
“АСАУ” – 19⁽³⁹⁾ 2011

УДК 519.7:004.93

М.М. Поліщук, О.А. Шкурченко, Д.М. Філіпов

ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ ФУНКЦІОНУВАННЯ СКЛАДНОЇ АГРЕГАТОВАНОЇ СИСТЕМИ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ

Анотація: Розглянуто функціонування складної агрегатованої системи механічної обробки деталей та моделювання його у вигляді трьохрівневої системи. Описано та обґрунтовано вибір методу циклічного покоординатного спуску, як методу оптимізації параметрів змодельованої системи механічної обробки деталей.

Ключові слова: оптимізація, механічна обробка, критерій оптимальності, параметр оптимізації, цільова функція, багаторівневий роботизований комплекс.

Вступ

Багаторівневий роботизований комплекс механічної обробки деталей являє собою одну з найважливіших частин виробничої системи. Оптимізація режимів функціонування складної агрегатованої системи механічної обробки деталей дуже важлива для будь-якого підприємства для збільшення ефективності роботи системи, що сприяє економії коштів та розвитку автоматизованого гнучкого виробництва.

Механічна обробка – обробка заготовки з різних матеріалів за допомогою механічної дії різної природи з метою створення за заданими формами і розмірами виробу або заготовки для подальших технологічних операцій. Розглянемо механічну обробку деталей на прикладі різання металу.

Аналіз і вибір показників оптимальності

Під оптимальними розуміють такі параметри, що забезпечують найкраще значення певного критерію, який характеризує ефективність роботи технологічного модуля при заданих обмеженнях. Таким критерієм оптимальності технологічних процесів механічної обробки є мінімум витрат часу її виконання.

Загальноприйнятими характеристиками ефективності металообробки різанням є точність, продуктивність, собівартість. До відповідних показників процесу, через які в різних умовах проявляється критерій оптимальності, відносяться гранична точність, максимальна продуктивність, мінімальна собівартість.

Задача оптимального управління процесом різання може бути розбита на два етапи: перший пов'язаний з обґрунтуванням вибору значень параметрів режиму різання, що задовольняє заданим критерієм якості, другий — передбачає управління режимами різання з метою підтримки оптимального значення показника критерію якості в умовах дії на процес збурюючих впливів.

© М.М. Поліщук, О.А. Шкурченко, Д.М. Філіпов, 2011

При виборі економічного варіанта режиму різання розрізняють повну C_n , заводську C_a , цехову C_c і технологічну C_m собівартості. Якщо з повної собівартості операції виключити позазаводські витрати і витрати на брак, що припадають на операцію, а також не враховувати незалежну від режимів різання частину штучно-калькуляційного часу, то умовно повна собівартість операції C_y може бути представлена у вигляді [3]

$$C_{y,n} = BCT^m + (I + B\tau_{cm})CT^{m-1}, \quad (1)$$

де, B – умовно повна собівартість 1 станко-хвилини без урахування інструментальної складової; T – період стійкості інструменту, I – витрати на інструмент, що припадають на період стійкості; $CT^m = \tau_o$ (τ_o – машинний час обробки).

Оптимальною за собівартістю буде та швидкість різання, при якій величина собівартості операції $C_{y,n}$ виявиться мінімальною [3]:

$$v_c = mC_m / [(1 - m)(\tau_{cm} + B/I)t^{x_v/m} S^{y_v/m}]^m = c_v / (T_{e.k}^m S^{y_v} t^{x_v}), \quad (2)$$

де, v – швидкість різання, t – глибина різання, S – подача, c_v – умови оброблюваності матеріалу.

Цьому значенню v_o відповідає величина стійкості інструменту [3].

$$T_c = (1/m - 1)(\tau_{cm} + B/I). \quad (3)$$

Таким чином, вираз (1) прагне до мінімуму при $v = v_c$, $T = T_c$.

Вище розглядалися методи визначення оптимальних величин параметрів v і T виходячи з припущення, що $S = const$ і $t = const$. Насправді всі параметри режимів різання v , S і t – змінні величини, що впливають на стійкість T , час обробки τ_o і час обслуговування $\tau_{об}$, а отже, на штучно-калькуляційний час і собівартість операції в цілому, тобто $C_{y,n} = f(v, S, t)$. Під впливом технічних обмежень і поточних умов обробки кожна з величин параметрів режиму різання може змінюватися, що призводить до появи різних сполучень v , S і t . Тому економічним завданням оптимальності процесу обробки є відшукування такого поєднання v , S і t , яке забезпечує виконання умов $T_c = const$, $C_{y,n} = const$.

Розглянемо узагальнену схему процесу різання [3]:

Де, ЗУ1 та ЗУ2 задаючи пристрої каналів відповідно подачі S та швидкості n , $W_{o.c1}$, $W_{o.c2}$, $W_{o.c3}$ та $W_{o.c4}$ – передавальні функції ланцюгів зворотних зв'язків, $f(t)$ – збурюючий вплив на процес різання, $K_{11} - K_{16}$ – передавальні функції об'єкта управління по керуючому впливу першого каналу, $K_{21} - K_{26}$ – передавальні функції об'єкта управління по керуючому впливу другого каналу, L_{11} , L_{12} , L_{21} та L_{22} – передавальні функції перехресних зв'язків у регуляторі, $E_1 - E_6$ – передавальні функції за збуренням. У залежності від характеру вирішуваних завдань і конкретного виду обробки узагальнена схема може спростуватися шляхом виключення несуттєвих зв'язків.

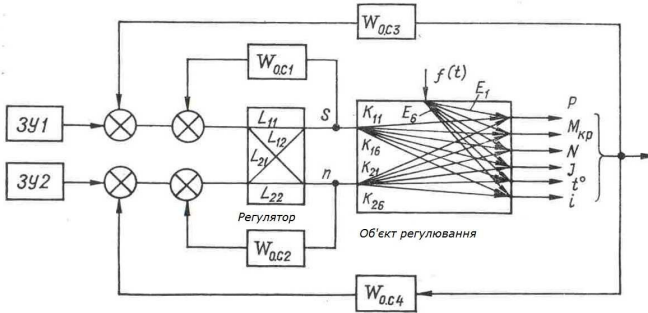


Рис. 1 – Узагальнена схема процесу різання

Постановка задачі

Потрібно побудувати математичну модель гнучкої роботизованої системи механічної обробки деталей. Вказану систему, в свою чергу, представимо у вигляді трьохрівневої структури механообробного комплексу.

В якості першого рівня приймаємо технічний процес механічної обробки, в якості другого – процес функціонування механообробних модулів, в якості третього – функціонування системи механічної обробки деталей.

Кожен з названих рівнів може бути описаний кількома цільовими функціями f_{ij} , що залежать від вектору параметрів \bar{X}_i із області допустимих значень D_i варійованих параметрів, де i – номер рівня ($i = \overline{1,3}$); j – порядковий номер цільової функції на i -му рівні. Таким чином, в загальному випадку на кожному рівні ми маємо векторний критерій оптимальності та векторну цільову функцію.

До критеріїв оптимальності першого рівня належить задача оптимізації машинного часу [1]:

$$\begin{aligned} T_m &= l/V_p \rightarrow \min \\ V_p &= \frac{C_v}{T^m t^{x_v} y_v} K_v \end{aligned} \quad (4)$$

де, T_m – машинний час лімітуючої операції, l – довжина оброблюваної поверхні, V_p – швидкість обробки, C_v – постійний коефіцієнт, що враховує вплив факторів, не відображених у функції, T – стійкість інструменту, t – глибина обробки, K_v – поправочний коефіцієнт, що враховує властивості оброблюваного матеріалу, x_v, y_v, m – показники ступеня, які характеризують вплив режимів обробки.

Друга цільова функція першого рівня – функція допоміжного часу [1]:

$$\begin{aligned} T_\theta &= L^{\lim}/V^{\lim} \rightarrow \min \\ \text{при } L^{\lim} &\in \{L^{\lim}\}; V^{\lim} \in \{V^{\lim}\}, \end{aligned} \quad (5)$$

де, L^{lim} – відстань переміщення деталі або інструмента на лімітуючій позиції, V^{lim} – значення швидкості переміщення деталі або інструмента на лімітуючій позиції.

Цільовими функціями другого рівня є циклова продуктивність та коефіцієнт технічного використання модулів механічної обробки, відповідно [2]:

$$Q_u = q / \left[k_{dis}(T_{on}^{\text{lim}} + \sum_{k=1}^q T_k) + qT_{\text{min}} \right] \rightarrow \max, \quad (6)$$

$$\eta_{TI} = 1 - \left\{ T_{on}^{\text{lim}}(T_{on}^{\text{lim}} / \sum_i \sum_j B_{ij} - 1) / (T_{\text{рем}} + T_{\text{обсл.}}) + 1 \right\}^{-1} \rightarrow \max \quad (7)$$

при $T_m \in \{T\}$; $T_{on}^{\text{lim}} = T_m + T_6$; $k_{dis} = \text{Const}$;
 $T_6 \in \{T\}$; $B_{ij} = \text{Const}$; $T_{\text{min}} = \text{Const}$

Цільовими функціями третього рівня є собівартість складання деталі і фактична продуктивність, відповідно [1]:

$$C = \{C_u(1 + 0,01a) + (\Pi / k_{cm} \Phi \eta_{TI})(T^{-1} + 0,01b)\} / m_p Q_u \rightarrow \min. \quad (8)$$

$$Q_\Phi = m_p \eta_{TI} Q_u \rightarrow \max;$$

при $Q_u \in \{Q\}$; $(C_u, \Pi, k_{cm}, \Phi, T, a, b, m_p) = \text{Const}$.

Розрахунок екстремальних значень критеріїв оптимальності кожного наступного рівня цієї системи здійснюється з урахуванням екстремальних значень критеріїв оптимальності кожного попереднього рівня.

Не дивлячись на різний смисловий зміст цільових функцій багаторівневої агрегатованої системи, всі вони з формальної точки зору зводяться до постановки однієї задачі: знайти значення змінних x_1, x_2, \dots, x_n , які спричиняють максимум (мінімум) заданої скалярної функції $f(x_1, \dots, x_n)$ при встановленій області допустимих значень D . Тобто виникає задача оптимізації скалярної функції, при заданих обмеженнях параметрів.

Отже, задачею є пошук екстремальних значень критеріїв оптимальності кожного рівня складальної системи, які обмежуються в технологічно обґрунтованих межах області варіювання факторів. Такі обмеження суттєво зменшують розміри допустимої області, в якій проводиться пошук оптимального. Проте це не спрощує процедуру пошуку екстремуму, а навпаки, ускладнює її, оскільки ряд методів оптимізації не можна використовувати при наявності обмежень.

Таким чином, клас досліджуваних методів повинен бути спрямований на знаходження умовного екстремуму.

Обґрунтування вибору методу оптимізації

Оптимізація повинна приводити до кінцевого результату з найменшими витратами на обчислення і давати можливість отримати найбільший об'єм інформації про шукане рішення.

Один з основних методів оптимізації – метод циклічного покоординатного спуску. Цей метод оптимізує функцію багатьох змінних, якою являється розглянута вище функція. В той же час не потребує великих витрат на обчислення та відносно легко програмується на ЕОМ.

Опишемо алгоритм методу циклічного покоординатного спуску.

Цей метод полягає в послідовній мінімізації цільової функції $f(x)$ за напрямками x_1 і x_2 .

Крок 1. Вибрати $x \in E_n$, критерій досягнення точності ε і крок $\alpha = 5\varepsilon$. Знайти $f(x_1^{(1)}, x_2^{(1)})$.

Крок 2. Прийняти $x_1^{(2)} = x_1^{(1)} + \alpha$. Визначити $f(x_1^{(2)}, x_2^{(1)})$. Порівняти отримане значення зі значенням початкової функції. Якщо $f(x_1^{(2)}, x_2^{(1)}) < f(x_1^{(1)}, x_2^{(1)})$, то перейти до кроку 6, якщо $f(x_1^{(2)}, x_2^{(1)}) > f(x_1^{(1)}, x_2^{(1)})$, то перейти до кроку 3.

Крок 3. Прийняти $x_1^{(2)} = x_1^{(1)} - \alpha$. Визначити $f(x_1^{(2)}, x_2^{(1)})$. Порівняти отримане значення зі значенням початкової функції. Якщо $f(x_1^{(2)}, x_2^{(1)}) < f(x_1^{(1)}, x_2^{(1)})$, то перейти до кроку 6, якщо $f(x_1^{(2)}, x_2^{(1)}) > f(x_1^{(1)}, x_2^{(1)})$, то перейти до кроку 4.

Крок 4. Прийняти $x_2^{(2)} = x_2^{(1)} + \alpha$. Визначити $f(x_1^{(1)}, x_2^{(2)})$. Порівняти отримане значення зі значенням початкової функції. Якщо $f(x_1^{(1)}, x_2^{(2)}) < f(x_1^{(1)}, x_2^{(1)})$, то перейти до кроку 6, якщо $f(x_1^{(1)}, x_2^{(2)}) > f(x_1^{(1)}, x_2^{(1)})$, то перейти до кроку 5.

Крок 5. Прийняти $x_2^{(2)} = x_2^{(1)} - \alpha$. Визначити $f(x_1^{(1)}, x_2^{(2)})$. Порівняти отримане значення зі значенням початкової функції. Якщо $f(x_1^{(1)}, x_2^{(2)}) < f(x_1^{(1)}, x_2^{(1)})$, то перейти до кроку 6, якщо $f(x_1^{(1)}, x_2^{(2)}) > f(x_1^{(1)}, x_2^{(1)})$, то прийняти вихідну точку за мінімум.

Крок 6. Перевірити умову досягнення точності $|f(x^{(n)}) - f(x^{(n+1)})| \leq \varepsilon$.

Якщо в процесі вирішення з кроком $\alpha = 5\varepsilon$ не отримано рішення, то прийняти $\alpha = \alpha/2$.

Програмно-розрахунковий модуль

У якості інструментарію вирішення задачі оптимізації був розроблений програмно-розрахунковий модуль для САПР процесів механічної обробки деталей. В даному модулі користувач може розрахувати оптимальні значення критеріїв трьохрівневої системи механічної обробки деталей за введеними технологічними та техніко-економічними параметрами. Також програмно-розрахунковий модуль дає змогу побачити графічний аналіз роботи методу оптимізації. Інтерфейс програмного модулю зображено на малюнках:

Висновки

Математичне моделювання системи механічної обробки деталей у вигляді трьохрівневої структури механообробного комплексу дало змогу оптимізувати параметри режимів механічної обробки. Для розглянутої

Оптимізація параметрів комплексу механічної обробки деталей

Година ставка оператора (грн/год)	<input type="text" value="6.80"/>	Відстань переміщення деталі (м)	<input type="text" value="0.4"/>	<input type="text" value="0.6"/>	<input type="text" value="0.5"/>	<input type="text" value="0.7"/>	<input type="text" value="0.3"/>		
Цехові накладні витрати (%)	<input type="text" value="25.00"/>	Швидкість переміщення деталі (м/хв)	<input type="text" value="10"/>	<input type="text" value="14"/>	<input type="text" value="16"/>	<input type="text" value="17"/>	<input type="text" value="15"/>		
Експлуатаційні витрати (%)	<input type="text" value="15.00"/>	Довжина поверхні (мм)	<input type="text" value="200"/>	<input type="text" value="300"/>	<input type="text" value="250"/>	<input type="text" value="350"/>	<input type="text" value="150"/>		
Коефіцієнт змінності обладнання	<input type="text" value="2.00"/>	Постійний коефіцієнт	<input type="text" value="420"/>	<input type="text" value="340"/>	<input type="text" value="244"/>	<input type="text" value="350"/>	<input type="text" value="32.6"/>		
Вартість обладнання (тис. грн)	<input type="text" value="17500.00"/>	Глибина обробки (мм)	<input type="text" value="0.8"/>	<input type="text" value="1.2"/>	<input type="text" value="1.4"/>	<input type="text" value="0.8"/>	<input type="text" value="0.4"/>		
Річний фонд часу експлуатації (год)	<input type="text" value="1848.00"/>	Поправочний коефіцієнт	<input type="text" value="1.8"/>	<input type="text" value="1.4"/>	<input type="text" value="1.6"/>	<input type="text" value="1.8"/>	<input type="text" value="1.2"/>		
Термін використання обладнання (рік)	<input type="text" value="10.00"/>	Показник ступені "x"	<input type="text" value="0.15"/>	<input type="text" value="0.15"/>	<input type="text" value="0.23"/>	<input type="text" value="0.15"/>	<input type="text" value="0.60"/>		
Час відновлення роботи модуля (хв)	<input type="text" value="0.15"/>	Показник ступені "y"	<input type="text" value="0.20"/>	<input type="text" value="0.45"/>	<input type="text" value="0.3"/>	<input type="text" value="0.2"/>	<input type="text" value="0.2"/>		
Питомий час ремонту (%)	<input type="text" value="0.04"/>	Показник ступені "m"	<input type="text" value="0.2"/>	<input type="text" value="0.2"/>	<input type="text" value="0.11"/>	<input type="text" value="0.2"/>	<input type="text" value="0.14"/>		
Питомий час обслуговування (%)	<input type="text" value="0.08"/>	Діапазон варіювання параметрів (%)	<input type="text" value="30.00"/>					<input type="button" value="+"/>	<input type="button" value="-"/>
Стійкість інструменту (хв)	<input type="text" value="60.00"/>								

Рис. 2 – Головне меню програмно-розрахункового модулю “Оптимізація параметрів комплексу механічної обробки деталей”

Результати обчислення

Час лімітуючої операції (с)	63.12
Циклова продуктивність (шт/год)	47.93
Коефіцієнт технічного використання	0.98
Собівартість (грн)	1.13
Фактична продуктивність (шт/год)	46.9

Рис. 3 – Відображення результатів обчислення програмно-розрахункового модулю “Оптимізація параметрів комплексу механічної обробки деталей”

складної агрегатованої системи синтезовано метод циклічного по координатного спуску. За допомогою даного методу знайдено оптимальні значення всіх цільових функцій системи.

Література

1. Методы оптимизации: Учеб. Пособие для вузов / Дегтярев Ю. И. – М.: Сов. Радио, 1980. – 272 с.
2. Справочник по оптимизационным задачам в АСУ / В. А. Бункин, Д. Колев, Б. Я. Курицкий, А. Н. Максименко, Ю. А. Сокуренько, А. Стоев. – Л.: Машиностроение, 1984. – 212 с.
3. Оптимизация технологических процессов в гибких производственных системах / Ямпольський Л.С., Полищук М.Н. – К.: Техніка, 1988. – 173 с.

Отримано 02.12.2011 р.