

СИНТЕЗ СИСТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ НЕПРЕРЫВНЫХ СТАНОВ С МНОГОВАЛКОВЫМИ КАЛИБРАМИ

И.А. Селиванов, О.И. Петухова, И.В. Суздалев
г. Магнитогорск, Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова

SYNTHESIS OF CONTROL SYSTEMS OF CONTINUOUS ROLLING MILLS WITH MULTIROLLED CALIBERS

I.A. Selivanov, O.I. Petuhova, I.V. Suzdalev
Magnitogorsk, Magnitogorsk State Technical University

Рассмотрены вопросы синтеза систем регулирования непрерывных станов с многовалковыми калибрами, построенных по принципу подчиненного регулирования параметров

Ключевые слова: синтез систем, непрерывные прокатные станы, многовалковые калибры, подчиненное регулирование параметров.

The article dwells on the problems of the synthesis of control systems of continuous rolling mills with multirolled calibers. The mills are constructed on the principle of dominated regulating parameters.

Keywords: synthesis of systems, continuous rolling mills, multirolled calibers, dominated regulating parameters.

При математическом описании объекта регулирования, каким является клеть прокатного стана, необходимо в первую очередь выделить те технологические факторы, которые являются определяющими в процессе деформации металла. К их числу можно отнести давление металла на валки P , момент прокатки M , опережение металла в очаге деформации S , межклетевые натяжения F , коэффициент трения f , предел текучести металла σ_s , скорость прокатки V , вытяжку в клетях μ [1, 2]. Все эти параметры связаны между собой сложными нелинейными зависимостями.

В связи с тем, что в момент проектирования непрерывных станов полная информация об этих зависимостях отсутствует, при математическом описании целесообразно учесть наиболее весомые технологические параметры, а остальные считать постоянными. Учитывая сказанное и переходя к приращениям, очаг деформации i -й клетки можно описать линейными уравнениями [2]:

$$\begin{aligned} \Delta P_i &= k'_{p,i} \Delta F_{i-1} + k_{p,i} \Delta F_i; \\ \Delta M_i &= R_i \Delta F_{i-1} - R_i \Delta F_i; \\ \Delta S_i &= k'_{S,i} \Delta F_{i-1} + k_{S,i} \Delta F_i, \end{aligned} \quad (1)$$

где ΔF_{i-1} , ΔF_i - приращения заднего и переднего натяжений i -й клетки;

R_i - радиус валков;

$k'_{p,i}$, $k_{p,i}$, $k'_{S,i}$, $k_{S,i}$ - технологические коэффициенты (частные производные):

$$k'_{p,i} = \frac{\Delta P_i}{\Delta F_{i-1}}; \quad k_{p,i} = \frac{\Delta P_i}{\Delta F_i}; \quad k'_{S,i} = \frac{\Delta S_i}{\Delta F_{i-1}}; \quad k_{S,i} = \frac{\Delta S_i}{\Delta F_i}.$$

Технологические коэффициенты можно определить с помощью аналитических формул [3].

При абсолютно жесткой полосе (упругое удлинение $\varepsilon = 0$) приращение переднего межклетевого натяжения описывается уравнением [4]

$$\begin{aligned} \Delta F_i &= \frac{k_{п,i}}{1 + T_{п,i} p} \left[\frac{\Delta V_{в,i+1}}{\mu_{i+1}} (1 + S_{i+1}) - \Delta V_{в,i} (1 + S_i) + \right. \\ &\quad \left. + \frac{\Delta V_{в,i+1}}{\mu_{i+1}} k_{S,i+1} \Delta F_{i+1} - V_{в,i} k'_{S,i} \Delta F_{i-1} \right], \end{aligned} \quad (2)$$

где V_b - линейная скорость валков

$$V_b = \frac{\omega R}{j}, \quad (3)$$

ω - угловая скорость двигателя;

R , j - радиус рабочих валков и передаточное число редуктора;

S - опережение металла в очаге деформации;

ΔF_{i-1} , ΔF_i , ΔF_{i+1} - приращения натяжения между $(i-1)$ -й и i -й, i -й и $(i+1)$ -й, $(i+1)$ -й и $(i+2)$ -й клетями;

$k_{п,i}$, $T_{п,i}$ – коэффициент передачи и постоянная времени полюсы в i -м промежутке (между i -й и $(i+1)$ -й клетями),

$$k_{п,i} = \frac{1}{k_{S,i}V_{в,i} - k'_{S,i+1}V_{в,i+1} / \mu_{i+1}}, \quad (4)$$

$$T_{п,i} = \frac{l_i k_{n,i}}{E_y Q_i}, \quad (5)$$

где E_y – модуль упругости полюсы $E_y = 2,02 \cdot 10^5$ н/мм²;

Q_i – поперечное сечение полюсы в i -м промежутке;

l_i – длина i -го межклетевого промежутка.

Учитывая, что $V_{в,i} \approx V_{в,i+1} / \mu_{i+1}$; $k_{S,i} \approx -k_{S,i+1}$, последнее уравнение можно привести к виду

$$k = A_i / V_{в,i}, \quad T_{п,i} = V_{в,i} B_i, \quad (6)$$

где A_i , B_i – коэффициенты, не зависящие от скорости:

$$A_i = \frac{1}{k_{S,i} - k'_{S,i+1}} \approx \frac{1}{2k_{S,i}}, \quad (7)$$

$$B_i = \frac{l_i A_i}{E_y Q_i} = \frac{l_i}{2k_{S,i} E_y Q_i}. \quad (8)$$

Считая, что система управления электроприводом клетки – двухконтурная с контурами тока и скорости [4], и используя уравнения (1) и (2), структурную схему электропривода i -й клетки с учетом силовой связи клеток через полюсу представить в виде, приведенном на рис. 1.

На этой схеме приняты следующие обозначения:

I , E – ток и ЭДС двигателя;

c – произведение магнитного потока на конструктивная постоянная $c = k\Phi$;

T_m , T_π – электромеханическая и электромагнитная постоянные времени;

T_μ , $k_{пр}$ – постоянная времени и коэффициент передачи тиристорного преобразователя;

R_Σ – эквивалентное сопротивление якорной цепи; k_m , k_c – коэффициенты обратной связи по току и скорости;

$H_{пр}$, H_{pc} – передаточные функции регуляторов тока и скорости.

Пренебрегая перекрестными связями в объекте регулирования ($\Delta V_{в,i+1} = 0$, $\Delta F_{i-1} = 0$, $\Delta F_{i+1} = 0$) и внутренней связью по ЭДС двигателя [6], после структурных преобразований схема рис. 1 приводится к виду, позволяющему приступить к синтезу контуров регулирования (рис. 2).

Постоянная времени полюсы $T_{п,i}$ [4] во время преобразований не учитывалась.

На структурной схеме рис. 2 приняты следующие обозначения:

k_d – коэффициент передачи двигателя,

$$k_d = \frac{c^2 j^2 V_b}{R_\Sigma R^2 (1+S)A} = \frac{c^2 j \omega}{R_\Sigma (1+S)A}, \quad (9)$$

T'_m – электромеханическая постоянная с учетом силовой связи между клетями

$$T'_m = k_d T_m \quad (10)$$

k_F – коэффициент передачи полюсы

$$k_F = \frac{A(1+S)R}{V_b c j} = \frac{A(1+S)R}{\omega c}, \quad (11)$$

$H_{пн}$ – передаточная функция регулятора натяжения;

k_p – технологический коэффициент, $k_p = \Delta P / \Delta F$.

На структурной схеме и в последних уравнениях индекс i опущен, так как все переменные, коэффициенты, передаточные функции относятся только к i -й клетке.

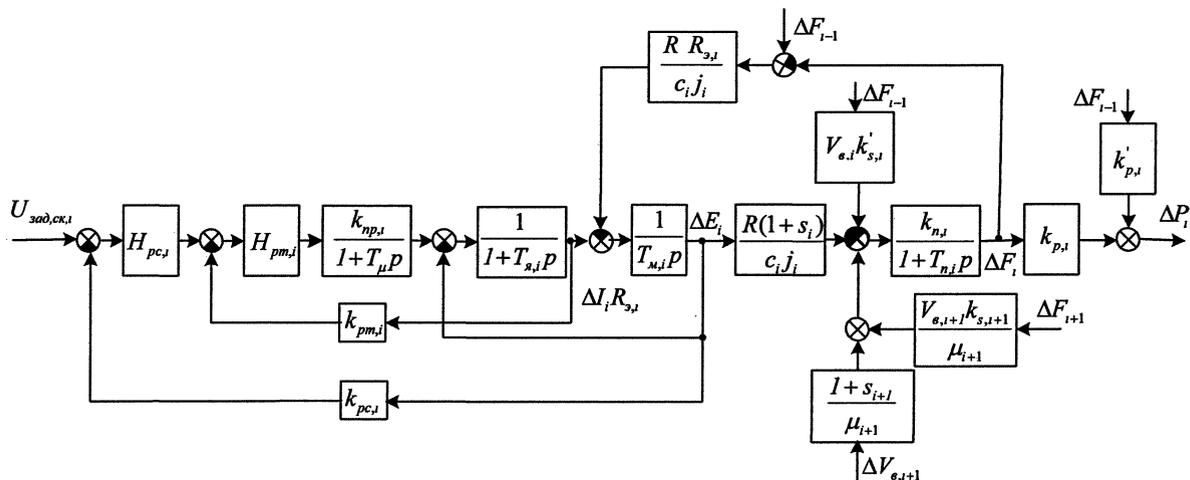


Рис. 1. Структурная схема электропривода клетки непрерывного станa

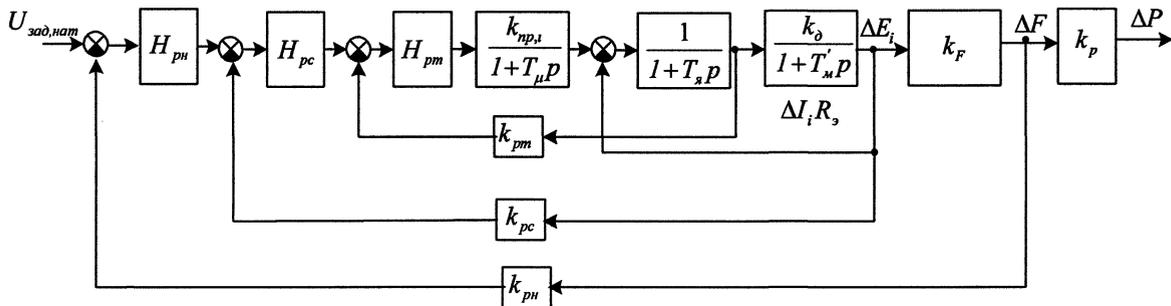


Рис. 2. Преобразованная структурная схема электропривода клетки

Для получения модульного оптимума при регулировании тока в непрерывном режиме преобразователя передаточная функция регулятора тока должна иметь вид [3]

$$H_{пр} = \frac{1 + T_я p}{2T_μ p} \frac{1}{k_{пр} k_T}. \quad (12)$$

Для адаптивного регулятора тока, реализуемого схемой рис. 3, параметры резисторов R_1 , R_2 и конденсатора C рассчитываются по условиям:

$$R_1 C = 2T_μ k_{пр} k_T; \quad R_2 C = T_я.$$

Сопротивление резистора R_3 , уменьшающего постоянную времени регулятора тока в прерывистом режиме, определяется по условию

$$R_3 = R_2 / (20 - 50).$$

Получение модульного оптимума при регулировании скорости несколько осложняется тем, что в передаточную функцию регулятора скорости

$$H_{рс} = \frac{(1 + T'_м p) k_T}{4T_μ p k_d k_c} \quad (13)$$

входят коэффициент k_d и постоянная времени $T'_м$, зависящие от скорости двигателя ω . Разделение пропорционально-интегрального регулятора скорости на пропорциональный и интегральный регуляторы дает:

$$H_{рс} = \frac{T_м k_T}{4T_μ k_c} + \frac{k_{ин}}{p} \frac{1}{\omega} = k_{рс} + \frac{k_{ин}}{p} \frac{1}{\omega}, \quad (14)$$

где

$$k_{ин} = \frac{k_T R_3 R (1 + S)}{8T_μ k_c c^2 j k_S}.$$

Из (14) видно, что получение модульного оптимума при любых скоростях двигателя возможно введением в канал интегрального регулятора блока деления. При отсутствии полюсы в валках для получения оптимальных процессов необходимо интегральный канал исключить из регулятора скорости.

Принципиальная схема регулятора скорости приведена на рис. 4.

Модульный оптимум контура регулирования натяжения обеспечивается регулятором с передаточной функцией

$$H_{рн} = \frac{k_c c k_S}{4T_μ k_n (1 + S)} \frac{\omega}{p} = \omega \frac{k_{рн}}{p}, \quad (15)$$

где

$$k_{рн} = \frac{k_c c k_S}{4T_μ k_n (1 + S)}.$$

Принципиальная схема регулятора натяжения приведена на рис. 5.

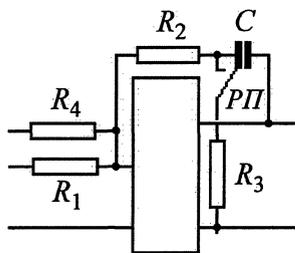


Рис. 3. Адаптивный регулятор тока

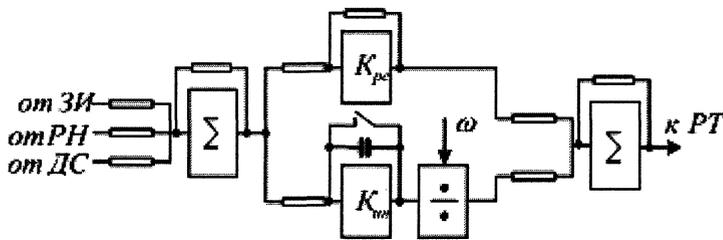


Рис. 4. Адаптивный регулятор скорости

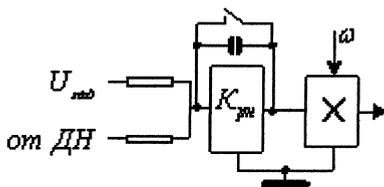


Рис. 5. Регулятор натяжения

Создание систем прямого регулирования размеров для станов с многовалковыми калибрами не было возможным, так как отсутствовали надежные датчики размеров, способные проводить измерения размеров раската по нескольким осям. В связи с этим для станов возможно лишь применение систем косвенного регулирования размеров.

Одним из энергосиловых параметров, косвенно характеризующих размеры раската, является давление металла на валки. При постоянном давлении стабилизируется размер раската при изменении таких технологических параметров, как коэффициент трения, предел текучести и диаметр исходной заготовки. Для обеспечения модульного оптимума передаточная функция регулятора давления в трехконтурной системе должна иметь вид

$$H_{рд} = \frac{k_c c k_S \omega}{4T_{\mu} k_p k_{дав} (1+S)p} = \omega \frac{k_{рд}}{p}, \quad (16)$$

где $k_{дав}$ - коэффициент обратной связи по давлению металла на валки.

Регулятор давления реализуется схемой, подобной схеме рис. 5.

Литература

1. Файнберг, ЮМ. Автоматизация непрерывных станов горячей прокатки: монография / ЮМ. Файнберг - М.: Металлургиздат, 1963. - 326 а
2. Дружинин, Н.Н. Непрерывные станы как объект автоматизации: монография / Н.Н. Дружинин. - М.: Металлургиздат, 1975. - 336 с.
3. Поляков, М.Г. Деформация металла в многовалковых калибрах: монография / М.Г. Поляков, Б.А. Никифоров, ГС. Гун. - М.: Металлургия, 1979.-240 с.
4. Селиванов, НА. Влияние силовой связи между клетями непрерывного стана на структуру системы регулирования скорости / И.А. Селиванов, Ю.А. Крылов // Известия вузов. Электромеханика, 1977. - Мб.-С. 696-700.

Поступила в редакцию 08.02.2008 г.

Селиванов Игорь Андреевич - доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, заведующий кафедрой «Электроника и микроэлектроника». Область научных интересов: автоматизированные электромеханические системы металлургического производства. Контактный телефон: 8—(3519) 22-72-79.

Selivanov Igor Andreevich - Doctor of Technical Sciences, Professor, Honoured Scientist of the Russian Federation, the Head of the Electronics and Microelectronics department. Contact phone: 8-(3519) 22-72-79.

Петухова Ольга Игоревна - доцент кафедры «Электротехнические системы и электротехника». Область научных интересов: электроприводы непрерывных прокатных станов. Контактный телефон: 8—(3519) 29-84-16.

Petukhova Olga Igorevna - associate professor of the Electrical Engineering and Electrical Systems department. Contact phone: 8—(351) 29-84-16.

Суздаев Игорь Вячеславович - аспирант кафедры «Электроника и микроэлектроника». Область научных интересов: электроприводы прокатных станов с многовалковыми калибрами. Контактный телефон: 8—(3519) 29-85-86.

Suzdalev Igor Vyacheslavovich, post-graduate student of the Electronics and Microelectronics department. Contact phone: 8-(351) 29-85-86.