

## МЕТОДИКА ДИАГНОСТИКИ И РАСЧЕТА ХАРАКТЕРИСТИК ДЕТАЛЕЙ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ

© 2009 Б.М. Горшков<sup>1</sup>, О.И. Драчев<sup>1</sup>, А.И. Туищев<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Тольяттинский государственный университет

<sup>2</sup>Тольяттинский государственный университет сервиса

Поступила в редакцию 10.03.2009

Разработана методика автоматизированного диагностирования и расчета несущих систем металло-режущих станков по их динамическим характеристикам. Предложены алгоритмы и структуры технических средств диагностирования. Сравнение результатов экспериментальных исследований выполненных по предложенной методике и расчетов показало их удовлетворительное совпадение, расхождение не превысило 12%.

Ключевые слова: диагностика, расчет, характеристики, детали машин, металлорежущие станки

Известная методика, разработанная в ЭНИМС [1], предполагает, что сигналы относительных колебаний инструмента и заготовки и сигналы резания записываются на промежуточный носитель информации. Они преобразуются в цифровой код, вводятся в вычислительную машину, которая программно производит спектральный анализ информации с помощью цифровых фильтров и её статистическую обработку с целью определения оценок динамической податливости в окрестностях собственных частот несущей системы станка. Поскольку колебания несущей системы на собственных частотах носят характер узкополосного случайного процесса, в качестве оценки динамической податливости используется математическое ожидание ординат огибающей процесса.

Сравнение АФЧХ, полученных при возбуждении несущей системы (НС) вибратором и при резании, показали удовлетворительное совпадение по собственным частотам, фазам и величинам динамической податливости. Можно отметить, что отыскание динамической податливос-

ти на резонансных частотах  $\left( \frac{W_2}{W_1} \text{ и } \frac{W_2}{W_3} \right)$

осуществлялось примерно одинаково независимо от способа получения характеристик и силы резания.

Определение динамических характеристик станка в режиме обработки представляется бо-

лее достоверным, по сравнению с воздействием вибратора, поскольку учитывает замкнутый характер упругой системы станка, изменение демпфируемых свойств при движении узлов, случайный характер возмущений в режиме резания. В тоже время, при существующих технических средствах измерения и анализа сигналов виброперемещений и флуктуации сил резания, удаётся получить достоверные значения динамической податливости лишь в окрестностях собственных частот НС. В остальных частотных диапазонах величины полезных сигналов соизмеримы с помехами. Проведенные исследования показали возможность использования величин динамической податливости на резонансных частотах или их отношений полученных в режиме резания в качестве диагностических параметров при контроле состояния элементов НС станка.

Наличие промежуточного носителя информации, необходимость применения вычислительных машин не позволяют определить величины динамической податливости по методике ЭНИМС в реальном масштабе времени и использовать их для нужд функциональной диагностики.

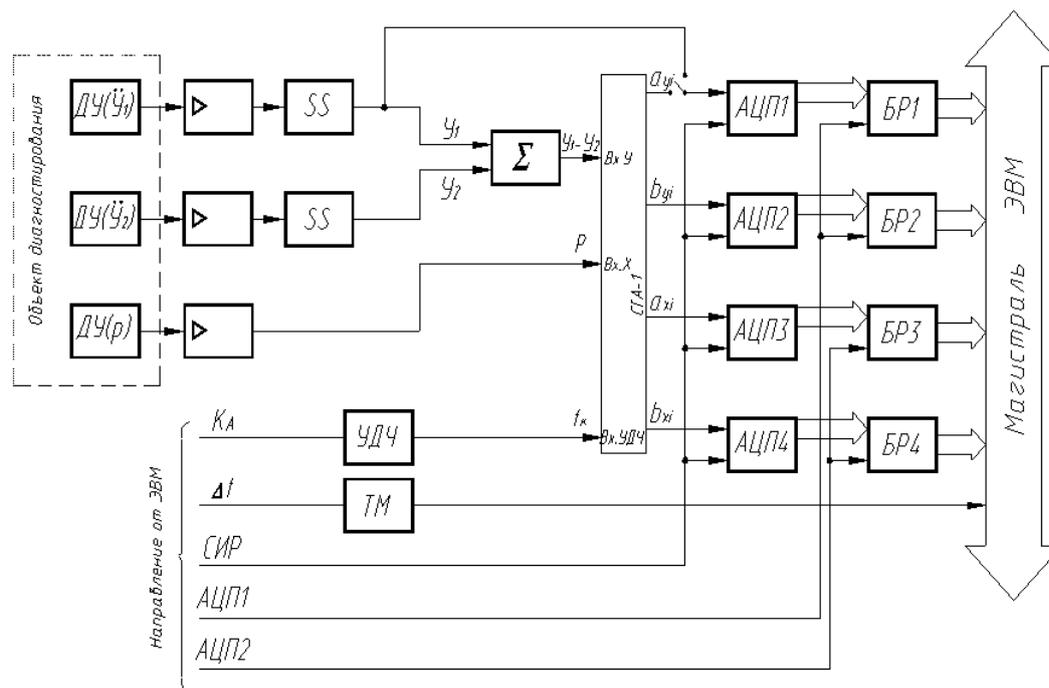
При разработке автоматизированной системы технической диагностики тяжёлых фрезерных и координатно-расточных станков решается задача определения АФЧХ в реальном масштабе времени с использованием микропроцессорной техники. Спектральный анализ полигармонических сигналов производится в аналоговом виде синхронным гармоническим анализатором спектра оригинальной конструкции, осуществляющим разложение сигнала в ряд Фурье (ограничиваясь первой гармоникой) на частотах, задаваемых программно [2]. На рис. 1 представлена структурная схема устройства диагностирования НС станка по динамическим характеристикам.

Сигналы с пьезометрических датчиков виб-

Горшков Борис Михайлович, доктор технических наук, профессор. E-mail: office@tltsu.ru.

Драчев Олег Иванович, доктор технических наук, профессор. E-mail: O.Drachev@tltsu.ru.

Туищев Алексей Иванович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой. E-mail: kaf\_ues@tolgas.ru.



**Рис. 1.** Структурная схема устройства диагностирования несущей системы станка по динамическим характеристикам:

$ДЧ(y_1)$ ,  $ДЧ(y_2)$  и  $ДЧ(p)$  – датчики виброускорений и силы резания;  $\Delta$  – усилители сигналов;  $\int\int$  – блоки двойного интегрирования;  $\Sigma$  – усилитель разности двух сигналов;  $УДЧ$  – управляемый делитель частоты;  $СГА-1$  – синхронно-гармонический анализатор;  $АЦП1$ ,  $АЦП2$ ,  $АЦП3$ ,  $АЦП4$  – аналого-цифровые преобразователи;  $БР1$ ,  $БР2$ ,  $БР3$ ,  $БР4$  – буферные регистры;  $ТМ$  и  $СИР$  – таймер, и сигнал прерывания программы

роускорений, установленных на шпиндельной бабке и столе станка, предварительно усиленные, поступают на интеграторы, где дважды интегрируются и подаются на вход усилителя разности двух сигналов. На выходе последнего формируется сигнал относительных колебаний шпиндельная бабка – стол ( $y = y_1 - y_2$ ), который подается на вход синхронного гармонического анализатора спектра (СГА-1). На вход X СГА-1 подается сигнал силы резания, а на выходе формируются мгновенные значения коэффициентов разложения сигналов в ряд Фурье ( $a_x, v_x, a_y, v_y$ ), которые преобразуются аналого-цифровыми преобразователями АЦП и в цифровом виде записываются на буферных регистрах. Синхронный гармонический анализатор спектра позволяет анализировать сигналы в диапазоне частот от 1Гц до 1кГц. Частота анализа ( $K_A$ ) задается программно с помощью управляемого делителя частоты (УДЧ). Коэффициентом деления время передачи информации с буферных регистров в процессор ЭВМ задается таймером в диапазоне от 12 мкс до 0,8 с, передача производится по сигналу прерывания программы.

Преобразование сигналов и передача информации в процессор происходит синхронно по

всем каналам. Предусмотрена возможность передачи сигнала виброперемещений через АЦП в процессор, минуя блок синхронного гармонического анализатора спектра, для диагностирования по уровню колебаний. Дальнейшее преобразование информации производится программно в процессоре. При этом, на каждой частоте необходимо принять и обработать  $I$  оценок коэффициентов разложения в ряд Фурье  $a_{xi}, v_{xi}, a_{yi}, v_{yi}$  с шагом дискретизации по времени для обеспечения заданной точности динамической податливости. С целью дискретизации времени обработки, параметры процедуры фильтрации сигналов  $I$  и  $\Delta t$ , рассчитываются для каждой частоты  $f_k$  по методике изложенной ниже.

Мгновенные значения динамической податливости  $W_i$  определяются по коэффициентам разложения  $a_{xi}, b_{xi}, a_{yi}, b_{yi}$ . Затем определяются дисперсия  $\sigma_{W_j}$  распределения  $W_i$  и оценки динамической податливости  $W_f$  как математического ожидания ординат огибающей процесса. Алгоритм предусматривает также вычисление динамической податливости на частотах, близких к собственной и определение максимального значения  $W_k^{\max}$  в заданном диапазоне

не  $f_k \pm \Delta f_{k \max}$ . Максимальное значение динамической податливости  $W_k^{\max}$  сравнивается с допустимым (пороговым) значением  $W_k^d$ , значение которого производится с учетом доверительного интервала оценки  $W_j$  по случайному процессу. По результатам сравнения формируется вектор диагностических признаков  $\{ДП^W\}$  и диагнозов. Кроме того, предусмотрены возможности определения отношений динамических податливостей на собственных частотах  $W_2/W_1$  и  $W_2/W_3$  и определения максимального отрицательного действительного значения податливости  $Re^{\max}$ .

При фрезеровании сложным является непосредственное определение составляющих силы резания по осям координат, и оценка изменения силы резания по мощности представляется приближенной. Поэтому более удобным представляется диагностирование НС станка по формам колебаний, определяемым в процессе резания на резонансных частотах. Примерная структурная схема устройства диагностирования представлена на рис. 2.

Предлагается следующая процедура диагностирования.

Сигналы виброперемещений от датчика опорной точки  $y_0$  и датчика, установленного в точке определения форм колебаний  $y_j$  поступают в блок СГА-1. Там определяются оценки разложения в ряд Фурье на заданной частоте

те,  $f_k; a_{Y_i}; v_{Y_i}; a_{X_0}; v_{X_0}$ , по которым программно определяется передаточная функция по перемещению на заданной частоте  $f_k$ :

$$H_J(f_k) = \frac{Y_J(f_k)}{Y_0(f_k)},$$

где  $Y_J(f_k)$  – амплитуда колебаний в точке  $J$  на частоте  $f_k$ ;

$Y_0(f_k)$  – амплитуда колебаний в опорной точке на этой же частоте.

Статистическая оценка  $H_J(f_k)$  может быть выполнена аналогично оценке динамической податливости: по дисперсии процесса на собственной частоте и по спектральной плотности на частоте доминирующего возмущения.

При диагностировании по этому методу необходимо иметь возмущение от сил резания близкое к неизменному, что достигается постоянством режимов обработки при опросе всех датчиков и при повторении процедуры.

Сравнение оценок  $H_J(f_k)$  с допустимыми значениями:  $H_J(f_k) < [H_J(f_k)]$  производится программно с учётом доверительного интервала.

При таком методе исключаются сложности, возникающие при оценке изменения сил резания по координатам, повышается достоверность диагноза, поскольку определяются относительные динамические перемещения каждого элемента НС. Однако увеличивается трудоёмкость проце-

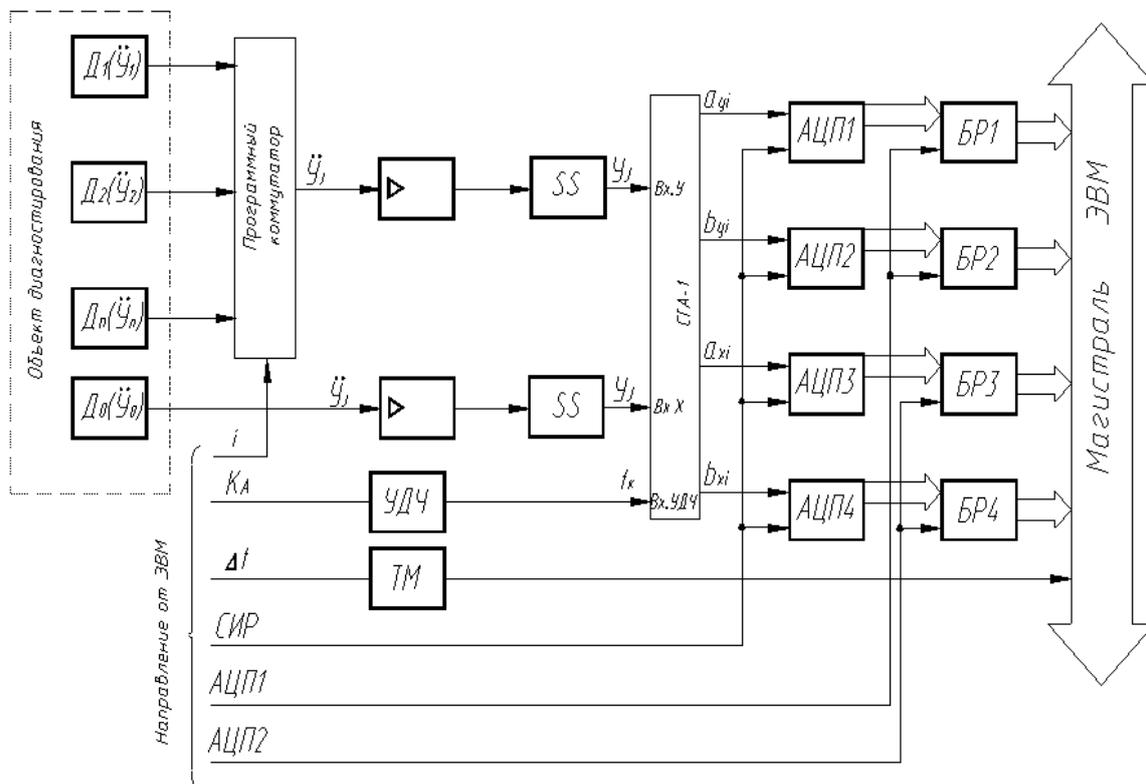


Рис. 2. Структурная схема устройства диагностирования несущей системы станка по формам колебаний

дуры диагностирования, количество первичных преобразователей виброперемещений, выдвигаются требования к постоянству технологических режимов и условий диагностирования.

При диагностировании НС станка по динамическим характеристикам, получаемым в режиме резания, возникает проблема спектрального анализа случайного полигармонического сигнала. Спектральный анализ осуществляется двумя способами: в аналоговом и цифровом виде. В аналоговом виде анализ производится либо узкополосными фильмами (постоянными или перестраивыми), либо последовательными гармоническими анализаторами. В цифровом виде анализ выполняется с использованием алгоритма быстрого преобразования Фурье, осуществляемого либо специальным процессором, либо универсальной вычислительной машиной. Каждый из этих способов имеет свои достоинства и недостатки: узкополосные фильтры просты и надежны, но не обладают универсальностью и гибкостью, перестраиваемые фильтры сложны и менее надежны; гармонические анализаторы последовательного действия имеют ограниченное быстродействие и значительные погрешности анализа. В связи с повышением быстродействия и объема оперативной памяти современных микропроцессорных устройств и микроЭВМ, наиболее перспективным представляется программный способ анализа.

В качестве примера рассмотрим практическое использование динамических характеристик НС станка, определяемых в режиме резания.

Выше рассматривалась возможность диагностирования элементов НС станка, в частности состояния направляющих, стыков неподвижных соединений, по величинам динамической податливости на собственных частотах.

Следующая задача: определение максимальных (по виброустойчивости) технологических возможностей станка; диагностика элементов станка по виброустойчивости. В ходе ее решения рассматриваются максимальные технологические возможности станка (предельная глубина резания или подача) для различных режущих инструментов; определяются запрещенные сочетания частот вращения шпинделя и числа зубьев фрезы из условия минимальной виброустойчивости.

Примерная методика испытаний:

1. В соответствии с методикой ЭНИМС [1] определяются экспериментально комплекты АФЧХ НС во всем рабочем пространстве станка, а также АФЧХ главного привода (система шпинделя).

2. АФЧХ главного привода суммируется с АФЧХ НС.

3. По заданным числу зубьев фрезы, геометрии режущей части, ширине фрезерования, варианту резания, материалу инструмента и заго-

товки рассчитывается динамическая характеристика процесса резания.

4. По характеристикам процесса резания и суммарной АФЧХ упругой системы рассчитываются АФЧХ разомкнутой системы “станок – процесс резания” при глубине резания  $t = 1 \text{ мм}$ .

5. По АФЧХ разомкнутой системы определяются предельные глубины резания  $t_{пред}$  для заданного варианта резания; полученные значения запоминаются в памяти ЭВМ.

6. Эксперимент и расчёт повторяются для всех заданных точек рабочего пространства станка.

7. По полученным значениям  $t_{пред}$  строятся таблицы и графики виброустойчивости станка для резания заданным инструментом при различных режимах обработки.

8. Определяются сочетания чисел зубьев фрезы и частот вращения шпинделя, для которых  $t_{пред} = \min$  и на основании полученных данных составляются таблицы запрещённых частот вращения и чисел зубьев. Составляются эталонные АФЧХ для проведения приёмочных испытаний и разрабатываются упрощения программы сравнения фактических характеристик проверяемых станков с эталонными.

9. При значительном отклонении АФЧХ станка от эталонной характеристики возможно диагностирование дефектов элементов упругой системы станка.

Так, например, малый запас устойчивости системы по критерию Найквиста свидетельствует с большой долей вероятности о наличии дефекта в передней опоре шпинделя. Для уточнения диагностических признаков здесь необходимы дополнительные исследования.

Возможно, диагностирование состояния режущего инструмента по величине динамической податливости на потенциально неустойчивой частоте, однако для разработки методики необходимы дополнительные исследования.

Перспективным представляется диагностирование элементов НС станка по формам колебаний, определяемым в режиме резания.

Динамическая характеристика станка определялась для следующих режимов резания: частота вра-

щения фрезы  $n = 63 - 80 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$ , подача

$S = 60 \frac{\text{мм}}{\text{мин}}$  и глубина  $t = 6 \text{ мм}$  фрезерования;

диаметр, число зубьев, ширина фрезы  $D_{фр} = 250 \text{ мм}$ ,  $Z = 4$  и  $B = 25 \dots 55 \text{ мм}$  соответственно; материал обрабатываемой заготовки – сталь 45 (ГОСТ 1050-88). На дисплее системы индентифицировались значения динамической податливости для каждой резонансной частоты ( $W_1, W_2, W_3$ ), соответствующие на действитель-

ные значения действительной части АФЧХ ( $Re_1, Re_2, Re_3$ ) и значения отношений  $W_2/W_1$  и  $W_2/W_3$ .

Результаты замеров сравнивались с данными “ручного счёта” динамической характеристики исследуемого станка модели 6560МФЗ по программе ЭНИМС на ЭВМ. Запись информации для расчёта о колебаниях станка и флуктуациях силы резания производилась на промежуточный носитель информации (фотобумагу) для аналогичных условий резания. В процессе испытаний для получения информации о флуктуациях силы резания была проанализирована возможность использования двух датчиков: динамометрического столика и датчика тока двигателя главного движения.

Анализ результатов показал, что с динамометрическим столиком стабильность получаемой информации находилась в пределах 10 - 15%.

При использовании датчика тока стабильность получаемой информации ухудшалась для отношения  $W_2/W_1$  до 25%, а для отношения  $W_2/W_3$  до 60%. Сравнение результатов, полученных системой и по результатам “ручного счёта” показало их удовлетворительное совпадение, – расхождение не превысило 12%.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методика испытаний станков в производственных условиях, определение исходных данных для расчета несущих систем станков на основе обработки результатов производственных испытаний станков методами статистической динамики. – М.: ЭНИМС, 1977.
2. Горшков Б.М., Кабардин А.Ф., Токарев Д.Г. Один из методов построения синхронного анализатора Фурье / Тез. докл. обл. науч.-техн. конф. “Автоматизация и комплексная механизация технологических процессов”. – Сызрань, Сызр. фил. КПИИ, 1987. – С. 49.

## METHODIC OF DIAGNOSTICS AND CALCULATION OF CHARACTERISTICS OF PARTS OF METAL-CUTTING MACHINES

© 2009 B.M. Gorshkov<sup>1</sup>, O.I. Drachov<sup>1</sup>, A.I. Tuitshev<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Togliatti State University

<sup>2</sup>Togliatti State University of Service

Methodic of automating diagnostics and calculation of bearing systems metal-cutting machine have been developed taking to account it dynamic characteristics. Algorithms and structures of technical means of diagnostics have been suggested. Comparison of calculative and experimental data shows good data correlation.

Key words: diagnostics, calculation, characteristics, machine parts, metal-cutting machine.

---

*Boris Gorshkov, Doctor of Technics, Professor.*

*E-mail: office@tltso.ru.*

*Oleg Drachov, Doctor of Technics, Professor, Professor.*

*E-mail: O.Drachev@tltso.ru.*

*Aleksey Tuitshev, Doctor of Technics, Professor, Head of the Department. E-mail: kaf\_ies@tolgas.ru.*