

## Раздел 5

# Автоматика. Энергетика. Управление

УДК  
621.34:62.505:669.046.4

БРЕЙДО И.В.,  
ЮЩЕНКО О.А.

## Математические модели электромеханической системы линии непрерывного горячего цинкования

Электромеханическая система линии непрерывного горячего цинкования (ЛНГЦ) представляет собой взаимосвязанный через полосу многодвигательный электропривод. При остановке головной части линии для замены рулона металлической полосы, во время сварки концов полосы средняя технологическая часть агрегата продолжает движение на рабочей скорости, за счет выбора полосы из вертикального петлевого устройства. После запуска головной части начинается заполнение металлической полосой петлевого устройства, 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.

В основную часть агрегата – среднюю технологическую – входят механизмы, транспортирующие полосу через печь (ТХО) (рисунок 1): тянувшая станция № 1, вертикальное петлевое устройство, тянувшая станция № 2, ролики участка обработки печи и натяжные ролики печи. В печи ТХО полоса подвергается термохимической обработке в защитной атмосфере.

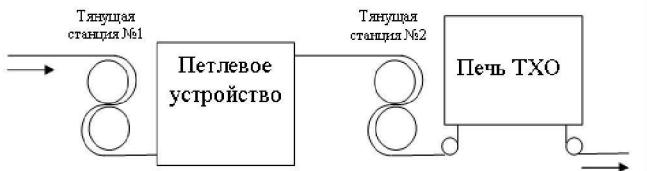


Рисунок 1 – Средняя технологическая часть ЛНГЦ

Ранее были проведены эксперименты по определению динамических свойств обрабатываемой полосы металла [1].

В электроприводах ЛНГЦ применяются асинхронные двигатели с частотным управлением. Анализ процессов в асинхронном двигателе затруднен ввиду нелинейности зависимости момента от скорости и напряжения обмотки статора. Вращающееся магнитное поле определяет необходимость выбора рациональной системы координат переменных и обуславливает сложность математической модели этой машины. Так как для управления процессом не требуется высокое быстродействие и все процессы происходят в линейной части механической характеристики асинхронного двигателя, то можно воспользоваться приближенным расчетом переходных процессов в асинхронном частотном приводе по упрощенной модели [2]. При этом необходима линеаризация зависимости момента от тока:

$$M = k_m \psi_0 I_s \quad (1)$$

при условии, что  $\psi_0 = \text{const}$ ,  $E = p_0 \omega$ ,  
где  $k_m$  – магнитная конструктивная постоянная электродвигателя;

$\psi_0$  – основное потокосцепление, Вб;

$I_s$  – ток статора, А;

$E$  – электродвижущая сила (ЭДС) цепи ротора, В;

$p_0$  – число пар полюсов;

$\omega$  – угловая скорость электродвигателя, рад/с.

## Раздел «Автоматика. Энергетика. Управление»

Электромагнитная постоянная времени  $T_i$  и коэффициент передачи  $k_i$  определяются из выражений:

$$T_i = \frac{L'}{R_s + k_r R_r}, \quad (2)$$

где  $L'$  – переходная индуктивность статора, Гн;  $R_s$  – сопротивление обмотки статора, Ом;  $k_r$  – коэффициент магнитной связи ротора;  $R_r$  – сопротивление обмотки ротора, Ом.

$$k_i = \frac{1}{R_s + k_r R_r}. \quad (3)$$

Структурная схема эквивалентного асинхронного двигателя представлена на рисунке 2.

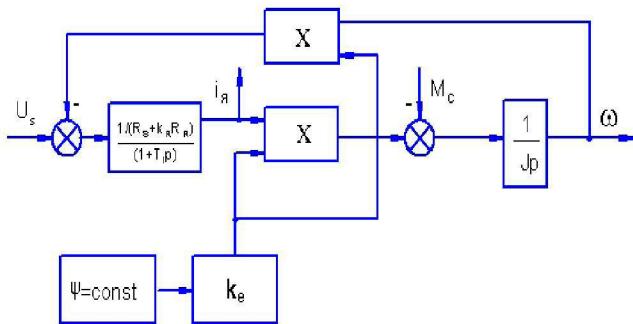


Рисунок 2 – Структурная схема эквивалентного асинхронного двигателя

Математические модели и структурные схемы электроприводов тянувших станций и роликов печи ТХО выполняются аналогично математическим моделям механизмов агрегата непрерывного отжига [3].

Моменты сопротивления роликов петлевого устройства описываются следующими уравнениями:

$$\left. \begin{aligned} M_{c3} &= \left( F_{3,4} + F_{tp} \right) + \frac{a \cdot n_3}{60} + M_{c2} \\ M_{c4} &= \left( -F_{3,4} + F_{tp} \right) + \frac{a \cdot n_4}{60} + M_{c5} \end{aligned} \right\}, \quad (4)$$

где  $M_{c3}$ ,  $M_{c4}$  – моменты сопротивления верхнего и нижнего роликов, Нм;

$F_{3,4}$  – усилие натяжения в полосе, Н;

$F_{tp}$  – сила трения, Н;

$a$  – коэффициент диссипации, характеризует процесс затухания собственных колебаний в системе, Н·м·с;

$n_3$  и  $n_4$  – частота вращения верхнего и нижнего роликов, об/мин;

$M_{c2}$ ,  $M_{c5}$  – моменты сопротивления от роликов тянувшей станции № 1 и тянущей станции № 2 соответственно.

Структурная схема математической модели момента сопротивления роликов петлевого устройства, построенная по уравнениям (4), приведена в соответствии с рисунком 3.

В соответствии с технологией, при остановке головной части агрегата для замены рулона металлической полосы, во время сварки концов полосы средняя технологическая часть агрегата продолжает движение на рабочей скорости, за счет выбора полосы из вертикального петлевого устройства. Отклоняющие роли

петлевого устройства являются холостыми, их вращение осуществляется движением металлической полосы. Движение каретки петлевого устройства осуществляется от приводного двигателя.

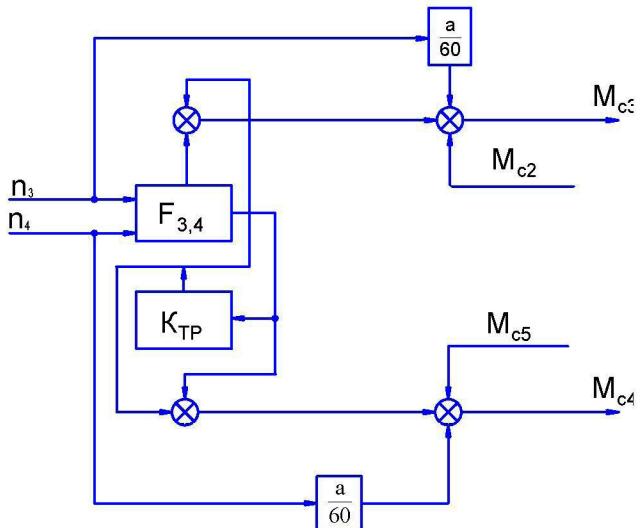


Рисунок 3 – Структурная схема математической модели момента сопротивления роликов петлевого устройства

Многомассовую систему роликов петлевого устройства эквивалентируем в двухмассовую, с заменой параметров реального количества роликов параметрами двух эквивалентных.

Расстояние, которое проходит каретка петлевого устройства при выборе (нагоне) полосы, определяется выражением:

$$l_k = \frac{1}{p} \cdot \frac{60 \omega i_k}{2 \pi i_k}, \quad (5)$$

где  $\omega$  – угловая скорость двигателя каретки петлевого устройства, рад/с;

$i$  – передаточное число редуктора;

$r$  – радиус отклоняющего ролика петлевого устройства, м;

$p$  – оператор дифференцирования.

Структурная схема математической модели усилия натяжения в полосе в петлевом устройстве приведена на рисунке 4.

В структурной схеме используются следующие обозначения:  $n_k$  – частота вращения двигателя каретки петлевого устройства;  $n_3$ ,  $n_4$  – частоты вращения верхнего и нижнего роликов;  $F_{3,4}$  – усилие натяжения в полосе;  $l_{min}$  – длина полосы между роликами петлевого устройства при максимальном выборе;  $l_{max}$  – длина полосы между роликами петлевого устройства при максимальном нагоне;  $l_k$  – величина перемещения каретки петлевого устройства при выборе (нагоне) полосы, причем  $l_{max} > l_k > l_{min}$ . Блоки  $3C_1$  и  $3C_2$  формируют задержку сигнала на заданное время.

Структурная схема математической модели эквивалентного электропривода петлевого устройства приведена на рисунке 5.

Модель включает модели эквивалентных роликов  $P_3$  и  $P_4$  и модель момента сопротивления  $M_C$ . На рисунке обозначены  $n_3$  и  $n_4$  – частоты вращения верхне-

го и нижнего роликов;  $M_2 - M_5$  – моменты статическо-

го сопротивления взаимодействующих масс.

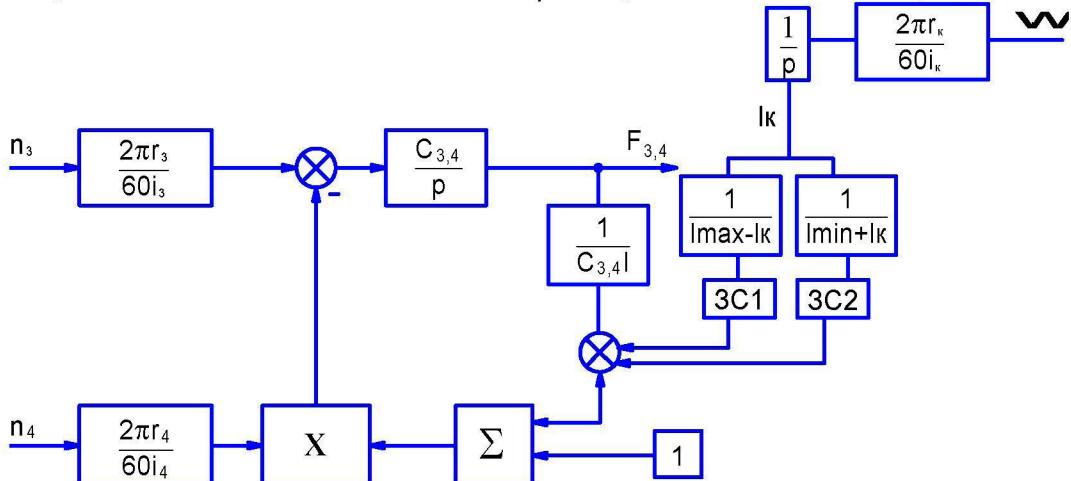


Рисунок 4 – Структурная схема математической модели усилия натяжения в полосе в петлевом устройстве

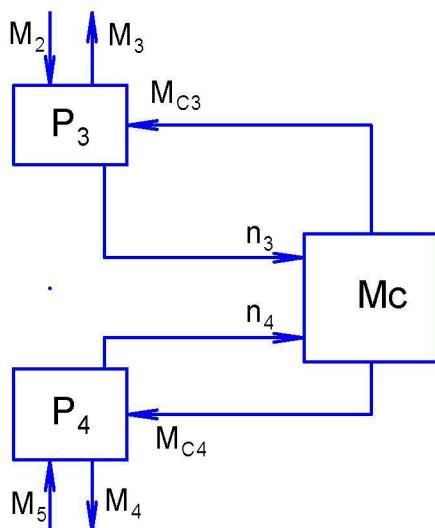


Рисунок 5 – Структурная схема математической модели эквивалентного электропривода петлевого устройства

Электроприводы ЛНГЦ связаны между собой через упругое усилие, возникающее в полосе, по каналам задающих воздействий в соответствии с рисунком 6. Сигнал задания скорости  $U_{3c}$  с задатчика скорости поступает на входы регуляторов скорости электроприводов тяущих станций №№ 1, 2 и печи ТХО.

Разработанные математические модели и структурные схемы предназначены для исследования динамических процессов, происходящих в полосе во время остановки головной части линии, с целью стабилизации натяжения.

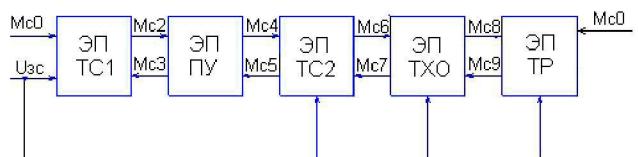


Рисунок 6 – Структурная схема математической модели взаимосвязанных электроприводов ЛНГЦ

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Ющенко О.А. Экспериментальные исследования натяжения в электромеханической системе печи термохимической обработки // Тр. ун-та. Вып. № 4. Караганда: Изд-во Карагандинского технического университета, 2008. С. 77-79.
- Алексеев В.В., Козярук А.Е., Загрибный Э.А. Электрические машины. Моделирование электрических машин приводов горного оборудования: учеб. пособие / Санкт-Петербургский гос. горный ин-т (технический университет). СПб, 2006. 58 с.
- Сивякова Г.А. Взаимосвязанный электропривод агрегата непрерывного отжига: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. 2.06.2007. Алматы: АИЭС, 2007. 24 с.

УДК 622.232.72.001.24-52

ПАРШИНА Г.И.

## Автоматизированные системы расчета электроснабжения добывающих участков как основа безопасности жизнедеятельности угольных шахт

Системы электроснабжения добывающих участков, являющихся частью электротехнических комплексов [1, 2] угольных шахт, становятся объектом первоочередного внимания при расследовании причин катастроф и аварий, происходящих в результате как техногенных, так и человеческих факторов. Регламенти-

рующими инструкциями [3, 4] установлен строгий порядок выполнения и утверждения документов типа «Расчет схем электроснабжения очистного забоя (лавы) XXX.XXX». Расчет проводится инженером – представителем электротехнической службы добывающего участка (например, механиком участка), прове-