

Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"

Кузнецова Тетяна Борисівна

Синтез лінійно-квадратичних регуляторів та спостерігачів для лінеаризованих моделей електроприводів на прикладі блюмінга у режимі пробуксовування валків

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук
спеціальність 05.09.03

Дисертацією є рукопис.
Робота виконана в Національному технічному університеті "Харківський політехнічний інститут" Міністерства освіти і науки України м. Харків

Науковий керівник – кандидат технічних наук, доцент
Осичев Олександр Васильович,
Національний технічний університет
"Харківський політехнічний інститут",
доцент кафедри автоматизованих
електромеханічних систем

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Зеленов Анатолій Борисович,
Донбаський гірничо-металургійний
інститут, м. Алчевськ,
професор кафедри автоматизованих
електромеханічних систем

кандидат технічних наук,
старший науковий співробітник
Васильєв Вадим Олексійович,
Харківський національний
автомобільно-дорожній університет,
доцент кафедри автоматики

Провідна установа - Донецький національний технічний університет,
кафедра електроприводу та автоматизованих
електротехнічних комплексів,
Міністерство освіти і науки України,
м. Донецьк

Захист відбудеться " 4 " липня 2002 р. о 14³⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.04 у Національному технічному університеті "Харківський політехнічний інститут" за адресою:
61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут"

Автореферат розісланий "31" травня 2002 р.

В.о. вченого секретаря
спеціалізованої вченої ради

Гончаров Ю.П.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Блюмінг є головною ланкою у технологічному процесі металургійного виробництва, і його динаміка визначає основні техніко-економічні показники прокатки. У процесі захвата зливків виникає буксування валків, що супроводжується фрикційними автоколюваннями з високим значенням пружних моментів у кінематичній лінії прокатної кліти блюмінга. Це може приводити до зіпсування механообладнання, що, по-перше, потребує його заміни новим обладнанням, і, по-друге, втрати часу на ремонт блюмінга зводять до дуже великих збитків. Тому зниження динамічних навантажень блюмінга у найбільш небезпечних режимах роботи, коли виникає пробуксовування валків, є актуальною.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження проводилися відповідно до державної науково-технічної програми ДКНТ за п. 5.1.6 "Ресурсозберігаючі електромеханічні системи" у рамках держбюджетних тем: МЗ406 "Дослідження впливу зворотних зв'язків на динаміку електромеханічних систем обтискних прокатних станів у режимі буксування і розробка експериментальної системи усунення пробуксовувань на основі датчиків фрикційних автоколювань" (1997-1999 рр.), що виконувалася за наказом Міносвіти України № 37 від 13.02.97, та МЗ408 "Розробка та дослідження систем подавлення фрикційних автоколювань та режимів буксування в електроприводах машин та механізмів" (2000 –2002 рр.). Робота виконана у рамках наукового напрямку "Динаміка електромеханічних систем з від'ємним в'язким тертям ", існуючого на кафедрі "Автоматизовані електромеханічні системи" НТУ "ХПІ", засновником якого є проф. Клепиков В.Б.

Мета і задачі дослідження. Мета дисертаційної роботи – розробити методику настроювання систем автоматичного керування електроприводом, що дозволяє знижувати динамічні навантаження головного електроприводу у режимі пробуксовування валків при захваті зливків за допомогою синтезованих оптимальних за квадратичними критеріями регуляторів при безперервному та дискретному керуванні.

Для досягнення поставленої мети вирішувались такі задачі:

1. Побудування математичних моделей електромеханічних систем головного електроприводу блюмінга як двомасових та тримасових систем з урахуванням спадаючої ділянки залежності зовнішнього тертя від швидкості проковзування валків при їх буксуванні відносно зливка, а

також визначення параметрів цих моделей, що забезпечують адекватність модельних та експериментальних перехідних процесів при безперервному та дискретному керуванні.

2. Синтез оптимальних астатичних регуляторів за інтегральним квадратичним критерієм якості при безперервному керуванні та за квадратичним критерієм якості при дискретному керуванні.
3. Синтез оптимальних спостерігачів, необхідних для реалізації керування за повним вектором стану і аналіз динаміки систем з оптимальними регуляторами та оптимальними спостерігачами.

Об'єкт дослідження - електромеханічні системи автоматичного керування головним електроприводом блюмінга у режимі пробуксовування валків.

Предмет дослідження - оптимальні за квадратичним критерієм системи безперервного та дискретного керування головним електроприводом блюмінга у режимі пробуксовування валків.

Методи дослідження - побудова математичних моделей об'єкту проводилася на основі теорії електроприводу з урахуванням особливостей процесів пробуксовування валків при захваті зливка. Аналіз і синтез систем керування проводився на базі основних положень і розділів теорії автоматичного керування, теорії оптимального керування та теорії систем керування електроприводами. Всі етапи дослідження проводилися на ЕОМ з використанням пакета MATLAB.

Наукова новизна одержаних результатів

Для зниження динамічних навантажень головного електроприводу блюмінга у режимі пробуксовування валків запропоновано використовувати оптимальні за квадратичними критеріями якості регулятори.

Параметри розроблених моделей головних приводів блюмінгів як двомасових та тримасових систем визначені таким чином, щоб їх динамічні характеристики співпадали з експериментальними.

Для синтезу оптимальних астатичних регуляторів при безперервному та дискретному керуванні в системах з від'ємним в'язким тертям розроблена методика, яка сприяє зниженню динамічних навантажень головного електроприводу блюмінга у режимі пробуксовування валків.

Встановлено, що синтезовані оптимальні регулятори забезпечують суттєве поліпшення динамічних властивостей головних електроприводів блюмінгів у режимі пробуксовування валків.

Розроблена методика синтезу оптимальних спостерігачів, що відновлюють безпосередньо не вимірювані змінні стану механічної частини моделі головного електроприводу блюмінга у безперервному та дискретному часі.

Визначено, що використання запропонованих оптимальних спостерігачів стану у формі фільтрів Калмана-Бьюсі не приводить до суттєвої зміни динамічних показників системи у порівнянні із системою, замкненою оптимальними регуляторами за повним вектором стану.

Встановлено, що синтезовані оптимальні регулятори забезпечують не тільки зменшення динамічних навантажень на спадаючій ділянці характеристики зовнішнього тертя, але й успішно працюють при її нелінійному характері, а також при постійному моменті опору у режимі нормальної прокатки зливків.

Практичне значення одержаних результатів. Представлені в дисертації теоретичні розробки рекомендовано для практичного використання у науково-дослідних та проектних інститутах, які займаються проектуванням систем керування обтискних прокатних станів, та на металургійних заводах і комбінатах, де знаходяться обтискні

прокатні стани.

Методика проектування оптимальних регуляторів та спостерігачів електроприводів блюмінга у режимі пробуксовування валків впроваджена в науково-виробничій корпорації "Київський інститут автоматики" та у відкритому акціонерному товаристві "Важпромелектропроект".

Теоретичні результати, які отримані у ході виконання дисертаційної роботи, впроваджені у навчальний процес у Національному технічному університеті "ХПІ" на кафедрі "Автоматизовані електромеханічні системи" у лекційних курсах "Автоматизація типових технологічних процесів", "Моделювання електромеханічних систем" та "Електропривод з мікропроцесорним керуванням".

В дисертації наведені відповідні акти використання отриманих результатів.

Особистий внесок здобувача в розробку наукових результатів, що винесені на захист:

- подана структурна схема двомасової та тримасової електромеханічних систем при безперервному та дискретному керуванні;
- розроблена методика оптимізації моделей двомасових та тримасових електромеханічних систем при безперервному та дискретному керуванні;
- розроблений метод синтезу оптимальних спостерігачів до вище згаданих об'єктів;
- проведені розрахунки оптимальних електромеханічних систем з оптимальними регуляторами та оптимальними спостерігачами;
- розроблені алгоритмічні схеми двомасових та тримасових електромеханічних систем з оптимальними компенсаторами.

Апробація результатів дисертації. Про положення і основні результати дисертаційної роботи були зроблені доповіді на семінарах НАН України "Динаміка нелінійних електромеханічних систем" (м. Харків, 1999, 2000, 2001р.), науково-технічних конференціях з міжнародною участю "Проблеми автоматизованого електроприводу. Теорія і практика" (Крим, м. Алушта, 1998, 1999, 2000, 2001р.), міжнародних науково-технічних конференціях "Машинобудування та техносфера на рубежі XXI сторіччя" (м. Севастополь, 1999, 2000, 2001 р.), Міжнародних конференціях з управління "Автоматика 2000" (м. Львів, 2000 р.), "Автоматика 2001" (м. Одеса, 2001р.), VI Міжнародній конференції "Проблеми сучасної електротехніки 2000" (м. Київ, 2000 р.), VI Міжнародній конференції "CADSM'2001" (м. Львів, 2001 р.).

Публікації. Основні ідеї і результати дисертаційної роботи опубліковані в 15 статтях, з них 8 статей – у фахових виданнях, 3 статті опубліковані особисто.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, додатків. Повний обсяг дисертації становить 209 сторінок, з них 26 ілюстрацій по тексту; 68 ілюстрацій на 68 сторінках; 4 додатка на 5 сторінках; список використаних літературних джерел із 167 найменувань на 19 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі подано загальну характеристику роботи, її зв'язок з науковими програмами. Показана актуальність роботи, сформульовано мету та основні задачі наукових досліджень, визначено наукову новизну отриманих результатів та обґрунтовано їх практичну цінність.

В першому розділі розглянуті особливості динаміки головних приводів блюмінгів у режимі захвату зливків. Як показує аналіз літературних джерел, більшість існуючих систем автоматичного керування головними електроприводами блюмінгів є

системами підпорядкованого керування.

На кафедрі "Автоматизовані електромеханічні системи" НТУ "ХП" проф.

Клепиковим В.Б. засновано і продуктивно розроблюється новий науковий напрямок з дослідження динаміки електромеханічних систем з від'ємним в'язким тертям.

В рамках цього наукового напрямку значний внесок в подальшому дослідженні динаміки електромеханічних систем з від'ємним в'язким тертям з урахуванням пружних елементів зроблено О.В.Осичевим. Він також розробив методичні та практичні аспекти процедури синтезу лінійно-квадратичних регуляторів для двомасових електромеханічних систем з від'ємним в'язким тертям.

Стосовно до різноманітних технологічних процесів в рамках цього наукового напрямку захищена низка дисертацій. Для головних електроприводів з урахуванням від'ємного в'язкого тертя при буксуванні валків захищені кандидатські дисертації С.Г.Буряковським та О.М.Череновим. В цих роботах урахування від'ємного в'язкого тертя досліджувалося в одно-, дво- та тримасових електромеханічних системах без системи керування, з системою підпорядкованого керування, а також із деякими зовнішніми зворотними зв'язками.

Під керівництвом проф. Акімова Л.В. виконані дослідження з синтезу модальних регуляторів стану з відповідними спостерігачами для двомасових електромеханічних систем із від'ємним в'язким тертям та розроблені системи послідовної корекції, для синтезу яких запропоновано вживати поліноміальний метод.

Застосування модальних регуляторів вимагає інтуїтивного розв'язання ряду специфічних задач у ході вибору типу та параметрів стандартних розподілів коренів, що реалізуються засобами модального керування. Тому актуальною є задача пошуку альтернативного механізму настроювання систем автоматичного керування (САК) при побудові оптимального керування за квадратичними критеріями. Крім того, сучасні системи, як правило, керуються за допомогою мікропроцесорів, а це потребує розробки методики проектування дискретних оптимальних регуляторів.

В роботі використовується підхід, пов'язаний з побудовою регуляторів, оптимальних за інтегральним квадратичним критерієм при безперервному керуванні і оптимальними за квадратичним критерієм при дискретному керуванні. Для відновлення безпосередньо не вимірюваних змінних стану у роботі використовуються оптимальні безперервні та дискретні спостерігачі у формі фільтрів Калмана-Бьюсі. За результатами аналізу математичного опису механічної та електричної частини приводів блюмінгів прийняті рішення щодо вибору моделі для подальшого синтезу САК і сформульовано мету та задачі роботи.

При індивідуальному приводі валків найбільш простою моделлю головних приводів блюмінгів та обтискних станів у режимі буксування є двомасова система. Після лінеаризації механічної характеристики реактивного навантаження від зовнішнього в'язкого тертя ця модель може бути подана у традиційному вигляді як система рівнянь:

$$T_{\mu} \frac{dU_{\text{ТП}}}{dt} = -U_{\text{ТП}} + K_{\text{ТП}} U_{\text{ВХ}};$$

(1)

$$T_e \frac{dI_{\text{Я}}}{dt} = -I_{\text{Я}} + \frac{1}{R_e} U_{\text{ТП}} - \frac{K\Phi}{R_e} \omega_1;$$

(2)

$$J_1 \frac{d\omega_1}{dt} = K\Phi I_{\text{я}} - M_{y12} - \beta_{12}(\omega_1 - \omega_2) ;$$

(3)

$$\frac{dM_{y12}}{dt} = C_{12} (\omega_1 - \omega_2) ;$$

(4)

$$J_2 \frac{d\omega_2}{dt} = M_{y12} + \beta(\omega_1 - \omega_2) + \beta_c \omega_2 - M_c .$$

(5)

У цих рівняннях: ω_1 , ω_2 - кутова швидкість валків та двигуна; J_2 , J_1 - моменти інерції валків та двигуна; M_{y12} - пружний момент; C_{12} , β_{12} - жорсткість та коефіцієнт внутрішнього в'язкого тертя пружного валу на кручення; T_e - постійна електромагнітна часу якірного кола двигуна; T_M - постійна часу тиристорного перетворювача; K - конструктивна постійна двигуна; $U_{\text{ТП}}$, $U_{\text{ВХ}}$ - напруги на виході та на вході тиристорного перетворювача; $K_{\text{ТП}}$ - коефіцієнт підсилення тиристорного перетворювача; M_c - зовнішній момент опору.

В рівнянні (5) урахована наявність ділянки залежності моменту зовнішнього тертя від швидкості обертання валків із жорсткістю β_c .

Для головного приводу з довгою кінематичною лінією використовується тримасова система, механічна частина якої описується наступними рівняннями:

$$J_1 \frac{d\omega_1}{dt} = K\Phi I_{\text{я}} - M_{y12} - \beta_{12}(\omega_1 - \omega_2) ;$$

(6)

$$\frac{dM_{y12}}{dt} = C_{12} (\omega_1 - \omega_2) ;$$

(7)

$$J_2 \frac{d\omega_{y12}}{dt} = M_{y12} + \beta_{12} (\omega_1 - \omega_2) - M_{y23} - \beta_{23}(\omega_2 - \omega_3) ;$$

(8)

$$\frac{dM_{y12}}{dt} = C_{23} (\omega_2 - \omega_3) ;$$

(9)

$$J_3 \frac{d\omega_3}{dt} =$$

$$M_{y23} + \beta_{23}(\omega_2 - \omega_3) + \beta_c \omega_3 - M_c \quad (10)$$

У цих рівняннях: $\omega_3, \omega_2, \omega_1$ - швидкості обертання валків, муфти та двигуна;
 M_{y13}, M_{y23} - пружні моменти валів; C_{12}, C_{23} та γ_{12}, γ_{23} - жорсткості та коефіцієнти внутрішнього в'язкого тертя у валах на кручення.

Рівняння як для двомасової (1)-(5), так і для тримасової (6)-(10) системи записані у стандартній формі змінних стану

де матриця стану A , керування B та збурення F виводяться з вихідних рівнянь (1) –(10).

Сучасні системи керування електроприводами будуються на мікропроцесорній елементній базі. Тому безперервна система (11) додатково подана як дискретна після відповідних перетворень:

Матриці стану A_d , керування B_d та збурення F_d знаходяться з матриці стану A , керування B та збурення F безперервної системи (11) після розкладу матричної експоненти при обмеженні кількості членів ряду:

де T –період дискретності ЕОМ.

На базі цих моделей були проведені розрахунки динамічних процесів для Криворізького блюмінгу 1300 та кліті обтискного стану 950 Запорізького заводу "Дніпроспецсталь" з тими значеннями параметрів приводів, які наведені в технічній документації вище згаданих систем. Отримані перехідні процеси з високою точністю співпадають з експериментальними даними, що вилучені з раніш проведених робіт. Цими розрахунками доказано адекватність розроблених математичних моделей реальним об'єктам.

Другий розділ присвячено синтезу оптимальних регуляторів за інтегральним квадратичним критерієм якості для лінеаризованих моделей (1)-(5) та (6)-(10) у якому R_1 – вагова матриця, а R_2 – ваговий множник.

Оптимальне керування лінійне за повним вектором стану

де, як відомо, матриця оптимальних коефіцієнтів підсилення

$$F = R_2^{-1} B^T P, \quad (18)$$

а P є сталим отримуваним чисельно значенням рішення диференційного рівняння Ріккати

Для одержання астатизму вихідна система (11) доповнюється інтегратором, на вхід якого подається різниця між заданою ω_3 та фактичною швидкістю обертання двигуна.

Для дискретної системи (12) синтезується оптимальний регулятор за квадратичним критерієм

$$J = \sum \{ \vec{X}^T (n+1) R_1 \vec{X}(n+1) + R_2 U_{вх}^2(n) \}$$

(21)

Оптимальне керування лінійне за повним вектором стану

де матриця оптимальних коефіцієнтів підсилення знаходиться як стале рішення рівняння

$$P(n+1)A, \quad F(n) = \{R_2 + B^T [R_1 + P(n+1)]B\}^{-1} B^T [R_1 +$$

(23)

у якому $P(n)$ отримується як чисельне рівняння

$$P(n) = A^T [R_1 + P(n+1)] [A - BF(n)].$$

(24)

Для одержання астатизму вихідна дискретна система (12) доповнюється цифровим інтегралом

$$Z(n+1) = T[\omega_3 - \omega_1(n)] + Z(n),$$

(25)

на вхід якого подається різниця між заданою ω_3 та фактичною $\omega_1(n)$ швидкістю обертання двигуна.

Результати синтезу оптимальних безперервних та дискретних регуляторів стосовно до головних приводів Криворізького блюмінга 1300 та кліті обтискного стану 950 Запорізького заводу "Дніпроспецсталь" показали, що за їх допомогою можна ефективно усунути надмірні динамічні навантаження у режимі захвату зливків за обставин буксування. Крім того дано оцінку якості динамічних процесів синтезованих САК у штатному режимі захвату без пробуксовування. Моделювання проведено для вищезгаданих лінійних моделей.

Третій розділ присвячено побудові оптимальних спостерігачів, необхідних для реалізації оптимальних регуляторів. У двомасовій системі безпосередньо не вимірюються пружний момент $M_{y12}(t)$ та швидкість обертання валків $\omega_2(t)$, а у тримасовій системі безпосередньо не вимірюються пружні моменти $M_{y12}(t)$ та $M_{y23}(t)$ у валах, а також швидкості обертання валків $\omega_3(t)$ та муфти $\omega_2(t)$. Для відновлення цих безпосередньо не вимірюваних змінних стану побудовані досить поширені у електроприводі спостерігачі, входом яких є струм якоря двигуна $I_{я}(t)$ та швидкість обертання двигуна $\omega_1(t)$. Вперше механічні частини систем головних електроприводів блюмінгів представляються як стохастичні системи. При цьому коректне визначення параметрів спостерігачів також можливе при стохастичному підході до їх синтезу, коли об'єкт може бути представлений у вигляді:

де $W_1(t)$ – випадковий сигнал типу білого шуму, який збуджує систему.

Матриці стану спостерігачів двомасової та тримасової систем мають наступний вигляд:

$$A_n = \left\| \begin{array}{c|c|c} -\beta_c - \beta_{12} & \frac{1}{J_2} & \frac{\beta_{12}}{J_2} \\ \hline J_2 & 0 & C_{12} \\ \hline -C_{12} & 0 & C_{12} \\ \hline \frac{\beta_{12}}{J_1} & -\frac{1}{J_1} & -\frac{\beta_{12}}{J_1} \end{array} \right\| \quad A_n = \left\| \begin{array}{c|c|c|c|c} -\beta_c - \beta_{23} & \frac{1}{J_3} & \frac{\beta_{23}}{J_3} & 0 & 0 \\ \hline J_3 & 0 & C_{23} & 0 & 0 \\ \hline -C_{23} & 0 & C_{23} & 0 & 0 \\ \hline \frac{\beta_{23}}{J_2} & -\frac{1}{J_2} & -\frac{\beta_{12} - \beta_{23}}{J_2} & \frac{1}{J_2} & 0 \\ \hline J_2 & 0 & -C_{12} & 0 & C_{12} \\ \hline & & \frac{\beta_{12}}{J_1} & \frac{1}{J_1} & -\frac{\beta_{12}}{J_1} \end{array} \right\|$$

У рівнянні виходу

випадковий сигнал типу білого шуму $W_2(t)$ є помилкою вимірювання швидкості обертання двигуна $\omega_1(t)$.

Тоді оптимальний спостерігач у вигляді фільтру Калмана-Бьюсі буде

де матриця коефіцієнтів підсилення

$$K = QC^T V_2^{-1}, \quad (29)$$

а Q – є стале одержуване чисельно рішення матричного диференційного рівняння Ріккати. У цьому рівнянні V_1, V_2 – матриці кореляційних моментів випадкових сигналів $W_1(t)$ та $W_2(t)$.

Для дискретної системи (12) також побудовано оптимальний спостерігач у вигляді дискретного фільтру Калмана – Бьюсі

де матриця коефіцієнтів підсилення

а матриця $Q(n)$ знаходиться з рівняння

У цьому рівнянні V_1, V_2 та V_{12} – матриці кореляційних моментів випадкових сигналів $W_1(n)$, збуджуючих початкову систему, та похибок вимірювання $W_2(n)$:

Компонентами вектору $Y(n)$ є вихідна напруга на тиристорному перетворювачі $U_{ТП}(n)$, якірний струм $I_{я}(n)$ та швидкість обертання двигуна $\omega_1(n)$.

У четвертому розділі виконано дослідження динамічних властивостей синтезованих систем з оптимальними регуляторами та оптимальними спостерігачами. На рис. 1 наведена матриця стану тримасової системи, а її схема наведена на рис. 2.

Дослідження перехідних процесів двомасових та тримасових систем безперервного та дискретного керування показало їх практичне співпадання з перехідними процесами вихідних оптимальних систем, замкнених за повним вектором стану. При синтезі оптимальних спостерігачів значення β_c вибиралися таким чином, щоб робоча точка знаходилася на спадаючій ділянці характеристики зовнішнього тертя і щоб при цьому у розімкнутій системі виникали незатухаючі коливання, які б співпадали з експериментальними даними. Але у ході роботи блюмінга це значення

безперервно змінюється. Більше того, система може переходити на зростаючу ділянку цієї характеристики. Тому проведено оцінку чутливості синтезованих лінеаризованих систем до варіації значення та знаку жорсткості характеристики зовнішнього тертя τ_c в об'єкті регулювання.

Показано, що для моделей головних приводів Криворізького блюмінгу 1300 та кліті обтискного стану 950 Запорізького заводу "Дніпроспецсталь" зростання значення коефіцієнта τ_c у два рази для двомасових систем та у десять разів для тримасових систем практично не приводить до погіршення перехідних процесів у системі при безперервному та дискретному керуванні. Як приклад, на рис. 3 показані перехідні процеси: швидкості обертання валків - а), швидкості обертання двигуна - б), швидкості обертання муфти - в) та пружного моменту M_{y23} - г), - при ступінчатій дії номінального моменту опору у тримасовій системі дискретного керування головного приводу кліті обтискного стану 950 Запорізького заводу "Дніпроспецсталь". Перехідні процеси, побудовані для трьох значень коефіцієнта τ_c :

1 - прийнятого у розрахунках $\tau_c = \tau_c^*$, 2 - більш прийнятого у розрахунках у десять разів $\tau_c = 10 \tau_c$, 3 - більш прийнятого у розрахунках у десять разів $\tau_c = -10 \tau_c$, коли робоча точка знаходиться на зростаючій ділянці.

Розроблені принципові схеми безперервних спостерегачів двомасової та тримасової систем, необхідні для реалізації оптимального керування за повним вектором стану.

ВИСНОВКИ

У ході виконаних досліджень отримані наступні наукові та технічні результати.

1. Вперше для зменшення динамічних навантажень головного електроприводу блюмінгу у режимі пробуксовування валків при захваті зливків запропоновано використовувати оптимальні регулятори за квадратичними критеріями якості.
2. Досліджені динамічні характеристики математичних моделей головних електроприводів блюмінгу у режимі пробуксовування валків як двомасових та тримасових електромеханічних систем при безперервному та дискретному керуванні і відновлені параметри математичних моделей таким чином, щоб їх динамічні характеристики співпадали з експериментальними.
3. Розроблена методика синтезу оптимальних астатичних регуляторів при безперервному та дискретному керуванні для систем з негативним в'язким тертям, яка сприяє зниженню динамічних навантажень головного електроприводу.

Рис. 3. Перехідні процеси оптимальної системи керування головним приводом обтискного стану 950 Запорізького заводу "Дніпроспецсталь" при навантаженні

воду блюмінгу у режимі пробуксовування валків.

4. Синтезовані оптимальні безперервні та дискретні регулятори, за допомогою яких забезпечується астатизм регулювання. Виконано вибір вагових матриць у інтегральному квадратичному критерію якості при безперервному керуванні та у квадратичному критерію при дискретному керуванні таким чином, щоб задовольнити потребам до регуляторів та елементів електроприводів.
5. Установлено, що синтезовані оптимальні регулятори забезпечують суттєве поліпшення динамічних властивостей головних електроприводів блюмінгу у режимі пробуксовування валків.
6. Для відновлення повного вектору стану електроприводу блюмінгу за

безпосередньо вимірюваними змінними стану синтезовані оптимальні безперервні та дискретні спостерігачі у формі фільтрів Калмана-Бьюсі для двомасових та тримасових електромеханічних систем, що забезпечують мінімальну дисперсію похибок відновлення змінних стану при відомому вірогідному стані вхідних сигналів.

7. Проаналізовані динамічні характеристики синтезованих лінійних систем з оптимальними регуляторами та оптимальними спостерігачами. Показано, що застосування спостерігачів практично не впливає на динамічні характеристики оптимальних систем, замкнених через спостерігачі, порівняно з оптимальними системи, замкненими за повним вектором стану.
8. Досліджено вплив зміни коефіцієнта жорсткості у характеристиці зовнішнього тертя на динамічні характеристики синтезованих лінійних оптимальних систем при безперервному та дискретному керуванні. Показано, що при зміні цього коефіцієнта у широких межах динамічні характеристики синтезованих систем змінюються незначно.
9. Установлено, що синтезовані оптимальні регулятори забезпечують не тільки зменшення динамічних навантажень на падаючій ділянці характеристики зовнішнього тертя, але й успішно працюють при її нелінійному характері, а також при постійному моменті опору у режимі нормальної прокатки зливків.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Кузнецова Т.Б. Снижение динамических нагрузок блюминга в режиме пробуксовки валков средствами электропривода с помощью фаззи – регулятора. // Вестник Харьковского государственного политехнического университета.-Харьков: ХГПУ.-2000. – № 113. - С. 372-373.
2. Кузнецова Т.Б. Уменьшение динамических нагрузок машин в режиме буксования с помощью фаззи регулятора.// Механіка та машинобудування. - 2000, №1.- С. 149-152.
3. Кузнецова Т.Б. Алгоритмическая и принципиальная схема непрерывного наблюдателя трехмассовой электромеханической системы. // Вестник Национального технического университета “ХПИ”.-Харьков: НТУ “ХПИ”. -2001. – № 10. - С. 164-165.
4. Кузнецова Т.Б., Богаенко К.И. Снижение динамических нагрузок блюминга при пробуксовке валков. //Автоматизация виробничих процесів.- Київ.-2000.- №1(10).-С. 78-81.
5. Кузнецова Т.Б., Богаенко К.И. Исследование чувствительно цифровой системы управления блюмингом в режиме буксования валков //Автоматизация виробничих процесів. - Київ.- 2000.- №.2(11)-С. 88-91.
6. Кузнецова Т.Б., Богаенко К.И. Исследование чувствительности трехмассовой системы оптимального управления блюмингом в режиме буксования валков. //Автоматизация виробничих процесів.- Київ.- 2001.- №.1(12)-С. 88-91.
7. Кузнецов Б.И., Осичев А.В., Чаусов А.А., Кузнецова Т.Б., Оптимальное управление главным приводом блюминга в режиме пробуксовки валков. //Технічна електродинаміка.– Київ,2000.- Тематичний випуск Ч.6.- С.23-28.
8. Кузнецов Б.И., Соляник О.В., Чаусов А.А., Осичев А.В., . Кузнецова Т.Б. Демфирование упругих колебаний электромеханических систем.// Прогресивные технологии и системы машиностроения. Международный сборник научных трудов.-Донецк: Дон ГТУ.- 2000.- Вып. 12.- С. 161-165.

АНОТАЦІЇ

Кузнецова Т.Б. Синтез лінійно-квадратичних регуляторів та спостерігачів для лінеаризованих моделей електроприводів на прикладі блюмінга у режимі пробуксовування валків. –Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.09.03 – електротехнічні комплекси та системи. – Національний технічний університет “ХПІ”, Харків, 2002.

Мета дисертаційної роботи – розробити методику настроювання систем автоматичного керування електроприводом, що дозволяє знижувати динамічні навантаження головного електроприводу у режимі пробуксовування валків при захваті зливків за допомогою синтезованих оптимальних за квадратичними критеріями регуляторів при безперервному та дискретному керуванні.

Розглянуті математичні моделі головного приводу блюмінга як двомасової та тримасової систем при безперервному та дискретному керуванні. Розроблено методику синтезу оптимальних за квадратичним критерієм якості регуляторів та оптимальних спостерігачів, що забезпечують ефективне зниження динамічних навантажень головного електроприводу у режимі пробуксування валків.

Досліджені динамічні характеристики систем із синтезованими оптимальними регуляторами, замкнутими через оптимальні спостерігачі. Показано, що перехідні процеси в оптимальній системі зі спостерігачами стана досить близькі до відповідних перехідних процесів оптимальної системи замкнутої по повному вектору стана.

Ключові слова: блюмінг, головний електропривод, оптимальний регулятор, оптимальний спостерігач, оптимальний компенсатор.

Кузнецова Т.Б. Синтез линейно-квадратичных регуляторов и наблюдателей для линейризованных моделей электроприводов на примере блюминга в режиме пробуксовки валков.-Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03.-электротехнические комплексы и системы. - Национальный технический университет “ХПИ”, Харьков, 2002.

Диссертация посвящена вопросам снижения динамических нагрузок главных электроприводов обжимных прокатных станов в режиме пробуксовки валков средствами электропривода за счет применения оптимальных регуляторов. Это, в свою очередь, позволит повысить надежность работы главных электроприводов, интенсифицировать технологический процесс прокатки.

Цель диссертационной работы - разработать методику настройки систем автоматического управления электроприводами, которая позволяет снизить динамические нагрузки главного электропривода блюминга в режиме пробуксовки валков при захвате слитков с помощью оптимальных регуляторов и оптимальных наблюдателей при непрерывном и дискретном управлении и раскрыть особенности ее применения на примере главных приводов блюмингов.

Разработаны математические модели главных электроприводов блюмингов в режиме буксования валков как двухмассовых систем с учетом моментов инерции прокатных валков и двигателя, связанных упругим валом, что характерно при индивидуальном приводе для короткой ветви главного привода, и как трехмассовых систем с учетом моментов инерции валков, муфты и двигателя, связанных упругими валами, что

характерно для длинной ветви при индивидуальном приводе или для привода верхнего и нижнего валков от общего двигателя. Достоверность теоретических разработок математических моделей были подтверждены в процессе компьютерного моделирования совпадением переходных процессов с экспериментальными данными.

Для демпфирования упругих колебаний главных приводов блюмингов в процессе буксования валков при захвате слитков выполнен синтез оптимальных астатических регуляторов по интегральному квадратичному критерию при непрерывном управлении, и по квадратичному критерию при дискретном управлении.

Проанализированы полученные динамические характеристики систем с синтезированными оптимальными регуляторами.

В связи с недоступностью непосредственного измерения скорости вращения валков и моментов упругости, необходимых для реализации синтезированных оптимальных регуляторов обоснована необходимость применения наблюдающих устройств и синтезированы оптимальные непрерывные и дискретные наблюдатели в форме фильтров Калмана-Бьюси для двухмассовых и трехмассовых систем.

Проанализированы динамические характеристики синтезированных наблюдателей.

Исследованы динамические характеристики систем с синтезированными оптимальными регуляторами, замкнутыми через оптимальные наблюдатели.

Показано, что переходные процессы в оптимальной системе с наблюдателями состояния достаточно близки к соответствующим переходным процессам оптимальной системы при управлении по полному вектору состояния, что обусловлено сравнительно более высоким быстродействием наблюдателя по сравнению с быстродействием оптимальной системы, замкнутой по полному вектору состояния.

Проведено исследование влияния изменения величины и знака жесткости характеристики внешнего трения на динамические характеристики синтезированных систем. Показано, что динамические характеристики разработанных систем при изменении величины и знака жесткости характеристики внешнего трения в широких пределах изменяются незначительно.

Применение синтезированных оптимальных регуляторов и оптимальных наблюдателей позволяет снизить динамические нагрузки в линиях главных электроприводов обжимных прокатных станов.

Ключевые слова: главный привод, оптимальный регулятор, оптимальный наблюдатель, оптимальный компенсатор.

Kuznetsova T.B. Synthesis linearly - square regulators and observers for linearized models of electric drives for example blooming in a slip rollers regime.- Manuscript.

Thesis on competition of a scientific degree of the Candidate of engineering science on a speciality 05.09.03.- electrotechnical complexes and systems. - National technical university (KPI), Kharkov, 2002.

The dissertation is devoted to the problems of main electric drives dynamic loads decrease in a slip rollers regime by the means of electric drive at the expense of optimum regulators application.

The mathematical models of blooming main electric drives both two-mass systems and three-mass systems are developed at continuous and discrete control. The technique of synthesis the optimal regulators on an integral quadratic criterion of quality, and the optimum observers which provide effective damping of oscillations of the drive in a slip

rollers regime are developed.

The dynamic characteristics of systems with synthesized optimum regulators closed through the optimum observers are investigated. It is shown, that the transients in an optimum system with the observers of a condition are rather close to appropriate transients of an optimum system closed on full state vector, that is stipulated by rather higher response of the observer till a comparison with response of an optimum system, closed on full state vector.

Key word: blooming, main electric drive, optimum regulator, optimum observer, optimum equalizer.