

## МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІКИ ЛИСТОПРОКАТНОГО СТАНА І ОПТИМІЗАЦІЯ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ ПРОКАТКИ

Мокрий Г.В., Борисов О.О.

Донецький національний технічний університет,  
факультет КІТА

### Abstract

*Mokry G., Borisov A. Simulation of sheet mill dynamics and optimization of its control. In the article the problems of simulation of dynamic processes in a continuous mill and the methods of the rolling control optimization effecting are discussed. The dynamic model of rolling-mill tensions, speeds and moments of engines based on differrent from conventional ideas about a rolling kinematics is proposed.*

Під впливом розвитку технологій сучасні тенденції, що склалися на світовому ринку прокату, визначають неухильне зростання якості продукції, що випускається. Проте, конкурентоздатність вітчизняної прокатної продукції сьогодні значною мірою залежить від якості автоматизації технологічних процесів. Розуміючи цей факт, керівництво більшості металургійних заводів України здійснює реконструкцію технологічних ліній із притягненням закордонних фірм (наприклад, на одному з найбільших металургійних комбінатів України - "Азовсталі", разом з іноземними компаніями підготовано інвестиційний проект "Модернізація листопрокатного виробництва", який передбачає упровадження сучасних засобів АСУ ТП). Проте, послуги іноземних спеціалістів в інтелектуальній сфері достатньо дорогі. Наприклад, російське ТОВ "Северсталь" підписало контракт із фірмою VAI (Австрія) на постачання устаткування і надання послуг по проекту "Автоматизація лінії прокатування стана '5000'" вартістю 7,5 млн. євро. Тому, проблема створення і упровадження власних нових розробок у цій області сьогодні для України є достатньо актуальною. Аналіз робіт спеціалістів в області автоматизації прокатного виробництва показав, що якщо в частині удосконалювання механічного устаткування спостерігаються певні устояні напрямки, то в частині автоматизації і управління процесом безперервного прокатування на базі сучасних комп'ютерних технологій такі напрямки сформовані недостатньо повно, і незважаючи на велику кількість публікацій із автоматизації процесу безперервного прокатування, сьогодні говорити про високі показники в цій області наукових розробок передчасно. Причина такого стану питання, певне, у недосконалості наявного математичного опису динаміки безперервного прокатування з точки зору автоматизації [1,2]. У [3,4] було запропоновано нову багатоз'вязну модель безперервного стану і розглянуто основи управління прокатуванням як багатомірним нелінійним об'єктом із перемінним запізнюванням. Ця стаття є подальшим розвитком даного напрямку і заснована на результатах досліджень викладених у [3,4].

Мета статті - моделювання динамічних процесів у безперервному стані та оптимізація управління процесом прокатування.

Аналіз динаміки міжклітьових натягів, швидкостей і моментів показав доцільність використання для управління двигунами головного приводу алгоритму, обґрунтованого в [3]

$$H_{i-1}w_i = H_i w_{i+1} = const. \quad (1)$$

З огляду на нелінійність системи, запропонованої в [3,4], у пакеті SimuLink середовища MatLAB, розроблено динамічну модель зміни міжклітьових натягів, швидкостей і моментів у процесі прокатки. Модель у термінах пакета SimuLink подано на рис. 1 і 2.

На рисунку 3 приведено графіки перехідних процесів у чотирьохклітьовому прокатному стані при 20% періодичному стрибкоподібному збільшенню товщини підкату першої кліті, отримані на моделі.

Розглядалося два способи управління: перший, коли кутова швидкість двигуна кожної наступної кліті змінюється відносно швидкості двигуна попередньої кліті відповідно (1); другий, коли змінюється тільки швидкість двигуна першої кліті, а швидкості двигунів усіх наступних клітей задовольняють умові (1).

Динаміку зміни натягів при використанні першого способу показано на рисунку 2(а), моментів - на рисунку 2(б). З графіків очевидно, що міжклітьові натяги при цьому змінюються практично однаково, а момент двигуна першої кліті перетерплює найбільші істотні зміни у порівнянні з іншими

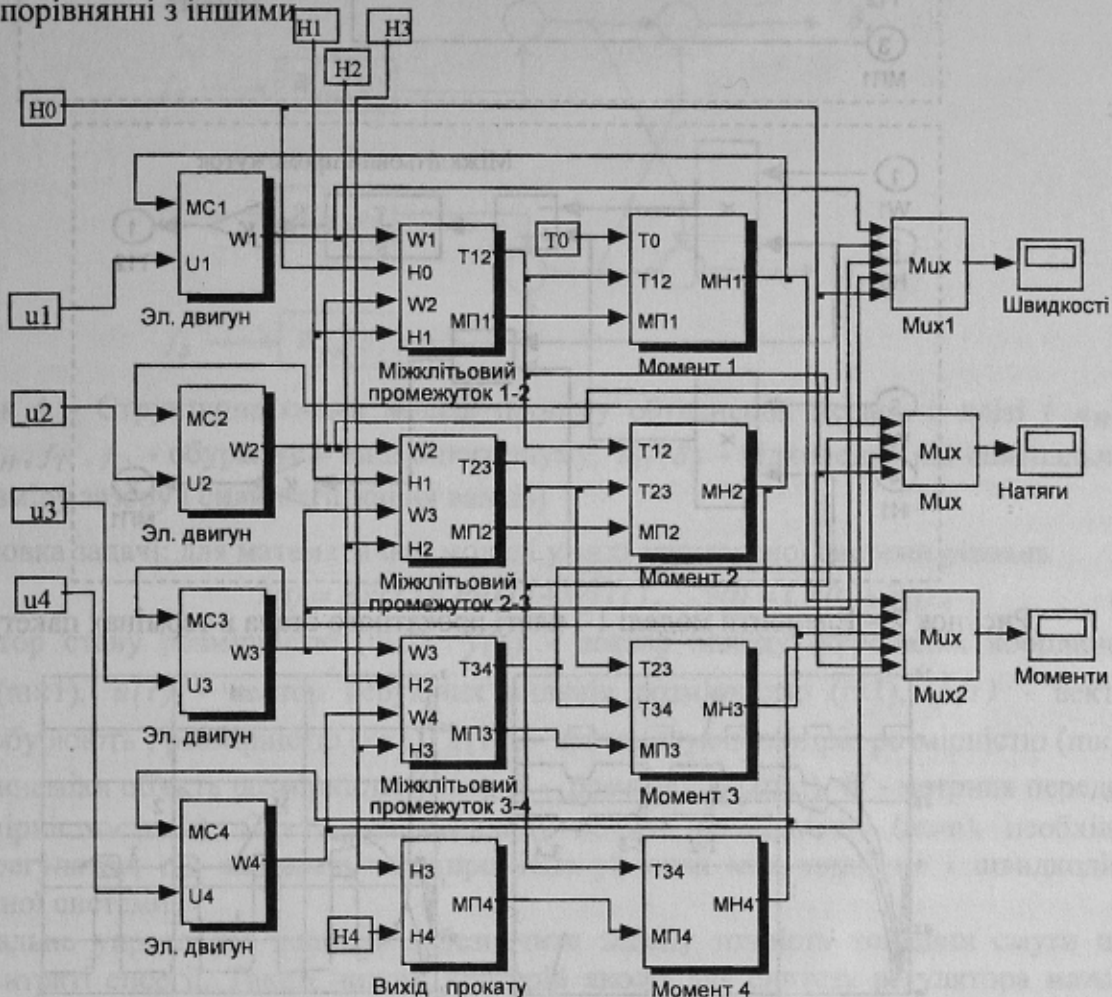


Рисунок 1 – Модель динаміки головного приводу та міжклітьових натягів безперервного прокатного стану в термінах пакету MatLab

Очевидні переваги другого засобу. Динаміку зміни натягів без регулятора і з регулятором, який реалізує співвідношення (1), показано відповідно на рис. 3(в) і 3(г). Даний спосіб можна визначити як найбільш економічний і перспективний. Тут подовжня разнотовщинність листопрокату залежить в основному від якості системи управління першою кліттю. Тому удосконалювання методів управління обтисненням у клітях залишається актуальною задачею.

Для оптимізації управління змодельюємо обурення в кліті.

Найбільше істотно впливають на відхилення товщини смуги варіація товщини підкату, міжклітьових натягів і ексцентриситет валків.

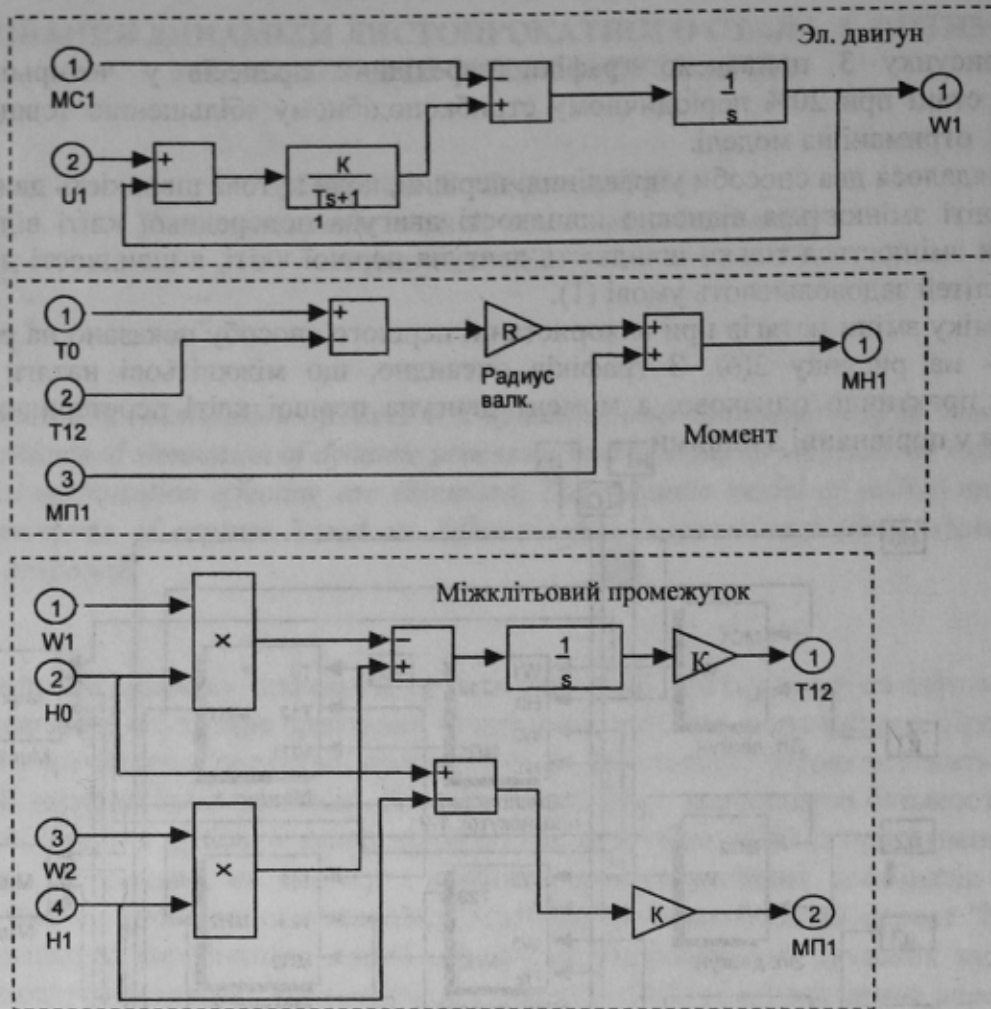


Рисунок 2 – Елементи моделі 1-ї клітці прокатного стану в термінах пакету MatLab

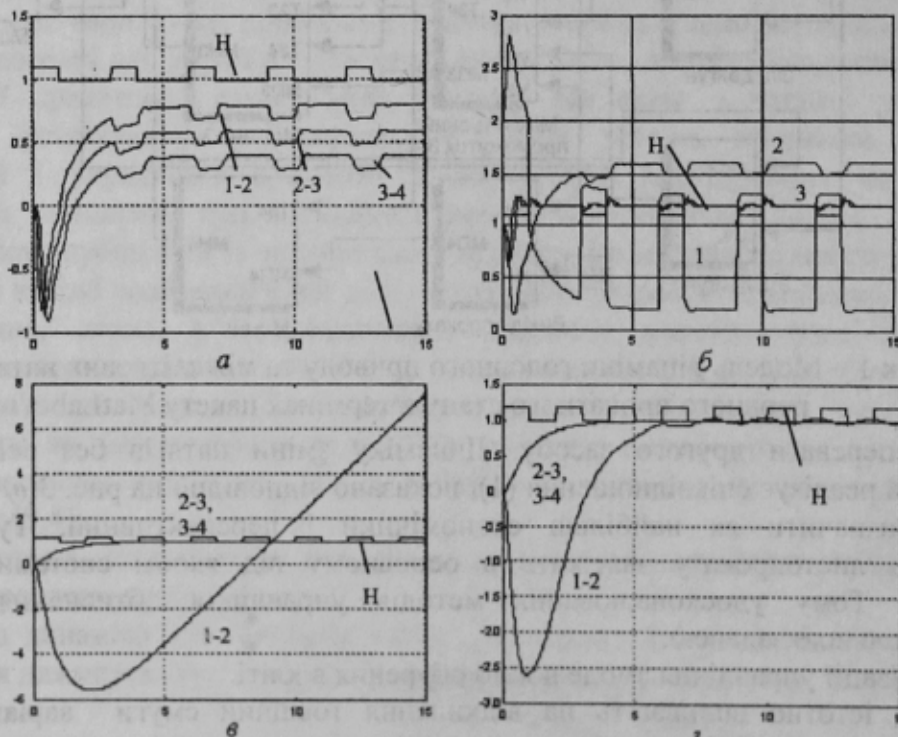


Рисунок 3 - Динаміка зміни натягів (а) і моментів (б) при використанні першого способу, і натягів без регулятора (в) і з регулятором (г) для другого способу (1, 2, 3, 4 -номер клітці)

Збурення викликані ексцентриситетом, відхиленням товщини підкату і міжклітьових натягів від номінальних змодельовано обуреннями у вигляді "білого" шуму (рис.4), пропущеними частотні фільтри частот із передатними функціями відповідно

$$W_{\phi\Delta}(p) = \frac{K_{\phi\Delta}p}{T_{\phi\Delta}^2 p^2 + 2\xi T_{\phi\Delta} p + 1}, \quad W_{\phi H}(p) = \frac{K_{\phi H}}{T_{\phi H} p + 1} \quad \text{і} \quad W_{\phi T}(p) = \frac{K_{\phi T}}{T_{\phi T} p + 1},$$

де  $T_{\phi E}, T_{\phi H}, T_{\phi T}, K_{\phi E}, K_{\phi H}, K_{\phi T}$  - відповідні постійні часу і коефіцієнти фільтрів.

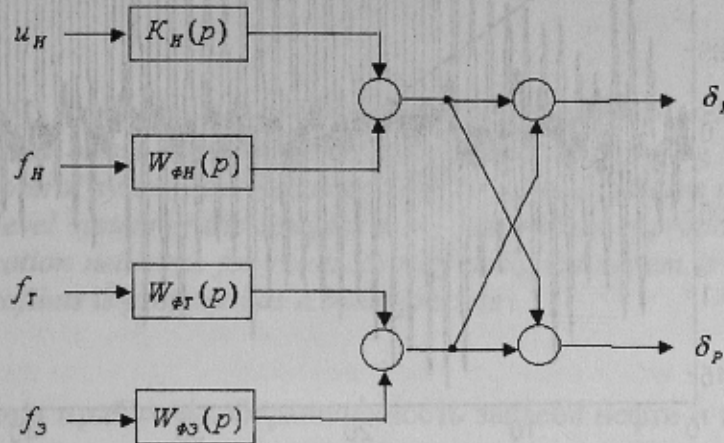


Рисунок 4 - Структурна схема моделі процесу обтиснення металу в кліті ( $u_H$  - управління,  $f_H, f_T, f_{\Delta}$  - обурення у виді білого шуму,  $\delta_H, \delta_P$  - відхилення від номінальних відповідно розміру зазору і сили натискання валків)

Постановка задачі: для математичної моделі у виді стандартної системи рівнянь

$$\dot{\bar{x}}(t) = A\bar{x}(t) + B\bar{u}(t) + W\bar{f}(t), \quad \bar{y}(t) = C\bar{x}(t) + \bar{q}(t), \quad (2)$$

де  $\bar{x}(t)$  - вектор стану розмірністю  $(n \times 1)$ ,  $\bar{y}(t)$  - вектор виходу (керованих координат) розмірністю  $(m \times 1)$ ,  $\bar{u}(t)$  - вектор керуючих впливів розмірністю  $(r \times 1)$ ,  $\bar{f}(t)$  - вектор впливів, що обурюють, розмірністю  $(k \times 1)$ ,  $\bar{q}(t)$ , - вектор шумів вимірів розмірністю  $(m \times 1)$ ,  $A$  - матриця динаміки об'єкта розмірністю  $(n \times n)$ ,  $B$  - розмірністю  $(n \times r)$ ,  $W$  - матриця передачі обурень розмірністю  $(n \times k)$ ,  $C$  - матриця виходу об'єкта розмірністю  $(m \times n)$ , необхідно синтезувати регулятор, що забезпечує компромісне рішення між точністю і швидкодією даної динамічної системи.

Оптимальне управління повинно забезпечити задану точність товщини смуги при мінімальній витраті енергії. Таким чином, критерій якості для синтезу регулятора матиме вид:

$$J = \int_0^{\infty} [\bar{x}^T(t)Q\bar{x}(t) + \bar{u}^T(t)R\bar{u}(t)] dt$$

де  $Q$  - симетрична позитивно напіввизначена матриця вагових коефіцієнтів розмірності  $(n \times n)$ ,  $R$  - симетрична позитивно визначена матриця вагових коефіцієнтів розмірності  $(r \times r)$ . У критерії перший доданок визначає точність системи, а другий витрати енергії.

Задача оптимізації складається в перебуванні сукупності векторів управляючих впливів

$$\bar{u}(t) = -K\hat{\bar{x}}(t)$$

де  $K$  - матриця коефіцієнтів оптимального управління розмірності  $(m \times n)$ ,  $\hat{\bar{x}}(t)$  - оцінка вектора перемінних стану системи спостерігачем (фільтром Калмана), що мінімізує сталу помилку оцінювання  $P$ .

Оптимальний алгоритм управління у даному випадку має вигляд

$$K = R^{-1} B^T P. \quad (3)$$

На рис.5 подано графіки результату моделювання в середовищі MatLab реакції системи на вищерозглянуті обурення без регулятора і з регулятором.

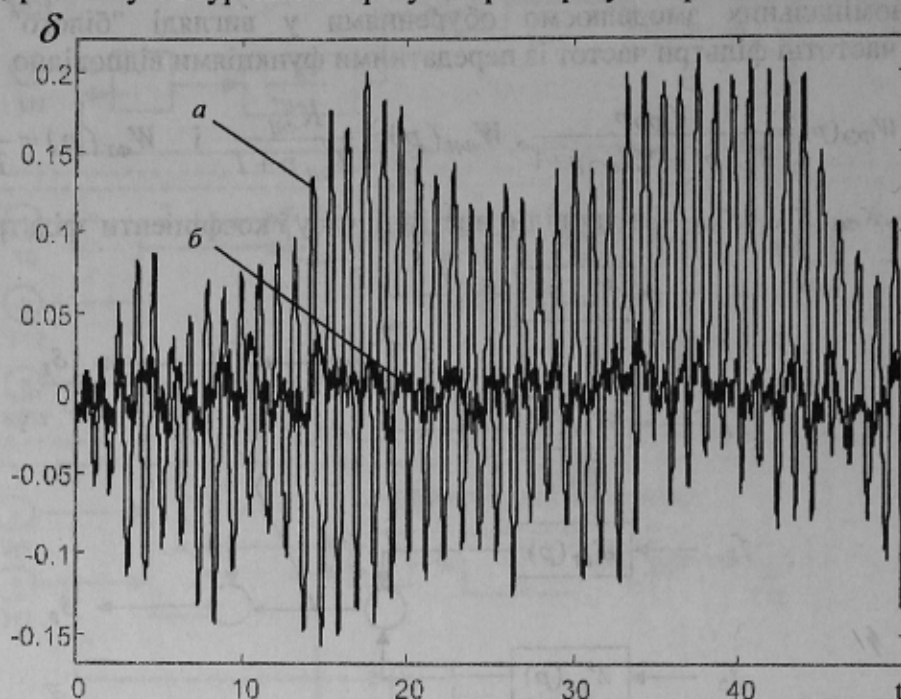


Рисунок 5 - Реакція системи на обурення без регулятора (а) і з регулятором (б)

З них видно, що застосування регулятора знижує різноманітність смуги в 4-5 разів.

При способі регулювання, коли в залежності від товщини підкату змінюється тільки швидкість двигуна першої кліті, можлива лінеаризація двохз'язної моделі кліті прокатного стану і рішення задачі оптимізації управління методом параметрів стану.

### Висновки

1. Найбільше істотно впливає на різноманітність листа на виході з кліті варіація товщини підкату, міжклітьових натягів і ексцентриситет валків.
2. У результаті моделювання встановлено, що перспективний спосіб управління швидкостями двигунів, коли в залежності від товщини підкату змінюється тільки швидкість двигуна першої кліті, а швидкості двигунів усіх наступних клітей задовольняють сформульованій умові.
3. Застосування в системах автоматичного регулювання товщини лінійно-квадратичних регуляторів дозволяє в 4-5 разів зменшити різноманітність листопрокату.

### Література

1. Дружинин Н.Н. Непрерывные станы как объект автоматизации. – М.: Металлургия, 1975. -336 с.
2. 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.
3. 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.
4. Борисов О.О., Попов В.О. Моделювання безперервного стану і основи управління ним як багатозв'язним об'єктом // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація, випуск 64.-Донецьк: ДонНТУ,-2003.-С.31-37.