

УДК 621.721

Н.В. Жукова (канд. техн. наук, доц.), Г.А. Родіна (магістр)
 Донецький національний технічний університет, м. Донецьк
 Кафедра автоматики та телекомунікацій
 E-mail: Zhnatka@mail.ru, vreduna12@rambler.ru

СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ БАРАБАНА ПРОМІЖНОГО НАКОПИЧУВАЧА У СКЛАДІ ЛИВАРНО-ПРОКАТНОГО АГРЕГАТУ ВИРОБНИЦТВА ТОНКИХ СТАЛЕВИХ СМУГ

Проаналізовано структурну схему системи автоматичного управління електроприводом барабана моталки проміжного накопичувача зі структурою, що перемикається, яка забезпечує на різних етапах технологічного процесу автоматичне регулювання положення і лінійної швидкості намотування (розмотування) смуги на барабан. Проведено моделювання САУ з урахуванням моменту інерції моталки, що змінюється в процесі намотування (розмотування) смуги і аналіз перехідних процесів в розробленій системі.

Ключові слова: *безперервне лиття, реверсивна прокатка, барабан моталки, проміжний накопичувач смуги, структура, що перемикається, момент інерції моталки.*

Загальна постановка проблеми

Останні роки у світовій металургії відзначаються загостренням конкуренції при одночасному спаді темпу приросту споживання металу, відбувається поступова заміна стратегії металургійних підприємств на користь створення міні-заводів, на яких функціонують компактні і гнучкі технологічні модулі, зокрема ливарно-прокатні агрегати (ЛПА). Технологія ЛПА є енергоємною, тому що поєднує безперервний процес лиття заготовки з реверсивним процесом прокатки. При цьому не втрачається тепло відлитих безперервним способом заготовок. Тому задача розробки системи автоматичного управління електроприводами, яка забезпечує можливість поєднання різношвидкісних, різноспрямованих операцій безперервного лиття «нескінченної смуги» і її реверсивної прокатки є актуальною.

В умовах технології надкомпактного виробництва смуг [1] процес суміщення здійснюється шляхом почергового накопичення і видачі ділянок смуги за допомогою накопичувального модуля. “Нескінченна смуга” у вигляді тонкого сляба надходить з постійною швидкістю від МБЛЗ. Компонування базового варіанту безперервно-реверсивного ЛПА наведено на рис.1. Основними модулями агрегату є послідовно розташовані МБЛЗ, накопичувально-нагрівальний пристрій і реверсивний прокатний стан. Принцип передачі розкату пояснюється на рис.2. Барабан проміжної моталки має наскрізний діаметральний проріз для пропуску смуги. При обертанні барабана в позитивному напрямку (за годинниковою стрілкою) відбувається намотування смуги з двох входів, а при обертанні в негативному напрямку — розмотування. З обох сторін проміжної моталки розташовані ролики, призначені для створення необхідного натягу при намотуванні (розмотуванні) смуги.

При одночасному обертанні барабана і переміщенні накопичувача вздовж рольганга швидкості смуги V_1 і V_2 будуть визначатися як:

$$V_1 = V_0 + V_n; V_2 = V_0 - V_n, \quad (1)$$

де V_0 — окружна швидкість намотування (розмотування) смуги в рулон на барабан;

V_n — швидкість переміщення накопичувача.

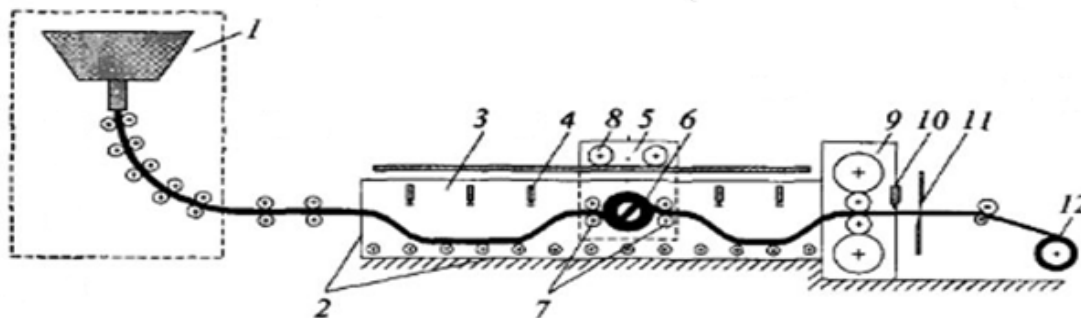


Рисунок 1 — Ливарно-прокатний агрегат виробництва тонких сталевих смуг

1 — МБЛЗ; 2 — накопичувально-нагрівальний пристрій; 3 — прохідна піч; 4 — газові пальники; 5 — проміжний накопичувач; 6 — проміжна моталка; 7 — ролики; 8 — привід переміщення; 9 — стан Стекеля; 10 — пристрій для охолодження; 11 — ножиці; 12 — кінцеві моталки.

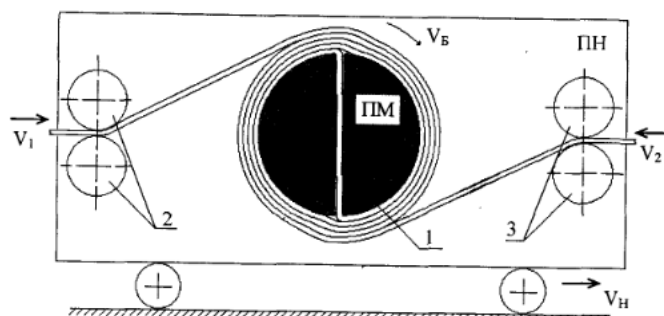


Рисунок 2 — Схема накопичення і видачі смуги в проміжному накопичувачі

З виразу (1) випливає, що швидкості V_1 і V_2 можуть мати як різні абсолютні значення, так і, в загальному випадку, різні напрямки. Швидкість поступального руху накопичувача V_n і окружна швидкість намотування (розмотування) на барабан $V_б$ пов'язані зі швидкостями на першому і другому входах (виходах) наступними співвідношеннями:

$$V_б = \frac{V_1 + V_2}{2}; V_n = \frac{V_1 - V_2}{2}, \quad (2)$$

Таким чином, в основі принципу накопичення і видачі смуги лежить поєднання обертового руху барабана проміжної моталки з одночасним поступальним рухом корпусу накопичувача. Даний спосіб дозволяє поєднати різношвидкісний і різноспрямований рух смуги до і після накопичувача по ходу технологічного потоку металу. У ряді публікацій [2, 3] даний спосіб отримав назву “намотування з вільними кінцями”. Технологічна лінія ЛПА об'єднує групи електромеханічних систем, що мають принципово нові взаємозв'язки в безперервно-реверсивному технологічному процесі [1]. В [1] представлені основні рішення щодо вибору силового обладнання та побудови систем управління електроприводами технологічної лінії. В якості основного принципу побудови систем обрано принцип підлеглого регулювання координат. Аналіз технологічних режимів проміжного накопичувача показав, що електропривод барабана проміжної моталки протягом циклу прокатки повинен забезпечувати регулювання різних координат (швидкість, положення). Відомі системи управління [4,5] аналогічних пристроїв не можуть бути застосовані для

вирішення задачі сполучення. Авторами в [1] проаналізована структурна схема розробленої системи управління електроприводом барабана зі структурою, що перемикається, яка забезпечує на різних етапах технологічного процесу автоматичне перемикання зовнішнього контуру і, відповідно, зміну регульованої координати: лінійної швидкості — положення. Метою даної статті є дослідження динаміки комбінованої системи управління електроприводом барабана.

Рішення задачі

Математична модель САУ електроприводом барабана моталки проміжного накопичувача з внутрішнім контуром струму, контуром швидкості і зовнішнім контуром положення представлена в інтегро-диференціальному вигляді:

$$\left\{ \begin{array}{l} U_i(t) = R_{\text{я}} \cdot I(t) + L_{\text{я}} \cdot \frac{dI(t)}{dt} + C \cdot \omega_{\text{об}}(t); \\ U_i(t) = K_{\text{ТП}} \left[K_{\text{П}} \cdot \varepsilon_i(t) + \frac{1}{T_I} \int_0^t \varepsilon_i(t) dt \right]; \\ U_{\omega}(t) = K_{\text{П}} \cdot \varepsilon_{\omega}(t); \\ U_p(t) = K_{\text{П}} \cdot \varepsilon_p(t); \\ \varepsilon_i(t) = U_{\omega}(t) - I(t) \cdot K_{\text{зс}}; \\ \varepsilon_{\omega 1}(t) = U_p(t) - \omega_{\text{об}}(t) \cdot K_{\text{зш}}; \\ \varepsilon_{\omega 2}(t) = U_{\text{zw}}(t) - V_n(t) \cdot K_{\text{зш}}; \\ \varepsilon_p(t) = U_{\text{zp}}(t) - \varphi_{\text{б}}(t); \\ J_{\text{м}} \frac{d\omega_{\text{об}}(t)}{dt} = C \cdot I(t) - M_c(t) \\ \varphi_{\text{б}}(t) = \int_0^t \omega_{\text{об}}(t) dt \\ V_c(t) = \frac{\omega_{\text{об}}(t) \cdot R_{\text{рул}}(t)}{i_{\text{б}}} \end{array} \right. \quad (3)$$

У системі (3) відомими функціями часу є $U_i(t)$, $U_{\omega}(t)$, $U_p(t)$ — напруга живлення (В), регульовані по ПІ- і П- закону з помилками неузгодженості $\varepsilon_i(t)$, $\varepsilon_{\omega 1}$, $\varepsilon_{\omega 2}(t)$, $\varepsilon_p(t)$ між впливами, що задаються для контурів струму, швидкості і положення відповідно та сигналів зворотних зв'язків по $I(t)$, $\omega_{\text{об}}(t)$, $V_c(t)$, $\varphi_{\text{б}}(t)$; $M_c(t)$ — момент навантаження, приведений до ротору двигуна (Нм). Невідомими функціями часу є $\omega_{\text{об}}(t)$, $\varphi_{\text{б}}(t)$, $V_c(t)$ — швидкість обертання двигуна барабана (рад/с), кут повороту барабана (рад), лінійна швидкість смуги (м/с); $C \cdot I(t)$ — активний електромагнітний момент на валу двигуна (Нм). $J_{\text{м}}$ — момент інерції моталки ($\text{кг} \cdot \text{м}^2$); $R_{\text{я}}$ — активний опір якоря двигуна (Ом); $L_{\text{я}}$ — індуктивність силового ланцюга ТП-Д (Гн); $C, K_{\text{ТП}}, K_{\text{зш}}, K_{\text{зш}}, K_{\text{зс}}$ — постійна машини, коефіцієнт посилення ТП, коефіцієнти зворотного зв'язку за швидкостями і струму; $K_{\text{П}}, T_I$ — коефіцієнти пропорційної та інтегральної частин ПІ-регулятора; $i_{\text{б}}$ — передавальне число редуктора; $R_{\text{рул}}$ — радіус рулона намотаного на барабан (м).

Момент інерції моталки J_m включає в себе момент інерції двигуна, момент інерції рулона, що змінюється зі зміною радіусу намотуваного рулона:

$$J_m = J_{дв} + J_{рул} \tag{4}$$

Довжина намотаного матеріалу на барабан:

$$L = \int V_{\delta} dt \tag{5}$$

Радіус намотаного матеріалу і радіус барабана:

$$r_2 = \sqrt{\frac{L \cdot MT}{\pi} + r_1^2}, \tag{6}$$

де r_1 — радіус барабана; MT — товщина листа.

Маса матеріалу в рулоні:

$$M = MV\pi W(r_2^2 - r_1^2), \tag{7}$$

де MV — питома щільність сталі, W — ширина листа.

Момент інерції рулону:

$$J_{рул} = \frac{1}{2} M(r_2^2 + r_1^2) \tag{8}$$

Структурна схема системи зі структурою, що перемикається для дослідження динамічних процесів в САУ електроприводом барабана проміжного накопичувача наведена на рис.3.

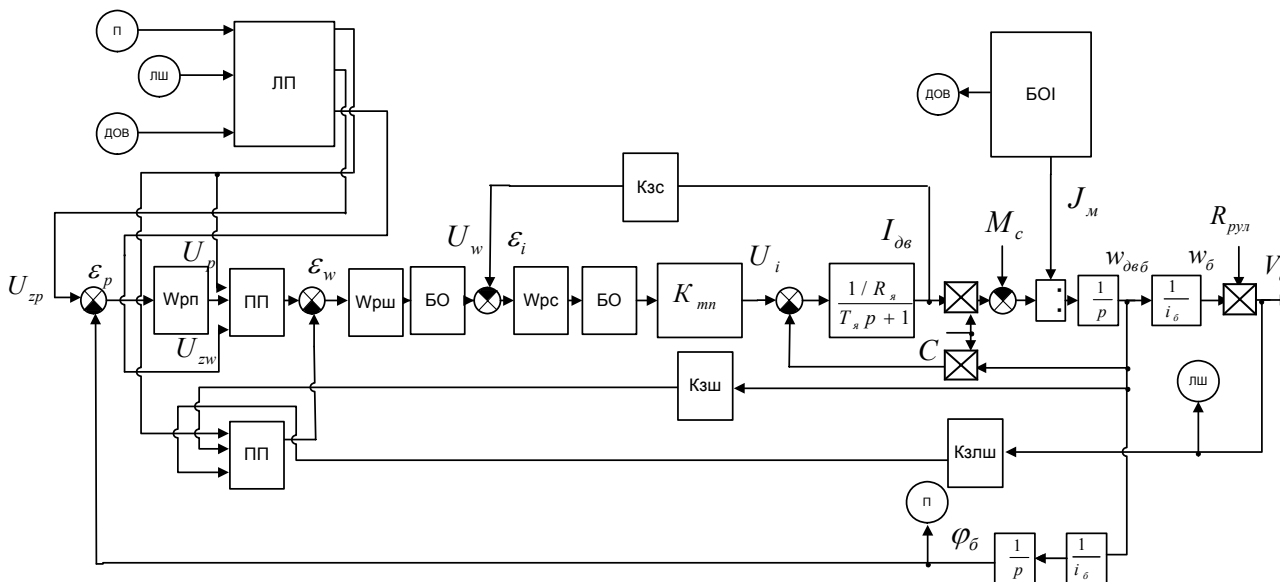


Рисунок 3 — Структурна схема САУ електроприводом барабана моталки проміжного накопичувача

За допомогою логічного пристрою (ЛП) задається уставка і здійснюється перемикання режимів роботи барабана: з режиму позиціонування на режим намотування (розмотування) смуги на барабан, і навпаки. Обчислення моменту інерції здійснюється в блоці обчислення інерції (БОІ) на основі вищеописаних залежностей.

Моделювання системи управління проведено на основі наступних технологічних параметрів: радіус барабана прийнятий рівним 0.4 м, товщина листа 0.002 м, питома щільність сталі $7.7 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, ширина листа 1 м, а також довідкових даних для двигунів постійного струму [6].

В процесі роботи системи об'єкт здійснює такі дії: рухається вперед на 3 м (режим позиціонування), потім відбувається намотування 5 м смуги на барабан з лінійною швидкістю 0.3 м/с (режим намотування/розмотування смуги на барабан), після повертається у вихідне положення (режим позиціонування).

Результати моделювання представлені на рис.4 і наочно ілюструють працездатність досліджуваної САУ зі структурою, що перемикається.

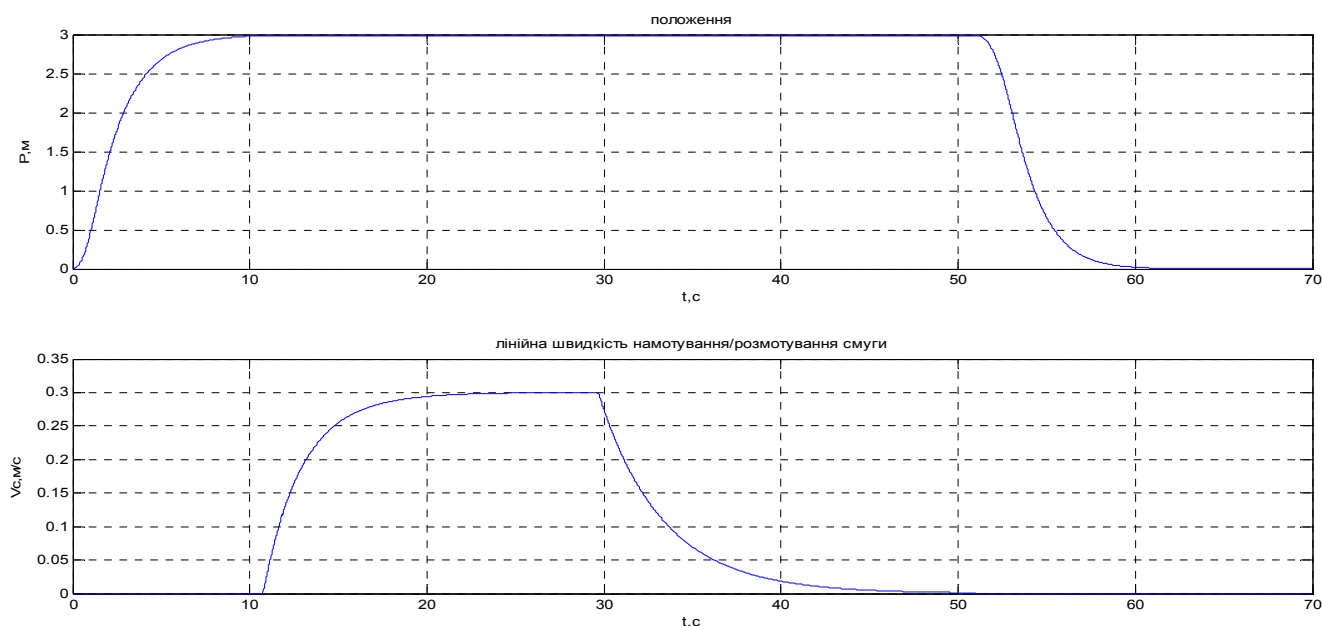


Рисунок 4 — Перехідні процеси положення, лінійної швидкості намотування/розмотування смуги

Перехідні характеристики режимів регулювання положення і лінійної швидкості намотування (розмотування) смуги на барабан носять аперіодичний характер, спостерігається відсутність статичної помилки і перерегулювання. Відпрацювання завдання кожного режиму здійснюється за 10 с.

Висновки

1. Проаналізовано структурну схему системи автоматичного управління електроприводом барабана моталки проміжного накопичувача зі структурою, що перемикається, яка забезпечує на різних етапах технологічного процесу автоматичне регулювання положення і лінійної швидкості намотування (розмотування) смуги на барабан. Ознакою перемикаєння є величина довжини смуги намотування (розмотування) на барабан.

2. У моделі системи враховано динамічне обчислення моменту інерції моталки, величина якого змінюється в процесі збільшення радіусу смуги, що намотана на барабан. Динамічне обчислення організовано за допомогою залежностей між довжиною намотаного матеріалу на барабан, радіусом намотаного матеріалу, масою матеріалу в рулоні і інерцією намотуваного рулону.

Список використаної літератури

1. Салганик В.М. Тонкослябовые литейно-прокатные агрегаты для производства стальных полос / В.М. Салганик, А.С. Карандаев. — М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. — 506 с.
2. Способ сверхкомпактного производства бесконечной горячекатаной полосы на непрерывно-реверсивном литейно-прокатном агрегате: патент РФ № 2078418, МКИ⁶ В 21 В 1/46. / И.Г. Гун, В.М. Салганик, А.Г. Соловьёв.
3. Способ сверхкомпактного производства бесконечной горячекатаной полосы на непрерывно-реверсивном литейно-прокатном агрегате: патент РФ № 2089307, МКИ⁶ В 21 В 1/46. / И.Г. Гун, В.М. Салганик, А.Г. Соловьёв.
4. Радионов А.А. Автоматизированный электропривод намоточно-размоточных устройств агрегатов прокатного производства / А.А. Радионов, А.С. Карандаев. — Магнитогорск: МГТУ, 1999. — 131 с.
5. Онищенко Г.Б. Автоматизированный электропривод промышленных установок / Г.Б. Онищенко, М.И. Аксенов. — М.: РАСХН, 2001. — 520 с.
6. Копылова И.П. Справочник по электрическим машинам / И.П. Копылова, Б.К. Клокова. — М.: энергоатомиздат, 1988. — 456 с.

Надійшла до редакції:
02.02.2012 р.

Рецензент:
д-р техн. наук, проф. Скобцов Ю.О.

N.V. Zhukova, A.A. Rodina. Automatic control system of an electric drum intermediate storage in the casting-rolling unit of production of thin steel strips. Analyzed the structural diagram of the automatic control electric drum winder drive with switchable intermediate structure that at different stages of the process of automatic control and the linear velocity of the winding (unwinding) of the band on drums. The simulation of ACS to the changing moment of inertia winder in the winding (unwinding) of the band and analysis of transients in the developed system.

Keywords: continuous casting, rolling reversing drum winder, interim storage bandwidth, switching structure, moment of inertia winder.

Н.В. Жукова, А.А. Родина. Система автоматического управления электроприводом барабана промежуточного накопителя в составе литейно-прокатного агрегата производства тонких стальных полос. Проанализирована структурная схема системы автоматического управления электроприводом барабана моталки промежуточного накопителя с переключающейся структурой, обеспечивающей на различных этапах технологического процесса автоматическое регулирование положения и линейной скорости намотки (размотки) полосы на барабан. Проведены моделирование САУ с учетом изменяющего момента инерции моталки в процессе намотки (размотки) полосы и анализ переходных процессов в разработанной системе.

Ключевые слова: непрерывное литьё, реверсивная прокатка, барабан моталки, промежуточный накопитель полосы, переключающаяся структура, момент инерции моталки.

© Жукова Н.В., Родина Г.А., 2012