

УДК 621.9

О.С.Кроль, доц., канд. техн. наук,

А.А.Кроль, ассистент,

Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля

кв. Молодежный, 20-а, г. Луганск, Украина, 91034

krolos@yandex.ru

РАСЧЕТ ПОДАТЛИВОСТИ СТАНКА СФ68ВФ4 И МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ

Используется инструментарий спектрального анализа и быстрого преобразования Фурье в задачах исследования формообразующих узлов станка по критерию виброустойчивости.

Ключевые слова: баланс податливости, форма колебаний, полигармонический сигнал, алгоритм быстрого преобразования Фурье

Увеличение производительности и эффективности процессов механической обработки связано с повышением динамической устойчивости металлорежущих станков. Анализ баланса податливости и форм колебаний основных узлов станков фрезерно-сверлильно-расточной группы показал, что наиболее интенсивными колебаниями характеризуются основные формообразующие узлы: шпиндель - оправка - инструмент и стол - заготовка. Такие операции с прерывистым резанием как фрезерование характеризуются большим диапазоном силовых воздействий, возникающим в процессе обработки, включая вероятностную составляющую в виде совокупности динамических гармоник.

В работах по исследованию и проектированию фрезерных станков [1,2] спектральные составляющие зачастую не учитывались при построении моделей динамики упругих систем станков. В настоящее время практически весь анализ случайных процессов при резании осуществляется численными методами и, в частности, с использованием аппарата спектрального анализа и алгоритмов быстрого преобразования Фурье [3]. Эффективность этой процедуры предопределяется использованием модуля Signal Processing, входящего в математическую среду MatLab.

В данной статье ставится задача вычисления баланса податливости упругой системы станка СФ68ВФ4 и моделирования функционирования системы при входных сигналах полигармонического типа.

В общем случае упругая система широкоуниверсального станка фрезерно-сверлильно-расточной группы модели СФ68ВФ4 может быть представлена в виде линейной системы со многими степенями свободы. Система включает некоторое количество сосредоточенных и распределенных элементов, обладающих соответствующими инерционными, упругими и диссипативными характеристиками.

Во время предварительных экспериментов на базовой модели СФ68ВФ4 получены: перемещение инструмента и заготовки, установленной на поворотном столе под действием веса узлов и силами $P_{x,y,z}$. При этом была учтена самая неблагоприятная схема расположения узлов несущей системы станка (рис.1) — шпиндель в самом крайнем положении; стол с заготовкой в самом нижнем положении.

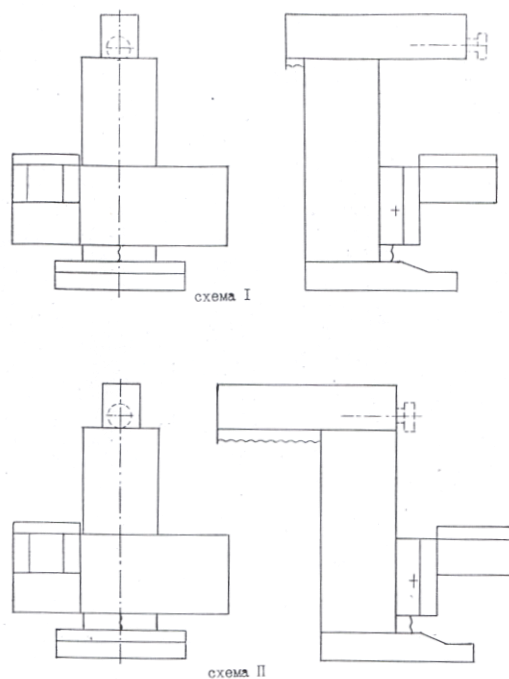


Рис.1. Компоновки станка СФ68ВФ4

Для оценки влияния параметров упругой системы на уровень динамической податливости необходимо построение форм колебаний на тех собственных частотах, которые характеризуются относительно высоким уровнем колебаний инструмента и заготовки. Анализ экспериментальных амплитудно-частотных характеристик показал, что наибольший интерес представляют низкочастотные колебания f_i (Гц) :

$$f_i = \{ 16,5; 20,2; 24,6; 28,6; 44,2 \}.$$

На указанных частотах были рассчитаны формы колебаний несущей системы, численные значения которых для инструмента и заготовки приведены в табл.1.

Таблица 1

Узловые перемещения

Узел	Направление	Собственные частоты, Гц					
		16,5	20,2	24,6	28,6	40,9	44,2
Режущий инструмент	X	-0,02	-0,021	0,032	0,0063	-0,0015	0,04
	Z	-0,013	-0,018	-0,016	0,028	0,0034	0,02
	Y	-0,012	-0,027	-0,03	-0,0036	-0,001	0,012
	Fx	$-0,26 \cdot 10^{-5}$	$0,48 \cdot 10^{-5}$	$0,11 \cdot 10^{-4}$	$-0,34 \cdot 10^{-4}$	$-0,2 \cdot 10^{-6}$	$-0,22 \cdot 10^{-4}$
	Fz	$-0,14 \cdot 10^{-4}$	$-0,35 \cdot 10^{-4}$	$0,54 \cdot 10^{-4}$	$-0,53 \cdot 10^{-5}$	$-0,32 \cdot 10^{-6}$	$0,27 \cdot 10^{-4}$
	Fy	$0,21 \cdot 10^{-4}$	$0,13 \cdot 10^{-4}$	$0,79 \cdot 10^{-6}$	$0,19 \cdot 10^{-4}$	$-0,61 \cdot 10^{-7}$	$-0,72 \cdot 10^{-4}$
Заготовка	X	0,17	-0,031	-0,035	$0,57 \cdot 10^{-3}$	$-0,14 \cdot 10^{-4}$	0,047
	Z	0,065	-0,1	-0,04	-0,021	$-0,63 \cdot 10^{-4}$	0,046
	Y	0,037	-0,11	-0,034	0,036	$-0,1 \cdot 10^{-3}$	0,053
	Fx	$-0,64 \cdot 10^{-5}$	$0,78 \cdot 10^{-4}$	$0,23 \cdot 10^{-4}$	$0,15 \cdot 10^{-4}$	$-0,23 \cdot 10^{-6}$	$-0,96 \cdot 10^{-4}$
	Fz	$-0,1 \cdot 10^{-3}$	$-0,12 \cdot 10^{-3}$	$0,42 \cdot 10^{-4}$	$-0,56 \cdot 10^{-4}$	$-0,2 \cdot 10^{-6}$	$-0,18 \cdot 10^{-4}$
	Fy	$0,14 \cdot 10^{-3}$	$-0,89 \cdot 10^{-4}$	$0,41 \cdot 10^{-4}$	$-0,51 \cdot 10^{-4}$	$-0,65 \cdot 10^{-6}$	$-0,29 \cdot 10^{-4}$

В данной таблице указаны численные значения линейных перемещений по осям X,Y,Z (мм) и угловых перемещений относительно осей Fx, Fy, Fz (мкм/мм).

На рис.2 графически представлены формы колебаний на частотах 20,2 и 28,6 Гц, характеризующихся интенсивными перемещениями шпиндельной бабки в плоскости YOZ и стола с заготовкой в плоскости XOZ. При этом фиксировались упругие деформации при наиболее неблагоприятной схеме расположения узлов станка (рис.1, схема 1) и следующем варианте нагружения:

$$P_{zI} = -164,0 \text{ Н}; \quad P_{yI} = P_{xI} = 164,0 \text{ Н (приложены на конце шпинделя).}$$

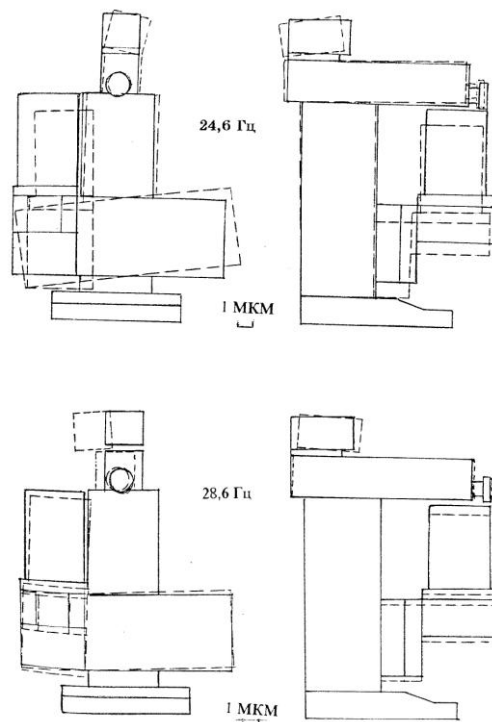


Рис.2. Формы колебаний станка СФ68ВФ4

Использование программного метода испытаний [2] с возможностью наложения динамической составляющей на статическое значение силы позволяет воспроизводить большой диапазон силовых воздействий возникающий в процессе обработки. Сила резания P состоит из постоянной (статической) составляющей P_0 и совокупности динамических гармоник с амплитудой P_i и частотой ω_i :

$$P = P_0 + \sum_i P_i \sin \omega_i t.$$

В большинстве случаев динамическая составляющая воспроизводится в виде простого синусоидального процесса, хотя при резании изменение сил во времени имеет сложный характер. Для представления структуры зависимости $P_i=f(t)$ необходимо оценить дисперсию и математическое ожидание сигнала, предназначенного для измерения силы резания. Кроме того, при осуществлении спектрального анализа, учитывается случайная составляющая типа “белый шум” и др [3].

Рассмотрим динамические характеристики внешних случайных воздействий $P_i(t)$ на первых двух частотах $\{f_1=20 \text{ Гц}; f_2=28 \text{ Гц}\}$, задавая при этом следующие параметры:

1) интервал и дискретность временной оси:

$$t = 0 : 0,001 : 0,6 ;$$

2) зависимость $P_i=f(t)$ в виде полигармонического сигнала:

$$P_i = P_1 \sin \omega_1 t + P_2 \sin \omega_2 t ,$$

где P_1 и P_2 - амплитуды гармонических колебаний.

Частоты ω_1 и ω_2 могут быть заданы через некоторую частоту ω так, что $\omega_1 = 5 \cdot \omega$; $\omega_2 = 7 \cdot \omega$ и сумма будет периодической функцией с периодом $2\pi/\omega = \pi/2$.

Форма сигнала, содержащая частоты 20 Гц и 28 Гц:

$$P_i(t) = 246 \sin (2\pi \cdot 20t) + 109 \sin(2\pi \cdot 28t) ;$$

3) случайной составляющей типа “белый шум” с помощью команды “rand(‘normal’)”[4] с нулевым средним и “единичной дисперсией”;

4) объединенного сигнала, полученного путем наложения случайной составляющей на статическую:

$$y_i(t) = P_i + 2 \text{ rand} (t) ;$$

5) спектральной плотности $P_{yy}(i\omega)$:

$$P_{yy}(i\omega) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{\bar{y}_i(i\omega) \cdot \bar{y}_i^*(i\omega)}{2T} ,$$

где $\bar{y}_i(i\omega) = \bar{y}_i^*(-i\omega)$ - комплексно-сопряженные функции, представляющие преобразование Фурье для функции $y_i(t)$.

Для графической интерпретации случайной функции и идентификации частотных компонент воспользуемся дискретным преобразованием Фурье, которое дает выражение линейного спектра дискретной периодической функции.

При числе отсчетов $N=256$ (256-точечное быстрое преобразование Фурье (БПФ)) реализовать БПФ сигнала $y_i(t)$ можно с помощью Matlab-команды fft:

$$y = \text{fft} (y_i(t), 256)$$

6) первых 128 точек (другие 128 точек симметричны) энергетического спектра $P_{yy}(i\omega)$, представленных графически на оси частот с помощью команд:

$$f = 1000 \cdot (0:127)/256;$$

$$\text{plot} (f, P_{yy}(i\omega)(1:128)).$$

На рис.3,а представлен график случайной функции $P_i(t)$ представляющий собой суперпозицию полезного синусоидального сигнала и “белого шума” с нормальным распределением. Как правило, из-за высокого уровня шумов нельзя применить частотный и другие методы исследований, вместе с тем такого рода задача может быть решена на основе функций симметричной плотности [3]. На рис.3,б представлен график спектральной плотности $S_p(i\omega)$, для которого уменьшение эффекта наложения частот и искажение спектра достигается за счет сокращения шага дискретизации и фильтрации шумовых высокочастотных составляющих.

Графическое представление деформаций упругих звеньев фрезено-сверлильно-расточных станков позволяет более четко ориентироваться на первой стадии расчетов и следовательно повысить качество окончательных расчетов. Учет случайных составляющих входных сигналов системы делает процедуру моделирования более эффективной и позволяет определить картину динамического взаимодействия в широком диапазоне входных характеристик

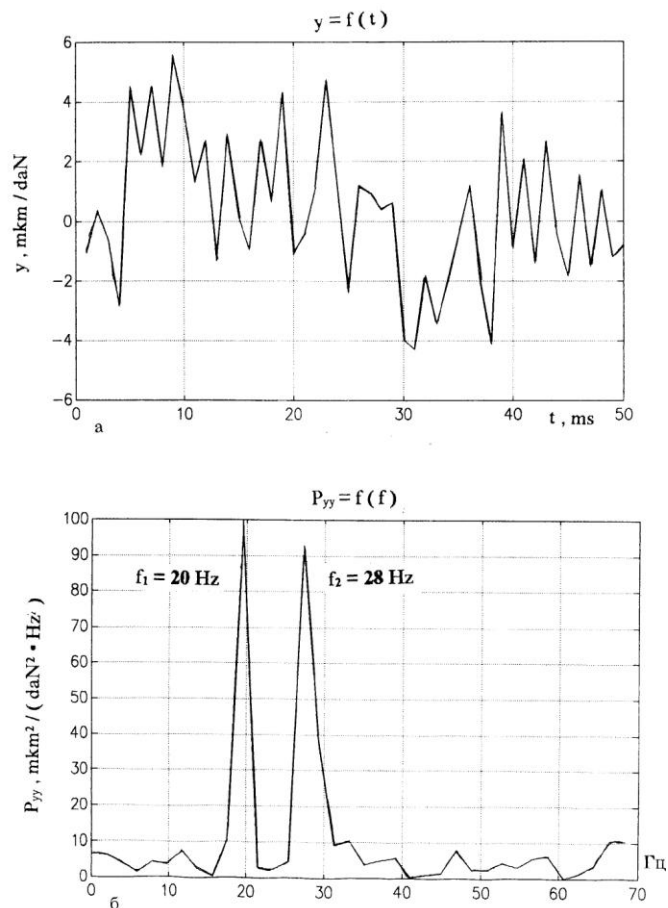


Рис.3. Спектральные характеристики входного параметра системы

Библиографический список

1. Металлорежущие станки: Учебник для машиностроительных вузов/Под ред. В.Э. Пуша. - М.: Машиностроение, 1985.- 575 с.
2. Проектирование металлорежущих станков и станочных систем. Справ очник-учебник в 3-х т. Т.2. Ч.1. Расчет и конструирование узлов и элементов станков/А.С.Проников и др.- М: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана: Машиностроение, 1995.-371с.
3. Бендат Дж., Пирсол А. Прикладной анализ случайных данных. – М.: Мир, 1989. – 540 с.
4. Лазарев Ю. Моделирование процессов и систем в MATLAB. – СПб.: Питер; Киев: Издательская группа BHV, 2005.- 512 с.

Krol O.S., Krol A.A. Calculation to compliance tool SF68VF4 and modeling of shaping's dynamics

Spectral analysis and quick transformation Fourier in problem of the study shaping unit tool on criterion vibration-resistant are used.

KeyWords: balance to compliance; form of the vibrations; polyharmonic signal; algorithm of the quick transformation Fourier.

Кроль О.С., Кроль А.А. Розрахунок підатливості верстата СФ68ВФ4 і моделювання динаміки формоутворення

Використовується інструментарій спектрального аналізу й швидкого перетворення Фур'є в завданнях дослідження формоутворних вузлів верстата за критерієм вібростійкості.

Ключові слова: баланс підатливості, форма коливань, полігармонійний сигнал, алгоритм швидкого перетворення Фур'є