

УДК 621.941

Петраков Ю.В., докт. техн. наук, професор,
Сікайло М.О., аспірант
Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського»,
ypetrakov.86@gmail.com

СТАЛІСТЬ ПРОЦЕСУ ФРЕЗЕРУВАННЯ КІНЦЕВИМИ ФРЕЗАМИ

Будь-який процес різання супроводжується виникненням коливань, які приводять до погіршення шорсткості оброблюваної поверхні, передчасному зношуванню інструменту, навіть провокують його злам [1]. Дослідники динамічних явищ при різанні відзначають три основні причини виникнення коливань: нелінійні процеси різання і тертя, нелінійні зв'язки жорсткості технологічної обробної системи (ТОС) і оброблення за слідом [2]. Прогнозування вібрацій в ТОС при різанні є надзвичайно важливою задачею, яка може вирішуватись за математичною моделлю ТОС. Математична модель має урахувувати замкненість процесу різання в пружній технологічній системі та оброблення за слідом. Адекватність математичної моделі має забезпечуватись експериментально визначеними динамічними параметрами ТОС [3].

Головним збудженням є сила різання, яка при фрезеруванні кінцевими фрезами може бути визначена емпіричною залежністю:

$$F = C_p a^k B, \quad (1)$$

де a – товщина, B – ширина різання, C_p, k – емпіричні коефіцієнт і показник ступеня.

Відомо, що сила різання визначається двома складовими режиму різання: подачею f_t на зуб фрези і глибиною H різання. Така залежність є нелінійною і з достатньою точністю може бути лінеаризована, як функція від режиму різання:

$$F = k_f f_t + k_H H, \quad (2)$$

де $k_f = \left(\frac{\partial F}{\partial f_t} \right)_0$, $k_H = \left(\frac{\partial F}{\partial H} \right)_0$ – коефіцієнти лінеаризації.

Ураховуючи замкненість процесу різання та оброблення за слідом, процес фрезерування може бути представлений у вигляді структурної схеми за на рис.2.

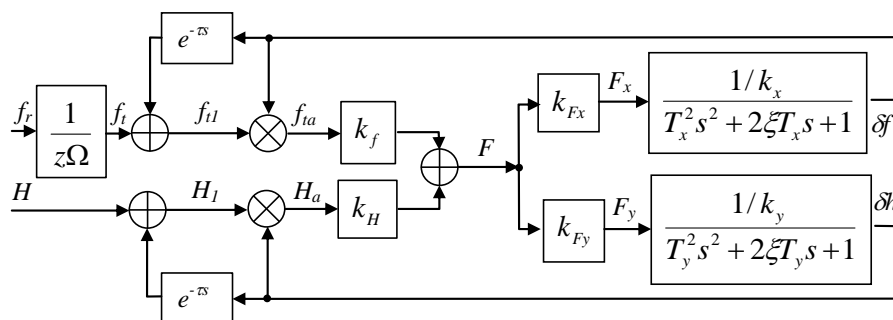


Рис. 1 – Структурна схема

На структурній схемі пружна технологічна система представлена як одномасова з двома ступенями вільності з жорсткостями k_x і k_y , періодами власних коливань T_x і T_y та коефіцієнтом демпфірування ξ . Оброблення за слідом представлено двома ланками запізнюючого аргументу $e^{-\tau s}$, де τ – час зрізування припуску між двома сусідніми зубами фрези. Тут і далі s – оператор Лапласа.

За такою схемою можна отримати математичну модель процесу, яка визначатиме як перебіг у часі, так і його частотні характеристики. Зі структурної схеми видно, що процес може характеризуватися чотирма передатними функціями:

$$W_1(s) = \frac{\delta f(s)}{f_r(s)}, W_2(s) = \frac{\delta f(s)}{H(s)}, W_3(s) = \frac{\delta h(s)}{f_r(s)}, W_4(s) = \frac{\delta h(s)}{H(s)}. \quad (3)$$

Для прогнозування сталості системи можна скористатися будь якою передатною функцією і провести моделювання у часовому чи частотному просторі. Для моделювання була розроблена прикладна програма, інтерфейс якої показаний на рис.2. Виконувалось моделювання передатної функції

$$W(s) = \frac{\delta h(s)}{h(s)} = \frac{T_{02}^2 s^2 + T_{12} s + k_2}{T_{03}^4 s^4 + T_{13}^3 s^3 + T_{23}^2 s^2 + T_{33} s + 1}, \quad (4)$$

де постійні часу визначались за вихідними даними зі структурної схеми за рівняннями руху системи. Оскільки рівняння руху є неінійними, четвертого порядку з включенням функції запізнюючого аргументу, інтегрування виконувалось чисельними методами за стандартною процедурою Рунге-Кутта 4-го порядку.

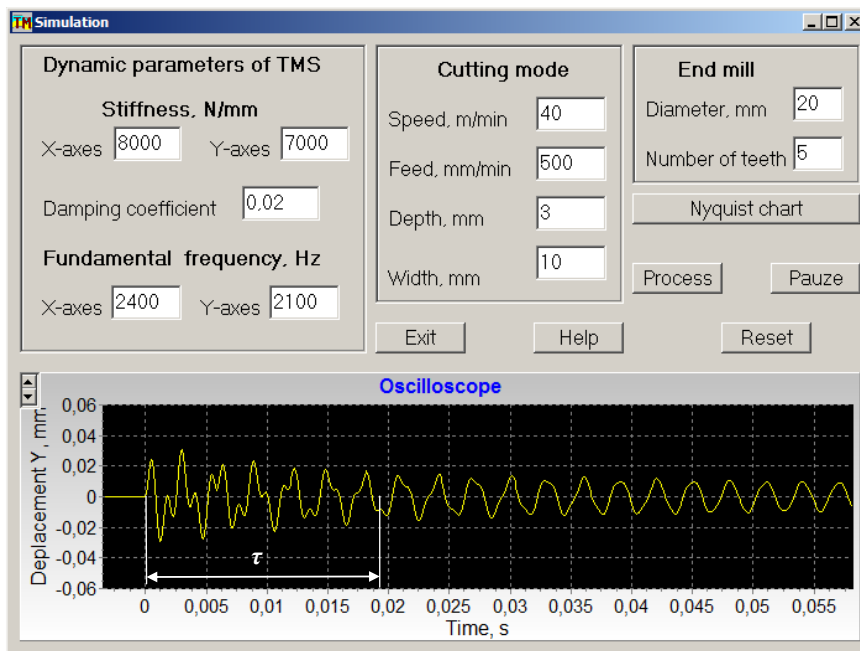


Рис. 2 – Інтерфейс програми моделювання

Для визначення деяких параметрів ТОС і процесу різання були використані процедури, засновані на натурних експериментах, що описані в роботі [4]. В графічному полі віртуального осцилографу можна спостерігати хід процесу у часі: залежність пружного переміщення в напрямку вісі Y (глибина H різання) від часу. Можна констатувати відновлення коливань системи після часу, що дорівнює запізненню при обробленні за слідом.

Таким чином, створений інструмент прогнозування сталості ТОС при фрезеруванні кінцевими фрезами, який дозволить правильно обирати режим різання при підготовці управляючої програми для верстату з ЧПК.

Список посилань

1. Altintas Y. Manufacturing automation: metal cutting mechanics, machine tool vibrations, and CNC design // Cambridge University Press, New York, NY 10013-2473, USA 2012, 366p.
2. Caixu YUE, Haining GAO, Xianli LIU, and all A review of chatter vibration research in milling // Chinese Journal of Aeronautics, 2019, 32(2): pp.215–242.
3. Petrakov Y.V. Chatter suppression technologies for metal cutting // Mechanics and Advanced Technologies #2 (86), 2019, pp.51-60.
4. Petrakov Y., Danylchenko M., Petryshyn A. Prediction of chatter stability in turning // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies #5/1 (101) 2019, pp.58-64.