

$7 \cdot 10^{-5}$  до 0,2 с. Розраховано залежність площі зовнішньої поверхні осередку деформації та знову створеної поверхні від режимів прокатування, де видно, що на блюмінгах і слябінгах, де відбуваються великі обтиснення, збільшується інтенсивність утворення нової поверхні. В подальшому потрібно визначити енергетичний баланс осередку деформації.

#### Список літератури

1. Василев Я.Д., Мінаєв О.А. Теорія повздовжньої прокатки. – Підручник. – Донецьк: УНІТЕХ, 2009. – 488 с.
  2. Головин А.Ф. – Прокатка. – Ч.1. – Свердловськ: Metallurgizdat, 1933. – 273 с.
  3. Смирнов В.С. – Теория прокатки. – М.: Metallurgiya, 1967. – 460 с.
  4. Целиков А.И. – Основы теории прокатки. – М.: Metallurgiya, 1965. – 247 с.
  6. Шломчак Г.Г. – Реологическая концепция в теории прокатки металлов. – Сучасні проблеми металургії. «Наукові вісті». – Том 5. Пластична деформація металів. Дніпропетровськ: «Системні технології», 2002. –с. 97 - 101.
  7. Старченко Д.І. – Динаміка повздовжньої прокатки. – Навч.посібник. – Київ, ІСДО. – 1995. – 384 с.
  8. Коновалов Ю.В. – Справочник прокатника. – Справочн. изд – е в 2-х книгах. – Книга 1. – Производство горячекатаных листов и полос. М.: Теплотехник, 2009. – 640 с.
- Рукопис подано до редакції 20.01.11

УДК 621.771.22: 62-52

В.Ю. ХАРЛАМЕНКО, асистент, ДВНЗ «Криворізький національний «університет

### ОПТИМАЛЬНЕ СТОХАСТИЧНЕ КЕРУВАННЯ ОБТИСНЕННЯ МЕТАЛУ НА БЛЮМІНГУ

Визначено необхідність керування обтиснення металу на блюмінгу з використанням оптимальних стохастичних систем. Розглянуто структуру оптимальної стохастичної системи керування обтиснення металу. Наведено вибір критерію оптимальності керування та вибір структури та параметрів спостерігача стану.

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Основним механізмом блюмінгу є прокатна кліть, що складається з двох обтискових валів, що приводяться в рух реверсивним електроприводом. Спочатку блюми розігріваються у нагрівальних колодязях для покращення пластичних характеристик зливку. Після видачі з нагрівального колодязя зливки подається в кліть. У кліті зливки обтискається і, тим самим, змінюються його пластичні характеристики. Також у процесі обтиснення усуваються такі дефекти як нерівності, тріщини, раковини, ліквації та інші. Після обтиснення в клітях зливки потрапляє на дільницю прибирання металу. Ця дільниця є завершальною ланкою в технологічному процесі.

Саме дефекти, що описані вище, а також причини, пов'язані з технологією виготовлення блюмів призводять до зміни моменту навантаження, що в свою чергу приводить до різкої зміни величини споживаної потужності. Тому майже весь період прокатки відбувається в нестаціонарному режимі.

Об'єкт, що працює в режимі випадкового навантаження знаходиться під впливом постійно діючих корисних та шкідливих дій. Для процесу гарячої прокатки шкідливою дією є збурення випадкового характеру, що викликають значні відхилення амплітуди вихідного сигналу від режимних показників. При цьому, гармоніки споживаної потужності не несуть корисного навантаження, а тільки витрачаються на нагрівання електричної частини привода, сприяють прискореному зношуванню механічного обладнання і збільшенню енергоспоживання [1]. Актуальність даного напрямку досліджень обумовлена значною енергоємністю на блюмінговому виробництві. У даному випадку має місце нераціональне використання енергоресурсів, внаслідок коливання споживаної потужності.

**Аналіз досліджень та публікацій.** Аналізом режимів роботи об'єктів, що працюють в режимі випадкового навантаження та формуванням методів керування даними об'єктами займається ціла наукова школа, до складу якої входять видатні вітчизняні наковці. До них необхідно віднести О.Ю. Лозинського [1], дослідження якого пов'язані з виявленням нестаціонарних режимів електродугової сталеплавильної печі та вироблення адекватної керуючої дії. А.В. Маляр в своїй роботі займався розробкою системи стабілізації координат в електроприводах з випадковим збуренням. Також треба згадати О.І. Рогачова, який розробляв методи енергозберігаючого керування нестаціонарними режимами технологічних процесів. Застосування сучасних методів керування об'єктами, що працюють в режимі випадкового навантаження відображено в роботі Кузнецової Т.Б., що присвячена розробці лінійно-квадратичних регуляторів та спостерігачів для лінеаризованої моделі електроприводу блюмінга у режимі пробуксовування валків.

**Постановка завдання.** Існує кілька основних напрямків у керуванні об'єктами, що працюють в режимі випадкового навантаження. Одним з них є використання оптимальних стохастичних систем керування, що будуються на основі об'єкту керування, фільтру, що використовується як спостерігач стану та оптимального квадратичного регулятора. При цьому для формування оптимальних керуючих дій необхідно враховувати постійно діючі фактори, що призводять до випадковості процесу.

**Викладення матеріалу та результати.** У стохастичних системах керування, тобто у системах, піддаються випадковим діям, неможливо передбачити хід протікання процесу за відомим управлінням і початковим станом [2]. Можливості якісного управління такими системами істотно залежать від тієї інформації, яка може бути отримана шляхом вимірюванням (спостереження) і обробки вихідних (спостережуваних) змінних. Тому стохастичні системи управління мають бути замкнутими.

Отже, при неповній інформації стохастично оптимальний регулятор складається з оптимального фільтру (фільтру Калмана-Бьюсі) і детермінованого оптимального регулятора [2].

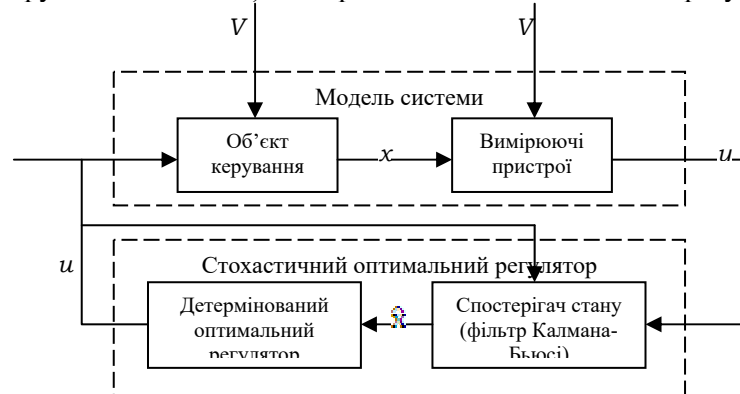


Рис. 1. Структура оптимальної стохастичної системи керування обтисненням металу на блюмінгу

Цей результат відомий як принцип розділення, чи принцип стохастичної еквівалентності [2]. Відповідно до цього принципу завдання синтезу стохастичної оптимальної системи управління при неповній інформації зводиться до двох завдань: до завдання синтезу фільтру Калмана-Бьюсі і завдання синтезу детермінованої оптимальної системи.

Для будь-якої оптимальної системи необхідно визначити критерій оптимального керування об'єктом. У даному випадку, враховуючи випадковість процесу критерій оптимальності буде мати вигляд [2]

$$J = x^T(t_f)Fx(t_f) + \int_{t_0}^{t_f} [x^T(t)Q(t)x(t) + u^T(t)R(t)u(t)] dt, \quad (1)$$

де  $F$  - додатня напіввизначена матриця;  $Q(t)$ ,  $R(t)$  - додатні напіввизначені матриці  $x^T Fx \geq 0$ ,  $x^T Qx > 0$  і  $x^T Rx > 0$  і  $x^T Rx > 0$  при всіх  $x \neq 0$   $t \in [t_0, t_f]$ ; функції  $Q(t)$  і  $R(t)$  є неперервними на інтервалі  $[t_0, t_f]$ ; початковий і кінцевий моменти часу  $t_0$  і  $t_f$  фіксовані.

Необхідно знайти таке керування з оберненим зв'язком, при якому при довільній початковій умові  $x(t_0)=x^0$  критерій оптимальності приймає мінімальне значення.

Ця задача називається задачею синтезу нестационарного лінійного регулятора стану.

В критерії оптимальності перший доданок, включається для того, щоб забезпечити максимальну близькість стану системи в кінцевий момент часу до бажаного стану. Він характеризує термінальну квадратичну помилку. Доданок

$$\int_{t_0}^{t_f} u^T(t)R(t)x(t)dt \quad (2)$$

є інтегральною квадратичною помилкою і характеризує якість керування на всьому інтервалі  $[t_0, t_f]$ . Останній доданок

$$\int_{t_0}^{t_f} u^T(t)R(t)u(t)dt \quad (3)$$

це зважена «енергія» керування, і він обмежує керування. Необхідне обмеження на керування,

що в явній формі не враховане в постановці задачі, може бути забезпечено відповідним вибором матричної функції  $R(t)$  [2].

Стохастичне оптимальне керування із зворотнім зв'язком для об'єкта при критерії оптимальності (1) має вигляд [3]

$$u = R^{-1} B^T Kx, \quad (4)$$

де  $B^T$  - матриця, що містить параметри об'єкта керування,  $K$  - симетрична матриця, яка визначається з матричного рівняння Ріккати

$$\dot{K} = -KA - A^T K + KBR^{-1}B^T K - Q \quad (5)$$

за граничної умови

$$K(t_f) = F, \quad (6)$$

$\hat{x}$  - оптимальна оцінка, яка визначається за допомогою фільтра Калмана-Бьюсі [3].

Спостерігач стану, що представлений фільтром Калмана-Бьюсі, описується рівнянням [3]

$$\dot{x} = A(t)x + L(t)[y - D(t)x] + B(t)u, \quad (7)$$

в якому матриця  $L(t)$  визначається з умови мінімуму функціонала

$$J = M \left\{ e^T \Lambda(t) e \right\}, \quad (8)$$

де  $A(t)$  - задана позитивно-визначена матриця;  $e, e^T$  - помилки відновлення (спостереження, фільтрації)  $e = x - \hat{x}$ ,  $A(t)$ ,  $D(t)$ ,  $B(t)$  - визначені матриці.

При такому визначенні матриці  $L(t)$  рівняння описує оптимальний спостерігач або оптимальний фільтр.

Отже, мета подальшого дослідження полягає в знаходженні матриці  $L(t)$  з умови мінімуму функціонала.

Матриця  $L(t)$  рівняння спостерігача (7), при якій (8) досягає мінімального значення, визначається виразом

$$L(t) = P_c(t)R^{(2)-1}, \quad (9)$$

де рішення  $P_c(t)$  - матриця розмірів  $n \times n$ , що є рішенням рівняння Ріккати

$$\dot{P}_c(t) = A(t)P_c(t) + P_c(t)A'(t) - P_c(t)D'(t)R^{(2)-1}(t)P_c(t) + \psi(t)R^{(1)}\psi(t), \quad t \geq t_0 \quad (10)$$

з початковою умовою

$$P_c(t_0) = R^{(0)}, \quad (11)$$

де  $R^{(0)}$ ,  $R^{(1)}$ ,  $R^{(2)-1}$  - коваріаційні матриці,  $\psi(t)$  - задана матриця.

Початкова умова для спостерігача (4.2.6) має бути вибрана у вигляді

$$x(t_0) = \bar{x}^{(0)}. \quad (12)$$

Спостерігач (7), у якого матриця  $L(t)$  і початкові умови визначаються співвідношеннями (9-12), називають фільтром Кальмана-Бьюсі [3].

**Висновки та напрямок подальших досліджень.** У даній роботі визначено актуальність керування процесу обтиснення металу на блюмінгу та наведено характеристику одного із методів керування даним об'єктом - використання оптимальної стохастичної системи. Визначено, що оптимальна стохастична система складається з об'єкта керування, спостерігача стану та детермінованого оптимального регулятора. Для даної системи формується критерій оптимального функціонування з якого, шляхом застосування методів динамічного програмування або принципу максимуму формується оптимальний закон функціонування об'єкта. Проте, не зважаючи на різноманіття сучасних методів керування, кожне нове рішення і кожен новий підхід до автоматизації об'єктів, що працюють в нестационарних режимах є актуальним.

#### Список літератури

1. Лозинський О.Ю. Математична модель технологічного процесу для аналізу і синтезу керуючих впливів систем регулювання електричного режиму сталеплавильних печей // Теоретична електротехніка. – Львів: Вища школа.- 1995.- Вип. 53.- С. 50-58.
2. Ким Д.П. Теория автоматического управления. Т.2. Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы: Учеб. пособие. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 464 с.
3. Александров А.Г. Оптимальные и адаптивные системы. 2-е изд. – М.: «Высшая школа», 2003. – 279.

Рукопис подано до редакції 20.01.12