

К.С. Усакин, М.В. Виноградов

АНАЛОГО-ЦИФРОВАЯ СИСТЕМА БАЛАНСИРОВКИ ШПИНДЕЛЯ ПРЕЦИЗИОННОГО ТОКАРНОГО МОДУЛЯ

Предлагается способ повышения точности вращения шпинделей на аэростатических опорах путем динамической балансировки в двух плоскостях. Применение автоматизированного балансировочного устройства способствует при определенных условиях повышению качества обработки. Оптимизация алгоритма процесса балансировки в сочетании с аналого-цифровой системой позволяет оперативно решать задачу снижения виброактивности шпиндельного устройства в режиме реального времени.

Балансировка, шпиндель, аэростатические опоры, операционный усилитель, полосовой фильтр, алгоритм

K.S. Usakin, M.V. Vinogradov

ANALOG-DIGITAL SYSTEM OF BALANCING OF THE SPINDLE OF THE PRECISION TURNING MODULE

The way of increase of accuracy of rotation of spindles on aerostatic support by dynamic balancing in two planes is offered. Application of the automated balancing device promotes under certain conditions to processing improvement of quality. Optimization of algorithm of process of balancing in a combination to analogue-digital system allows to solve operatively a problem of decrease in level of vibrations spindle devices in a mode of real time.

Balancing, spindle, aerostatic support, the operational amplifier, the strip filter, algorithm

Одной из основных причин вибрации и, как следствие, ухудшения качества обработки поверхности детали на прецизионном токарном модуле является неуравновешенность шпиндельного узла (ШУ). Балансировка ШУ повышает стойкость деталей станка и инструмента в 5 раз [1]. ШУ металлообрабатывающего станка проходит этапы конструирования, изготовления и эксплуатации. Каждый из этих этапов может служить источником возникновения соответствующей составляющей неуравновешенности. Поэтому значения дисбаланса в каждой из плоскостей коррекции складываются из векторной суммы конструкционного, технологического и эксплуатационного дисбалансов.

При разработке деталей шпинделя особое внимание нужно уделять взаимной сбалансированности диаметрально располагаемых элементов: болтов, шпилек, стяжек и т.д. с тем, чтобы на стадии конструкторской проработки обеспечить наиболее полную сбалансированность шпинделя. Необходимо производить отстройку собственных частот резонирующих деталей путем изменения их формы или веса, повышать требования к точности изготовлений деталей и др. При наличии всевозможных лабиринтных, маслозащитных, регулировочных, компрессионных и других колец в зоне подшипников необходимо, чтобы торцы колец были перпендикулярны к оси вращения во избежание торцевых биений и перекосов. Необходимо производить расчет критических частот шпинделя путем изменения массы и формы деталей вывести их за рабочие обороты.

Основными причинами появления дисбаланса деталей являются как неточности их изготовления, так и неточная сборка узлов агрегата. Таким образом, конструктивный и тех-

нологический дисбалансы определяют первоначальную неуравновешенность шпинделя, которая, как правило, уравнивается однократно, например, на балансировочных станках перед началом эксплуатации и в дальнейшем ее влияние не учитывается. При последующей эксплуатации станков сбалансированное состояние шпинделя может быть существенно нарушено. Причины разбалансировки шпинделей в процессе эксплуатации весьма разнообразны. Сбалансированность шпинделя может измениться с течением времени из-за структурных превращений в материале, приводящих к изменению размеров и формы деталей. В процессе эксплуатации станков происходят упругие и температурные деформации конструктивных элементов из-за различия упругих свойств и коэффициентов теплового расширения, что вызывает изменение положения центра масс шпинделя. На шпиндель могут быть установлены сменные насадки, обладающие первоначальной неуравновешенностью либо вносящие неуравновешенность путем неточной установки их на шпинделе.

До эксплуатации машины с помощью балансировочных станков, измерительных стендов и других устройств можно уравновесить шпиндель так, чтобы он удовлетворял определенным требованиям. Однако через определенное время его динамическое состояние неизбежно ухудшится, поэтому исходя из условий эксплуатации, необходимо производить либо ручную добалансировку, либо применять автоматическое балансировочное устройство (АБУ).

Полное устранение дисбалансов практически неосуществимо, поэтому их стремятся уменьшить до допустимых значений, определяемых техническими, экономическими и санитарными требованиями к станку или технологическому процессу. На практике это достигается с помощью балансировочных станков и приборов, которые позволяют измерять дисбалансы, устранять их, а также определять остаточные дисбалансы. Уравнивание осуществляется путем точного распределения массы ШУ. Распределение массы осуществляют путем прибавления или устранения определенного количества материала с учётом установленных для коррекции положений. Это называется динамической балансировкой в двух плоскостях. Количество и угловое положение отдельных корректирующих масс определяют на основе результатов измерений механических колебаний опор шпинделя. Предварительную балансировку шпинделя перед установкой в токарный станок осуществляют на балансировочных станках. Однако при смене типоразмера заготовки и техобслуживании требуется дополнительная подбалансировка ШУ в сборе на месте эксплуатации (в т.н. полевых условиях). В этом случае ориентация дисбаланса определяется на основе измерений амплитуды механических колебаний, обуславливаемых устанавливаемой в разные положения пробной массой. Как правило, для этого необходимо произвести не менее шести пробных пусков – по три на каждую опору, вычисления осуществляются по методам трёх пусков: путем перестановки пробных грузов на 180° [4] или перестановкой пробных грузов на 120° [2].

Для упрощения сбора, обработки (вычисления массы и углов компенсирующих грузов), а также накопления информации целесообразно применить аналого-цифровую систему (для автоматизированной балансировки), состоящей из персональной ЭВМ, подключённой к станку через электронный блок сопряжения. Структурная схема балансировочной аппаратуры и ШУ станочного модуля показана на рис. 1.

Балансируемый шпиндель вращается на аэростатических опорах, к которым прикреплены пьезоэлектрические вибродатчики. Для выполнения условий двухплоскостной балансировки сигнал с датчиков сначала проходит через компенсатор взаимного влияния, собранный по классической схеме [3] на резисторах. Далее сигнал с датчиков сначала проходит через операционный усилитель и полосовой фильтр (настроенный на частоту вращения), а после оцифровываются АЦП, в качестве которого использован 10-разрядный DAC TLC 1549IP. В ЭВМ цифровой сигнал поступает через последовательный порт.

Применение ЭВМ позволило большую часть операций выполнять программным путём, в частности так был реализован цифровой интегратор, выделяющий искомый сигнал из

общего фона различных помех. Число итераций задано не жёстко, а автоматически подстраивается под скорость опросов АЦП (с привязкой на имеющийся в ЭВМ кварцевый таймер). Благодаря этому полученные даже в разных условиях амплитуды колебаний можно сравнивать между собой. Сущность алгоритма состоит в следующем. Сначала задаётся время интегрирования. За это время путём тестовых запусков определяется количество опросов, которое успевают сделать компьютер. Затем создается файл с таким же количеством пустых ячеек (массив переменных). Каждая ячейка имеет свой адрес, а файл открыт в режиме произвольного доступа, когда можно обратиться к любой ячейке для чтения или записи. Создаётся также пустая переменная для накопления суммы. При запуске интегратора каждое новое значение амплитуды добавляется в переменную суммы и одновременно записывается в одну из ячеек файла произвольного доступа. Перед записью в эту ячейку нового значения производится считывание старого значения и вычитание его из переменной суммы. Каждое новое значение амплитуды записывается в массив по принципу карусели.

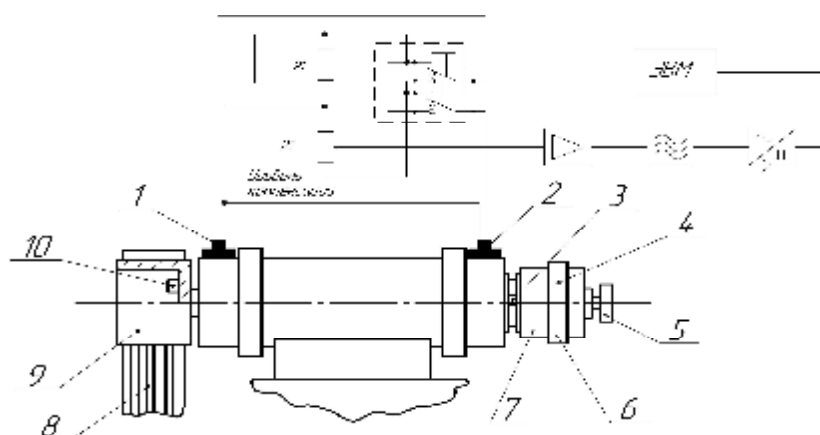


Рис. 1. Схема динамической балансировки ШУ модуля ТПАРМ-100М:
 1, 2 – вибродатчики; 3, 10 – балансировочные грузы;
 4, 6 – балансировочные кольца; 5 – деталь; 7 – патрон;
 8 – ремненная передача; 9 – шкив

При поступлении нового значения не происходит суммирования всех переменных, а также нет последовательного смещения всех ячеек для освобождения места под новое значение (фактически меняется только адрес ячейки). Это позволило за каждый такт (каждое новое значение амплитуды) обходиться для интегрирования пятью операциями вместо нескольких тысяч, что очень важно при работе в реальном времени для экономии вычислительных ресурсов ЭВМ.

Результаты работы интегратора, полученные при испытаниях, иллюстрирует рис. 2. Для получения хорошей (очищенной от шумов) амплитуды требуется задать период интегрирования не более 1 с (в промышленном аппаратном интеграторе для получения такого же результата нужно не менее 10 с).

При наличии отметчика оборотов становится возможным использовать графический метод одновременного измерения амплитуд и фаз вибраций, как на рис. 2. При расчёте дисбалансов по методу перестановки пробных грузов на 180° результаты представляются в следующей форме:

Амплитуда колебаний неуравновешенного ротора, мкм..... $A1 = 0.48$
 Амплитуда колебаний с добавочным грузом (угол 0°), мкм..... $A2 = 1.22$
 Амплитуда колебаний с добавочным грузом (угол 180°), мкм..... $A3 = 1.16$
 Масса пробного груза, г..... $Mp = 1$
 Угол установки противовеса, $a = 95^\circ$ или 265°
 Масса добавочного груза, г $Md = 0.440$

Разработанная аналого-цифровая система балансировки и методы расчёта при экспериментальных исследованиях позволили вычислять угол дисбаланса с точностью $\pm 5^\circ$, что допускает их использование для определения дисбаланса шпинделя прецизионного токарного модуля.

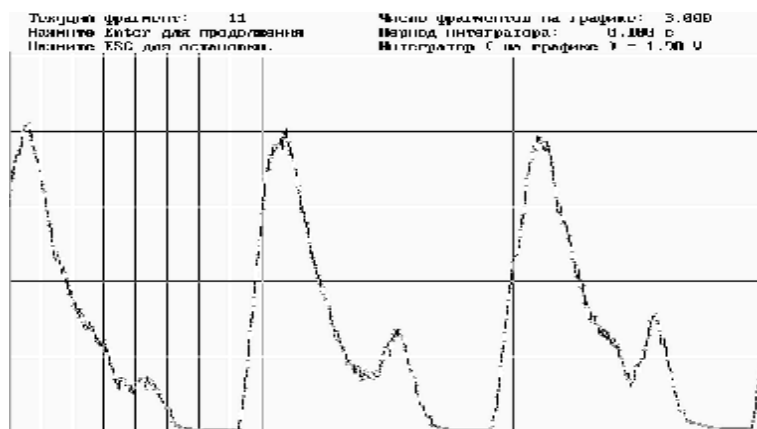


Рис. 2. Результат обработки на ЭВМ трёх оборотов шпинделя (деление по импульсам фотодатчика-отметчика оборотов, интегратор 0,1 с)

Была произведена количественная оценка влияния дисбаланса ШУ на точность обработки. Результаты экспериментального исследования модуля ТПАРМ-100М (установка пробных масс на шкиве и патроне) показали, что основным источником вибрации является динамически несбалансированный шпиндель (с патроном). После балансировки достигнуто снижение вибрации ШУ более чем в 3 раза, и как следствие этого, повысилась точность обработки деталей (сплав АК4Т) – некруглость уменьшилась в три раза (с 5-6 до 1-2 мкм), шероховатость $Ra = 0,1$ мкм улучшилась до $Ra = 0,08$ мкм.

ЛИТЕРАТУРА

1. Обзорная информация / ЦНИИТ ЭИприборостроения, 1983. ТС-7. Вып.5. 1-44.
2. Левит М.Е. Балансировка деталей и узлов / М.Е. Левит, В.М. Рыженков. М.: Машиностроение, 1986. 270 с.
3. Вибрации в технике: справочник в 6 т. Т.6. Защита от вибраций и ударов. 2-е изд., испр. и доп. / ред. совет: К.В. Фролов. М., 1995. 436 с.
4. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин: учеб. для втузов / И.И. Артоболевский. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. 640 с.

Усакин Кирилл Сергеевич – аспирант кафедры «Автоматизация и управление технологическими процессами» Саратовского государственного технического университета

Виноградов Михаил Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматизация и управление технологическими процессами» Саратовского государственного технического университета

Usakin Kirill Sergeevich – the post-graduate student of chair «Automation and management of technological processes» the Saratov State Technical University

Vinogradov Michael Vladimirovich – Candidate of Technical Sciences, the senior lecturer of chair «Automation and management of technological processes» the Saratov State Technical University

Статья поступила в редакцию 29.04.2011, принята к опубликованию 24.06.2011