

УДК 621.9.62

Ю. Б. Капаціла, канд. техн. наук, доцент, Т. Ю. Бабій, О. В. Іванюк
(Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна)

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ АДАПТИВНИХ МЕТОДІВ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСАМИ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ

Y. B. Kapatsila, Ph. D, T. Babii, O. Ivaniuk

RESEARCH AND ANALYSIS OF ADAPTIVE METHODS FOR MANAGING MACHINING PROCESSES

Важливим завданням сучасного виробництва є автоматизація технологічних процесів на основі широкого використання металорізальних верстатів з ЧПК. Одним з шляхів підвищення ефективності роботи такого обладнання є створення адаптивних систем керування процесом оброблення, які отримують поточну інформацію про стан процесу різання та здійснюють відповідний керуючий вплив.

Однією з найважливіших характеристик середовища обробки є його зміна з часом. Приблизно 98 % енергії, що подається на верстат, перетворюється на теплову енергію в процесі різання. Теплова енергія, яка виділяється внаслідок тертя на інструменті, поверхні заготовки і стружки, в процесі різання виступає джерелом енергії в системі, впливаючи на фізичні властивості інструменту та робочого матеріалу. В більшості операцій різання сам робочий матеріал є джерелом змін через свій гетерогенний хімічний склад. Це викликає зміну твердості матеріалу та/або міцності, що може спричинити поломку або, принаймні, надмірне зношення інструменту. Іншим джерелом зміни умов обробки є розмір деталі. Діаметр заготовки може змінюватися в залежності від довжини, тому необхідно виконувати безперервне регулювання. Зношення інструменту також викликає велику кількість змін в процесі обробки, зокрема змінюються сили різання та енергоспоживання, а глибина різання зменшується від початкового значення. Ще одна зміна, яку потрібно враховувати, це зменшення діаметра заготовки та, як наслідок, її жорсткості, яка також є важливим критерієм стабільності системи.

Стратегія, обрана для керування системою обробки, повинна працювати в обраному системному середовищі, а також задовольняти вимоги до продуктивності системи. Методи відкритого та замкнутого циклу є найбільш розповсюдженими методами керування в позиційних та сервосистемах.

При управлінні з відкритим контуром вхід системи пов'язаний з виходом деякою функцією підсилення або передачі. Система із замкнутим контуром використовує сигнал зворотного зв'язку з виходу, який порівнюється з опорним входом для генерації сигналу, пропорційного різниці між входом і виходом. Потім цей сигнал зв'язується з виходом передаточною функцією. Обладнання з числовим керуванням зазвичай використовує цей принцип для керування положенням.

В системі, де зв'язок вхід-вихід відомий і фіксований, керування з відкритим контуром є задовільним. Коли співвідношення змінюється в часі, використовується замкнутий цикл керування. Якщо відома функціональна залежність від часу, замкнену систему можна математично перетворити на розімкнену за допомогою регулятора. Оптимальне вхідне значення системи є відомим і постійним (або, якщо воно змінюється в часі, зв'язок відомий), так що можна безпосередньо або за допомогою контролера отримати оптимальне вихідне значення. В процесі обробки системне середовище постійно змінюється, і тому оптимальні вхідні значення також постійно змінюються. Система змінюється не лише як функція часу, але як і функція

температури, властивостей матеріалу тощо. Ці функції зазвичай невідомі та часто є випадковими, як у випадку зон в заготовці, твердість яких відрізняється від решти матеріалу. Протягом багатьох років вибір частоти обертання шпинделя та швидкості переміщення інструменту визначався емпірично, на основі поєднання досвіду та довідкових даних. Однак у стохастичному середовищі не можна очікувати, що ці методи дадуть оптимальні результати. Таким чином, необхідна така методика контролю, яка діє в середовищі, що змінюється в часі, зміни якого не можна передбачити, і який компенсує зміни навколишнього середовища шляхом моніторингу власної реакції для досягнення оптимальної продуктивності.

Принципом управління, яка потенційно пропонує вирішення цієї проблеми, є адаптивне керування. В цій базовій схемі управління вимірюється деяка змінна процесу, наприклад крутний момент, температура різання або температура інструменту, і використовується для регулювання частоти обертання шпинделя або швидкості подачі в процесі обробки. Сигнали від змінних процесу та вхідних команд надсилаються до адаптивного контролера, який обчислює загальну продуктивність системи. Оптимальне значення продуктивності постійно визначається за допомогою відповідної техніки оптимізації, результатом якої є нові оптимальні значення для входів керування, частоти обертання шпинделя та швидкості подачі. Тоді контролер функціонує, постійно адаптуючись до змін у характеристиках інструменту та робочого матеріалу шляхом регулювання частоти обертання та подачі для підтримки оптимальної продуктивності.

Після визначення проблеми, ідентифікації типу середовища та вибору методики керування, проблема зводиться до пошуку взаємозв'язків, які регулюють форму передатних функцій кожного з блоків системи керування. Експериментальні та емпіричні дані щодо динаміки різання, взаємозв'язки інструмент-термін служби, термодинаміка інструменту, фізичні характеристики матеріалу повинні бути систематизовані та досліджені для отримання необхідної інформації. Крім організаційних проблем, в системному проектуванні існують інші невирішені питання, які можна умовно розділити на дві групи. Перша з них стосується датчиків, а саме прийняття рішення про те, яку зі змінних вимірювати, тобто необхідно визначити, яка зі змінних процесу найкраще вказує на системний критерій, який потрібно виміряти. В одному випадку температура вершини інструмента може дати найкращий результат, тоді як в іншому випадку будуть найбільш корисними зусилля різання на інструменті. Якщо зношення інструменту є критерієм ефективності, потрібно вимірювати температуру інструменту в деякій віддаленій точці на інструменті, оскільки останні дослідження показали певну залежність між температурою інструменту та зношенням інструменту, особливо кратерним зношенням. Проте на даний час немає ефективних засобів, які дозволяють однозначно пов'язати такі показники, як температура, якість обробки поверхні та зношення інструменту в практичній діяльності.

Друга група питань стосується вибору методики контролю. Методи оптимізації, які зараз найчастіше використовуються, реалізуються двома основними методами: методом проб і помилок і градієнтним. Незважаючи на те, що ці методи (та їх варіації) дуже розвинені, обмеження, накладені через відсутність доступних датчиків, обмежують їх застосування для вирішення проблем обробки. Існуючі методи оптимізації базуються на поступових змінах швидкості або подачі, які діють як невеликі крокові змінні поточних значень керуючих вхідних даних. Такі змінні обмежуються за своїм розміром і часовим інтервалом між ними, швидкістю і точністю устаткування, яке використовується. В дуже динамічному процесі, наприклад, при високошвидкісній обробці, затримка між вимірюваннями або розмір кроку можуть бути занадто великими, щоб врахувати всі процеси, які швидко змінюються, що спричиняє неефективність оптимізації та робить систему нестабільною.