

# **Приводы и системы управления технологическими машинами и оборудованием**

**Руководитель программы д.т.н., проф. Ванин В. А.**

***Гребенников В. Н.***

## **ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ СТАНКА ПРИ РЕЗАНИИ НА СТАДИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

*Работа выполнена под руководством к.т.н., доц. Фидарова В. Х.*

*ГГТУ, Кафедра «Технология машиностроения,  
металлорежущие станки и инструменты»*

Повышение требований к точности размеров и формы деталей, обрабатываемых на металлорежущих станках, появление новых труднообрабатываемых материалов, а также широкое внедрение автоматизации технологических процессов, повлекшее за собой создание станков с автоматическими системами управления и регулирования, вызвало резкое увеличение роли динамических процессов в станках.

Повышение динамических качеств металлорежущих станков по виброустойчивости является актуальной задачей. Проблема создания станка, удовлетворяющего заданным требованиям к точности и производительности, связана с его динамическими качествами, от которых зависят границы области устойчивого резания.

Воздействия на упругую систему сил резания изменяют относительное положение инструмента и обрабатываемой заготовки, что ухудшает точность обрабатываемой детали. Потеря системой устойчивости выражается в появлении, относительных колебаний заготовки и инструмента, в неравномерном, скачкообразном перемещении узлов. Поэтому очень важно обеспечить условия работы станка без вибраций для получения деталей с минимальными погрешностями размеров и формы.

На стадии проектирования можно оценить устойчивость станка путем исследования его динамической модели.

Динамическая система станка образуется совокупностью упругой системы (УС) и рабочих процессов при их взаимодействии. УС состоит

из станка, приспособления, инструмента, детали. Наиболее типичными рабочими процессами являются процесс резания, процесс трения и процессы в двигателе.

Пренебрегая обратным воздействием упругой системы на рабочие процессы, в практике часто рассматривают только воздействие рабочих процессов на упругую систему. В этом случае силы являются внешними по отношению к системе. На рис. 1, а представлена условная схема рабочих процессов. Упругой системе и каждому рабочему процессу как источнику воздействия на схеме соответствует отдельный прямоугольник. Силовое воздействие и вызванные им деформации показаны стрелками. Периодические силы инерции неуравновешенных вращающихся деталей и узлов показаны символом  $f(t)$ .

В действительности УС оказывает обратные воздействия на резание, трение и процессы в двигателе, что принципиально меняет характер динамических явлений в станках. На рис. 1, б приведена схема динамической системы, на которой в дополнение к предыдущей схеме обратное воздействие упругой системы показано стрелками  $y_1, y_2, y_3$ .

В соответствии с этим система может быть замкнутая (рис. 1,б) и разомкнутая (рис. 1,а).

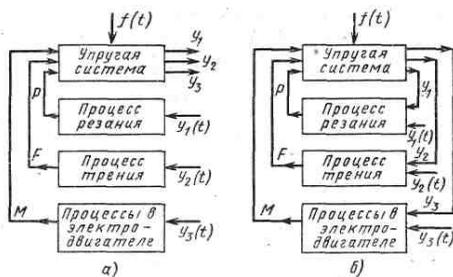


Рис. 1. Схемы динамической системы

Решение одной из главных задач – виброустойчивости (устойчивости) станка возможно путем исследования динамических характеристик элементов системы и всей системы в целом. Они позволяют определить условия возникновения или отсутствия автоколебаний в зависимости от конструктивных и технологических параметров.

Для анализа ДС станка, часто используют частотные динамические характеристики. Их физический смысл и способ получения удобно пояснить на примере временной характеристики (рис. 2,а), которая показывает изменение во времени  $t$  параметра  $X$  входной 1 и выходной 2 координат при постоянной частоте. Наличие таких характеристик для всего диапазона рабочих частот  $\omega$  позволяет построить частотные характеристики.

Различают:

амплитудную частотную характеристику (АЧХ) (рис. 2, б)

$$A(\omega) = f(\omega) = A_{\text{вых}} / A_{\text{вх}} \quad (1)$$

фазовую частотную характеристику (ФЧХ) (рис. 2, в)

$$\varphi(\omega) = \varphi_{\text{вых}} - \varphi_{\text{вх}} \quad (2)$$

и амплитудно-фазовую частотную характеристику (АФЧХ), которая совмещает две первых (рис. 2, г).

Значения  $A_{\text{вх}}$ ,  $A_{\text{вых}}$  и  $\varphi_{\text{вх}}$ ,  $\varphi_{\text{вых}}$  берутся по рис. 2, а.

Используется АФЧХ, как некоторая обобщенная характеристика для оценки устойчивости станков, обозначая ее через  $W(i\omega)$ . Символы в скобках — мнимая единица  $i$  и круговая частота  $\omega$  — свидетельствует о том, что характеристика частотная динамическая.

АФЧХ является комплексной величиной и строится на комплексной плоскости с действительной  $Re$  и мнимой  $Im$  осями:

$$W(i\omega) = Re + i Im \quad (3)$$

Каждому значению частоты  $\omega_1$  соответствует свой модуль (амплитуда)  $A_1$  и аргумент (разность фаз)  $\varphi_1$

$$A_1 = \sqrt{Re^2 + Im^2}; \quad tg \varphi_1 = \frac{Im}{Re}; \quad (4)$$

через которые также можно выразить динамическую характеристику (рис. 2, г)

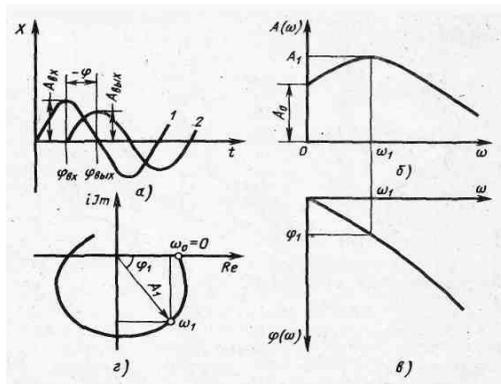


Рис. 2. Временная (а) и частотная (б - г) характеристики ДС

$$W(i\omega) = A_1 (\cos \varphi_1 + i \cdot \sin \varphi_1), \quad (5)$$

Смещение по фазе  $\varphi$  (разность фаз) принимают отрицательным и откладывают по часовой стрелке, если выходная координата отстает от входной, что наиболее характерно для металлорежущих станков.

Для оценки устойчивости ДС, в том числе станков, получили применение различные критерии, которые позволяют определять устойчивость системы по некоторым признакам, без решения уравнений. При исследовании динамики станков чаще всего используются критерий Найквиста, позволяющий оценивать устойчивость замкнутой системы по характеристике разомкнутой системы и использовать экспериментальные АФЧХ, что особенно важно при исследовании таких сложных ДС, как металлорежущие станки.

В соответствии с критерием Найквиста необходимо и достаточно, чтобы АФЧХ разомкнутой системы  $W_{раз}$  (характеристика является безразмерной) не охватывала точку с координатой  $[-1, i0]$ , лежащую на вещественной оси. На рис. 3 показаны характеристики разомкнутой системы для устойчивой  $a$  и неустойчивой  $b$  замкнутых систем.

Условие устойчивости ДС можно записать через отрезок  $Re_{раз}^0$ , отсекаемый характеристикой на отрицательной вещественной оси:

$$Re_{раз}^0 < |1|$$

Запас устойчивости по амплитуде определяется как

$$(1 - Re^0) 100\% \quad (6)$$

Угол,  $\varphi$  образованный пересечением единичной окружности с АФЧХ, является запасом устойчивости по фазе и определяется как

$$\varphi_1 = (180 - \varphi)$$

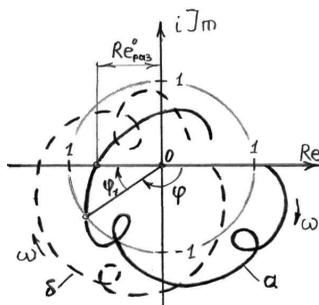


Рис. 3. Амплитудно-фазовые частотные характеристики (АФЧХ) разомкнутой системы

Таким образом, на стадии проектирования оценить устойчивость работы станка можно, исследуя динамическую модель УС станка частотными методами, в частности, применив критерий Найквиста.

### Список литературы

1. Металлорежущие станки / Под ред. Н.С. Ачеркана. – М.: Машиностроение, 1965.
2. Колев Н.С., Красниченко Л.В., Никулин Н.С. Металлорежущие станки – М.: Машиностроение, 1980.
3. Металлорежущие станки и автоматы /Под ред. А.С. Проникова. – М.: Машиностроение, 1981.
4. Кудинов В.А. Динамика станков – М.: Машиностроение, 1967.