

Разработка автоматизированных электроприводов волочильных станов по системе «преобразователь частоты – асинхронный двигатель»

Е.Я. Омельченко, В.О. Моисеев, О.А. Тележкин
ФГБОУВПО «Магнитогорский государственный технический университет имени Г.И. Носова»,
г. Магнитогорск, Российская Федерация
E-mail: momentum2@yandex.ru, ickar@mail.ru, gopko49@rambler.ru

Авторское резюме

Состояние вопроса: Анализ состояния электрооборудования метизной промышленности показал, что главные системы электроприводов имеют износ до 80 %, характеризуются низкой энергоэффективностью и надежностью, отличаются высокими эксплуатационными затратами и низким коэффициентом мощности. В связи с этим повышение производительности труда и снижение энергозатрат в метизной промышленности являются актуальными научно-техническими задачами, решение которых связано с реконструкцией или заменой систем электроприводов.

Материалы и методы: Для исследования работы взаимосвязанной системы электроприводов волочильного стана в программной среде MATLAB Simulink разработана структурная схема комбинированной системы регулирования, состоящая из микропроцессорных систем векторного регулирования со стабилизацией потокосцепления ротора и непрерывной электромеханической части.

Результаты: Представлены результаты исследований на математической модели работы автоматизированного электропривода в пуско-тормозных режимах. Предложены варианты построения систем электропривода для промышленного применения.

Выводы: Введение сигнала динамической коррекции намоточного устройства, регулируемого статизма главного привода и гибкой связи по упругому моменту существенно снижает упругие колебания проволоки при намотке и стабилизирует натяжение.

Ключевые слова: волочильный стан, преобразователь частоты, асинхронный двигатель, векторное регулирование, математическая модель.

Automated Electric Drives of Drawing Mills According to the «Frequency Converter– Asynchronous Motor» System

E.Ya. Omelchenko, V.O. Moiseev, O.A. Telezhkin
Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation
E-mail: momentum2@yandex.ru, ickar@mail.ru, gopko49@rambler.ru

Abstract

Background: The equipment analysis of metal industry demonstrated that the main electric drives systems has more than 80 % of wear, the low energy efficiency and reliability, high operational costs and the low power coefficient. Thus, the urgent scientific and technical tasks are increasing the labor productivity and decreasing the energy losses in metal industry, but their solution is connected with rebuilding or replacement of electrical drives systems.

Materials and methods: The structure scheme of the combined control system consisting of microprocessor-based systems of the field oriented control with rotor flux stabilization and continuous electromechanical unit is developed for the research of related electric drives system of drawing mills in MATLAB Simulink platform.

Results: The experiments results based on the mathematical model of the automated electric drive operation in starting-breaking modes are presented. The various alternatives of forming electric drive system in industrial application is offered.

Conclusions: The application of dynamic correction signal, flexible feedback of spring torque of coiling machine and controlled offset of main drive make it possible to considerably reduce elastic vibration of wire during its progress and stabilize wire tension.

Key words: drawing mill, frequency converter, asynchronous motor, field vector control, mathematical model.

Оборудование для метизной промышленности в СССР изготавливалось до 80-х годов XX века на Алма-атинском заводе тяжелого машиностроения (АЗТМ) (г. Алма-Ата, Казахстан) и на заводе «Грюна» (ГДР, Германия). Перестройка, распад СССР, последующее развитие экономики России отрицательно отразились на развитии метизной промышленности и почти привели к исчезновению отрасли. Пред-

приятие «Техника и технология метизного производства» (ТТМП) (г. Орел) с 2000 года работало для предприятий России по модернизации существующего механического и электрического оборудования и в 2009 году закрылось в связи с экономическим кризисом.

Анализ состояния электрооборудования метизной промышленности показал, что главные электроприводы волочильных станов и на-

моточные устройства стальной проволоки имеют износ до 80 %, а используемые системы электроприводов на базе асинхронных двигателей с фазным ротором и реостатным регулированием, асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором и электромагнитными муфтами скольжения характеризуются низкой энергоэффективностью и надежностью. Применяемые системы «тиристорный преобразователь - двигатель постоянного тока» (ТП-Д) отличаются высокими эксплуатационными затратами и низким коэффициентом мощности. Поэтому повышение производительности труда и снижение энергозатрат в метизной промышленности являются актуальными научно-техническими задачами, решение которых связано с реконструкцией или заменой систем электроприводов.

За основу при реконструкции принята система электропривода ПЧ-АД [1] с асинхронными короткозамкнутыми двигателями с самовентиляцией и микропроцессорной системой управления ПЧ (МПСУ) с бездатчиковой системой регулирования. Волоочильные станы грубого, мокрого и тонкого волочения могут быть представлены общей кинематической схемой, включающей в себя: электродвигатель главного электропривода, обеспечивающий процесс волочения через редуктор; систему валов со шкивами трения, монолитных волок (до 21 шт.) и чистовой вытяжной барабан; намоточное устройство (НУ) со своим электродвигателем, клиноремонной передачей, редуктором и устройством укладки проволоки.

Главный ЭП волоочильного стана должен обеспечивать регулирование скорости волочения в диапазоне 10:1, стабилизацию скорости с точностью до 5 %. Работает с постоянным моментом инерции в повторно-кратковременном режиме. Цикл работы от 20 до 40 мин, остановка на 3–10 мин. Диапазон мощностей от 18,5 до 75 кВт.

ЭП намоточного устройства должен обеспечивать стабилизацию натяжения наматываемой проволоки в пуско-тормозных и установившихся режимах по заданному закону регулирования с точностью до 30 % от заданного при изменении заданного натяжения в диапазоне 5:1 и изменении суммарного момента инерции в диапазоне 1:9. Увеличение радиуса намотки – не более чем в 2 раза. Диапазон мощностей – от 4 до 15 кВт. Диаметры наматываемой проволоки – от 3,12 до 0,2 мм с изменением предела текучести от 75 до 290 кг/мм². Скорость намотки на разных станах – от 5,5 до 12 м/с и средним натяжением от 1500 до 45 Н при угловой скорости катушки от 28 до 300 рад/с. При намотке проволоки на катушку действуют возмущающие воздействия в виде гармонического изменения длины наматываемой проволоки: от работы механизма укладки; от эксцентриситета катушки; от возмущений при намотке на витки; при переходе от слоя к слою.

Частота этих возмущений пропорциональна угловой скорости намотки.

Для исследования работы взаимосвязанной системы электроприводов волоочильного стана в программной среде MATLAB Simulink разработана структурная схема комбинированной системы регулирования, состоящая из микропроцессорных систем векторного регулирования со стабилизацией потокоцепления ротора и непрерывной электромеханической части (рис. 1). Микропроцессорная векторная система главного электропривода включает в себя цифровой контур регулирования тока по оси $q\omega_{iq}(z)$, цифровой регулятор скорости с регулируемым статизмом RSst, цифровой наблюдатель угловой скорости вращения FiltrS с экстраполятором нулевого порядка $w(z)$, цифровой задатчик интенсивности скорости ZIS. Микропроцессорная векторная система намоточного устройства включает в себя моментобразующий цифровой контур регулирования тока по оси $q\omega_{iq}(z)$, цифровой задатчик интенсивности момента натяжения $ZI(z)$, блок коррекции натяжения m_e .

С помощью блока $m(w)$ формируется пусковой момент в функции относительной скорости волочения. Блок dL_{ny} используется для формирования гармонических возмущающих воздействий в функции угловой скорости вращения НУ.

Расчет угловых скоростей двигателей главного привода и намоточного устройства, упругого натяжения проволоки выполняется с помощью системы непрерывных интегральных уравнений:

$$\begin{aligned} V_B(t) &= \omega_B(t)R_B / i_B; V_H(t) = \omega_H(t)R_H(t) / i_B; \\ M_{DB}(t) &= (m_B(t) - m_C(\omega_B))M_{NB} + T_H(t)R_B / i_B; \\ M_{DH}(t) &= m_H(t)M_{NB} - T_H(t)R_H(t) / i_H - M_{ХХН}, \end{aligned}$$

где

$$\omega_B(t) = 1 / J_{\Sigma B} \int M_{DB}(t) dt;$$

$$\omega_H(t) = 1 / J_{\Sigma H} \int M_{DH}(t) dt;$$

$$T_H(t) = \frac{sE}{L_{BH}} \left(\int (V_H - V_B) dt + T_d(V_H - V_B) + dL_H \right).$$

Радиус намотанной проволоки на катушке рассчитывается по интегральному уравнению

$$R_H(t) = R_K + \frac{d_{\Pi}^2}{2\pi B_K K_3 i_H} \int \omega_H(t) dt, \quad (1)$$

где R_K , B_K – радиус и ширина пустой катушки, м; d_{Π} – диаметр наматываемой проволоки, м; K_3 – коэффициент заполнения намотки по объему катушки; i_H – передаточное отношение редуктора НУ; ω_H – угловая скорость вращения двигателя НУ.

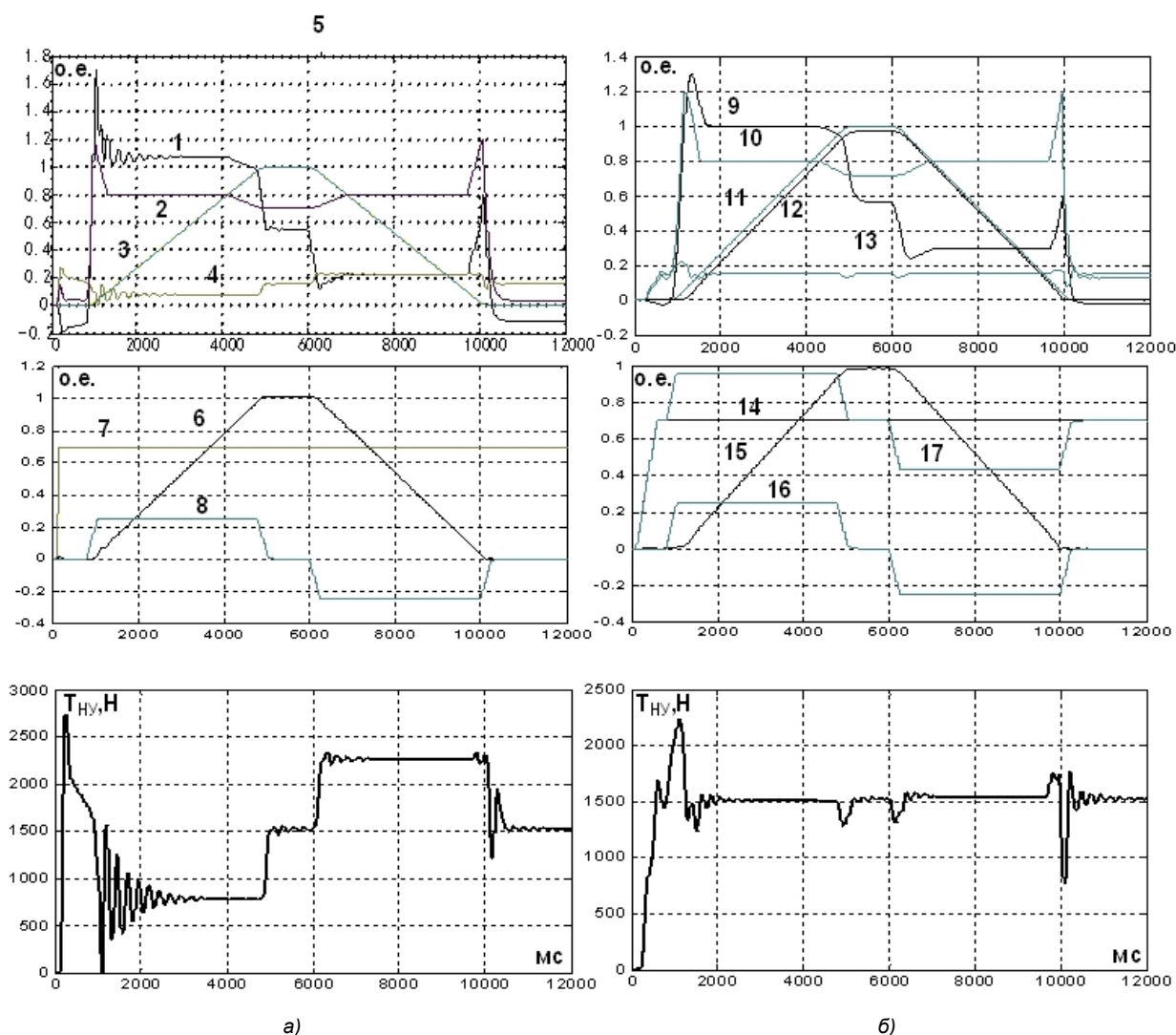


Рис. 2. Осциллограммы переходных процессов: а – для случая постоянного задания момента T_H $mznu$ и ПИ-регулятора угловой скорости вращения главного привода со скоростью нарастания момента до 150 Mn/c ; б – случай с добавлением к постоянному моменту T_H корректирующего сигнала в соответствии с уравнением (4) (регулятор угловой скорости вращения главного привода с регулируемым статизмом со скоростью нарастания момента до 30 Mn/c); 1, 9 – m ; 2, 10 – msv ; 3, 11 – wz ; 4, 6, 13, 15 – mny ; 5, 12 – wvn ; 7, 14 – $mzny$; 8, 16 – dwz

В зависимости от конструкции ПЧ, возможны более простые варианты. В преобразователях частоты типа UnidriveSP (Control Techniques Англия) в качестве ПЛК используется дополнительный модуль SM-Application, который устанавливается в гнездо расширения ПЧ, имеет мощные сетевые возможности и может объединять по локальной сети в процесс управления много ПЧ по порту EIA-RS485 с поддержкой протокола Modbus-RTU ведущий/ведомый.

Еще более простое решение используется в преобразователях частоты типа ACS800 (ABB, Швеция), где достаточно использовать для связи между собой последовательный оптоволоконный канал CH2 платы RMIO в режиме ведущий/ведомый. В качестве ведущего удобнее задействовать главный привод. Управление между ПЧ выполняется с помощью адаптивной программы, собираемой из

отдельных функциональных блоков с программируемыми входами.

Технические решения, разработанные на основе математической модели волочильного стана, приняты к внедрению ЗАО «Уралкорд» г. Магнитогорск для реконструкции волочильных станов.

Список литературы

1. Модернизация электроприводов намоточных устройств волочильных станов / Е.Я. Омельченко, А.В. Фадеев, В.В. Бакаржи и др. // Труды V Междунар. (XVI Всерос.) конф. по автоматизированному электроприводу «АЭП-2007», г. Санкт-Петербург. – СПб., 2007. – С. 341–344.
2. Омельченко Е.Я., Моисеев В.О. Методика экспериментального определения момента сопротивления и момента инерции механизма // Вестник МГТУ. – Магнитогорск, 2012. – №2(38). – С. 74–76.

References

1. Omel'chenko, E.Ya., Fadeev, A.V., Bakarzhi, V.V. Modernizatsiya elektroprivodov namotochnykh ustroystv volochil'nykh stanov [Modernization of electric drives of coiling

machines of drawing mills]. Trudy V mezhdunarodnoy (XVI Vserossiyskoy) konferentsii po avtomatizirovannomu elektroprivodu «AEP-2007» [Proceedings of V international (XVI All Russians) conference on the Automatic Electric Drives]. Saint-Petersburg, 2007, pp. 341–344.

2. Omel'chenko, E.Ya., Moiseev, V.O. Metodika eksperimental'nogo opredeleniya momenta soprotivleniya i momenta inertsii mekhanizma [The methods of experimental identification of static and dynamic moment of inertia]. *Vestnik MGTU*, 2012, no. 2(38), pp. 74–76.

Омельченко Евгений Яковлевич,
ФГБОУВПО «Магнитогорский государственный технический университет имени Г.И. Носова»,
кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизированного электропривода и мехатроники,
телефон (3519) 29-68-40, 29-85-29,
e-mail: momentum2@yandex.ru

Моисеев Владимир Олегович,
ФГБОУВПО «Магнитогорский государственный технический университет имени Г.И. Носова»,
аспирант кафедры автоматизированного электропривода и мехатроники,
e-mail: ickar@mail.ru

Тележкин Олег Анатольевич,
ФГБОУВПО «Магнитогорский государственный технический университет имени Г.И. Носова»,
студент кафедры автоматизированного электропривода и мехатроники,
e-mail: goroko49@rambler.ru