

М. А. Ямковая¹, С. В. Шадрин¹

¹ *Донбасский государственный технический институт, г. Алчевск, Луганская народная республика*

НЕЙРОУПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ С ПЕРЕМЕННЫМ МОМЕНТОМ ИНЕРЦИИ

Аннотация. Предложен электропривод моталки с нейроуправлением для сматывания прокатанного металла в рулоны стана холодной прокатки, позволяющий поддерживать постоянную линейную скорость намотки. При этом обеспечивается неизменным натяжение полосы и ее толщина. В математической модели электропривода учтено увеличение момента инерции механической части электропривода в процессе намотки. Приведен расчет требуемой скорости вращения электродвигателя для стабилизации линейной скорости полосы и предложен закон регулирования скорости, обеспечивающий необходимые значения скорости. Для реализации нелинейного коэффициента усиления регулятора рекомендуется использовать нейроуправление.

Ключевые слова: Нейроуправление, моталка, скорость намотки, переменный момент инерции, модель электропривода.

M.A. Yamkovaya¹, S.V. Shadrin¹

¹ *Donbass State Technical Institute, Alchevsk, Lugansk People's Republic*

NEURO CONTROL OF ELECTRIC DRIVE WITH VARIABLE MOMENT OF INERTIA

Abstract. An electric drive of a coiler with neuro-control is proposed for coiling rolled metal into coils of a cold rolling mill, which allows maintaining a constant linear winding speed. This ensures constant strip tension and thickness. In the mathematical model of the electric drive, the increase in the moment of inertia of the mechanical part of the electric drive during the winding process is taken into account. The calculation of the required speed of rotation of the electric motor for stabilization of the linear speed of the strip is given and the law of regulation of the speed is proposed, which provides the necessary values of the speed. To implement the nonlinear gain of the regulator, it is recommended to use neurocontrol.

Keywords: Neurocontrol, winder, winding speed, variable moment of inertia, electric drive model.

Введение. Имеется много механизмов, у которых происходит изменение момента инерции (при вращательном движении) или движущихся масс (при поступательном движении). Например: моталки станов горячей и холодной прокатки тонких листов, барабаны шахтных подъемников с переменным радиусом наливки каната, транспортеры и конвейеры, на которые поступает или с которых снимается сыпучий материал.

В качестве примера рассмотрим электропривод моталки для сматывания прокатанного металла в рулоны.

На современных высокоскоростных станах холодной прокатки применяют моталки с безредукторным приводом барабана непосредственно от электродвигателей большой мощности. С целью снижения приведенного момента инерции электропривода и повышения быстродействия системы управления электроприводом применяются схемы с двумя двигателями с необходимой общей суммарной мощностью.

Моталки применяют для сматывания прокатанного металла в рулоны. Натяжение полосы, в особенности между последней клетью и моталкой, оказывает существенное влияние на толщину прокатываемого металла. При изменении этого натяжения меняется и толщина листа. Для получения листа с допустимой неравномерностью толщины необходимо при постоянной скорости прокатки поддерживать неизменным натяжение полосы.

В процессе намотки полосы на барабан увеличивается диаметр рулона, линейная скорость намотки, а, следовательно, и натяжение. Для сохранения в процессе намотки неизменным натяжения полосы следует с увеличением диаметра рулона уменьшать скорость вращения барабана моталки так, чтобы линейная скорость намотки осталась неизменной.

Вопросам усовершенствования электроприводов вообще и электроприводов моталок в частности при помощи современных методов управления уделяется довольно большое внимание в литературе уже довольно длительное время.

Как известно, модель нейрона и ее реализация на ЭВМ была впервые предложена Маккаллоком и Питтсом почти 80 лет назад в 1943 [1]. Понадобилось 40 лет, чтобы за рубежом появились первые работы по применению нейроуправления к управлению объектами. В 1990-е годы эти публикации становятся более массовыми. Начиная с 2000-х годов появляется большое количество публикаций в русскоязычной прессе, в том числе и переводных, посвященных данной проблеме [2-4].

Поскольку металлургия является одной из базовых отраслей тяжелой промышленности, неудивительно пристальное внимание к ее развитию и повышению эффективности металлургических комбинатов, в том числе с имеющимися станами холодной прокатки [5-8].

Однако, как показано в [8], нейроуправление, несмотря на свои достоинства, еще недостаточно широко используется в металлургической промышленности. Поэтому в настоящее время довольно много диссертационных работ в РФ, начиная от магистерских ВКР и заканчивая докторскими, посвящено этой теме [9-11].

Задача разработки нейроуправления электроприводом моталок в полной мере не решена и за рубежом, чем и объясняется наличие различных публикаций, посвященных этому вопросу. В некоторых случаях предлагается использование нечеткого управления [12]. Рассмотрена также адаптация параметров ПИД-регулятора с помощью одиночного нейрона [13]. Существует подход, предполагающий для поддержания натяжения при размотке использовать дополнительную инверсную модель двух моталок, связанных перематываемым материалом с дополнительным каналом демпфирования [14]. В [15] предложено использование наблюдателя состояния, а в [16] – применение μ - и H_∞ - контроллеры для повышения робастности системы регулирования. В [17, 18] рассмотрено применение нейросетевых технологий в системах прямого регулирования натяжения материала.

Даже приведенный краткий обзор публикаций показывает высокую актуальность создания новых систем управления моталками для улучшения качества изготавливаемого проката.

Постановка задачи. Для обеспечения надлежащего качества прокатываемой полосы необходимо поддерживать постоянную скорость намотки металла на барабан моталки. При этом необходим учет переменного момента инерции механической части электропривода моталки и переменного радиуса намотки.

В задачу исследования входит нахождение закона изменения скорости двигателя моталки, обеспечивающего постоянную скорость намотки полосы металла на барабан при постоянно изменяющемся радиусе барабана с учетом переменного момента инерции барабана с намотанной на него полосой.

Для изменения скорости по найденному закону предложено использовать способ регулирования скорости двигателя постоянного тока изменением напряжения на якоре, при чем для реализации нелинейного коэффициента регулятора необходимо разработать нейрорегулятор.

Методы исследования. Для определения параметров механической части электропривода моталки, таких как радиус и масса барабана с намотанным рулоном, а также зависимостей между угловой и линейной скоростью и этими параметрами и определением желаемого закона изменения угловой скорости барабана для обеспечения постоянства линейной скорости листа были использованы законы механики и дифференциальное счисление.

Уравнение движения электропривода с переменным моментом инерции решалось путем математического моделирования в пакете Simulink программы Matlab.

Нейросеть для управления также создавалась в программе Matlab [19], а моделирование электропривода моталки с нейроуправлением производилось в пакете Simulink программы Matlab при помощи команды `genism(net, -1)`.

Основные результаты исследования. Механизм моталки представляет собой два двигателя постоянного тока, находящихся на одном валу и приводящие механизм в движение;

47 электромагнитной муфты; барабана моталки; тормозного диска и соединительных муфт. Общий вид механизма представлен на рисунке 1.

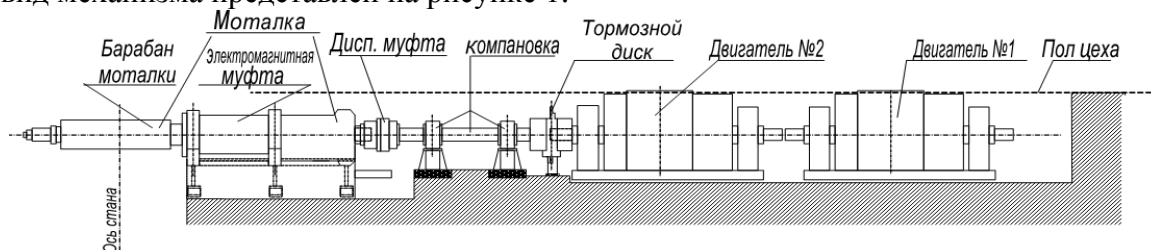


Рис.1. Общий вид механизма

На современных высокоскоростных станах холодной прокатки применяют моталки с безредукторным приводом барабана непосредственно от электродвигателей большой мощности. С целью снижения приведенного момента инерции электропривода и повышения быстродействия системы управления электроприводом применяются схемы с двумя двигателями с необходимой общей суммарной мощностью.

Радиус рулона металла R_p изменяется непрерывно в процессе намотки. В начальный момент времени он равен радиусу барабана R_6 , а при каждом полном обороте он увеличивается на толщину листа h . Учтем, что угол поворота ($C = 0$) $\varphi = \int \omega dt + C$, т.к. при $t = 0$ и $\varphi = 0$). Тогда

$$R_p = R_6 + \frac{\varphi}{2\pi} h = R_6 + \frac{\int \omega dt}{2\pi} h.$$

Будет также увеличиваться масса рулона металла, намотанного на барабан. Масса самого барабана остается постоянной

$$m_6 = \rho V_6,$$

где ρ – плотность материала барабана (сталь), $\rho = 7800$ кг/м³, V_6 – объем барабана:

$$V_6 = \pi R_6^2 b,$$

где b – ширина барабана, принимаемая равной ширине листа. Тогда

$$m_6 = \rho \pi b R_6^2.$$

Аналогично, масса рулона определяется как масса полого цилиндра с внешним диаметром R_p и внутренним диаметром R_6 :

$$m_p = \rho \pi b (R_p^2 - R_6^2).$$

Момент инерции рулона тоже изменяется в процессе работы, т.к. он зависит и от массы рулона, и от его радиуса:

$$J_p = \frac{m_p}{2} (R_p^2 + R_6^2).$$

Момент инерции барабана

$$J_6 = m_6 \frac{R_6^2}{2}.$$

Поскольку барабан и рулон находятся на одной оси с двигателем, общий момент инерции

$$J_\Sigma = 2J_{дв} + J_6 + J_p = 2J_{дв} + m_6 \frac{R_6^2}{2} + \frac{m_p}{2} (R_p^2 + R_6^2).$$

Т.к. и масса рулона, и его радиус являются функцией угла поворота, решение уравнения движения аналитически довольно затруднительно и целесообразно провести математическое моделирование механической части электропривода моталки в Simulink.

При этом надо обязательно учитывать дополнительное ускорение за счет изменения момента инерции во времени, т.к. иначе модель неадекватна. На рис.2 показана модель электропривода моталки при пренебрежении производной момента инерции и полученные графики переходные процессы (рис.3).

$$\frac{h}{2\pi v} \varphi^2 + \frac{R_6}{v} \varphi - t = 0$$

и найдем из него зависимость угла поворота от времен при поддержании постоянной линейной скорости. Разделим левую и правую часть уравнения на $\frac{h}{2\pi v}$:

$$\varphi^2 + \frac{4\pi R_6}{h} \varphi - \frac{4\pi v}{h} t = 0.$$

Тогда с учетом положительности угла поворота получим

$$\varphi = -\frac{2\pi R_6}{h} + \sqrt{\frac{4\pi^2 R_6^2}{h^2} + \frac{4\pi v}{h} t}.$$

Найдем теперь зависимость угловой скорости от времени, обеспечивающую постоянство линейной скорости, продифференцировав выражение для угла поворота по времени:

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt} = \frac{1}{2} \frac{\frac{4\pi v}{h}}{\sqrt{\frac{4\pi^2 R_6^2}{h^2} + \frac{4\pi v}{h} t}}.$$

Окончательно получим

$$\omega = \frac{2\pi v}{h \sqrt{\frac{4\pi^2 R_6^2}{h^2} + \frac{4\pi v}{h} t}}.$$

При соблюдении такого закона изменения угловой скорости должно поддерживаться постоянство линейной скорости.

Для его осуществления можно применить нейрорегулятор, реализующий выведенную зависимость путем изменения напряжения управления тиристорного преобразователя.

Коэффициент усиления должен определяться как

$$K_p = \frac{\omega}{\omega_n}.$$

Создадим нейросеть, реализующую этот закон регулирования. Для этого запишем вектор входного и выходного воздействий:

```
>> t=[0:100];
>> w=[2*pi*v/h*(4*pi^2*Rb^2/h^2+4*pi*v/h*t).^(-0.5)];
>> Kr=[w/40];
```

и используем команду создания радиальной нейронной сети

```
>> net=newgrnn(t,Kr);
```

Построим теперь модель нейронной сети в среде Simulink:

```
>> gensim(net,-1)
```

Функция gensim(net, -1) формирует S-модель нейронной сети с именем net для ее запуска в среде системы Simulink.

В результате открывается окно системы Simulink с S-моделью нейронной сети, которая включает блок входа, блок нейронной сети и блок осциллографа (рис. 6).

Создадим схему модели электропривода моталки с нейроуправлением. Для этого скопируем модель нейросети из окна Untitled и вставим ее в схему, как показано на рис. 7.

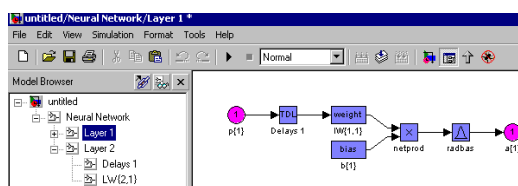


Рис. 6. Модель первого слоя нейронной сети

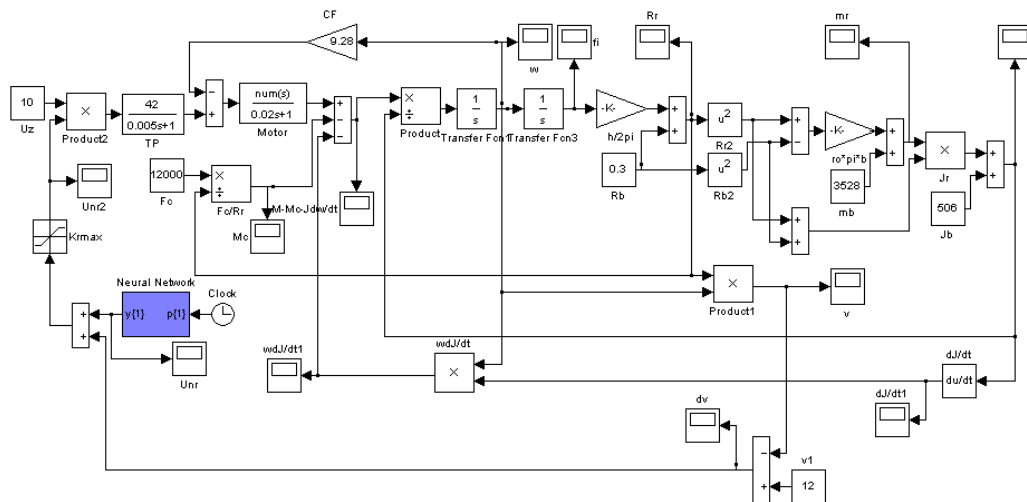


Рис. 7. Схема модели электропривода моталки с нейруправлением

Графики, полученные в этом случае, приведены на рис. 8.

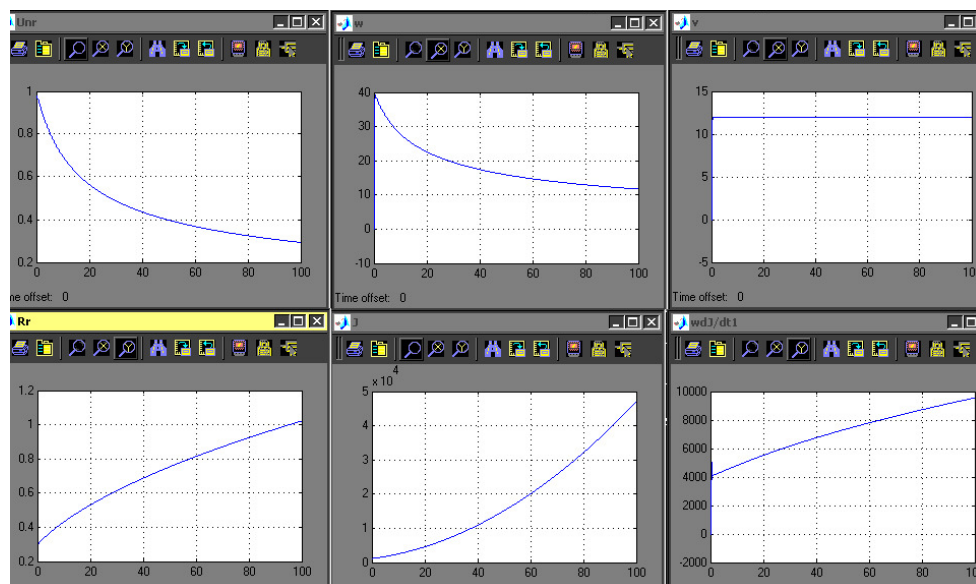


Рис. 8. Графики переходных процессов электропривода моталки с нейруправлением

Как видно из рис. 8 в отличие от системы управления без нейруправления (см. рис. 5) при применении нейроконтроллера, реализующего нелинейный коэффициент усиления, удастся получить требуемые характеристики: линейная скорость сворачиваемого листа металла остается постоянной за счет уменьшения скорости двигателя при увеличении радиуса намотанного рулона. Следовательно, предложенный закон регулирования, реализованный за счет нейруправления, может быть рекомендован для электропривода моталок и других механизмов с изменяющимся моментом инерции.

Выводы. 1. В статье получены выражения, описывающие изменение радиуса барабана с наматываемым листом, его массы и момента инерции от времени.

2. Полученные в результате моделирования динамические характеристики электропривода показали, что в данном случае нельзя пренебрегать переменностью момента инерции механической части системы, т.е. составляющей ускорения $\omega \frac{dJ_{\Sigma}}{dt}$, т.к. это приводит к неадекватности модели.

3. С использованием зависимостей механических параметров системы от времени рассчитан закон управления угловой скоростью двигателя, обеспечивающий постоянство линейной скорости.

4. Для реализации нелинейного коэффициента регулятора создана радиальная нейросеть.

5. Результаты моделирования предложенной системы управления подтвердили ее соответствие выдвинутым требованиям.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. McCulloch W. S., Pitts W. A logical calculus of ideas immanent in nervous activity // *Bulletin Mathematical Biophysics*. – 1943. – Vol. 5. – P. 115-133.
2. Омату С. Нейроуправление и его приложения. Книга 2 / Сигеру Омату, Рубия Юсоф, Мазуки Халид. Пер. с англ. Н.В. Батина под ред. А.И. Галушкина, В.А. Птичкина. – М.: Радиотехника, 2000. – 272 с.
3. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс. – 2-е издание: пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2006. – 1104 с.
4. Терехов В.А. Нейросетевые системы управления. / Терехов В.А., Ефимов Д.В., Тюкин И.Ю. М.: Высшая школа, 2002. 183 с.
5. Радионов А.А. Автоматизированный электропривод намоточно-размоточных устройств агрегатов прокатного производства. / А.А. Радионов, А.С. Карандаев. – Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 1999. – 131 с.
6. Гаврилюк К.Я., Черногуб Н.А., Баран Н.М., Лимонов Л.Г. Структуры прямого регулирования натяжения намоточно-размоточных механизмов // *Вестник Нац. Техн. ун-та «ХПИ»*. Проблемы автоматизированного электропривода: сб. науч. тр. – 2013. – №36(1009). – С. 282-283.
7. Синицкий О.В. Элементы современных технологических систем для обеспечения геометрии и формы листового проката / О.В. Синицкий, П.П. Полецков // *Калибровочное бюро*. – 2015. – №6. – С. 72-99.
8. Чертов А.Д. Применение систем искусственного интеллекта в металлургической промышленности (обзор) // *Металлург*. – №7. – С.32-37.
9. Сологубов А.Ю. К вопросу использования искусственных нейронных сетей в системах управления электроприводами переменного тока намоточно-размоточных механизмов станов холодной прокатки / А.Ю. Сологубов, В.Н. Фарыма // *Электротехника: сетевой электронный научный журнал*. – 2017. – Т.4, №1. – С.24-37.
10. Белов М.П. Теория, информационное и программное обеспечение автоматизированных электроприводных систем технологических машин и комплексов: дис. ... докт. техн. наук: 05.09.03 / Белов Михаил Петрович; Ст.-Пт. Гос. Электротехн. ун-т «ЛЭТИ». – Санкт-Петербург, 2016. – 435 с.
11. Буянкин В.П. Нейросетевые методы повышения точности систем управления техническими объектами с нелинейными и нечеткими характеристиками: дис. ... докт. техн. наук: 05.13.01 / Буянкин Виктор Михайлович; НИИ выч. комплексов им. М. А. Карцева. – М.: 2013. – 405 с.
12. He F. Fuzzy Control with Adjustable Factors in Tension Control System / F. He, J. Han, Q. Wang // *Advanced Materials Research*. – 2014. – Vol. 902. – P. 201-206. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.902.201
13. Yan J. Research on Tension Control System of Filament Winding Machine / J. Yan, Qiu Ju Zhu // *Advanced Materials Research*. – 2012. – Vols. 383-390. – P. 7631-7636. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.383-390.7631.
14. Li J. Research on Unwinding Tension System Control Based on Inverse System Theory / J. Li, X. Mei, S. Liu // *Applied Mechanics and Materials*. – 2011. – Vols. 44-47. – P. 2822-2826. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.44-47.2822.
15. Du Y.H. Speed Control System Design of Winding Mechanism for Composite Films // *Key Engineering Materials*. – 2010. – Vols. 426-427. – P. 417-421. DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.426-427.417.
16. Gassmann V. H_{∞} unwinding web tension control of a strip processing plant using a pendulum dancer / V. Gassmann, D. Knittel, R. Prabhakar // *American Control Conference Hyatt Regency*

Riverfront (St. Louis, June 10-12 2009). – St. Louis, MO, USA, 2009. DOI: 10.1109/ACC.2009.5160554.

17. Wang Y. Research on Tension Control Model for Traction and Take-up System of Loom / Y. Wang, J. Huang, H. Chen // Advanced Materials Research. – 2013. – Vol. 627. – P. 444-448. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.627.444.

18. Li Z. Tension Control System Design Of A Filament Winding Structure Based On Fuzzy Neural Network // Engineering Review. – 2015. – Vol. 35, Is. 1. – P. 9-17.

19. Медведев В. С., Потемкин В.Г. Нейронные сети. МАТЛАБ 6. / В.С. Медведев, В.Г. Потемкин; под общ. ред. В. Г. Потемкина. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2001. – 630 с.

REFERENCES

1. McCulloch W. S., Pitts W. A logical calculus of ideas immanent in nervous activity // Bulletin Mathematical Biophysics. 1943. Vol. 5. P. 115-133.

2. Omatu S. *Nejroupravlenie i ego prilozheniya. Kniga 2* [Neurocontrol and its applications. Book 2] / Sigeru Omatu, Rubiya YUsof, Mazuki Halid. Per. s angl. N.V. Batina pod red. A.I. Galushkina, V.A. Ptichkina. M.: Radiotekhnika, 2000. 272 p.

3. Hajkin S. *Nejronnye seti: polnyj kurs* [Neural networks: a complete course]. 2-e izdanie: per. s angl. M.: Izdatel'skij dom «Vil'yams», 2006. 1104 p.

4. Terekhov V.A. *Nejrosetevye sistemy upravleniya* [Neural network control systems] Terekhov V.A., Efimov D.V., Tyukin I.YU. M.: Vysshaya shkola, 2002. 183 p.

5. Radionov A.A. *Avtomatizirovannyj elektroprivod namotochno-razmotochnyh ustroystv agregatov prokatnogo proizvodstva* [Automated electric drive of winding and unwinding devices for rolling production units]. A.A. Radionov, A.S. Karandaev. Magnitogorsk: MGTU im. G.I. Nosova, 1999. – 131 s.

6. Gavriljuk K.YA., Chernogub N.A., Baran N.M., Limonov L.G. *Struktury pryamogo regulirovaniya natyazheniya namotochno-razmotochnyh mekhanizmov* [Structures for direct tension control of winding and unwinding mechanisms] // Vestnik Nac. Tekhn. un-ta «HPI» [Bulletin of the National Technical University "KhPI"]. *Problemy avtomatizirovannogo elektroprivoda: sb. nauch. tr.* [Problems of an automated electric drive: collection of scientific papers]. 2013. №36(1009). P. 282-283.

7. Sinickij O.V. *Elementy sovremennyh tekhnologicheskikh sistem dlya obespecheniya geometrii i formy listovogo prokata* [Elements of modern technological systems to ensure the geometry and shape of sheet metal] / O.V. Sinickij, P.P. Poleckov // Kalibrovochnoe byuro. – 2015. – №6. – P. 72-99.

8. Chertov A.D. *Primenenie sistem iskusstvennogo intellekta v metallurgicheskoy promyshlennosti (obzor)* [Application of artificial intelligence systems in the metallurgical industry (overview)] // Metallurg. – №7. – P.32-37.

9. Sologubov A.YU. *K voprosu ispol'zovaniya iskusstvennyh nejronnyh setej v sistemah upravleniya elektroprivodami peremennogo toka namotochno-razmotochnyh mekhanizmov stanov holodnoj prokatki* [On the use of artificial neural networks in control systems of AC electric drives of winding and unwinding mechanisms of cold rolling mills] / A.YU. Sologubov, V.N. Faryma // *Elektrotehnika: setevoy elektronnyj nauchnyj zhurnal* [Electrical Engineering: Network Electronic Scientific Journal]. – 2017. – T.4, №1. – P.24-37.

10. Belov M.P. *Teoriya, informacionnoe i programmnnoe obespechenie avtomatizirovannyh elektroprivodnyh sistem tekhnologicheskikh mashin i kompleksov* [Theory, information and software for automated electric drive systems of technological machines and complexes]: dis. ... dokt. tekhn. nauk: 05.09.03 / Belov Mihail Petrovich; St.-Pt. Gos. Elektrotekhn. un-t «LETI». – Sankt-Peterburg, 2016. – 435 p.

11. Buyankin V.P. *Nejrosetevye metody povysheniya tochnosti sistem upravleniya tekhnicheskimi ob"ektami s nelinejnymi i nechetkimi harakteristikami* [Neural network methods for increasing the accuracy of control systems for technical objects with nonlinear and fuzzy characteris-

tics]: dis. ... dokt. tekhn. nauk: 05.13.01 / Buyankin Viktor Mihajlovich; NII vych. kompleksov im. M. A. Karceva. – M.: 2013. – 405 p.

12. He F. Fuzzy Control with Adjustable Factors in Tension Control System / F. He, J. Han, Q. Wang // Advanced Materials Research. – 2014. – Vol. 902. – P. 201-206. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.902.201

13. Yan J. Research on Tension Control System of Filament Winding Machine / J. Yan, Qiu Ju Zhu // Advanced Materials Research. – 2012. – Vols. 383-390. – P. 7631-7636. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.383-390.7631.

14. Li J. Research on Unwinding Tension System Control Based on Inverse System Theory / J. Li, X. Mei, S. Liu // Applied Mechanics and Materials. – 2011. – Vols. 44-47. – P. 2822-2826. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.44-47.2822.

15. Du Y.H. Speed Control System Design of Winding Mechanism for Composite Films // Key Engineering Materials. – 2010. – Vols. 426-427. – P. 417-421. DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.426-427.417.

16. Gassmann V. ∞ unwinding web tension control of a strip processing plant using a pendulum dancer / V. Gassmann, D. Knittel, R. Prabhakar // American Control Conference Hyatt Regency Riverfront (St. Louis, June 10-12 2009). – St. Louis, MO, USA, 2009. DOI: 10.1109/ACC.2009.5160554.

17. Wang Y. Research on Tension Control Model for Traction and Take-up System of Loom / Y. Wang, J. Huang, H. Chen // Advanced Materials Research. – 2013. – Vol. 627. – P. 444-448. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.627.444.

18. Li Z. Tension Control System Design Of A Filament Winding Structure Based On Fuzzy Neural Network // Engineering Review. – 2015. – Vol. 35, Is. 1. – P. 9-17.

19. Medvedev V. S., Potemkin V.G. *Nejronnye seti. MATLAB 6*. [Neural networks. MATLAB 6] / V.S. Medvedev, V.G. Potemkin; pod obshch. red. V. G. Potemkina. – M.: DIALOG-MIFI, 2001. – 630 p.

Информация об авторах

Ямковая Мария Андреевна – к.т.н., доцент, доцент кафедры Автоматизированных электромеханических систем им. А.Б. Зеленова, Донбасский государственный технический институт, г. Алчевск, e-mail: m_yamkovaya2019@mail.ru.

Шадрин Сергей Владимирович – ассистент кафедры Автоматизированных электромеханических систем им. А.Б. Зеленова, Донбасский государственный технический институт, г. Алчевск, e-mail: 0918167sh@gmail.com.

Authors

Yamkovaya Maria Andreevna – Ph. D. in Engineering Science, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Automated Electromechanical Systems named after A.B. Zelenov, Donbass State Technical Institute, Alchevsk, e-mail: m_yamkovaya2019@mail.ru.

Shadrin Sergey Vladimirovich – Assistant of the Department of Automated Electromechanical Systems named after A.B. Zelenov, Donbass State Technical Institute, Alchevsk, e-mail: 0918167sh@gmail.com.

Для цитирования

Ямковая М.А., Шадрин С.В. Нейроуправление электроприводом с переменным моментом инерции // «Информационные технологии и математическое моделирование в управлении сложными системами»: электрон. науч. журн. – 2020. – №3(8). – С. 45-55 – DOI: 10.26731/2658-3704.2020.3(8).45-55 – Режим доступа: <http://ismm-irgups.ru/toma/38-2020>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ. (дата обращения: 01.11.2020)

For citations

Yamkovaya M.A., Shadrin S.V. Neurocontrol of electric drive with variable moment of inertia // Informacionnye tehnologii i matematicheskoe modelirovanie v upravlenii slozhnymi sistemami: ehlektronnyj nauchnyj zhurnal [Information technology and mathematical modeling in the management of complex systems: electronic scientific journal], 2020. No. 3(8). P. 45-55. DOI: 10.26731/2658-3704.2020.3(8).45-55 [Accessed 01/11/20]