: Качество и надежность. – М.: Машиностроение, 1992. – 228 с.
2. Космынин А.В. и др. Эксплуатационные характеристики газовых опор высокоскоростных шпиндельных узлов. – М.: Академия Естественных наук, 2006. – 219 с.

**Сведения об авторах:**

**Хвостиков Александр Станиславович**, доцент кафедры технологии машиностроения Института компьютерного проектирования машиностроительных технологий и оборудования Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета, кандидат технических наук, e-mail: mehanika@knastu.ru

**Космынин Александр Витальевич**, декан факультета энергетики, транспорта и морских технологий Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета, доктор технических наук, профессор, e-mail: Avkosm@knastu.ru

**Щетинин Владимир Сергеевич**, профессор кафедры технологии машиностроения Института компьютерного проектирования машиностроительных технологий и оборудования Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета, кандидат технических наук, доцент, e-mail: mehanika@knastu.ru

**Смирнов Алексей Владимирович**, доцент кафедры тепловых энергетических установок Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета, кандидат технических наук, доцент, e-mail: faks@knastu.ru

**Блинков С.С.**, аспирант кафедры тепловых энергетических установок Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета, e-mail: Avkosm@knastu.ru  
681013, Хабаровский край, г. Комсомольск-на-Амуре, пр-т Ленина, 27, тел. 8 (4217) 534191

**UDC 621.822.574**

**Khvostikov A.S., Kosmyinin A.V., Schetinin V.S., Smirnov A.V., Blinkov S.S.**

E-mail: AvKosm@knastu.ru

**THE CONTROL OF THE SPINDLE ON GAS-STATIC BEARING THE METHOD OF VIBRATION ACOUSTIC ISSUE**

The technique of the control of position of a spindle on gas-static bearing is stated by a method of vibrating acoustic issue. The description of the experimental stand and the measuring equipment is resulted.

Key words: The control, spindle block, attractor.

**Bibliography:**

1. Push, A.V. Spindle units: Quality and reliability. – TH.: Mashas-nostroenie, 1992. – 228 p.
2. Kosmyinin A.V. etc. Operational characteristics of gas bearing high-speed spindle block. – V.: Natural sciences academy, 2006. – 219 p.