

РОЗРОБКА АЛГОРИТМІВ ВЕРХНЬОГО РІВНЯ УПРАВЛІННЯ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ЛИСТОПРОКАТКИ

Мокрий Г.В., Борисов О.О.

Донецький національний технічний університет,

факультет КІТА

E-mail: alexbor@fcita.dn.ua

Abstract

Mokry G., Borisov A. Synthesis of toplevel control algorithms in automatic control systems of rolling mill In the article the toplevel control algorithms by the continuous rolling mill are reviewed. The toplevel control algorithm is offered, which one allows to execute optimum control for parameters drift of a mill. For this purpose, on the basis of principles of decomposition and aggregation, the set of versions of models of subprocesses and procedure of selection of model for definite many-level with usage of logical submissions is determined. Also the toplevel algorithm is reviewed: distributions of coggings on cages.

Загальна постановка проблеми. Труднощі у формуванні верхнього рівня управління процесом безперервної прокатки полягають в тому, що, як було відзначено в [1-2], процес є багатомірним і досить складним (тобто потребуючим великої кількості інформації, необхідної для адекватного опису), тому його моделювання нашої хується на обмеження або розмірності, або складності. Також труднощі складаються й у тому, що процес не є незмінним, і вимагає періодичного коректування в умовах нечіткості наявної інформації.

Аналіз публікацій по управлінню прокатним виробництвом показав, що в даний час недостатньо пророблені питання підвищення усталеності роботи прокатного стану у виробничих умовах. Забезпечення стабільної роботи стану при зміні режиму є актуальною задачею.

Постановка задачі. Метою дійсної роботи є розробка методів управління листопркатним станом, що враховують реальні умови виробництва і дозволяють забезпечити високу надійність забезпечення регулювання при заданій якості прокату.

Пропоноване рішення проблеми. Для того щоб наблизити складність алгоритму моделювання до складності реального процесу, доцільно використовувати динамічні оптимізаційні моделі, у яких різноманіття взаємодій представляється спектром опису елементів моделі. При цьому доцільно виділяти окремі моделі локальних процесів із власними розрахунковими процедурами. Інформація про кожний такий підпроцес може бути детермінованою (однозначно визначаючою стан підпроцесу), імовірнісною (тобто заданою у вигляді функцій розподілення імовірностей, дисперсією, математичним чеканням і т.п.) і нечіткою, коли значення функцій, параметрів, характеристик імовірностей і т.п. відомі розпливчасто, а не чітко. Кожен вид інформації дозволяє описати процес з визначеної точки зору і створити відповідну модель, що має свої переваги і недоліки, при цьому між видами моделей (як втім і між видами інформації) існує ієрархія спільності: нечітка модель є більш загальною, чим імовірнісна, а імовірнісна модель більш загальною, чим детермінована. У принципі, може бути сформована різноманітна система моделей, що забезпечує довільний макрорівень ефективності. Для цього, на основі принципів декомпозиції й агрегації, визначається набір варіантів моделей підпроцесів і процедура вибору моделі для визначеного макрорівня з використанням логічних представлень (рис. 1). У загальному випадку процедура формування моделі складається з функції вибору і механізму вибору. Функція вибору повинна містити інформацію про те, що має бути вибрано, а механізм вибору повинний забезпечувати такий вибір.

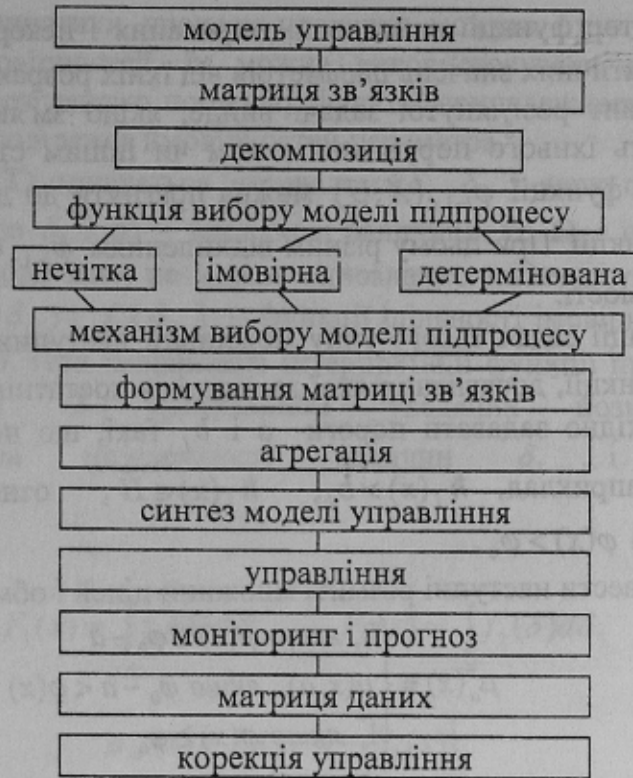


Рисунок 1 - Структура варіанту алгоритму управління верхнього рівня

Такий підхід дозволяє використовувати великий клас моделей, які сильно відрізняються алгоритмами рішення, але він не завжди доцільний, тому що ускладнює і без того досить складний алгоритм рішення оптимізаційних задач формування управління, що приводить до збільшення машинного часу, зниження надійності, підвищення вимог до апаратних засобів і т.д. У реальних умовах більш прийнятний підхід, коли імовірнісну і нечітку модель одержують з детермінованої. Так для узагальненої моделі, що задається у вигляді:

$$M_{l-1,1} : \dot{X} = \tilde{A}X + \tilde{B}U;$$

$$M_{l-1,2} : Y = \tilde{C}Y + \tilde{D}W;$$

$$M_{lv} : \tilde{E}X + \tilde{G}Y \leq \tilde{H};$$

$$Q_{l-1,v} = Y_{l-1,v}(X, U) = \max; \quad l = \overline{2, N}; \quad v = \overline{1, m_l};$$

$$Q_{lv} = \sum_{v=1}^{m_l} Q_{l-1,v} = \max; \quad l = \overline{2, l}; \quad v = \overline{1, m_l},$$

де lv - індекси рівня підсистеми на l -му рівні, X - вектор розподілу обчислень, Y - вектор одержуваних ефектів, U, W - вектори управлінь натискними пристроями, $\tilde{A}, \tilde{B}, \tilde{C}, \tilde{D}, \tilde{E}, \tilde{G}$ - матриці коефіцієнтів управлінь моделей, \sim - символ можливої зміни коефіцієнтів у часі, \tilde{H} - матриця технологічних обмежень, імовірнісну модель можна одержати розглядаючи керовані і некеровані параметри системи, що складаються з двох складових:

$$X = \bar{X} + \Delta X(\bar{X}, U, W);$$

$$Y = \bar{Y} + \Delta Y(\bar{Y}, U, W);$$

$$U = \bar{U} + \Delta U(\bar{U});$$

$$W = \bar{W} + \Delta W(\bar{W});$$

де X, Y, U, W - вектори фактичних значень; $\bar{X}, \bar{Y}, \bar{U}, \bar{W}$ - вектори детермінованих складових (являють собою математичні чекання параметрів, наприклад, розрахункові значення);

$\Delta X, \Delta Y, \Delta U, \Delta W$ - вектор функції випадкових керованих і некерованих складових (являють собою відхилення фактичних значень параметрів від їхніх розрахункових значень).

Нечіткий варіант розглянутої задачі вийде, якщо зм'якшити обмеження H , тобто допустити можливість їхнього порушення з тим чи іншим ступенем. Крім того, замість максимізації цільової функції $\varphi_{l,v}(X, U)$ можна прагнути до досягнення деякого заданого значення φ_0 цієї функції. При цьому різним відхиленням $\varphi_{l,v}(X, U)$ від φ_0 зіставляються різні ступені допустимості.

При формалізації задач такого типу можливий наступний підхід: якщо φ_0 - задана величина цільової функції, досягнення якої вважається достатнім для ухвалення рішення по управлінню, те необхідно задавати пороги a і b_j такі, що нерівності $\varphi(x) > \varphi_0 - a$, де $\varphi(x) = Q_{l,v}(k)$ і, наприклад, $h_j(x) > b_j$, $h_j(x) \in \tilde{H}$, означають сильне порушення відповідної нерівності $\varphi(x) > \varphi_0$.

Тепер можна ввести наступні розмиті множини цілей і обмежень:

$$\mu_a(x) = \begin{cases} 0, & \text{якщо } \varphi(x) \leq \varphi_0 - a \\ \mu(x, a), & \text{якщо } \varphi_0 - a < \varphi(x) < \varphi_0 \\ 1, & \text{якщо } \varphi(x) \geq \varphi_0 \end{cases}$$

$$\mu_{b_j}(x) = \begin{cases} 0, & \text{якщо } h_j(x) > b_j \\ \mathcal{G}_j(x, b_j), & \text{якщо } 0 < h_j(x) < b_j \\ 1, & \text{якщо } h_j(x) = 0 \end{cases}$$

де $\mu(x, a), \mathcal{G}_j(x, b_j)$ - деякі функції, що описують ступінь виконання відповідних нерівностей з погляду прийнятої моделі.

У такий спосіб задача сформульована у формі задачі виконання нечітко визначеної мети і до неї застосуємо підхід Беллмана-Заде.

Наближене обчислення функцій приналежності порогів a і b_j розглянемо на основі їхнього параметричного представлення і практичного обчислення нечітких інтервалів.

Гарне параметричне представлення нечіткого інтервалу M виходить при використанні двох типів функцій, наприклад, L і R , а також чотирьох параметрів $(\underline{m}, \bar{m}) \in R$ і $\zeta_l, \zeta_r \geq 0$:

$$\mu_M(x) = \begin{cases} L\left(\frac{\underline{m} - x}{\zeta_l}\right) & \text{при } x \leq \underline{m}; \\ 1 & \text{при } \underline{m} \leq x \leq \bar{m}; \\ R\left(\frac{x - \bar{m}}{\zeta_r}\right) & \text{при } x \geq \bar{m}. \end{cases}$$

де L - убутна функція, що задовольняє умовам:

$$L(0) = 1, \text{ а також } \forall u > 0, L(u) < 1, L(u) > 0;$$

$$L(I) = 0 \text{ чи } L(u) > 0, \forall u \text{ і } L(+\infty) = 0;$$

$$R^+ \Rightarrow [0, 1];$$

\underline{m} і \bar{m} - відповідно нижній і верхній модальні значення нечіткого інтервалу M ;

ζ_l і ζ_r - лівий і правий коефіцієнти нечіткості.

Таким чином, нечіткий інтервал можна представити у вигляді четвірки параметрів $M = (\underline{m}, \bar{m}, \zeta_l, \zeta_r)$. Інтервал $[\underline{m} - \zeta_l, \bar{m} + \zeta_r]$ є носієм нечіткого інтервалу M .

Оскільки для характеристики процесу прокатки можуть бути побудовані функції щільності розподілення ймовірностей, їх можна використовувати для моделювання в нечіткій постановці задачі. Розглянемо побудову функції приналежності для випадку, коли відомі функції щільності розподілення ймовірностей параметра.

Нехай деяка множина Ω описується інтервалом $[\delta_1, \delta_2]$: якщо об'єкт $x > \delta_1$ і $x < \delta_2$, то $x \in \Omega$, інакше $x \notin \Omega$. Якщо δ_1 і δ_2 – випадкові величини, то Ω є нечіткою множиною, тому що маються об'єкти, щодо яких не можна однозначно затверджувати, належать вони множині Ω чи ні. Нехай $f_1(\delta_1)$ і $f_2(\delta_2)$ – функції щільності імовірності для нижнього і верхнього порогів відповідно. При імовірності інтерпретації функції приналежності можна записати $\mu_M(x) = P(x \in \Omega)$. З урахуванням уведених позначень отримаємо $\mu_M(x) = P(\delta_1 < x < \delta_2)$. При незалежності величин δ_1 і δ_2 отримаємо $\mu_M(x) = P(x > \delta_1) P(x < \delta_2)$.

Позначимо:

$$F_1(x) = \int_{-\infty}^x f_1(\delta) d\delta; \quad F_2(x) = \int_{-\infty}^x f_2(\delta) d\delta.$$

Тоді отримаємо

$$\mu_M(x) = F_1(x) [1 - F_2(x)] \tag{1}$$

Таким чином, при наявності відповідної статистичної інформації, функції приналежності можна визначити на основі функцій розподілу з подальшим використанням вираження (1) для одержання $\mu_M(x)$. Розглянуті вище функції приналежності можуть використовуватися в моделі процесу безперервної прокатки для визначення функцій приналежності порогів a і b_j . При цьому передбачається, що всі нечіткі величини, що обчислюються, є незв'язаними перемінними. Для визначення порога φ_0 таке припущення буде неправомірним, оскільки, наприклад, обтиснення і витяжка прокату є залежними величинами. У зв'язку з цим функцію приналежності для φ_0 необхідно визначити у відповідності з наступними положеннями:

Розглянемо n перемінних x_1, \dots, x_n , кожна з яких обмежена нечітким інтервалом $M_i, i = 1, \dots, n$. Необхідно визначити функцію приналежності для перемінної $\varphi_0 = a_1 x_1 + \dots + a_n x_n$, де a_i – постійні дійсні коефіцієнти, якщо відомо, що перемінні x_i зв'язані між собою обмеженням $\sum x_i = 1$. Якщо N – нечітка множина можливих значень φ_0 , то можна визначити:

$$\sup \mu_N = \mu_{M_1 \theta M_2 \theta \dots \theta M_n}.$$

Якщо $M_i = (\underline{m}_i, \bar{m}_i, \xi_{\Pi i}, \xi_{\Lambda i})$, то $N = (\inf N, \sup N, \xi_1, \xi_2)$, де

$$\inf N = \max_{k=1, \dots, n} \left[\sum_{j=1}^{k-1} B_j a_j + (1 - \sum_{j=1}^{k-1} B_j - \sum_{j=k+1}^n b_j) a_k + \sum_{j=k+1}^n b_j a_j \right]; \tag{2}$$

$$\sup N = \max_{k=1, \dots, n} \left[\sum_{j=1}^{k-1} b_j a_j + (1 - \sum_{j=1}^{k-1} b_j - \sum_{j=k+1}^n B_j) a_k + \sum_{j=k+1}^n B_j a_j \right]; \tag{3}$$

$$B_j = \bar{m}_j + \xi_{\Pi j}; \quad b_j = \underline{m}_j - \xi_{\Lambda j}.$$

Значення $\xi_{\Pi j}$ і $\xi_{\Lambda j}$ визначаються з умов $\inf S(N) = \inf N - \xi_{\Pi j}$ і $\sup S(N) = \sup N + \xi_{\Lambda j}$, де S – носій нечіткого інтервалу N .

Тому що операції з нечіткими величинами носять спрощений характер (основні арифметичні операції для них замінюються процедурами визначення \min і \max), незважаючи на громіздкість виражень (2) і (3), обчислення функції приналежності для порога φ_0 не займає багато процесорного часу.

Задачею управління є ідентифікація параметрів нечіткого процесу з метою виявлення нечіткої множини стратегій і прогнозу можливих управлінь за умови нечіткості наявної інформації.

Нехай нечіткий простір $\Xi = F_0 \times A \times B_j$ (F_0, A, B_j – множина значень нечітких перемінних задачі, що відповідають порогам φ_0, a і b_i) поділяється на k класів, кожному з яких відповідає стратегія $r_i \in R$. Будемо вважати відомими множини нечітких значень F_0, A, B_j і функції їхньої приналежності $\mu_F(x_1), \mu_A(x_2), \dots$, визначені на кількісних інтервалах x_1, x_2, \dots . У цьому випадку можна побудувати просту класифікаційну модель, що розбиває кожну шкалу на відрізки $[m_1^A, m_2^A], [m_1^{B_i}, m_2^{B_i}], \dots$ однозначно відповідним нечітким порогам a, b_i і φ_0 .

Для реалізації багатокрокового процесу розрахунку по нечіткій моделі, представимо нечіткий процес у вигляді:

$$(1) \quad \textcircled{X} = (X, Y, U, W, f_U, f_W, f_Y),$$

де X - вхідний вектор розподілу обчислень; U, W - внутрішні вектори управління; Y - вихідний вектор ефектів:

$$X = \{X_i^i\} = (X_1^i, X_2^i, \dots, X_p^i), i = \overline{1, n}$$

$$U = \{U_i^i\} = (U_1^i, U_2^i, \dots, U_p^i), i = \overline{1, n}$$

$$W = \{W_i^i\} = (W_1^i, W_2^i, \dots, W_p^i), i = \overline{1, n}$$

$$Y = \{Y_i^i\} = (Y_1^i, Y_2^i, \dots, Y_p^i), i = \overline{1, n}$$

Значення нечітких функцій переходів і виходів f_U, f_W, f_Y задаються набором нечітких матриць виду

$$f_U \approx M_U = ((m_{r,j}))_U, r, j = \overline{1, m}; i = \overline{1, n};$$

$$f_W \approx M_W = ((m_{r,j}))_W, r, j = \overline{1, m}; i = \overline{1, n};$$

$$f_Y \approx M_Y = ((m_{r,j}))_Y, r, i = \overline{1, n}; j = \overline{1, m};$$

Мережу, що відповідає розглянутій багатокроковій задачі, можна задати за допомогою нечітких графів:

$$G_U = \{\mu_G(u, u) \in M_U : Y(x, y) \in U \times U\},$$

$$G_W = \{\mu_G(w, w) \in M_W : Y(x, y) \in W \times W\},$$

де M_U, M_W – відповідно множини належностей елементів множин $U \times U$ і $W \times W$, причому для $\forall x \in W_k^i, \forall y \in W_p^i$ і $p \neq k + 1$ виконується $\mu(x, y) = 0$.

Нехай задані нечіткі матриці $(m_{r,j})_U, (m_{r,j})_W$ і $(m_{r,j})_Y$. Розглянемо рівняння нечіткого процесу у вигляді:

$$\mathfrak{R} \circ Y = \mu_\alpha, \quad (4)$$

де $\mathfrak{R} = (m_{r,j})$ – задана нечітка матриця; $\mu_\alpha = (\mu_1, \mu_2, \dots)$ – відомий нечіткий вектор; $Y = (y_1, y_2, \dots)$ – невідомий нечіткий вектор; “ \circ ” – знак операції “композиція” нечіткого відношення, причому

$$\mu_\alpha = \min_i \max_j (y_i, r_{i,j}).$$

Вектор Y відповідає лінгвістичним термам із простору Ξ , що визначає нечіткі переходи $U_k \Rightarrow U_j, W_k \Rightarrow W_j$ і висновки $U_j, W_j \Rightarrow Y_r$. Нечіткий вектор μ_α являє собою суб'єктивні ступені задоволення станом U_i, W_i на t -му кроці рішення.

Рівняння (4) може мати кілька рішень, причому, за умови існування рішення $\forall j \exists i r_i \geq \mu_j$ будь-яка координата рішень x_i має вигляд: $x_i = x_i, 0 \leq a_i \leq 1$; або $x_i = [a_i, b_i], 0 \leq b_i \leq 1, \forall j \exists i r_i \geq \mu_j$. Для одержання одного рішення необхідно перенормувати матрицю \mathfrak{R} вектором μ_α у відповідності з наступними умовами:

$$\forall j \exists i_0 \{r_{i_0 j}^\pi < \mu_j, i = i_0; r_{i_0}^\pi = \mu_j\};$$

$$\forall j_1, j_2 (j_1 \neq j_2): r_{i_1 j_1}^\pi \geq \mu_{j_1}, r_{i_2 j_2}^\pi \geq \mu_{j_2}; i = \overline{1, n}; j = \overline{1, m},$$

де $r_{i,j}^\pi$ – переносні елементи матриці \mathfrak{R} .

Нехай модель системи характеризується рівнянням стану:

$$\sigma_{i+1} = f(\sigma_i, u_i),$$

де f – відображення $\sum \times U \rightarrow \sigma_{i+1}, \sum = \{\sum_1, \dots, \sum_N\}$ – кількісна множина можливих станів системи; $i = \overline{1, n}$; σ_{i+1}^i – клас нечітких підмножин множини \sum . Причому

$$\sigma_1 \in \sum_1 = \{\sigma_1^1, \dots, \sigma_1^n\};$$

$$\sigma_2 \in \sum_2 = \{\sigma_2^1, \dots, \sigma_2^n\};$$

$$\dots$$

$$\sigma_N \in \sum_N = \{\sigma_N^1, \dots, \sigma_N^n\}.$$

Припустимо такі умови, що:

- існує нечітка ціль рішення задачі G , визначена на кількісній шкалі Z , що відповідає нечітким значенням \sum_N з функцією приналежності μ_G ;
- існує N підцілей G_i , що є підмножинами S_i множин \sum_1, \dots, \sum_N з функціями приналежності вигляду

$$\mu_{G_i} = \begin{cases} 1, & \text{если } \sigma_i^i \in S_i \\ 0, & \text{если } \sigma_i^i \notin S_i \end{cases}$$

Тоді будь-якому початковому стану $\sigma_1 \in \sum_1$ буде відповідати рішення $D(\sigma_1)$, що визначається формулою:

$$D(\sigma_1) = C(\sigma_1) \cap G_1 \cap C(\sigma_1) \cap \dots \cap G_N \cap G$$

де $C(\sigma_i)$ – нечітке обмеження на управління U_i в U , умовне σ_i .

При реалізації нечіткої моделі нас буде цікавити формування класу стратегій, що задовольняють перерахованим вище умовам. Очевидно, що серед усіх стратегій існують і оптимальні стратегії $\mu_D = \max \mu_D(St)$

Тепер перейдемо до основної задачі верхнього рівня: розподілу обтиснень по клітям. Підхід до її рішення повинний забезпечувати різні режими виробництва, наприклад: максимальне обтиснення в клітях, незмінний рівень обтиснення, необхідний рівень обтиснення.

Задача верхнього рівня ставиться в такий спосіб: відомо поточне значення товщини металу на вході прокатного стану і бажане значення товщини на виході, відомі змінні в часі абсолютні обтиснення в окремих клітях і обумовлені по прогнозним даним відповідні витяжки. Потрібно визначити оптимальну стратегію управління, тобто розподілу обтиснень по клітям.

Для рішення задачі введемо наступні позначення:

T – період оптимізації;

Δt_N – інтервал оптимізації в періоді T відповідний часу обтиснення в конкретній окремій кліті;

M – число клітей;

N – індекс поточних інтервалів $\Delta t_N (N = \overline{1, M})$;

c_N – абсолютне обтиснення в окремій кліті;

p_N – витяжка в окремій кліті;

x_N – поточні істинні обтиснення в стані;

y_N – поточні істинні витяжки в стані;

\mathcal{G} – обтиснення в стані на початку N – го інтервалу;

Виходячи з адитивності цільової функції для періоду T і багатоваріантності рішення на кожному кроці Δt_N , при цільовій функції для N – го інтервалу $\varphi_N = p_N y_N - c_N x_N$, сумарна цільова функція $f_M(\mathcal{G})$ буде

$$f_M(\mathcal{G}) = \sum_{N=1}^M \varphi_N = \sum_{N=1}^M (p_N y_N - c_N x_N), \quad (5)$$

а модель переходу зі стану \mathcal{G} у стан \mathcal{G}_i буде

$$v_N = \mathcal{G} + (x_N - y_N). \quad (6)$$

З урахуванням принципу оптимальності Беллмана запишемо значення цільової функції для M – стадійного процесу:

$$f_N(\mathcal{G}) = \max_{x_N, y_N} [p_N y_N - c_N x_N + f_{N-1}(\mathcal{G} + (x_N - y_N))] \quad (7)$$

і сформулюємо обмеження у вигляді:

- обмеження на обтиснення в клітках

$$\mathcal{G} + (x_N - y_N) \leq X_{uk}, (N = \overline{1, M});$$

- обмеження на витяжки

$$y_N \leq \mathcal{G}; (N = \overline{1, M});$$

- обмеження на незаперечність перемінних

$$x_N \leq 0, y_N \geq 0.$$

При одержанні рішення, починаючи з 1-го кроку другий доданок при $N=1$ $f_0(\mathcal{G}) = 0$, а з урахуванням (6)

$$f_1(\mathcal{G}) = \max_{x_1, y_1} (p_1 y_1 - c_1 x_1) = p_1 \mathcal{G} \quad (8)$$

У такий спосіб отримані рекурентні рівняння (7) і (8), що дають рішення задачі чисельними методами. Однак, у випадку лінійної залежності (5), може бути отримане більш просте рішення аналітичним методом.

Базуючись на (7) і (8), отримаємо загальну структуру рішення задачі. Позначимо товщину металу наприкінці інтервалу N перемінною стану U :

$$U = \mathcal{G} + (x_N - y_N); \quad (9)$$

$$U \leq X_{uk}. \quad (10)$$

Використовуючи (9) і (10) виразимо $f_N(\mathcal{G})$ в наступному вигляді

$$f_N(\mathcal{G}) = \max_{(0 \leq U \leq X_{uk}, y_N \leq \mathcal{G}, x_N y_N \geq 0)} [p_N y_N - c_N x_N + f_{N-1}(U)]$$

чи записуючи в іншій формі будемо мати:

$$f_N(\vartheta) = \max_{(0 \leq U \leq X_{\text{ук}})} \left[\max_{(\vartheta + x_N - y_N, y_N \leq \vartheta, x_N, y_N \geq 0)} [p_N y_N - c_N x_N + f_{N-1}(U)] \right]. \quad (11)$$

Записуючи (11) у компактній формі, отримуємо:

$$f_N(\vartheta) = \max_{(0 \leq U \leq X_{\text{ук}})} [\Phi_N(U, \vartheta) + f_{N-1}(U)], \quad (12)$$

де $\Phi_N(U, \vartheta)$ - вираження першого доданка у внутрішніх квадратних дужках (11).

Унаслідок лінійності першого доданка $\Phi_N(U, \vartheta)$ для максимізації (12) досить досліджувати тільки кінцеві крапки: $x_N = 0, y_N = 0$ і $x_N = U, y_N = U$.

В області $0 \leq U \leq \vartheta$ вираження має вигляд

$$\Phi_N(U, \vartheta) = \max [p_N(\vartheta - U), p_N \vartheta - c_N U] \quad (13)$$

і $\Phi_N(U, \vartheta)$ є велика з двох можливих величин.

В області $\vartheta \leq U \leq X_{\text{ук}}$, $\Phi_N(U, \vartheta)$ буде

$$\Phi_N(U, \vartheta) = \max [-c_N(U - \vartheta), p_N \vartheta - c_N U] \quad (14)$$

Таким чином, (13) і (14) для різних значень U, ϑ, c_N, p_N дозволяють визначити оптимальну стратегію, що у даному випадку представляється трьома різними рішеннями: $U=0$, що означає максимальне обтиснення в клітках; $U = \vartheta$, що відповідає незмінному рівню обтиснення; $U = X_{\text{ук}}$, що відповідає обтисненню до необхідного рівня.

Висновки:

1. Аналіз реальних умов прокатного виробництва показав необхідність розробки методів управління що дозволяють використовувати різноманітні алгоритми оптимізації. При цьому доцільно використовувати динамічні оптимізаційні моделі, у яких різноманіття взаємодій представляється спектром опису елементів процесу листопрокатки.

2. Доцільно розглядати інформацію про окремих підпроцес прокатки таку, що може бути детермінованою (однозначно визначальний стан підпроцесу), імовірнісною (тобто заданої у виді функцій щільності розподілу імовірностей, дисперсією, математичним чеканням і т.п.) і нечіткої, коли значення функцій, параметрів, характеристик імовірностей і т.п. відомі розпливчасто, а не чітко.

3. У принципі, може бути сформована різноманітна система моделей, що забезпечує довільний макрорівень ефективності. Для цього, на основі принципів декомпозиції й агрегації, визначається набір варіантів моделей підпроцесів листопрокатки і процедура вибору моделі для визначеного макрорівня з використанням логічних представлень. Однак, у реальних умовах більш прийнятний підхід, коли імовірнісну і нечітку модель одержують з детермінованої.

4. Запропоновані алгоритми верхнього рівня дозволяють знайти оптимальну стратегію управління в умовах виробничих перешкод і забезпечити при цьому високу якість прокату.

Література

1. Бессараб В.І., Борисов О.О. Проблеми автоматизації процесу холодної листопрокатки // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація, випуск 38.-Донецьк: ДонНТУ,-2002.-С.7-12.

2. Борисов А.А., Мокрый Г.В. Математическая модель процесса непрерывной листопрокатки как объекта управления // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація, випуск 48.-Донецьк: ДонНТУ,-2002.-С.92-100.