

ПРО ВИКОРИСТАННЯ ГРАДІЄНТНОГО МЕТОДУ ПОШУКУ ПРИ ПОБУДОВІ ПОШУКОВОЇ АДАПТИВНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НЕПЕРЕРВНИМИ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ ОБРОБКИ МЕТАЛУ ТИСКОМ

Жукова Н.В.

Донецький національний технічний університет, кафедра автоматики і телекомунікацій

E-mail: Zhnatka@mail.ru

Abstract

Zhukova N.V. About gradient search method using for development of the searching adaptive system for control of the continuous technology of processing of metal by pressure. At organization of driving to a stationary level of local power the gradient method of search is used. Are entered and the conditions of limitation of a gradient method permitting to eliminate existing disadvantages of this method are justified thus to apply and to adapt it for search of optimal allocation of local powers appropriate to the stationary mode of the continuous technology of processing of metal by pressure.

Об'єктом дослідження даної статті є безупинні технологічні процеси обробки металу тиском (ТП ОМТ) з відсутністю інформації про силові технологічні параметри процесу. В основі побудови пошукової адаптивної системи управління такими ТП ОМТ лежить розроблений енергетичний метод управління [1]. Він полягає в розподілі енергії по локальних технологічних операціях, що дозволяє проводити технологію в стаціонарному режимі при збереженні продуктивності безупинного процесу. Під стаціонарним станом ТП ОМТ розуміється стаціонарність усіх технологічних параметрів керованого процесу по переділах [2, 4]. Стаціонарний режим безупинної технології ОМТ характеризується необхідною і достатньою умовою його реалізації. Необхідна умова стаціонарного стану - це стабільне поводження робочого тіла в міжклітьовому проміжку (МКП), а саме, робоче тіло поводить пружним образом у МКП, тобто сили в МКП потенційні [3]. Достатня умова визначається методом реалізації стаціонарної технології.

В умовах відсутності інформації про параметри об'єкта і збурювальних впливів, стаціонарний режим ТП ОМТ можливо ідентифікувати тільки непрямим образом за допомогою стаціонарності споживаної енергії всього безупинного процесу [1, 4].

Багатозв'язна ЕМС із потенційними взаємодіями зберігає споживання енергії на стаціонарному рівні при будь-якому розподілі локальних потужностей зі збереженням їхньої суми за рахунок регулятора продуктивності [1]. Тобто, активна варіація локальної потужності, за рахунок регулятора продуктивності, супроводжується симетричним зворотно пропорційною зміною суми потужностей інших приводів при збереженні сумарної потужності процесу на стаціонарному рівні [1].

Реальна багатозв'язна ЕМС із непотенційними силовими взаємодіями не має зазначену симетрію. У реальному стаціонарному існуючому об'єкті перерозподіляти локальні потужності без порушення необхідної умови стаціонарного режиму неперервної технології ОМТ, можливо тільки в обмежених діапазонах локальних потужностей – квазіпотенційних вікнах [2, 4].

Цей діапазон із крайніми точками відрізка потужності:

$$P_{Hj} \in [P_{Hj} - \Delta P_j; P_{Hj} + \Delta P_j] \quad (1)$$

відповідає реактивної передачі енергії від кліти до кліти за допомогою ще досить пружного робочого тіла. Реактивність даного відрізка потужності неоднорідна: тільки в одній точці P_{H_j} - середині цього відрізка потужності, система симетричним образом реагує на перевищення або зниження потужності щодо указаной точки потужності P_{H_j} , і те, якщо правильно обрана величина цієї зміни.

При початковому веденні процесу з великою імовірністю дотримується нерівність $P_{0_j} \neq P_{H_j}$. Ймовірно навіть, що P_{0_j} не належить відрізку (1), тобто оператор при ручній корекції початкового розподілу енергії [4] може не помітити наростаючий процес необоротної деформації металу в j -ом МКП. Тому, щоб правильно вибрати напрямок варіації локальної потужності P_j убик P_{H_j} від точок початкового розподілу P_{0_j} [4], використовується градієнтний метод пошуку [5]. Градієнтний метод пошуку необхідний, тому що невідомий стаціонарний рівень потужності P_{H_j} може лежати як праворуч, так і ліворуч від рівня P_{0_j} .

Шукана рівноважна точка потужності P_{H_j} повинна бути в тій стороні відрізка (1) від точки P_{0_j} куди направлений градієнт:

$$\text{grad} \left(\Delta \sum_{i \neq j} P_i \right) \Big|_{\Delta P_{j\pm}} = G_j = \left(-\frac{\Delta \sum_{i \neq j} P_i}{\Delta P_{j+}} + \frac{\Delta \sum_{i \neq j} P_i}{\Delta P_{j-}} \right) = - \left(\frac{\Delta \sum_{i \neq j} P_i}{\Delta P_{j+}} - \frac{\Delta \sum_{i \neq j} P_i}{\Delta P_{j-}} \right) = -(G_{1j} - G_{2j}), \quad (2)$$

$$\text{де } G_{1j} = \frac{\Delta \sum_{i \neq j} P_i}{\Delta P_{j+}}, \quad G_{2j} = \frac{\Delta \sum_{i \neq j} P_i}{\Delta P_{j-}}.$$

Тобто, напрямок руху ідентифікується несиметричною реакцією суми потужностей інших приводів $\Delta \sum_{i \neq j} P_i$ на активну локальну варіацію потужності $\Delta P_{j\pm}$.

Відомо [6], що аргументи лівої і правої похідних мають протилежні знаки, (тобто $\Delta P_{j+} > 0$ і $\Delta P_{j-} < 0$). Однак, функція $\Delta \sum_{i \neq j} P_i$ протилежна за знаком щодо аргументів ΔP_{j+} ,

ΔP_{j-} . Тоді, $\frac{\Delta \sum_{i \neq j} P_i}{\Delta P_{j+}} < 0$, $\frac{\Delta \sum_{i \neq j} P_i}{\Delta P_{j-}} < 0$ - однозначні за знаком. Отже, щоб ідентифікувати напрямок руху до необхідного рівня локальної потужності, необхідно поставити знак (-) перед компонентом градієнта $\frac{\Delta \sum_{i \neq j} P_i}{\Delta P_{j+}}$.

Градієнт (2) протягом градієнтного пошуку повинний наблизитися до нуля; при цьому умові багатозв'язная ЕМС перебуває в стаціонарному стані, де вищезгадані негативні компоненти G_{1j}, G_{2j} , стають рівними, стаціонарними, але не рівними нулю :

$$\frac{\Delta \sum_{i \neq j}^n P_i}{\Delta P_{j+}} = \frac{\Delta \sum_{i \neq j}^n P_i}{\Delta P_{j-}} < 0, \neq 0 \quad (3)$$

Тобто, при стаціонарному стані ЕМС компонента градієнта знаходяться праворуч від -1 ($G_{1,2j} \in (-1, \lambda]$), де λ досить близьке число до -1 із правої боку, вибір якого обумовлюється конкретними умовами на об'єкті.

Кожен крок градієнтного пошуку повинний супроводжуватися аналізом сумарної потужності всіх приводів $\sum_{j=1}^n P_j$. Ця сума також повинна бути стаціонарна і мінімальна в точках P_{Hj} , де задовольняється рівність (3).

Градієнтний метод володіє поруч недоліків, що роблять його практично малоприменим у пошукових адаптивних системах [7].

По-перше, усі реальні об'єкти мають інерцію, тому необхідно ділити один на одного не одночасно заміряні величини $\Delta P_{j\pm}$ і $\Delta \sum_{i \neq j}^n P_i$, а зрушені за часом на час затримки сигналу в об'єкті, що виконати складно; по-друге, така система втрачає працездатність при дрейфі статичної характеристики об'єкта.

Отже, ідентифікація компонентів G_{1j} , G_{2j} градієнта вимагає чотири обмеження, які необхідно враховувати при реалізації розробленого методу:

1. Багатозв'язний об'єкт має інерцію. Тому, зміна керуючого впливу ($\Delta P_{j\pm}$) j -го привода з деяким відставанням за часом породжує реакцію потужностей інших приводів за рахунок зміни стану регулятора продуктивності. Отже, контролер задає зміну $\Delta P_{j\pm}$ і приймає інформацію з зміни $\Delta \sum_{i \neq j}^n P_i$ протягом відповідних відрізків часу Δt_j і Δt_Σ , що відрізняються друг від друга як мінімум на порядок, тобто :

$$\frac{\Delta t_j}{\Delta t_\Sigma} = \frac{T_j}{T_\Sigma} = 0.1, \quad (4)$$

де T_j і T_Σ - електромеханічні постійні часу відповідно j -го електропривода і всієї системи.

2. Управління локальними електроприводами по потужності здійснюється з визначеною абсолютною помилкою ΔP_{AO} , що залежить від абсолютних помилок виміру її складових: електромагнітного моменту, пропорційного струму якоря $M_{zm} = C \cdot I$ і кутової швидкості ω , чи

$$dP = d(C \cdot I \omega) = \frac{\partial P}{\partial I} dI + \frac{\partial P}{\partial \omega} d\omega \approx C(\omega dI + I d\omega) = \Delta P_{AO}.$$

Отже, у процесі визначення стаціонарного розподілу потужностей, варіація потужності j -го привода $\Delta P_{j\pm}$ перевищує абсолютну помилку виміру потужності ΔP_{AO} як мінімум у число раз, рівне $2(n-1)$, де n - кількість електроприводів, зв'язаних регулятором продуктивності, чи

$$\Delta P_{j\pm} \geq 2(n-1)\Delta P_{AO}. \quad (5)$$

3. Опору технологічних операцій, що складають неперервний процес деформації металу, можуть непрогнозованим образом змінюватися в процесі пошуку оптимального розпо-

ділу потужностей електроприводів, що приводить до спонтанної зміни виходу регулятора продуктивності, не зв'язаному з варіацією j -ої локальної електромеханічної потужності. Тому, щоб виявити реакцію ЕМС тільки від зміни керуючого впливу (активної потужності $\Delta P_{j\pm}$), а не від зміни невідомого впливу, що обурює, (пасивної потужності (P_c)), необхідно після кожної варіації потужності j -го привода проводити хвилі зрозумілий тест.

Це умова існування градієнта локальної потужності, що зв'язано з дискримінацією дрейфу статичної характеристики об'єкта в процесі активного пошуку стаціонарного розподілу потужностей приводів. Дрейф сумарної потужності електроприводів при заданій продуктивності зв'язаний з невідомою зміною опору технологічних операцій. Якщо останній відсутній, тоді:

$$-1 \leq \frac{\Delta \sum_{i \neq j}^n P_i}{\Delta P_{j\pm}} < \delta, \text{ чи } -1 \leq G_{1j} < \delta; \quad -1 \leq G_{2j} < \delta; \quad -0,6 \leq \delta \leq -0,3. \quad (6)$$

Дане обмеження обох компонентів градієнта праворуч ($< \delta$) і ліворуч ($-1 \leq$) при варіаціях $\Delta P_{j\pm}$ потужності j -го привода в алгоритмі пошуку виключає спонтанні, відповідно, синфазні і протифазні зміни невідомого впливу, що обурює. Крім того, обмеження праворуч ($< \delta$) так само виключає стан ЕМС, у якому відсутня реакція приводів $\Delta \sum_{i \neq j}^n P_i \approx 0$ на активну варіацію $\Delta P_{j\pm}$ j -го привода, що відповідає грубому ручному вибору початкового рівня j -ої потужності і граничить з аварійним режимом роботи системи.

У таблиці 1 представлені локальні ситуації зміни невідомого впливу, що обурює, (навантаження) при реалізації алгоритму.

Таблиця 1

Локальні ситуації зміни невідомого навантаження при реалізації алгоритму

№	Можливі ситуації зміни невідомого навантаження	Напрямок варіації $\Delta P_{зм j}$	Невідома зміна навантаження ΔP_c	Реакція сумарної потужності приводів $i \neq j$		Опис стану G_{1j}, G_{2j}	
				Реакція виходу регулятора продуктивності P_p			Разом $\Delta \sum_{i \neq j} P_i$
				На $\Delta P_{зм j}$	На ΔP_c		

Продолжение Табл. 1

1.1	Ідеальний випадок. Навантаження не змінюється	↑ ↓	• •	↓ ↑		↓ ↑	$G_{1j} \in (-1, \lambda]$ $G_{2j} \in (-1, \lambda]$ Існує стаціонарний стан системи
1.2	Навантаження змінюється синфазне стосовно $\pm \Delta P_{змj}$	↑ ↓	↑ ↓	↓ ↑	↑ ↓	• •	$G_{1j} \in [\lambda, 0)$ $G_{2j} \in [\lambda, 0)$ Погана область: дрейф статичної характеристики об'єкта
1.3	Навантаження змінюється протифазне стосовно $\pm \Delta P_{змj}$	↑ ↓	↓ ↑	↓ ↑	↓ ↑	↓ ↑	$G_{1j} \in (-2, \lambda]$ $G_{1j} \in (-2, \lambda]$ Погана область: дрейф статичної характеристики об'єкта

Перша ситуація, розглянута в табл.1 відповідає вже наступило стаціонарному стану системи і при цьому не відбувається зміна невідомого навантаження. Тоді активна варіація j -го привода компенсується зворотною за знаком варіацією від суми інших потужностей. Це ідеальний випадок, при цьому компоненти градієнта повинні дорівнювати -1 , а оскільки відбувається деяка втрата енергії в системі, то компоненти градієнта належать області $[-1, \lambda]$, де $\lambda = 0,8$.

Ситуації 1.2 і 1.3 зв'язані з наявністю дрейфу сумарної потужності електроприводів при невідомій зміні опору технологічних операцій. Тоді прямування компонентів градієнта вправо від -1 , тобто $G_{1,2j} \in [\lambda, 0)$,детермінується синфазною зміною невідомого навантаження стосовно варіації локальної потужності. А рух компонентів градієнта уліво від -1 , тобто $G_{1,2j} \in (-2, \lambda]$, детермінується протифазною зміною невідомого навантаження. Введена умова (6) дозволяє дискримінувати вищезгаданий дрейф сумарної потужності електроприводів при заданій продуктивності, зв'язаний з невідомою зміною опору технологічних операцій.

Якщо система близька до рівноваги, то в ній може спостерігатися зміна невідомого навантаження тільки одного знака на фоні позитивної і негативної активної варіації j -ої потужності. У таблиці 2 представлені можливі ситуації при однозначній зміні невідомого навантаження в процесі активного пошуку стаціонарного розподілу потужностей приводів.

Таблиця 2

Можливі ситуації при однозначній зміні невідомого навантаження в процесі активного пошуку стаціонарного розподілу потужностей приводів

№	Можливі ситуації зміни невідомого навантаження	Напрямок варіації $\Delta P_{змj}$	Невідома зміна навантаження ΔP_c	Реакція сумарної потужності приводів $i \neq j$		Разом $\Delta \sum_{i \neq j} P_i$	Опис стану G_{1j}, G_{2j}	Прийняття рішення
				Реакція виходу регулятора продуктивності Рп				
				На $\Delta P_{змj}$	На ΔP_c			
	Зміна навантаження тільки одного знака в процесі знакоперемінної активної варіації $\pm \Delta P_{змj}$	↑	↑	↓	↑	•	$G_{1j} \in [\lambda, \delta)$	Необхідно почекати в цій точці, поки стабілізується навантаження об'єкта
		↓	↑	↑	↑	↑	$G_{2j} \in (-2, \lambda]$	
		↑	↓	↓	↓	•	$G_{1j} \in (-2, \lambda]$	
		↓	↓	↑	↓	↓	$G_{2j} \in [\lambda, \delta)$	

Ситуації в табл. 2 відповідають однозначній зміні невідомого навантаження ЕМС, при цьому компоненти градієнта розходяться в різні сторони від області $[-1, \lambda)$, тобто $G_{1j} \in [\lambda, \delta)$, $G_{2j} \in (-2, \lambda]$ і навпаки. При цьому, якщо напівсума компонентів градієнта $\frac{G_{1j} + G_{2j}}{2} \in [-1, \delta)$, тоді потрібно почекати в цій точці, поки стабілізується навантаження об'єкта. Таким чином, якщо компоненти градієнта розходяться, це свідчить про зміну невідомого навантаження об'єкта і не означає, що ЕМС далеко від стаціонарного стану.

4. Мінімум сумарної потужності приводів, що відповідає її стаціонарності при варіації локальної потужності, уступає по значимості умові стаціонарності компонент зазначеного градієнта. Це пояснюється тим, що знак різниці цих компонентів показує напрямок руху уздовж осей локальних потужностей при реалізації пошуку стаціонарного розподілу.

Тому, обмеження мінімальної різниці компонент градієнта підвищує вірогідність у визначенні напрямку руху до шуканих рівнів локальних потужностей.

Тоді, якщо градієнт (2) показує напрямок зміни локальної j - ой потужності до необхідної її величини, тоді нерівність:

$|G_j| \geq \varepsilon$ – є ознака вірогідності напрямку зміни локальної j - ой потужності, де ε - досить мале число. З іншого боку, це обмеження, тільки зі зворотним знаком нерівності, характеризує ступінь наближення до рівності протилежних за знаком відмінних від нуля компонентів названого градієнта.

Тоді,

$|G_j| \leq \varepsilon$ – є ознака рівності компонент чи градієнта ознака стаціонарного стану ЕМС.

Мале число ε залежить від абсолютної помилки обчислення потужностей локальних приводів. Число ε уточнюється в міру адаптації пропонованого методу до конкретного об'єкта.

Таким чином, введені й обґрунтовані умови обмеження градієнтного методу, дозволяють виключити існуючі недоліки цього методу, тим самим застосувати й адаптувати його для пошуку оптимального розподілу локальних потужностей, що відповідає стаціонарному режиму неперервної технології ОМГ.

Література

1. Жукова Н.В. Автоматизированное управление малоинформативным непрерывным технологическим процессом обработки металла давлением // Сбірник наукових праць Одеського Національного політехнічного університету: Одеса: ОНПУ, 2001. Направлена до друку.
2. Жукова Н.В. Управление многосвязной электромеханической системой при обработке металла давлением. – Наукові праці Дон ГТУ, серія “Обчислювальна техніка та автоматизація”, випуск 20: Донецк: ДонГТУ, 2000, стр.47-55.
3. Жукова Н.В. Анализ регулируемых координат электропривода на предмет их использования в системе управления малоинформативным многосвязным электромеханическим объектом. – Наукові праці Дон ГТУ, серія “Обчислювальна техніка та автоматизація”, випуск 25: Донецк: ДонГТУ, 2001, стр.45-54.
4. Литвинов В.И., Жукова Н.В., Горовой А.Б К теории управления многосвязной электромеханической системой при обработке металла давлением. ОАО «Завод «Универсальное оборудование». – Донецк, 2000 г. – 39с.: ил. – Рус. Деп. в ГНТБ Украины 03.07.2000 г., №.149 – Ук 2000
5. Растринин Л.А. Системы экстремального регулирования.—М.: Наука,1974
6. Фихтенгольц Г.М. Курс дифференциального и интегрального исчисления, т 1. М.: 1969, ил.
7. Справочник по теории автоматического управления /Под ред. Красовского.—М.: Наука. Гл.ред. физ.-мат. Лит., 1987.-712 с.