

А. Ю. ГЕРАЩЕНКО, аспірант

Мелітопольський державний педагогічний університет імені Богдана Хмельницького,

М. Л. БАРАНОВСЬКА, канд. техн. наук, доц., О. В. ІЛЬЧЕНКО, канд. техн. наук, доц.,

В. В. РЯБЕЦЬ, магістрант

Криворізький національний університет

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ФРЕЗЕРУВАННЯ ЯК ОБ'ЄКТА З ДРОБОВО-ДИФЕРЕНЦІАЛЬНОЮ СКЛАДОВОЮ В МАТЕМАТИЧНОМУ ОПИСІ

Проблема підвищення якості та продуктивності металообробки завжди залишається актуальною у зв'язку зі зміною асортименту, матеріалів та зростанням складності форм деталей. Однією з основних операцій в сучасних фрезерних верстатах та оброблювальних центрах є фрезерування. Якість обробленої поверхні в значній мірі залежить від стабільності потужності фрезерування, яка, в свою чергу, залежить від швидкості та глибини різання, подачі, параметрів і матеріалів фрези та деталі. Динамічні показники визначаються пружними та непружними деформаціями тракту «верстат-фреза-деталь».

При стабілізації потужності різання вагомий вплив на динамічні показники замкненого контуру мають степеневі залежності потужності від глибини та подачі. Як наслідок, в рішеннях диференціальних рівнянь такого типу замість експоненціальних та гармонічних складових з'являються степеневі залежності або нескінченні ряди. Саме тригонометричні функції стають окремим випадком таких загальних рішень.

Для синтезу замкненої системи керування необхідно знайти найбільш близький математичний опис такого об'єкту так, щоб існувала можливість аналітичного синтезу регуляторів.

Одним з можливих підходів до рішення такої задачі є використання диференціальних рівнянь дробового порядку. Поняття дробових похідних та інтегралів введено математиками ще у 18-му сторіччі для усунення розривів порядку цих операцій. У перетворенні Лапласа це відповідає додаванню довільного ступеню до оператора p , який може бути не тільки дробовим, а й комплексним і від'ємним числом [1]. Останній випадок видаляє розриви між операціями диференціювання та інтегрування і дозволяє записувати рівняння в однаковій формі незалежно від типу операції. Необхідно звернути увагу на те, що перехідні процеси дробових апериодичних ланок мають характерну рису – стрімкий початок і затягнуте закінчення відносно інерційної ланки 1-го порядку. Саме такі ознаки мають і перехідні процеси потужності фрезерування на початку врізання фрези в деталь або при зміні глибини та швидкості фрезерування.

У роботі вперше запропоновано опис процесу фрезерування диференціальним рівнянням дробового порядку, у якому окремі складові мають однакову дробову частину похідних. Це дозволило застосувати швидкий матричний метод визначення коефіцієнтів рівняння, що задовольняють критерію мінімуму середньоквадратичної помилки, та отримати моделі дробового порядку, які у 3–4 рази точніші за моделі цілого порядку. Крім того, у таких моделях відсутня коливальна складова, що з'являється у моделях цілого порядку вище другого. Візуальна оцінка також показує, що графіки розрахованих перехідних процесів значно точніше відображають як початкову частину процесів, так і область усталеного режиму. Враховуючи, що операції дробової похідної та дробового інтегралу являються лінійними розширеннями тих самих операцій цілого порядку, то до отриманих моделей може бути використано будь-які лінійні перетворення: Лапласа, Фур'є та ін., а також відповідні методи аналізу та синтезу замкнених систем автоматичного керування з заданими показниками якості, наприклад, логарифмічні частотні амплітудні та фазові характеристики [2]. На підставі частотного аналізу отриманих моделей з'ясовано прямий зв'язок між дискретністю цифрового фільтра та резонансами на логарифмічній амплітудно-частотній характеристиці (ЛАЧХ), логарифмічній фазо-частотній характеристиці (ЛФЧХ), що дозволило обмежити доцільний порядок моделей та визначити крок дискретизації фільтра – 0,001...0,002 с.

Список літератури

1. Busher V., Zakharhenko V., Shestaka A., Kuznetsov V., Kuznetsov V., Nader S. Optimization of the control of electromagnetic brakes in the stand for tuning internal combustion engines using ID regulators of fractional order. *Energies*. 2022. Vol. 15, No. 24. Art. 9378. DOI: <https://doi.org/10.3390/en15249378>
2. Tytiuk V., Chorny O., Baranovskaya M., Serhiienko S., Zachepa I., Tsvirkun L., Kuznetsov V., Tryputen N. Synthesis of a fractional-order PID μ -controller for a closed system of switched reluctance motor control. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. Vol. 2, No. 2 (98). P. 35–42. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.160946>