

УДК 622.6

**И. В. Обруч,**  
**Ю. Н. Кутовой,** канд. техн. наук

### НЕЙРОСЕТЕВАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ЭЛЕКТРОВОЗА

**Аннотация.** Представлена нейросетевая система управления электропривода рудничного аккумуляторного электровоза. Применение такой системы позволит избежать работу данного привода в режиме фрикционных автоколебаний, снизить нагрузки на кинематические цепи передач, повысить надежность работы электропривода.

**Ключевые слова:** нейросетевая система управления, рудничный аккумуляторный электровоз, фрикционные автоколебания, генетический алгоритм, нейрон, активационная функция

**I. Obruch,**  
**Ju. Kutovoj,** PhD.

### NEURAL NETWORK CONTROL SYSTEM OF ELECTRIC DRIVE LOCOMOTIVE

**Abstract.** Presented neural network control system electric drive of accumulators mine locomotive. Application of such a system would avoid the operation of this drive in mode of frictional self-oscillations, reduce the load on the kinematic chain transmission, and improve the reliability of the drive.

**Keywords:** Neural network control system, battery electric miner locomotive, friction auto-oscillations, genetic algorithm, neuron, activation function

**I. V. Obruch,**  
**Ю. М. Кутовой,** канд. техн. наук

### НЕЙРОМЕРЕЖЕВА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ЕЛЕКТРОВОЗУ

**Анотація.** Представлено нейромережеву систему керування електроприводу рудникового аккумуляторного электровозу. Застосування такої системи дасть змогу уникнути роботи даного приво́ду в режимі фрикційних автоколивань, знизити навантаження на кінематичні ланцюги передач, підвищити надійність роботи електроприводу.

**Ключові слова:** нейромережева система керування, рудниковий аккумуляторний электровоз, фрикційні автоколивання, генетичний алгоритм, нейрон, активаційна функція

#### Введение

Одним из наиболее действенных инструментов создания современных интеллектуальных систем управления являются искусственные нейронные сети, моделирующие базовые механизмы обработки информации в мозге. Для построения на базе искусственных нейронных сетей регуляторов и идентификационных моделей необходимы новые методы выбора их структуры и параметров. Перспективным подходом к решению этой задачи есть использование методов эволюционного моделирования, а именно генетических алгоритмов, для обучения и структурной оптимизации нейронных сетей.

#### Постановка задачи исследований

Добыча полезных ископаемых возрастает в результате освоения существующих мощностей и строительства новых крупных предприятий, совершенствования технологии и техники разработки месторождений, комплексной механизации и автоматизации производственных процессов при непрерывной интенсификации и концентрации горных работ.

Основным видом транспорта на подземных горных предприятиях Украины является электровозный, с помощью которого на угольных шахтах выполняется около 90 % общего объема, а на подземных рудниках – почти весь объем перевозок [1]. Благодаря своей универсальности он играет доминирующую роль.

Известно, что буксование и юз колес в электровозах может сопровождаться снижением силы тяги, надежности, безопасности движения, а также повышением износа колес, рельс и редукторов [2], потерь электроэнергии. При этом коэффициент динамичности может достигать до 16 – 20.

Это происходит из-за возникновения фрикционных автоколебаний, которые объясняются, в данном случае, динамической неустойчивостью системы привода колесной пары при нахождении рабочей точки на падающем участке характеристики трения, на котором электропривод представляет собой электромеханическую систему с отрицательным вязким трением. Данное явление может возникать даже при рассмотрении электропривода электровоза в виде одномассовой системы.

Переходные процессы при описанных выше условиях в электроприводе рудничного электровоза АРП14 представлены на рис. 1.

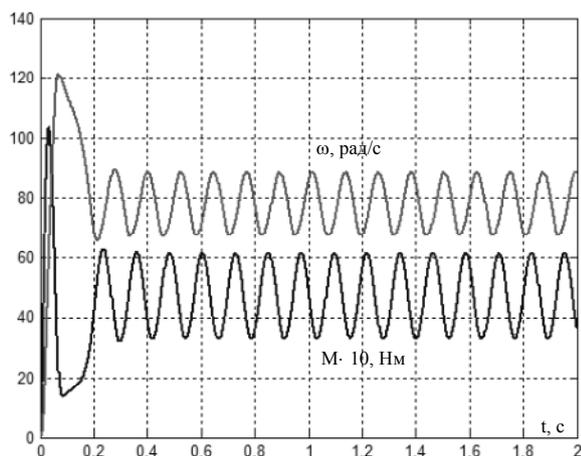


Рис. 1. Переходные процессы в электроприводе электровоза АРП14

### Материал и результаты исследований

Традиционные методы управления электроприводами, основанные на классических понятиях теории автоматического управления для линейных систем к настоящему времени достигли достаточного совершенства. В принципе, используя, например, методы модального управления или систем подчиненного регулирования, можно конструировать системы управления, обеспечивающие высокое качество как статических, так и динамических показателей регулирования координат электропривода. При аналитическом синтезе параметров регуляторов подобных систем широко используются матричные, корневые, топологические методы, получившие существенное развитие в последнее время.

Однако такое управление требует введения внешних обратных связей по всем основным координатам электропривода. Это не только усложняет систему, но и затрудняет ее реализацию, когда необходимо иметь информацию о трудноизмеряемых координатах, таких как, например, упругий момент в определенной кинематической связи. Использование наблюдателей для измерения подобных координат усложняет систему управления. Другим недостатком таких систем может быть невозможность реализации синтезированных параметров из-за ограничений по тем или иным причинам в реальных электроприводах.

Очевидно, повысить качество регулирования координат электропривода можно было бы введением в си-

стему такого нелинейного регулятора который, имел на входе информацию по легко измеряемым одной или нескольким координатам и обеспечивал бы требуемое управление электроприводом. К таким регуляторам могут быть отнесены нейроконтроллеры – технические устройства, построенные на базе искусственных нейронных сетей различной организации, которые могут быть реализованы при помощи различных аппаратных средств или микропрограммно.

Как показали ранее проведенные исследования [3], для реализации замкнутых систем управления с нейронной сетью для управления электродвигателем постоянного или переменного тока вполне достаточно одной обратной связи по скорости с дискретизацией по времени и одним звеном чистого запаздывания. Таким образом, нейронная сеть будет иметь 3 входных нейрона, на которые подается вектор входных сигналов в виде сигнала задания, текущего и предыдущего значения скорости электродвигателя. Минимально-достаточное количество нейронов скрытого слоя таких систем равно 10 [4], а выходных нейронов в данном случае требуется один. На этом выходном нейроне и будет формироваться управляющие воздействия для тиристорного преобразователя. Нейронные сети такого вида обозначаются NN3–10–1. Структурная схема такой замкнутой системы управления показана на рис. 2.

Для глобальной оптимизации параметров нейронных сетей требуется использовать метод генетического алгоритма [5]. Рассматривая нейронную сеть как единый набор параметров, генетический алгоритм способен осуществлять ее оптимальную настройку при размерности поискового пространства достаточной для решения большинства практических задач. При этом спектр рассматриваемых приложений гораздо превосходит возможности алгоритма обратного распространения ошибки. Сочетание этих двух вычислительных технологий, искусственные нейронные сети и генетические алгоритмы, рассматривается сегодня как потенциальный источник будущего прогресса в сфере эволюционного моделирования. Кроме присущей ему глобальности, генетический алгоритм как тренировочная процедура обладает тем преимуществом по сравнению с алгоритмом обратного распространения ошибки, что он способен тренировать нейронную сеть сразу по выходным характеристикам объекта, а не выходным сигналам нейронной сети.

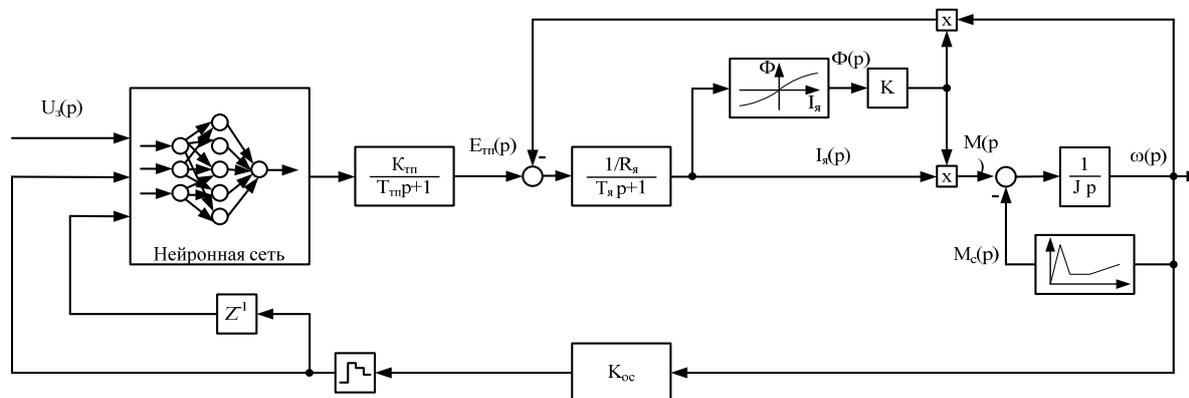


Рис. 2. Нейросетевая система управления электровоза АРП14

Обучение производилось на персональном компьютере с CPU типа INTEL Core i7 с тактовой частотой 3 Гц. В качестве тестовых сигналов были выбраны  $\pm 1 \pm 0,8 \pm 0,6 \pm 0,4 \pm 0,2 \cdot 0 \times \omega_n$ , где  $\omega_n$  – номинальная скорость двигателя в часовом режиме. Полное время счета составило 01:23:18, при этом количество вычислений целевой функции – 14478, а минимальное значение критерия – 4,16.

На рис. 3 представлены переходные процессы в двигателе постоянного тока последовательного возбуждения с нейросетевой системой управления. При этом для ограничения координат электропривода может быть применен задатчик интенсивности.

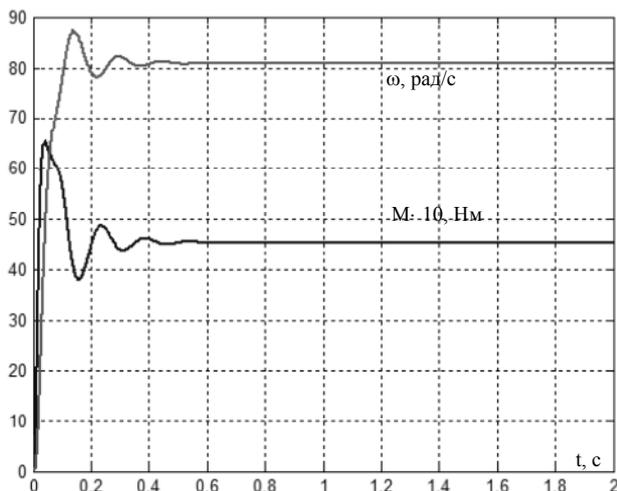


Рис. 3. Переходные процессы в электроприводе электровоза АРП14 при пуске с нейросетевой системой управления

### Выводы

Как видно из графиков (рис. 3) на базе нейронных сетей имеется возможность построить замкнутую систему управления электроприводом рудничного электровоза АРП 14 с более высоким качеством регулирования координат, по сравнению с традиционными системами. При этом были достигнуты следующие значения показателей: время регулирования 0,3 с, перерегулирование 7,8 %, статическая ошибка регулирования 1, максимальное значение момента двигателя 654 Н·м.

### Список использованной литературы

1. Волотковский С. А. Рудничная электровозная тяга / С. А. Волотковский – М. : Недра, 1981. – 389 с.
2. Шахтарь П. С. Причины поломок осей рудничных электровозов / П. С. Шахтарь, А. А. Ренгевич // Сб. Вопросы рудничного транспорта. – М. : Госгортехиздат. – 1962. – С. 192 – 203.
3. Обруч И. В. Замкнутые системы управления электроприводом с двигателем постоянного тока последовательного возбуждения на базе нейронных сетей / И. В. Обруч, Ю. Н. Кutowой // Тематич. Выпуск. Серия: «Проблемы автоматизированного ЭП: Теория и практика». – 2013. – Вестник НТУ «ХПИ». – № 36. – С. 485 – 487.

4. Обруч И. В. Выбор размера скрытого слоя нейроконтроллера при управлении электромеханической системой с отрицательным вязким трением / И. В. Обруч // Сборник научных трудов, тематический выпуск «Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика». – 2001. – Вестник НТУ «ХПИ». – № 10. – С. 435 – 437.

5. De Jong K.A., (1985), Genetic Algorithms: A 10 Year Perspective, In: *Procs of the First Int. Conf. on Genetic Algorithms*, pp. 167 – 177.

6. Narendra K.S., and Parthasarathy K., (1990), Identification and Control of Dynamical Systems Using Neural Networks, *IEEE Trans. on Neur. Net.*, Vol.1, No. 1, pp. 4 – 27.

7. Rosenblatt F., (1958), The Perceptron: A Probabilistic Model for Information Storage and Organization in the Brain, *Psychological Review*, 65, pp. 386 – 407.

8. Minsky M.L., and Papert S.A., (1969), *Perceptions*, Cambridge, MA: MIT Press.

9. Schaffer J.D., Whitley D., and Eshelman L.J., (1992), Combinations of Genetic Algorithms and Neural Networks: A Survey of the State of the Art, In: *Procs. Of the Int. Workshop on Combinations of Genetic Algorithms and Neural Networks* (Eds. L. D. Whitley, J. D. Schaffer), Baltimore, Maryland, pp. 1 – 37.

10. Hornik K., Stinchcomb M., and White H., (1989), Multilayer Feedforward Networks are Universal Approximators, *Neural Networks*, No. 2, pp. 359 – 366.

Получено 18.07.2014

### References

1. Volotkovskii S.A. Rudnichnaya elektrovoznaya tyaga [Electric Drive of Mine Locomotive], (1981), Moscow, Russian Federation, *Nedra*, 389 p (In Russian).
2. Shakhtar' P.S., and Rengevich A.A. Prichiny polo-mok osei rudnichnykh elektrovozov [Sources of Failure in axle Shafts of Mine Electric Locomotives], (1962), *Sb. Voprosy Rudnichnogo Transporta*, Moscow, Russian Federation, *Gosgortekhzdat*, pp. 192 – 203 (In Russian).
3. Obruch I.V., and Kutovoi Yu.N. Zamknutyte sistemy upravleniya elektroprivodom s dvigatelem postoyannogo toka posledovatel'nogo vozvuzhdeniya na baze neironnykh setei [Closed Loop Systems Based on Neural nets to Control Series Winding DC Motor], (2013), *Vestnik NTU "KhPI". Seriya: "Problemy Avtomatizirovannogo EP: Teoriya i Praktika"*, *Spets. Vypusk* No.36, pp. 485 – 487 (In Russian).
4. Obruch I.V. Vybor razmera skrytogo sloya neirokontrollera pri upravlenii elektomekhaniche-skoi sistemoi s otritsatel'nyim vyazkim treniem [Selecting the Size of Hidden Layer in Neuro-Controller to Control the Electromechanical System with Viscous Friction], (2001), *Sbornik Nauchnykh Trudov, Tematicheskii Vypusk "Problemy Avtomatizirovannogo Elektroprivoda. Teoriya i Praktika"*, *Vestnik NTU "KhPI"*, No. 10, pp. 435 – 437 (In Russian).
5. De Jong K.A., (1985), Genetic Algorithms: A 10 Year Perspective, In: *Procs of the First Int. Conf. on Genetic Algorithms*, pp. 167 – 177 (In English).

6. Narendra K.S., and Parthasarathy K., (1990), Identification and Control of Dynamical Systems Using Neural Networks, *IEEE Trans. on Neur. Net.*, Vol. 1, No. 1, pp. 4 – 27.

7. Rosenblatt F., (1958), The Perceptron: A Probabilistic Model for Information Storage and Organization in the Brain, *Psychological Review*, 65, pp. 386 – 407.

8. Minsky M.L., and Papert S.A., (1969), Perceptions, *Cambridge, MA: MIT Press*.

9. Schaffer J.D., Whitley D., and Eshelman L.J., (1992), Combinations of Genetic Algorithms and Neural Networks: A Survey of the State of the Art, *In: Procs. Of the Int. Workshop on Combinations of Genetic Algorithms and Neural Networks (Eds. L. D. Whitley, J. D. Schaffer)*, Baltimore, Maryland, pp. 1 – 37.

10. Hornik K., Stinchcomb M., and White H., (1989), Multilayer Feedforward Networks are Universal Approximators, *Neural Networks*, No. 2, pp. 359 – 366.



Обруч  
Игорь Владимирович,  
ст. преподаватель, каф. авто-  
матизированные электроме-  
ханические системы Нац.  
технического ун-та «Харьков-  
ский политехнический ин-т»,  
г. Харьков, ул. Фрунзе, 21,  
т. (057) 707-64-45,  
obruch@kpi.kharkov.ua.



Кутовой  
Юрий Николаевич,  
канд. техн. наук, проф. каф.  
автоматизированные элек-  
тромеханические системы  
Нац. технического ун-та  
«Харьковский политехниче-  
ский ин-т», г. Харьков, ул.  
Фрунзе, 21,  
т. (057) 707-64-45.