

ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОБЪЕКТАМИ И СИСТЕМАМИ

УДК 62-52:621.9.06

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ШВИДКОДІЇ АЛГОРИТМІВ КЕРУВАННЯ У СИСТЕМІ ОПТИМІЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕТАЛООБРОБКИ

Водічев В.А.

Постановка задачі. В умовах нестачі енергетичних ресурсів одним з головних завдань технічної політики стає розробка заходів енергозбереження. Ефективним шляхом скорочення витрат енергії при здійсненні різних технологічних процесів є застосування енергозберігаючих систем автоматизації. Для технологічного процесу силового шліфування на плоскошліфувальних верстатах з круглим столом і вертикальним шпинделем залежність показника, який характеризує енергетичну ефективність процесу обробки від швидкості робочого руху подачі, має екстремальний характер, причому розташування екстремуму змінюється під впливом збурень, що змінюються випадково [1]. Оскільки розташування екстремуму цільової функції до початку обробки встановити точно не можливо і, враховуючи, що це положення може змінюватись як при зміні матеріалу і площі оброблюваних заготовок так і під час обробки однієї заготовки, для забезпечення режиму обробки оптимального за мінімальним енергоспоживанням на одиницю об'єму знятого металу необхідно використовувати систему управління пошукового типу [1, 2]. Ефективність використання такої системи залежатиме від тривалості процесу пошуку екстремуму цільової функції під час обробки на верстаті.

Аналіз досліджень і публікацій. У системах оптимізації процесів металообробки використовується алгоритм керування електроприводом подачі на основі крокового методу пошуку екстремуму цільової функції з поєднаними випробувальними і робочими кроками [2]. Розроблено також спосіб керування, який передбачає створення математичної моделі процесу обробки на основі випробувальних дій шляхом зміни швидкості подачі з послідовним пошуком екстремуму цільової функції методом дихотомії з використанням отриманої моделі [1].

Виділення невирішених частин проблеми. Від тривалості пошуку екстремуму цільової функції при використанні різних алгоритмів керування робочим рухом верстата залежатиме кількість споживаної впродовж обробки енергії, а отже і енергетична ефективність процесу обробки на верстатах такого типу. Проте питанням оцінки цієї тривалості і визначенню найбільш швидкодіючого алгоритму керування в літературі уваги не приділено.

Метою роботи є розробка алгоритмів керування електроприводами подачі плоскошліфувальних верстатів з круглим столом і вертикальним шпинделем для оптимізації процесу обробки за критерієм енергетичної ефективності і на основі моделювання роботи системи керування визначення алгоритму, який забезпечує найменшу тривалість пошуку екстремуму цільової функції.

Викладення матеріалу дослідження. Склад і принцип роботи системи керування електроприводом вертикальної подачі плоскошліфувального верстата з круглим столом і вертикальним шпинделем, яка забезпечує оптимізацію процесу обробки за обраним критерієм, включаючи спосіб отримання інформації, що необхідна для розрахунку всіх показників ефективності обробки, докладно викладено у роботі [3]. Система побудована на основі пристрою числового програмного керування класу CNC чи PCNC. При оптимізації процесу обробки застосовується показник енергетичної ефективності

$$J_e = \frac{Q}{P}, \quad (1)$$

де Q - швидкість знімання металу, $\text{мм}^3/\text{хв}$; P – потужність обробки, кВт.

Значення величин Q і P залежать від швидкості подачі, а також від багатьох збурень, що діють у процесі обробки. Незалежно від методу пошуку екстремуму показника ефективності відносно швидкості подачі процес управління поділяється між програмами: диспетчером циклу обробки, яка виконується в фоновому режимі, і програмами основної задачі, які виконуються в режимі переривання. Перша програма відпрацьовує сигнали переривання, що формуються датчиком контролю контакту шліфувального круга з пристроєм правки ДКК. Вона забезпечує оптимізацію режиму обробки, розраховуючи швидкість подачі, що відповідає максимуму обраного показника ефективності, і формуючи відповідний сигнал задання швидкості електропривода подачі. Друга програма відпрацьовує сигнали переривання, які формуються таймером і забезпечує керування пересуванням пристрою правки КППП. Ця програма має більш високий пріоритет, ніж програма оптимізації режиму обробки, і надає для останньої інформацію про тривалість зняття кожного умовного шару металу.

Програма – диспетчер циклу обробки (рис.1) передбачає таку послідовність операцій. На початку процесу управління напрузі задання швидкості електропривода вертикальної подачі U_z надається значення $U_{зи}$, що відповідає прискореному переміщенню шліфувальної бабки з кругом до оброблюваної деталі, номер i шару металу, що знятий в процесі обробки, набуває нульового значення, а поточна висота оброблюваної заготовки L – початкового значення $L_{ноч}$ (блоки 1, 2). Після дозволу переривання програми (блок 3) перевіряється досягнення заготовкою заданої висоти оброблюваної деталі L_d (блок 4). При виконанні цієї умови відбувається маскування переривання за сигналом ДКК, вивід на електропривод подачі напруги задання $U_{зи}$, і перехід до програми керування чистовою обробкою ПКЧО (блоки 5– 7). Поки задана висота L_d не досягнута, забезпечується вивід поточного значення напруги задання U_z і перехід у режим очікування переривання (блоки 8–9).

При надходженні кожного сигналу переривання від ДКК відбувається перехід до програми оптимізації режиму обробки. Ця програма складається з двох частин, перша з яких (блоки 11-18) не залежить від обраного методу пошуку екстремуму. На початку (блок 11) управління передається програмі КППП (блок 12), яка, виконуючись за сигналами переривання від таймера, забезпечує пересування пристрою правки на черговий крок і повертає управління підпрограмі оптимізації режиму обробки. Далі проводиться опитування датчика пересування ДП шліфувальної бабки для визначення поточного значення координати X_i торцевої частини круга, опитується також датчик енергії A_i , яка споживана з мережі двигуном головного руху впродовж зняття поточного шару металу (блок 13). При надходженні першого сигналу переривання від ДКК ($i=0$ блок 14) сигнал задання швидкості подачі набуває початкового значення $U_{зи}$, яке відповідає першій швидкості робочої подачі (блок 15). Після розрахунку поточної висоти заготовки $L_0=L_{ноч}$ номер шару металу збільшується на одиницю, відбувається вихід з переривання і повернення до програми диспетчера циклу (блоки 16 – 18). По завершенні зняття першого шару металу ($i=1$ блок 14) надходить другий сигнал переривання від ДКК. І забезпечується перехід до другої частини програми, яка залежить від обраного методу пошуку екстремуму.

Застосування пошуку з поєднаними випробувальними і робочими кроками передбачає таку послідовність операцій (рис. 2). Розраховуються (блок 19) переміщення шліфувальної бабки ΔX_i і швидкість знімання металу Q за формулами, що наведені у [2], середня потужність обробки під час зняття поточного шару металу відповідно до виразу, що наведений у [3], поточне значення показника ефективності J_e - за формулою (1). Формування приросту сигналу задання швидкості подачі ΔU_{zi} для обробки наступного шару металу здійснюється на основі аналізу співвідношення значення J_{ei} на поточному кроці керу-

вання у порівнянні зі значенням на попередньому кроці J_{ei-1} (блоки 20, 21). Розраховане значення сигналу задання (блок 22) після перевірки його знаходження в припустимих межах (блоки 23, 24) надійде на вхід електропривода подачі.

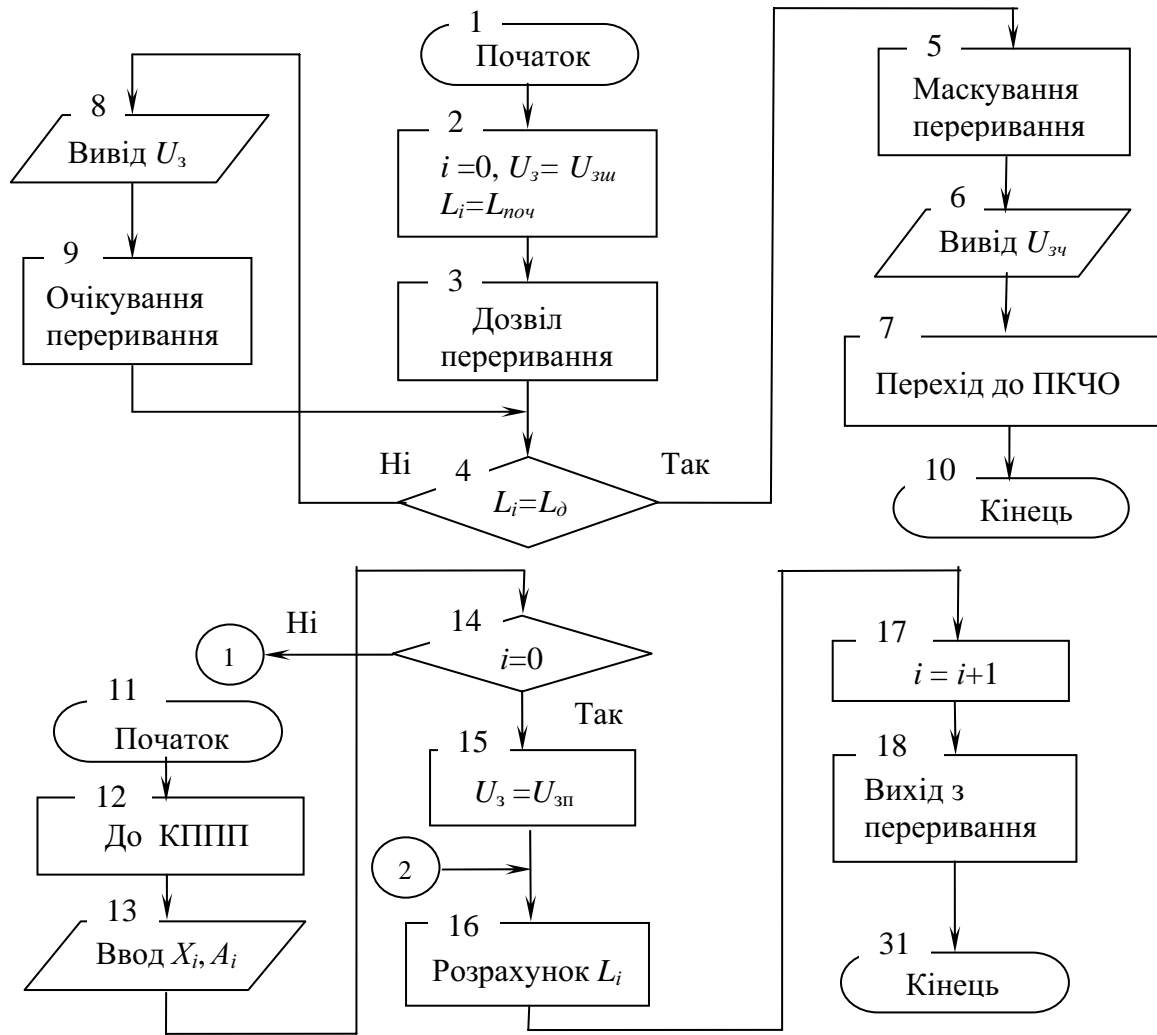


Рис. 1 Алгоритм керування електроприводами робочого і допоміжного рухів верстата у системі оптимізації процесу обробки

Застосування методу пошуку оптимального режиму шліфування зі створенням математичної моделі залежності $J_e(S)$ передбачає іншу послідовність операцій (рис.3). За формулами, що наведені у роботі [3], розраховуються переміщення ΔX_i і швидкість зносу S_{hi} шліфувального круга, а при завершенні зняття першого і другого шарів металу ($i=1$ блок 20, $i=2$ блок 23) - поточне значення оцінки періоду стійкості T_i шліфувального круга і середнє значення активної потужності двигуна головного руху P_{ci} впродовж зняття поточного шару металу (блоки 21, 24). Якщо знято перший шар металу ($i=1$ блок 20), значення сигналу задання U_3 збільшується на величину ΔU_3 , що відповідає швидкості подачі при знятті наступного шару (блок 22). Якщо знято другий шар металу ($i=2$, блок 23), то після розрахунків T_i, P_{ci} розв'язуються дві системи рівнянь (блок 25) і визначаються коефіцієнти і показники степеня C_T, C_p, x, y для створення залежності показника енергетичної ефективності, як функції швидкості подачі S (блок 26) [3]

$$J_e(S) = \frac{G \left(S - \frac{HS^x}{C_T} \right)}{C_p S^y}, \quad (2)$$

де G – площа оброблюваної поверхні, мм^2 ; H – максимальна висота зносу сегментів шліфувального круга, мм .

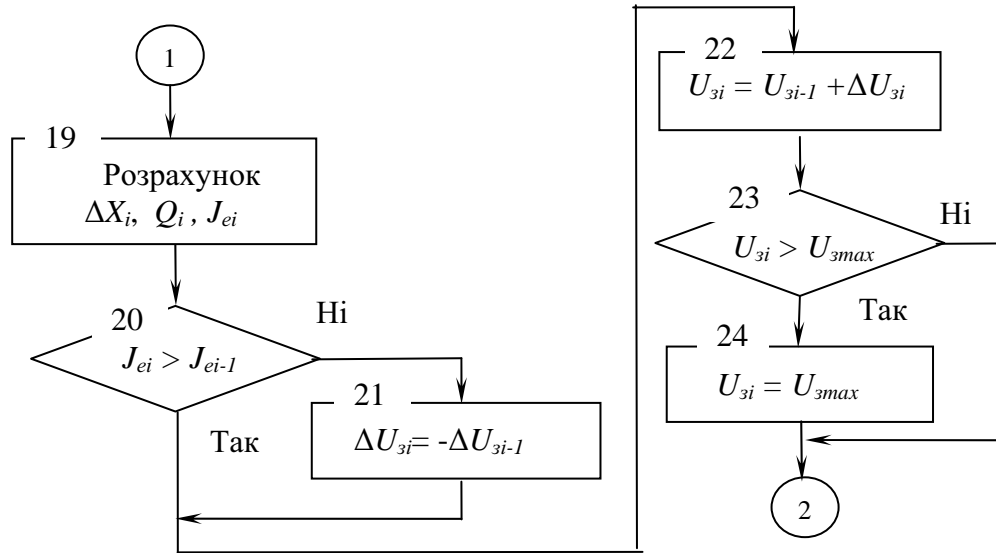


Рис. 2 Алгоритм керування швидкістю подачі для оптимізації процесу обробки з використанням методу крокового пошуку екстремуму

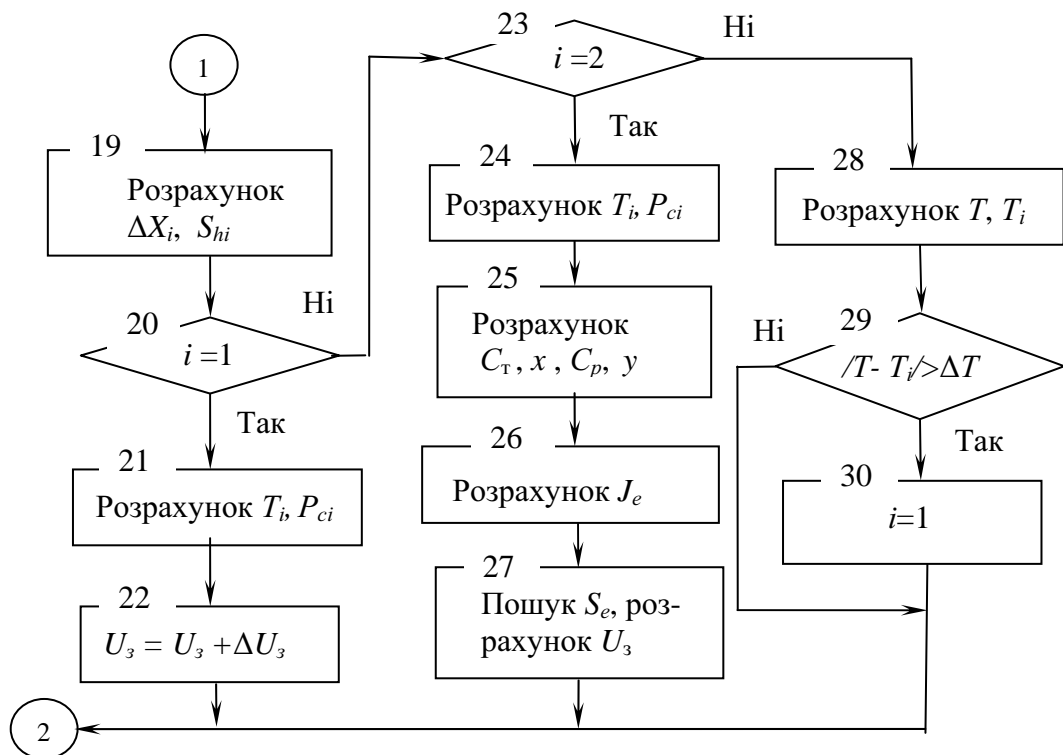


Рис. 3 Алгоритм керування швидкістю подачі для оптимізації процесу обробки зі створенням його математичної моделі

Для поиска экстремума функции $J_e(S)$ використовується чисельний метод дихотомії. У результаті пошуку визначається значення швидкості подачі S_e , що відповідає максимуму функції (2) і розраховується відповідний сигнал задання U_s швидкості електропривода подачі (блок 27).

При подальшій обробці зі швидкістю подачі S_e при знятті кожного шару металу ($i > 2$) проводиться розрахунок поточного значення оцінки періоду стійкості інструмента T_i і її прогнозованого значення T за створеною математичною моделлю (блок 28). Якщо розбіжність цих значень не перевищує заданий поріг ΔT (блок 29), то обробка продовжується зі швидкістю подачі S_e . Якщо розбіжність оцінок періодів стійкості перевищує величину ΔT , то номеру шару металу надається значення $i=1$ (блок 30). Це приводить до повтору випробувальних дій, розрахунку нової математичної моделі процесу і пошуку нового положення екстремуму показника ефективності (блоки 20 – 27).

Порівняння тривалості пошуку екстремуму показника J_e при застосуванні розглянутих вище алгоритмів проведено шляхом моделювання роботи системи, яка забезпечує керування електроприводом подачі верстата за цими алгоритмами. Результати дослідження системи на моделі, яка створена в середовищі Matlab-Simulink, подані у вигляді графіків залежностей показника енергетичної J_e ефективності процесу обробки і швидкості вертикальної подачі S від часу t (рис. 4).

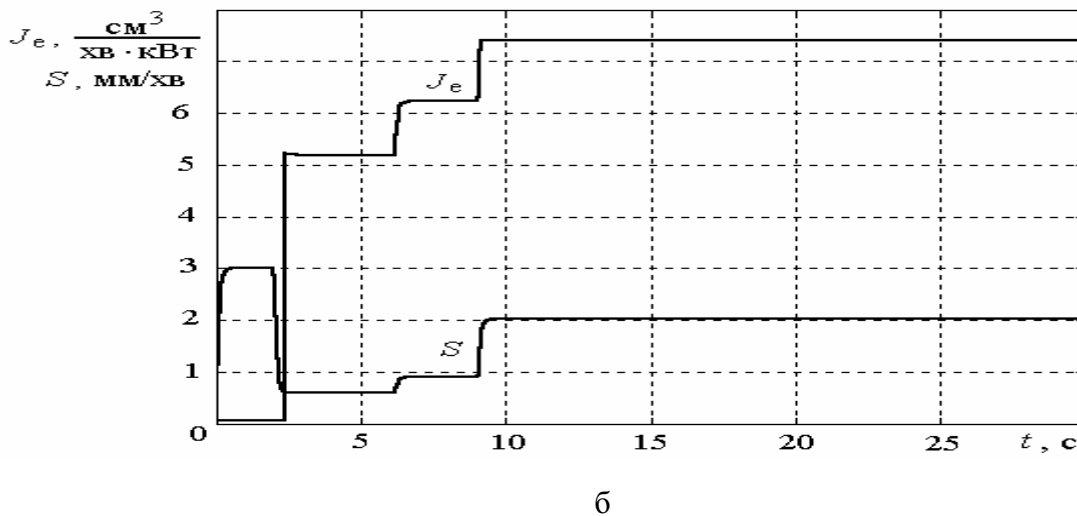
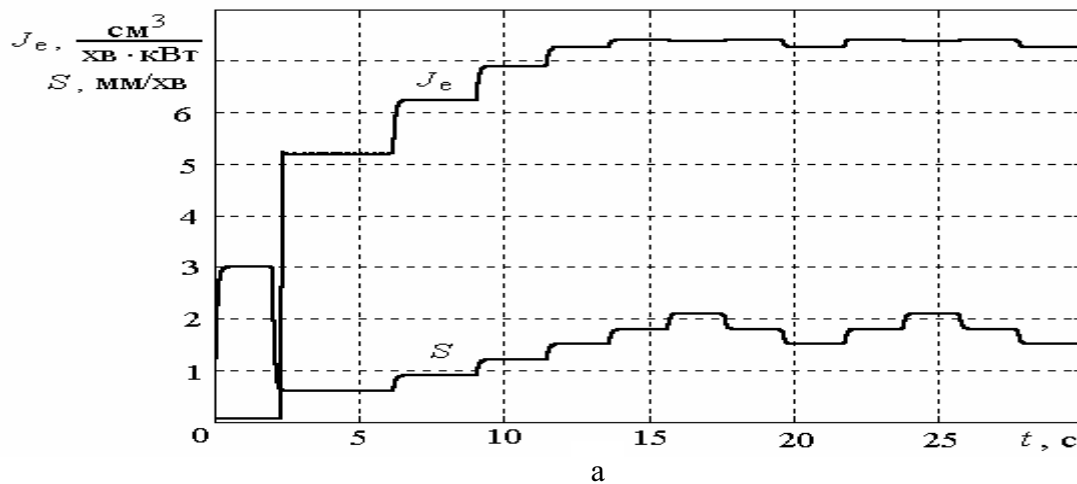


Рис. 4 Часові діаграми роботи системи оптимізації процесу обробки

Перед початком обробки шліфувальний круг підводиться до заготівки на підвище-

ній швидкості подачі 3 мм/хв (0-2с). Після цього починається процес пошуку швидкості подачі, яка відповідає максимуму показника J_e . У пошуковій системі, що використовує кроковий метод з поєднаними випробувальними і робочими кроками режим обробки, якому відповідає максимальне значення показника енергетичної ефективності, досягається через 12 с з початку обробки, а подальша обробка здійснюється при зміні швидкості подачі, що викликає втрати на нищення і не сприяє високій якості обробки (рис. 4, а). У системі, яка використовує метод керування зі створенням математичної моделі залежності $J_e(S)$ пошук екстремуму відбувається за два випробувальні кроки зі значеннями швидкості подачі 0,6 і 0,9 мм/хв. Тривалість пошуку оптимального режиму обробки становить 7,5 с, а подальша обробка здійснюється при постійній швидкості подачі доки положення екстремуму не зміниться під дією збурень (рис. 4, б).

Висновки. Проведене на моделі дослідження системи оптимального керування процесом силового шліфування засвідчило переваги алгоритму керування електроприводом подачі зі створенням на основі випробувальних дій математичної моделі залежності показника ефективності обробки від швидкості подачі у порівнянні з алгоритмом, що використовує кроковий метод пошуку з поєднаними випробувальними і робочими кроками. При однакових початковому значенні швидкості подачі і величині приросту цієї швидкості у випробувальних діях застосування у системі першого алгоритму керування забезпечує тривалість пошуку швидкості подачі, що відповідає екстремуму показника ефективності обробки, на 37% меншу, ніж при застосуванні другого алгоритму.

The comparative analysis of duration of search of value of feed speed corresponding to an extremum of a parameter of power efficiency in system of optimization of process of force grinding on rotary table vertical-spindle surface grinding machine tool is carried out. Results of research of a control system on mathematical model are presented.

1. Водічев В.А. Аналіз критеріїв оптимізації технологічного процесу металообробки // Труды Одесского политехнического университета. – Одесса. – 2003. – Вып. 1 (19). – С. 153-156.
2. Шапарев Н.К. Расчет автоматизированных электроприводов систем управления металлообработкой. – К.: Лыбидь, 1992. – 272 с.
3. Водічев В.А. Керування швидкістю подачі верстата при багатокритеріальній оптимізації процесу силового шліфування // Електромашинобудування та електрообладнання: Міжвід. наук.-техн. збірник. – К.: Техніка. – 2003. – Вип. 61. – С. 3-10.