

УДК 621.34:62.505:669.046.4

ЮЩЕНКО О.А.

Имитационное моделирование динамических режимов электромеханической системы линии непрерывного горячего цинкования

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

Во время прохождения полосы в печи термохимической обработки (ТХО) под действием высокой температуры, во время движения каретки петлевого устройства возникает процесс складкообразования в полосе, что негативно влияет на качество продукции.

В печи ТХО полоса подвергается термохимической обработке в защитной атмосфере. Рабочее пространство печи делится на ряд зон обработки, соответствующих технологическим фазам: нагреву, выдержке при определенной температуре, охлаждению. Полоса, продвигаясь через рабочее пространство печи, последовательно подвергается термохимическому воздействию окружающей среды в каждой зоне.

В печи ТХО осуществляются следующие операции: нагрев полосы на участке пламенной печи в атмосфере продуктов неполного сгорания пропан-бутана до температуры $600 \div 650$ °С, окончательный нагрев и выдержка полосы на участке печи с радиационными трубами в атмосфере водородного защитного газа при температуре $700 \div 900$ °С, охлаждение полосы на участке струйного охлаждения до температуры $450 \div 470$ °С. Участки печи открытого пламени, обработки полосы радиационными трубами и струйного охлаждения конструктивно объединены в один.

Для решения проблемы повышения надежности работы ЛНГЦ были проведены исследования [1], включающие ряд экспериментов по определению динамических свойств обрабатываемой полосы металла.

В процессе экспериментальных исследований определялся характер изменений упругих усилий в полосе во время движения каретки петлевого устройства. При эксперименте было выявлено, что на входе в печь ТХО амплитуда колебаний в полосе становится меньше, чем при прохождении полосы через петлевое устройство, так как колебания имеют затухающий характер. В печи ТХО при термообработке под действием высокой температуры пластичность прокатываемого металла увеличивается и амплитуда колебаний уменьшается. Таким образом, в результате проведенных экспериментов установлены следующие существенные факторы, влияющие на динамику полосы:

1. Возникновение продольных колебаний в полосе во время движения каретки петлевого устройства;
2. Изменение упругости и пластичности полосы в процессе обработки металла;
3. Различные параметры и характер волн упругой деформации при ее распространении по направлению движения полосы.

На основании полученных экспериментальных данных были разработаны имитационные модели взаимосвязанных электроприводов ЛНГЦ (рисунок 1).

В разработанной модели многодвигательный групповой электропривод ЛНГЦ заменяется двухдвигательным эквивалентным. Имитационная модель взаимосвязанных электроприводов ЛНГЦ состоит из моделей электроприводов тянущей станции № 1 (ТС1), вертикального петлевого устройства (ПУ), тянущей станции № 2 (ТС2), роликов участка обработки печи (ТХО) и натяжных роликов печи (ТР).

Электроприводы ЛНГЦ связаны между собой по каналам задающих воздействий. Блоки ТС1, ПУ, ТС2, ТХО, ТР формируют модели электроприводов тянущей станции № 1, петлевого устройства, тянущей станции № 2, участков обработки полосы в печи и участка печи с натяжными роликами соответственно. Элементы Step1 и Step2 имитируют сигналы задания натяжения полосы в агрегате, входным воздействием в модели также является задание по скорости от ведущего скоростного механизма. Сигнал с датчика скорости поступает на входы регуляторов скорости электроприводов транспортирующих роликов натяжных станций и камер печи ТХО. Выходные величины модели – усилия натяжения в полосе при прохождении через механизмы средней технологической части ЛНГЦ.

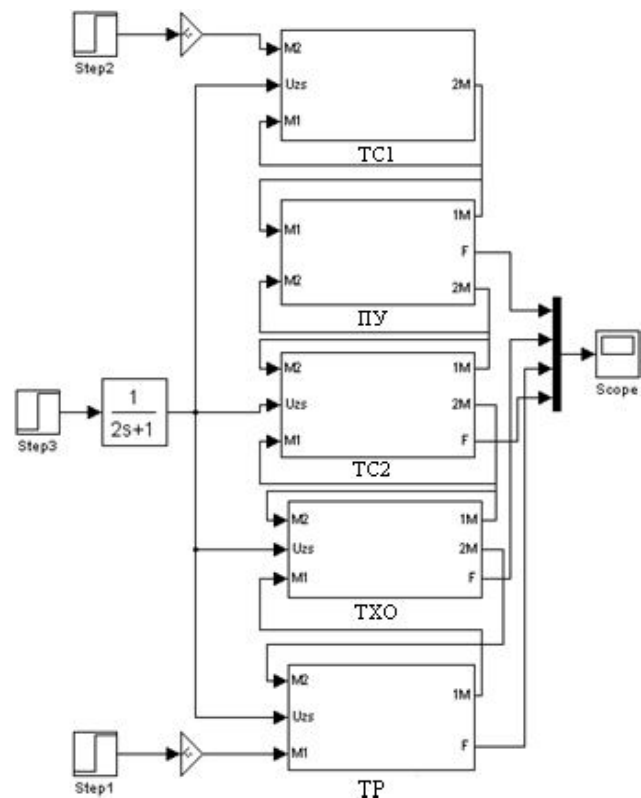


Рисунок 1 – Имитационная модель взаимосвязанных электроприводов ЛНГЦ

В основу построения модели положен принцип декомпозиции [2].

Имитационная модель электропривода петлевого устройства приведена на рисунке 2.

Элемент Step1 имитирует входное задание по скорости от ведущего скоростного механизма для каретки петлевого устройства. Сигнал с задатчика скорости поступает на вход регулятора скорости электропривода каретки петлевого устройства. Входными воздействиями в модели также являются сигнал задания натяжения полосы в петлевом устройстве – элемент Step2 и моменты сопротивления полосы с нижнего ролика тянущей станции № 1 – M1 и верхнего ролика тянущей станции № 2 – M2. Выходные величины модели – усилие натяжения в полосе F и моменты сопротивления полосы 2M и 1M нижнего и верхнего роликов петлевого устройства соответственно. Блоки Transport Delay, Transport Delay1 и Transport Delay2 формируют задержку сигнала движения каретки петлевого устройства на заданное время. В модели полосы петлевого устройства учитывается изменение длины полосы между верхними и нижними роликами при выборе (нагоне) полосы при помощи функциональных блоков Fcn2 и Fcn3.

Имитационные модели электроприводов тянущей станции № 2 и роликов печи ТХО выполняются аналогично имитационным моделям электропривода

башенной печи агрегата непрерывного отжига [3].

В модели усилия натяжения полосы тянущей станции № 1 (рисунок 3) учтено изменение скорости двигателя верхнего ролика во время движения каретки петлевого устройства при стоянке головной части агрегата.

При помощи блоков Transport Delay, Saturation и Rate Limiter смоделировано изменение скорости верхнего ролика тянущей станции № 1 во время остановки головной части агрегата, технологического толчка для контроля сварного шва и запуска головной части агрегата на повышенной скорости для осуществления нагона полосы в петлевое устройство.

Реализация модели была осуществлена в пакете Simulink системы MATLAB 7.

Симуляция процесса проводилась с использованием многошагового метода решения, с переменным шагом модельного времени, что целесообразно в тех случаях, когда одношаговые явные методы не обеспечивают решения, при жесткости системы дифференциальных уравнений.

Оценка адекватности исследуемой модели определялась по средним значениям результатов эксперимента на модели и измерений на реальной системе. Осциллограммы с записью усилий натяжения в полосе при прохождении через петлевое устройство, тянущую станцию № 2 и печь ТХО, приведены на рисунке 4.

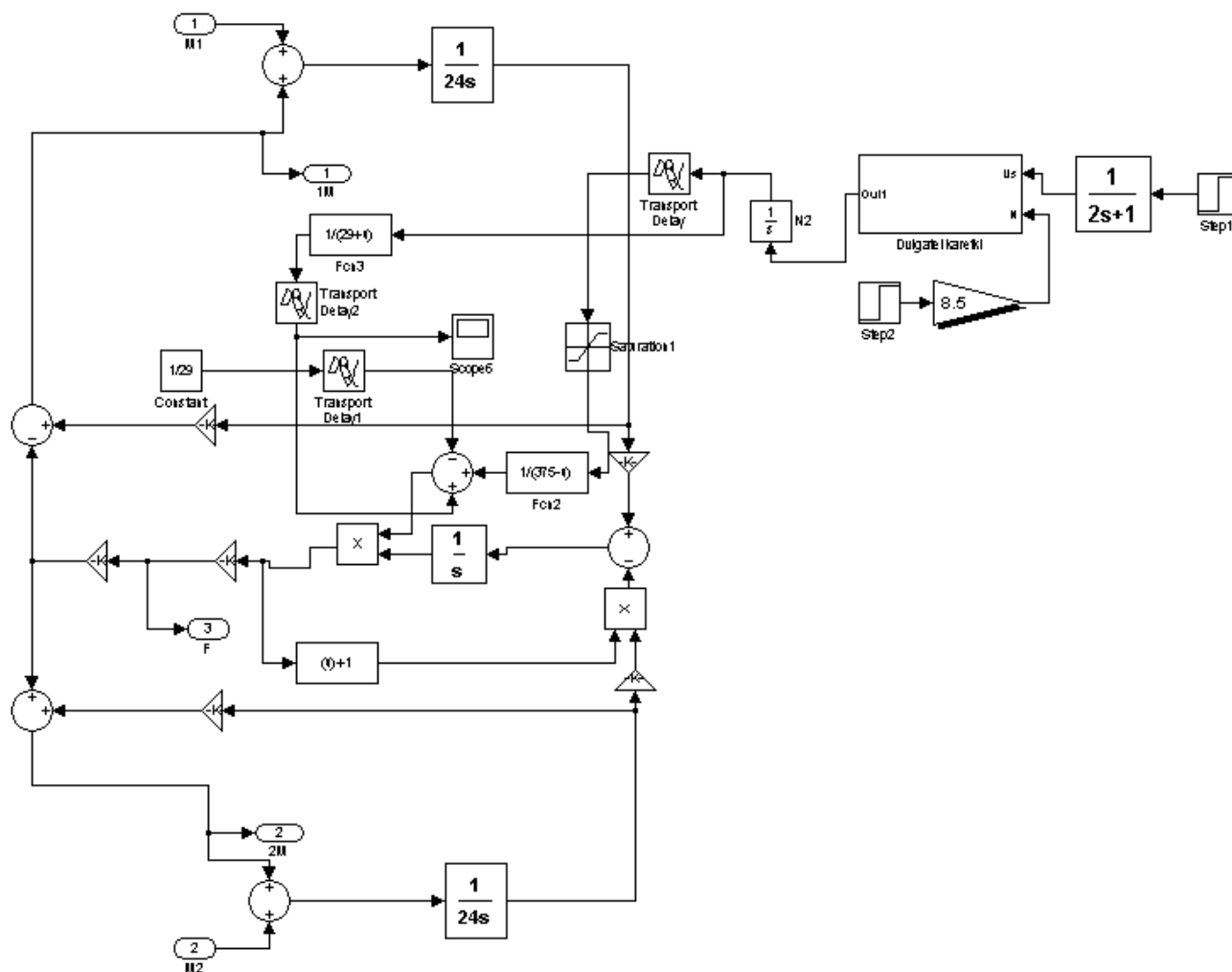


Рисунок 2 – Имитационная модель электропривода петлевого устройства

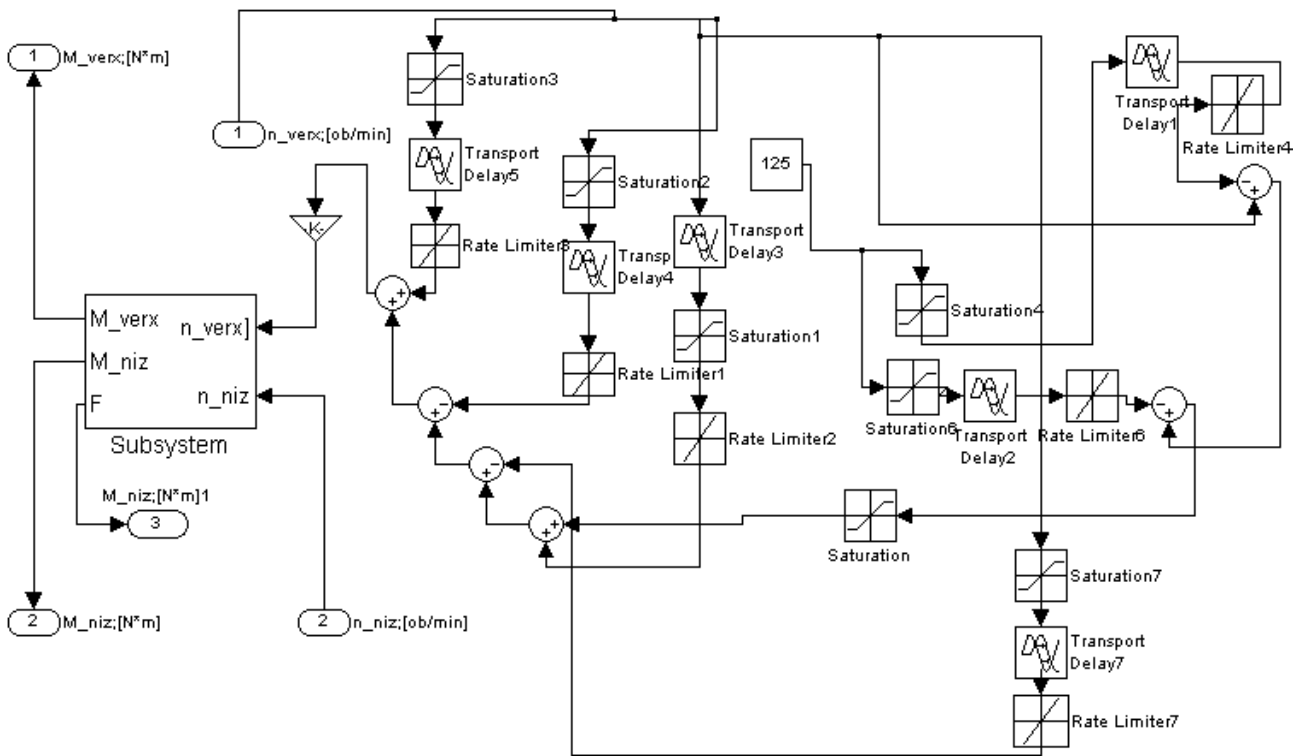


Рисунок 3 – Имитационная модель усилия натяжения полосы тянущей станции № 1

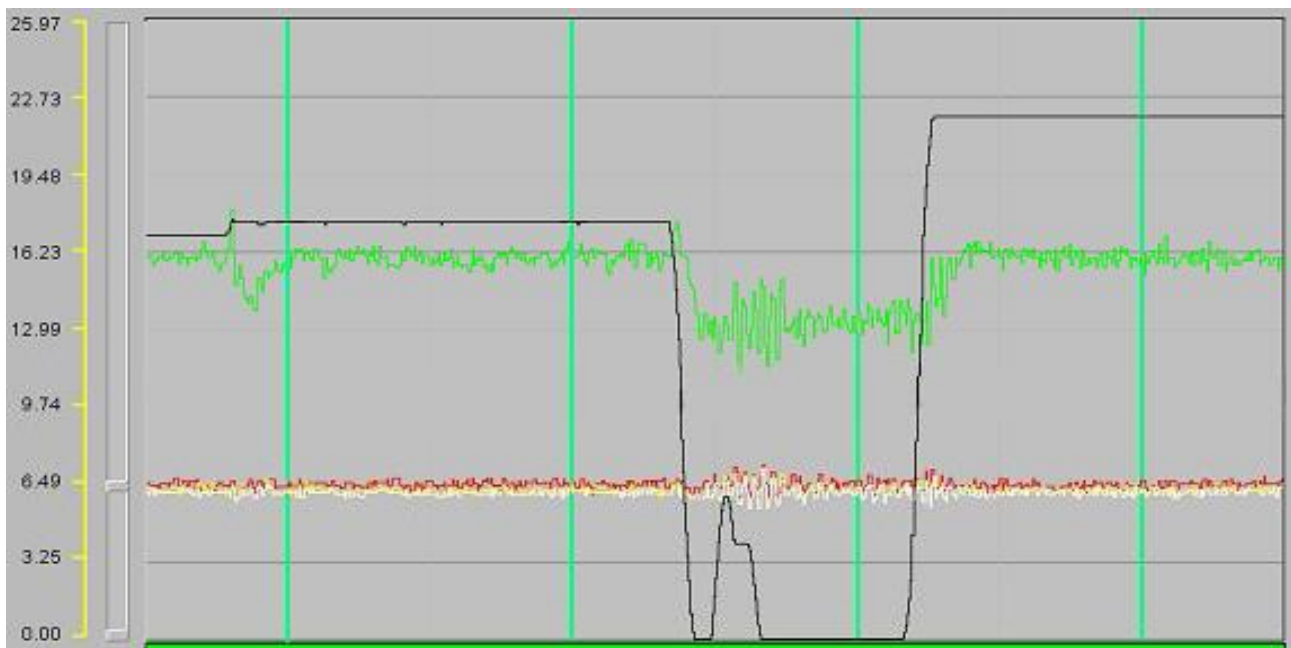


Рисунок 4 – Осциллограммы усилий натяжения в полосе

На осциллограммах сверху вниз соответственно расположены: изменение рабочей скорости головной части ЛНГЦ, записи усилий натяжения в петлевом устройстве, тянущей станции № 2, на участке обработки полосы в печи и на участке печи с натяжными роликами. Масштаб осциллограмм для усилий натяжения полосы – 0,25 кН/мм. Масштаб по временной оси – 0,26 мм/с. Одно деление по временной оси соответствует 127 с.

Анализ полученных осциллограмм показал, что в полосе присутствуют вынужденные и собственные колебания. Вынужденные высокочастотные колебания

содержат составляющие, возбуждаемые при взаимодействии полосы с роликами, и составляющие, связанные с изменением скорости головной части агрегата. Частотный спектр изменения усилий в полосе сосредоточен в диапазоне частот от 3 до 20 Гц. Низкочастотная составляющая характеризует процессы взаимного влияния приводов роликов механизмов ЛНГЦ и изменения упругих свойств обрабатываемой стальной полосы.

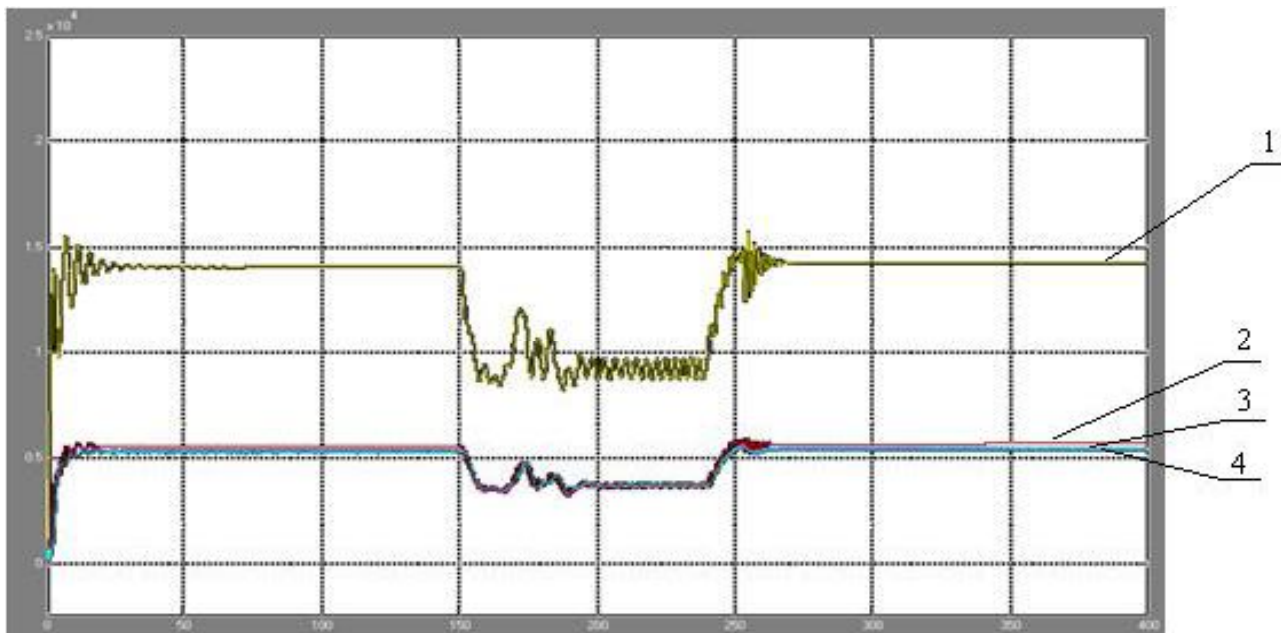
Результаты моделирования на имитационной модели приведены на рисунке 5. При проведении экспериментов и разработке модели оценивалась только

низкочастотная составляющая, высокочастотной составляющей колебаний усилий натяжения в полосе пренебрегаем, так как она не оказывает значительного воздействия на процесс складкообразования в полосе.

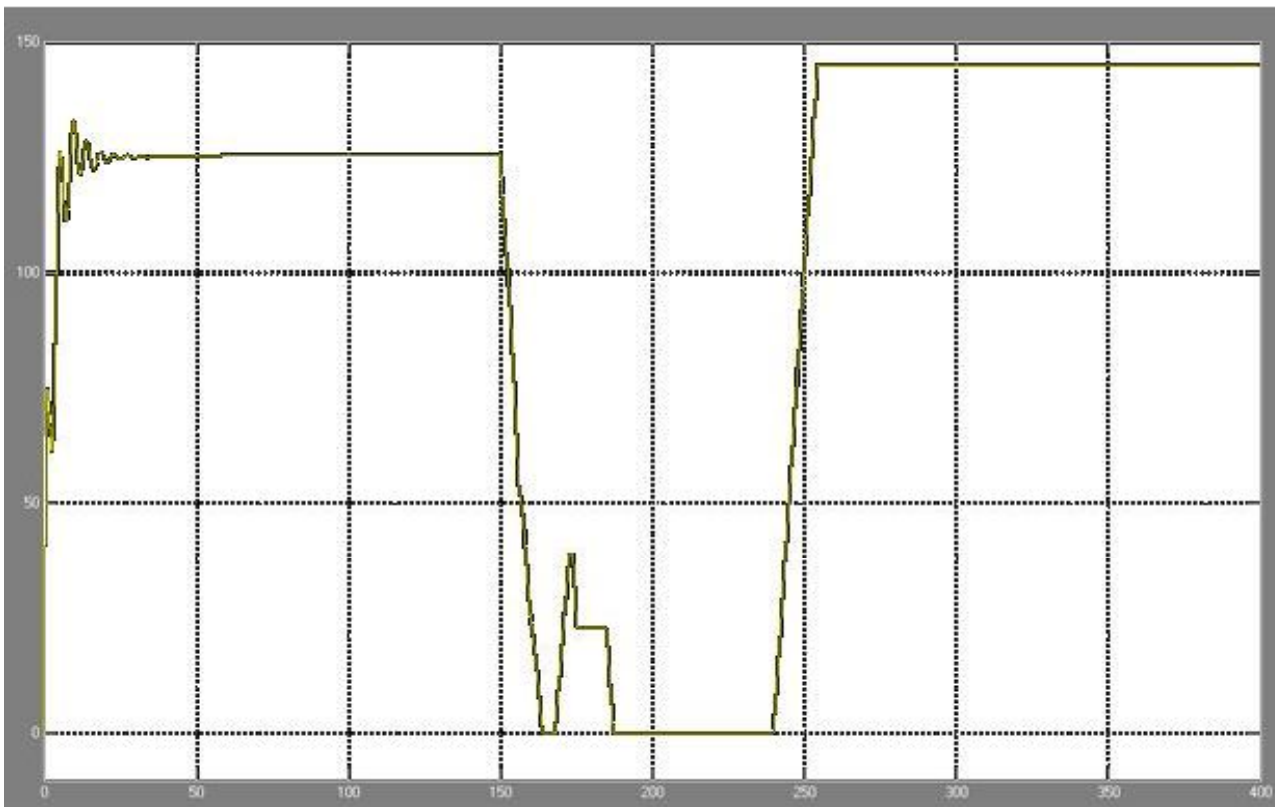
На осциллограмме рисунка 5 (а) приведены усилия натяжения в петлевом устройстве, натяжной станции № 2, в печи ТХО на участке обработки, в печи ТХО на участке с натяжными роликами – кривые 1, 2, 3, 4 соответственно. На рисунке 5 (б) показана ско-

рость головной части агрегата.

Из анализа осциллограмм и результатов имитационных экспериментов следует, что разработанная модель адекватна, отклонение от фактического сигнала составляет не более 10 %, что является достаточным условием для решения проектных задач, в которых анализируются динамические процессы, происходящие во взаимосвязанных электроприводах средней технологической части ЛНГЦ.



а)



б)

а – осциллограммы усилия натяжения в полосе; б – скорость головной части линии

Рисунок 5 – Имитационные эксперименты

Таким образом, в результате анализа и экспериментальных исследований, разработана имитационная модель взаимосвязанных электроприводов транспортирующих роликов средней технологической части ЛНГЦ, учитывающая основные факторы, влияющие

на динамические и статические свойства полосы обрабатываемого металла как объекта управления.

Полученные результаты предназначены для оптимизации режимов работы ЛНГЦ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ющенко О.А. Экспериментальные исследования натяжения в электромеханической системе печи термохимической обработки // Тр. ун-та. Вып. № 4. Караганда: Изд-во КарГТУ, 2008. С. 77-79.
2. Сивякова Г.А. Взаимосвязанный электропривод агрегата непрерывного отжига : Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 2.06.2007. Алматы: АИЭС, 2007. 24 с.
3. Дьяконов В.И. Simulink 5/6/7: Самоучитель. М. : ДМК-Пресс, 2008. 784 с. : ил.

УДК 669.054
КИМАНОВ Б.М.

Исследование механизма фильтрационного рафинирования стали от растворённого кислорода

В последние годы в металлургии и литейном производстве стран Европы, США, Японии, России, Китая и др. всё большее применение находит фильтрационный метод, обеспечивающий высокую степень рафинирования металлов и сплавов. Суть этого метода состоит в пропускании металлического расплава через специальное устройство (фильтр), при прохождении через который в результате физико-химических, адсорбционных, механических и др. явлений происходит его очищение от шлаковых, неметаллических, интерметаллидных, газовых включений и от вредных примесей.

Используемые фильтры конструктивно можно разделить на две группы: двумерные и объёмные. Первые являются достаточно распространённым видом фильтров и представляют собой сетку (пластину) из керамики или стекловолокна. Такие фильтры очищают металл главным образом от крупных включений экзогенного характера, размер которых больше размеров отверстий в сетке. В этом случае фильтр выполняет роль механического сита (сетки), в связи с чем рафинирующий эффект называют ситовым или сеточным, а процесс очистки - поверхностным [1, 3]. В целом, при фильтровании через двумерные фильтры характерным является малая зависимость его результатов от характера движения расплава через фильтр, невозможность повышения рафинирующего эффекта за счет явлений адгезии, адсорбции, химических реакций и т.д., ввиду малой массы реагирующего материала и поверхности контакта расплава с фильтром.

Более эффективными являются объёмные фильтры, отличительной особенностью которых является большая поверхность их контакта с металлом в процессе его фильтрации и наличие длинных и тонких межзёрненных каналов переменного сечения, что обуславливает удаление из расплава как крупных, так и мелких включений [1]. Объёмный фильтр представляет собой либо слой гранул (кусков) фильтрующего материала определённого размера и толщины (высоты), размещённых в заливочной воронке, либо цельный блок из керамики. Кусковой фильтр определённого размера получают путем дробления огнеупорного материала с последующим его просеиванием. Фильт-

рующие элементы в виде гранул получают или путем окатывания соответствующих порошков, или прессованием. Окатыванием можно получить фильтрующие элементы практически любого размера из смеси различных материалов, в т.ч. содержащих раскислители, модификаторы, легкоплавкие компоненты, которые повышают рафинирующую способность фильтра. При этом гранулы могут быть двухслойными (плакированными), что позволяет использовать для изготовления внутреннего ядра окатыша более дешёвый и недефицитный огнеупорный материал, а наружный слой на нем формировать из специального (в зависимости от фильтруемого расплава) адгезионно-активного состава, обеспечивающего его высокую рафинирующую способность.

Несмотря на то, что мелкодисперсные включения имеют размер значительно меньше размеров проходного канала фильтра, а значит, по геометрическим факторам они должны свободно проходить через него, часть этих включений, достигающих поверхности фильтра, задерживаются им, вследствие действия на контактной поверхности адгезионных сил. Этот рафинирующий эффект, обусловленный прилипанием мелких включений к поверхности фильтра, называют адгезионным [1]. Процесс этот реализуется по всей поверхности фильтра, контактирующей с расплавом. Поэтому увеличение удельной поверхности фильтра, в том числе за счет его утолщения (увеличения высоты фильтра), способствует повышению степени очистки расплава. В объёмных фильтрах с развитыми поровыми каналами включения задерживаются на их внутренних поверхностях, поэтому процесс адгезионной очистки называют также процессом внутренней фильтрации [2].

Таким образом, механизм фильтрационного рафинирования металлических расплавов связывают главным образом с улавливанием взвешенных в расплаве неметаллических включений. При этом общий рафинирующий эффект фильтрования (Эф) представляется как сумма сеточного (Эсет) и адгезионного (Эадг) эффектов:

$$\text{Эф} = \text{Эсет} + \text{Эадг}. \quad (1)$$