

И.В. Брейдо, О.А. Ющенко

УДК 621.311

Карагандинский государственный  
индустриальный университет

## РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ВЕРТИКАЛЬНОГО НАКОПИТЕЛЯ ЛИНИИ НЕПРЕРЫВНОГО ГОРЯЧЕГО ЦИНКОВАНИЯ

*Бапта үздіксіз ыстық мырыштауды сызықтың тік жинақтағышының электромеханикалық жүйесінің өңдеу ерекшеліктері қаралады. Имитациялық пішіндеудің нәтижелері тура келеді.*

*The features of development of the electromechanics system of vertical store of line of the continuous hot zinc-plating are examined in the article. Results over of imitation design are brought.*

Линия непрерывного горячего цинкования (ЛНГЦ) является сложной электро-механической системой, надежность и качество функционирования которой зависит от физико-механических свойств обрабатываемой полосы металла и режимов работы взаимосвязанного через полосу многодвигательного электропривода.

При остановке головной части линии, во время сварки концов полосы при замене рулона, средняя технологическая часть агрегата продолжает движение на рабочей скорости, за счет выбора полосы из входного вертикального накопителя. При этом возникают динамические процессы, приводящие к возникновению продольных колебаний в обрабатываемой полосе. В результате, в обрабатываемой полосе возникают, так называемые, «складки» во время обработки в печи термохимической обработки (ТХО) под действием высокой температуры, что ведет к браку. Это подтверждено экспериментами по определению динамических свойств обрабатываемой на ЛНГЦ полосы металла [1].

Таким образом, существующая электромеханическая система входного накопителя не обеспечивает демпфирования продольных колебаний.

Для обеспечения точности поддержания натяжения в полосе в динамических режимах работы накопителя в [2] предложена компенсация динамического момента электропривода каретки накопителя, который определяется величиной ускорения электропривода и его суммарного приведенного момента инерции.

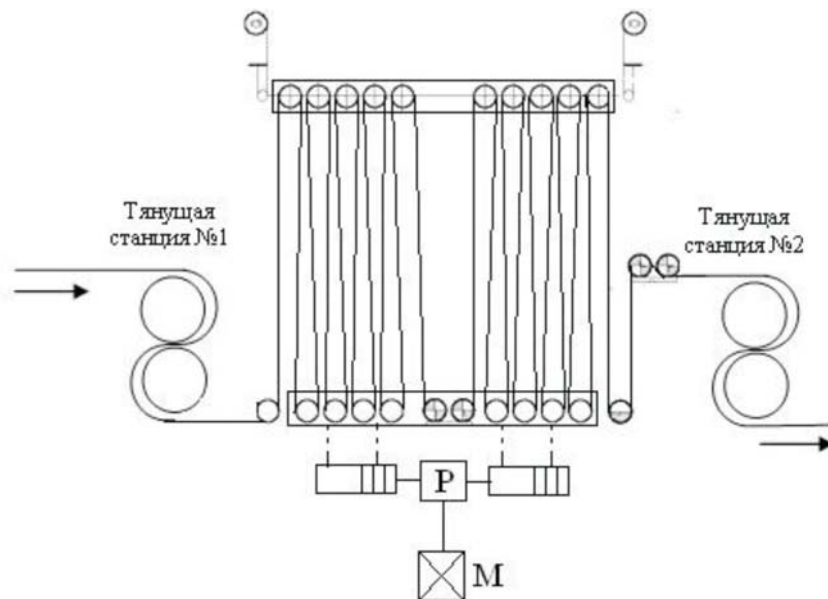


Рисунок 1 – Кинематическая схема входного вертикального накопителя

Проанализируем структуру электромеханической системы накопителя полосы, рассмотренного в рекомендациях [2].

Необходимый запас полосы в накопителе создается путем увеличения длины пути каретки. Роликовая каретка перемещается за счет тросового шкивного блока, приводящегося барабаном с редуктором. Двигатель лебедки обеспечивает требуемое натяжение полосы в накопителе. Входной вертикальный накопитель в ЛНГЦ расположен между первой и второй тянущими станциями.

Передвижение каретки накопителя осуществляется при помощи канатного барабана (лебедки), который приводится во вращение асинхронным электродвигателем с частотным управлением, работающим с системой автоматического регулирования натяжения полосы косвенного действия. Режим работы двигателя накопителя – двигательный (нагон полосы) или генераторный (выбор полосы).

Усилие натяжения в полосе в накопителе при неизменной длине полосы может быть описано уравнением:

$$F = \left[ \frac{M_{\text{рол1}}}{J_1 p} - \omega_2 (1 + \varepsilon) \right] \cdot \frac{Cl}{\omega_{01} r_p} \cdot \frac{1}{T_{II} p + 1} \quad (1)$$

где  $M_{\text{рол1}}$  – вращающий момент верхнего эквивалентного ролика накопителя, Н·м;

$J_1$  – момент инерции верхнего эквивалентного ролика накопителя, Н·м;

$\omega_2$  – угловая скорость нижнего эквивалентного ролика накопителя, рад/с;

$\varepsilon$  – относительное удлинение полосы;

$C$  – коэффициент жесткости полосы на участке натяжения, Н·м;

$l_0$  – эквивалентная максимальная длина полосы в накопителе, м;

$r_p$  – радиус эквивалентного отклоняющего ролика, м;

$\omega_{01}$  – начальное значение угловой скорости, рад/с;

$T_{II} = l / \omega_{01} r$  – постоянная времени полосы, с;

$p$  – оператор дифференцирования, с<sup>-1</sup>

Структурная схема математической модели усилия натяжения в полосе между роликками входного накопителя, при неизменной длине полосы представлена на рисунке 2

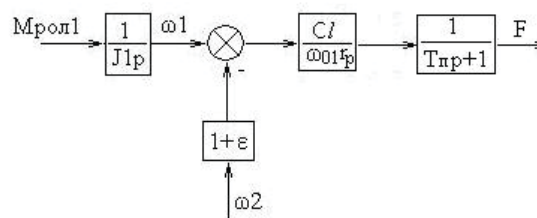


Рисунок 2 – Структурная схема математической модели усилия натяжения в полосе во входном накопителе

В электроприводе каретки вертикального накопителя имеется канатная связь между приводным барабаном и кареткой. Наличие упругой связи через канат существенно влияет на характер протекания переходных процессов в электроприводе каретки. В процессе выбора (нагона) полосы из накопителя ускорение каретки с обводными роликками и полосы в накопителе не может быть обеспечено из-за наличия канатной связи. Ускорение этих элементов в этом случае производится электроприводами механизмов средней технологической части линии. Из вышеизложенного следует, что электропривод каретки накопителя является электроприводом с переменным моментом инерции.

Величина приведенного момента инерции при «выборе» полосы определяется выражением

$$J_{np1} = J_{\delta} + J_{\bar{\sigma}} + J_p, \quad (2)$$

где  $J_{\delta}, J_{\bar{\sigma}}, J_p$  – моменты инерции двигателя, барабана лебедки, редуктора соответственно, кг·м<sup>2</sup>.

Во время «нагона» полосы в накопитель величина момента инерции будет равна

$$J_{np2} = J_{\delta} + J_{\bar{\sigma}} + J_p + J_k + J_n,$$

где  $J_k$  – приведенный момент инерции каретки, включая моменты инерции обводных роликов, кг·м<sup>2</sup>;

$J_n$  – момент инерции полосы, находящейся в накопителе, определяемый объемом этой полосы, кг·м<sup>2</sup>.

Динамический момент, приведенный к валу двигателя каретки, определяется выражением

$$M_{дин} = J_{np} \frac{i}{r_{\bar{\sigma}}} \frac{d(V_{вх} - V_{вых})}{dt},$$

где  $J_{np}$  – приведенный момент инерции электропривода каретки накопителя, кг·м<sup>2</sup>;

$i$  – передаточное число редуктора;

$r_{\bar{\sigma}}$  – радиус барабана каретки, м;

$V_{вх}, V_{вых}$  – линейные скорости полосы на входе и выходе накопителя, задаваемые первой и второй тянущими станциями, м/с.

Усилие натяжения в полосе при выборе полосы из накопителя описывается уравнением:

$$F = \left[ \frac{M_{пол}}{J_1 p} - \omega_2 (1 + \varepsilon) \right] \frac{C \Delta l}{\omega_{01} r} \cdot \frac{1}{\omega_{01} r_p p + 1} = \left[ \frac{M_{пол}}{J_1 p} - \omega_2 (1 + \varepsilon) \right] \frac{C \Delta l}{\omega_{01} r_p} \cdot \frac{1}{T_{II} p + 1}$$

где  $\Delta l$  - длина полосы в накопителе в процессе выбора полосы, м;

$$\Delta l = l_0 - \left\{ \left[ \left( F_3 - F \cdot K_{дн} + \frac{d(V_{вх} - V_{вых})}{dt} \left( 1 + \frac{K_d}{T_d p + 1} (1 + K_u \cdot K_T \cdot K_K) \right) \right) \right] \times \right. \\ \left. \times W_{PH} \cdot K_{чп} - \frac{\pi p_0 n}{60} \right] \frac{K_i}{T_i p + 1} \cdot K_M \Psi + F \cdot K_{пр} \left. \right\} \frac{1}{J_{np1} p} \cdot \frac{\pi r_0}{30 i p},$$

где  $l_0$  - максимальная длина полосы в накопителе, м;

$F_3$  - заданное значение усилия натяжения в полосе, Н;

$F$  - фактическое значение усилия натяжения полосы в накопителе, Н;

$K_{дн}$  - коэффициент передачи датчика натяжения;

$W_{PH}$  - передаточная функция регулятора натяжения,

$K_{чп}$  - коэффициент передачи частотного преобразователя;

$p_0$  - число пар полюсов электродвигателя каретки накопителя;

$\omega$  - угловая скорость двигателя каретки накопителя, рад/с;

$K_i$  - коэффициент передачи цепи статора двигателя,

$T_i$  - постоянная времени цепи статора двигателя, с;

$K_M$  - магнитная конструктивная постоянная двигателя, Н/м(А·Вб);

$\Psi$  - основное потокосцепление, Вб;

$K_{пр}$  - коэффициент приведения, учитывает приведение к одному валу соседних взаимодействующих масс;

$R_0$  - радиус барабана каретки накопителя, м;

$i$  - передаточное число редуктора;

$K_d$  - коэффициент передачи дискриминатора знака сигнала;

$T_d$  - постоянная времени дискриминатора знака сигнала, с;

$K_{ш}$  - коэффициент датчика ширины полосы;

$K_T$  - коэффициент датчика толщины полосы;

$K_K$  - коэффициент датчика положения каретки.

Так как  $T_3 \ll T_M$ , то принимаем  $T_3 \approx 0$ , то есть пренебрегаем влиянием электромагнитной постоянной.

Структурная схема электропривода каретки накопителя с узлом компенсации динамического момента представлена на рисунке 3.

Узел, выделенный пунктиром, обеспечивает определение величины момента инерции для точной компенсации динамического момента электропривода каретки входного накопителя.

Узел компенсации динамического момента работает следующим образом. Во время остановки головной части агрегата начинается движение каретки входного накопителя. Если при этом происходит изменение скорости полосы на входе и выходе накопителя с разными темпами, то на выходе дифференцирующего устройства появляется сигнал пропорциональный алгебраической разности ускорений полосы на входе и выходе петлевого устройства.

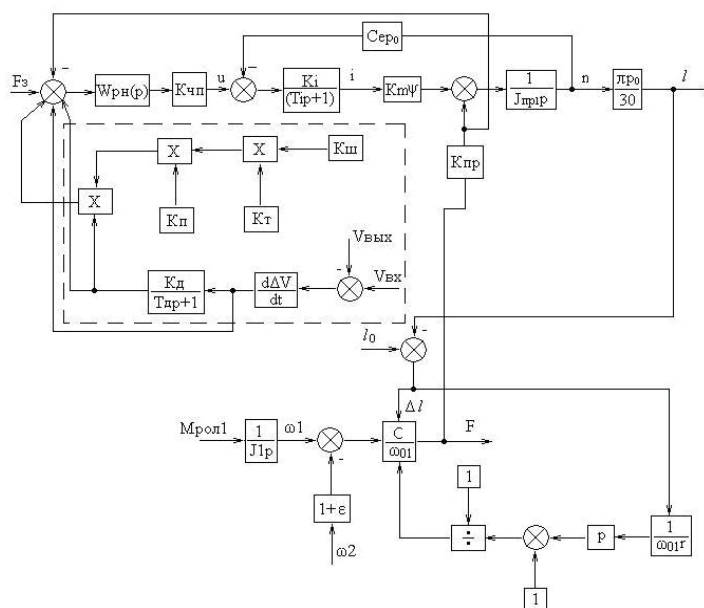


Рисунок 3 – Структурная схема электропривода каретки вертикального накопителя с узлом компенсации динамического момента

В режиме «выбора» («нагона») полосы происходит ускорение (замедление) электропривода тележки, при этом сигнал с выхода дифференцирующего устройства не проходит через дискриминатор знака сигнала, а поступает только на первый вход системы автоматического регулирования натяжения (САРН), образуя задание на динамический момент электропривода, определяемый моментом инерции по выражению (2). Если происходит ускорение и замедление электропривода в противоположных направлениях, то сигнал с выхода дифференцирующего устройства поступает на первый вход и на второй вход САРН и первый блок умножения через дискриминатор знака сигнала. Сигнал на втором входе САРН формирует задание на динамический момент электропривода, образуемый величиной постоянной составляющей момента инерции  $J_k$ . Сигнал выхода первого блока умножения, пропорциональный величине ускорения и массы полосы в накопителе, поступает на третий вход в САРН и образует задание на динамический момент электропривода, соответствующий величине переменной составляющей момента инерции  $J_p$ , зависящей от массы полосы в накопителе.

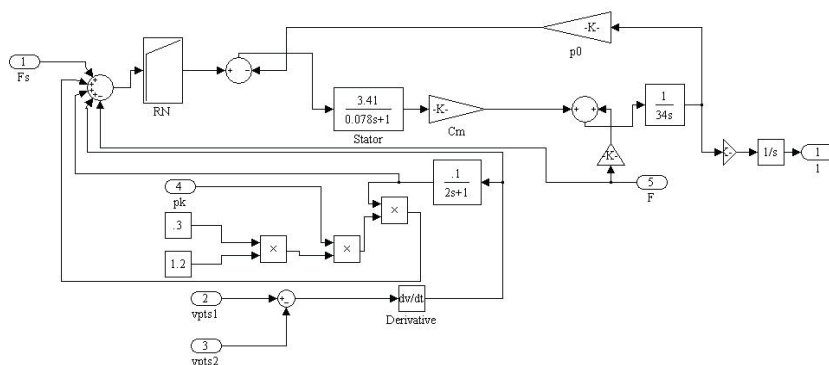


Рисунок 4 – Имитационная модель электропривода каретки входного накопителя

Имитационная модель электропривода каретки входного накопителя ЛНГЦ, реализованная в пакете Simulink системы MATLAB 7 [3] представлена на рисунке 5.

Входными воздействиями в модели являются: задание по натяжению полосы  $F_s$ , сигнал датчика положения каретки  $pk$ , сигналы скоростей полосы в первой и второй тянущих станциях  $v_{pts1}$ ,  $v_{pts2}$ . Выходным воздействием является величина пути  $l$ , проходимого кареткой при выборе (нагоне) полосы.

Анализ результатов имитационного моделирования электромеханической системы входного вертикального накопителя показал, что введение в модель узла компенсации динамического момента не обеспечивает подавления колебаний натяжения в полосе, так как форсирование процессов в полосе из-за наличия упругих связей приводит к возникновению дополнительных динамических моментов.

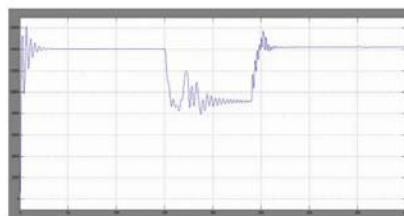


Рисунок 5 – Осциллограмма усилия натяжения во входном накопителе

Как показывает структур аналогичных технологических линий, для компенсации динамического момента желательно введение дополнительного независимого устройства натяжения.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Ющенко О.А. Экспериментальные исследования натяжения в электромеханической системе печи термохимической обработки //Труды университета, вып. №4. - Караганда: изд-во КарГТУ, 2008. - С.77-79.
2. Лимонов Л.Г. Автоматизированный электропривод промышленных механизмов. – Х.: - Изд-во «ФОРТ», 2009. – 272 с.
3. Дьяконов В.П. Simulink 5/6/7: Самоучитель. – М.: ДМК-Пресс, 2008. – 784 с.: