

АЛГОРИТМЫ АНИМАЦИИ ФРИКЦИОННЫХ АВТОКОЛЕБАНИЙ ПРИВОДОВ ПОДАЧИ СТАНКОВ

Кудин В.В., Астахов Э.И., Кудин М.В.

The algorithm of animation of frictional auto-oscillations presented at a translational motion of a support of cutting machines, parameters of auto-oscillations are defined, the alternative of laboratory operation on examination of these oscillations is offered.

При обработке деталей динамическая система станка включает упругую систему станок–приспособление–инструмент–деталь, процессы в самой упругой системе, в механизмах (динамические, в том числе тепловые, электрические и др.) и рабочие процессы резания, трения, процессы приводов и т.д. (Рис. 1)

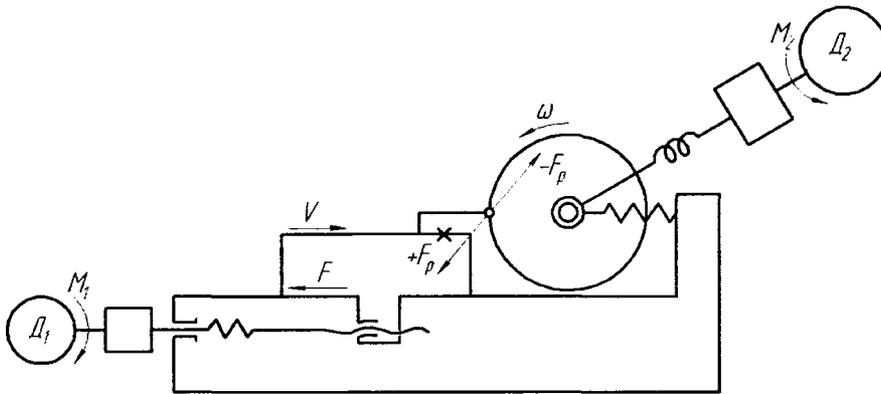


Рис. 1

На рис. 1 представлена простейшая схема станка, на которой воздействия на упругую систему процессов, происходящих в двигателях приводов, процессов трения суппорта и резания обозначены соответственно M_1 , M_2 , F и F_p [1].

Наличие трения (F) при поступательном перемещении суппорта со скоростью (V) может вызвать самовозбуждающиеся фрикционные автоколебания без периодических внешних воздействий.

В отличие от вынужденных или параметрических колебаний автоколебания возникают в системах при отсутствии внешнего периодического воздействия. Кроме того, необходимо наличие источника энергии и механизма, благодаря которому энергия этого источника превращается в колебательную энергию [2].

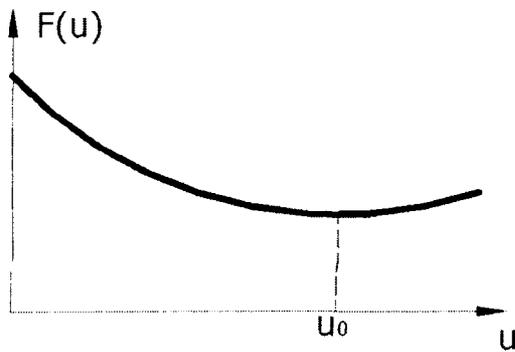


Рис.2

Фрикционные колебания представляют собой простейший пример автоколебаний в системе с одной степенью свободы.

Дифференциальное уравнение движения суппорта массой m имеет вид

$$m\ddot{x} + cx - F(U) = 0, \quad (1)$$

где $F(U)$ – сила трения, вид которой описывается графиком, изображенным на рис. 2.

Если $\left(\frac{dF}{dU}\right)_{U=v} > 0$, т.е. характеристика при данной скорости возрастающая, то по-

ложение статического равновесия $x = x_0 = F(V)/C$

является устойчивым по отношению к малым возмущениям. В противном случае положение равновесия неустойчиво.

Таким образом, при характеристике трения, изображенной на рис. 2, положение статического равновесия устойчиво.

Если сила трения сохраняет при скольжении величину постоянную, но меньшую, чем сила трения покоя, то возникают автоколебания. Такой случай характерен при резании металлов резцом на металлорежущих станках (токарных, строгальных), а также при поступательном перемещении суппорта по направляющим станины.

Рассмотрим алгоритм автоколебательного процесса, схема которого изображена на рис. 3.

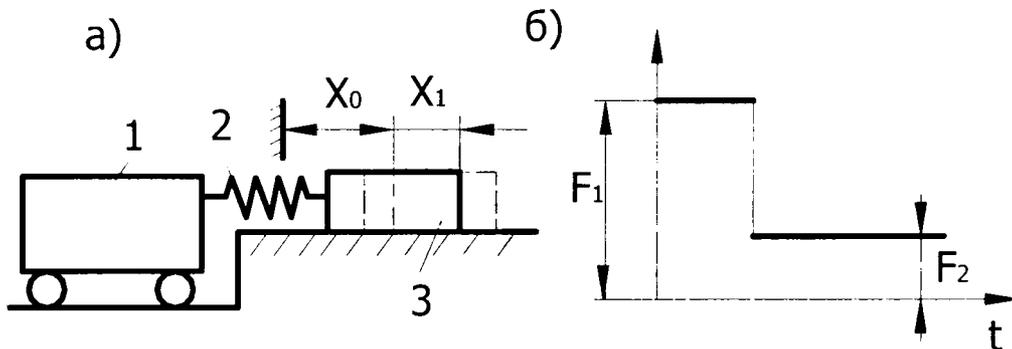


Рис. 3

Звено 1 движется с постоянной скоростью V_0 . Между суппортом 3 и плоскостью развивается сила сухого трения, характеристика которого изображена на рис. 3б, что схематически отражает известное из экспериментов различие между предельной силой трения покоя F_1 и силой трения движения F_2 (при этом $F_1 > F_2$).

Обозначим: $v_0 = \text{const}$ – скорость ведущего звена; m – масса ведомого звена 3; c – коэффициент жесткости пружины.

Частота собственных колебаний системы $K = \sqrt{c/m}$.

Очевидно, что если скорость звена 1 равна V_0 и мала, то любое малое препятствие может оказаться достаточным для остановки звена 3.

Рассмотрим дальнейшее состояние колебательной системы в горизонтальном направлении.

1-й этап. Ведущее звено 1, продолжая движение, будет сжимать пружину до тех пор, пока сила упругого сжатия сравняется с F_1 .

2-й этап. При $F_{\text{упр}} = F_1$ происходит срыв звена 3.

Приняв при $t = 0$ $x = 0$, $\dot{x} = 0$, получим уравнение движения ведомого звена 3:

$$\ddot{x} + \kappa^2 x = \kappa^2 \cdot v_0 \cdot t = \frac{F_1 - F_2}{m}. \quad (2)$$

Тогда перемещение звена 3 выражается зависимостью

$$x = v_0 t - \frac{v_0}{\kappa} \sin \kappa t + \frac{F_1 - F_2}{c} (1 - \cos \kappa t), \quad (3)$$

где первое слагаемое правой части выражает равномерное движение со скоростью v_0 , а два других – колебания звена 3.

В момент времени $t = t_1$ при $\dot{x} = 0$ наступает остановка ведомого звена 3, тогда

$$v_0(1 - \cos \kappa t_1) + \frac{\kappa(F_1 - F_2)}{c} \sin \kappa t_1 = 0. \quad (4)$$

Из уравнения (3) находим время t_1 :

$$t_1 = \frac{\pi + \operatorname{arctg} \left(\frac{-2\alpha}{1 - \alpha^2} \right)}{\kappa} \quad \text{при } \alpha = \frac{\kappa(F_1 - F_2)}{cV_0} > 1, \quad (5)$$

$$t_1 = \frac{\frac{3}{2}\pi + \operatorname{arctg} \left| \frac{-2\alpha}{1 - \alpha^2} \right|}{\kappa} \quad \text{при } \alpha < 1. \quad (6)$$

Путь, пройденный звеном 3 за время t_1 :

$$x_1 = v_0 t_1 - \frac{V_0}{\kappa} \sin \kappa t_1 + \frac{F_1 - F_2}{c} (1 - \cos \kappa t_1). \quad (7)$$

3-й этап. Звено 3 находится в покое на протяжении времени t_2 , при этом

$$t_2 = \frac{2(F_1 - F_2)}{cV_0}. \quad (8)$$

При $t = t_1 + t_2$ наступает новый срыв и цикл автоколебаний звена 3 повторяется.

Таким образом, период автоколебаний равен:

$$T = t_1 + t_2, \quad (9)$$

а частота, с которой совершается автоколебательный процесс, $\nu = 1/T$ (Гц).

Моделирование фрикционных автоколебаний осуществляется с помощью пакета программ LP8K на персональном компьютере [3].

После регистрации на экране монитора появляется приглашение для ввода исходных данных. После ввода исходных данных производится расчет частоты свободных колебаний, интервалов времени t_1 и t_2 и периода автоколебаний. Результаты расчетов выводятся на экран монитора. В нижней части экрана моделируется автоколебательный процесс в виде зависимости от времени на интервалах движения t_1 и покоя – t_2 . Одновременно используя мультипликацию на экране, воспроизводят движение звена 1, сжатие пружины 2 и покой либо движение звена 3. На этом же экране воспроизводится фазовая траектория $v(x)$ движения звена 3 (суппорта станка).

С целью исследования влияния скорости v_0 на автоколебательный процесс имеется возможность задать $v'_0 < v_0$ и $v''_0 > v_0$ и повторить моделирование фрикционных автоколебаний в полном объеме.

По окончании моделирования производится распечатка результатов исследования фрикционных автоколебаний при трех значениях скорости v_0 ведущего звена 1.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кудинов В.А., Динамика станков. – М.: Машиностроение, 1967.
2. Пановко Я.Г. Введение в теорию механических колебаний. – М.: Наука, 1980. – 272 с.
3. Колебания в машинах: лабораторные работы для студентов специальностей 1-36 01 01 и 1-36 01 03 / Сост.: Э.И. Астахов, В.В. Кудин, М.В. Кудин. – Мн.: БНТУ, 2005 – 95 с.