

**И. В. ОБРУЧ**, ст. преподаватель, НТУ «ХПИ»;  
**Ю. Н. КУТОВОЙ**, канд. техн. наук, проф., НТУ «ХПИ».

### НЕЙРОСЕТЕВАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ЭЛЕКТРОВОЗА АРП14 С УЧЕТОМ УПРУГОСТИ КИНЕМАТИЧЕСКИХ СВЯЗЕЙ

**Введение.** Традиционные методы управления, 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 синтезировать системы, обеспечивающие высоко качество как статических, так и динамических показателей регулирования координат электропривода. При аналитическом синтезе параметров подобных систем широко используются матричные, корневые, топологические методы, получившие существенное развитие в последнее время.

Однако, такое управление требует введения внешних обратных связей по большинству координат электропривода. Это не только усложняет систему, но и затрудняет ее реализацию, когда необходимо иметь информацию о трудно измеряемых координатах, таких как, например, упругий момент в определенной кинематической связи. Использование наблюдателей для измерения подобных координат существенно усложняет электромеханическую систему. Другим недостатком таких систем может быть невозможность реализации синтезированных законов управления по различным причинам.

Очевидно, устранить вышеуказанные недостатки можно было бы введением в систему 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.

**Постановка задачи.** Как показали ранее проведенные исследования [1, 2], для реализации замкнутых систем управления с нейронной сетью для управления электродвигателем постоянного тока последовательного возбуждения вполне достаточно одной обратной связи по скорости электродвигателя, с дискретизацией по времени и одним звеном чистого запаздывания. В этих работах [1, 2] механическая часть электропривода была представлена одномассовой расчетной схемой. Однако, в реальных системах электроприводов кинематические связи не являются абсолютно жесткими и поэтому представление электромеханической системы как одномассовой может приводить к существенным ошибкам. Упругие элементы могут стать причиной возникновения резонансных режимов, появления [3] больших динамических перегрузок в элементах электропривода, развития усталостных явлений и отказов. Если при синтезе системы не учтены упругие кинематические связи, то это может привести к отличию характера движения исполнительного органа и вала электродвигателя от расчетных, то есть к нарушению заданного режима работы механизма. Таким образом возникает задача синтеза нейросетевой системы управления двухмассовой электромеханической системы с электродвигателем последовательного возбуждения.

**Материалы исследований.** На рис. 1 представлена структурная схема нейросетевой системы управления двухмассовой электромеханической системы с электродвигателем последовательного возбуждения, которая отличается от рассмотренных ранее [1, 2] наличием упругого звена и второй массы.

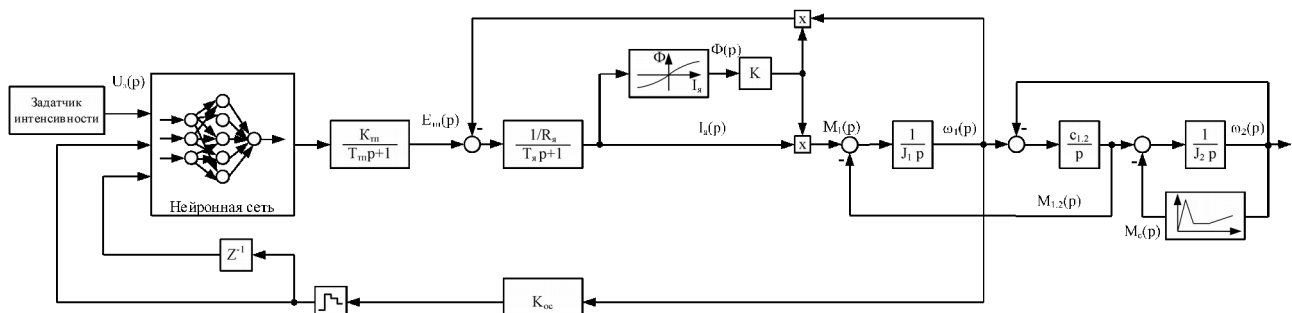


Рисунок 1 – Структурная схема нейросетевой системы управления двухмассовой электромеханической системы с электродвигателем последовательного возбуждения

Переходные процессы и динамические характеристики в такой разомкнутой системе представлены на рис. 2. Как видно из рис. 2 в данной разомкнутой системе возникают фрикционные автоколебания скорости первой ( $\omega_1$ ) и второй масс ( $\omega_2$ ), момента электродвигателя ( $M_1$ ) и упругого ( $M_{1,2}$ ), которые обусловлены нелинейностью механической характеристики

и наличии «падающего» участка нагрузки, на котором находится рабочая точка электропривода.

Данный динамический режим приводит к росту динамических нагрузок на кинематические части электропривода рудничного электровоза, что в свою очередь увеличивает износ и количество поломок колесных пар [3], сокращению срока службы электропривода и возрастанию эксплуатационных расходов на неплановые ремонты и обслуживание.

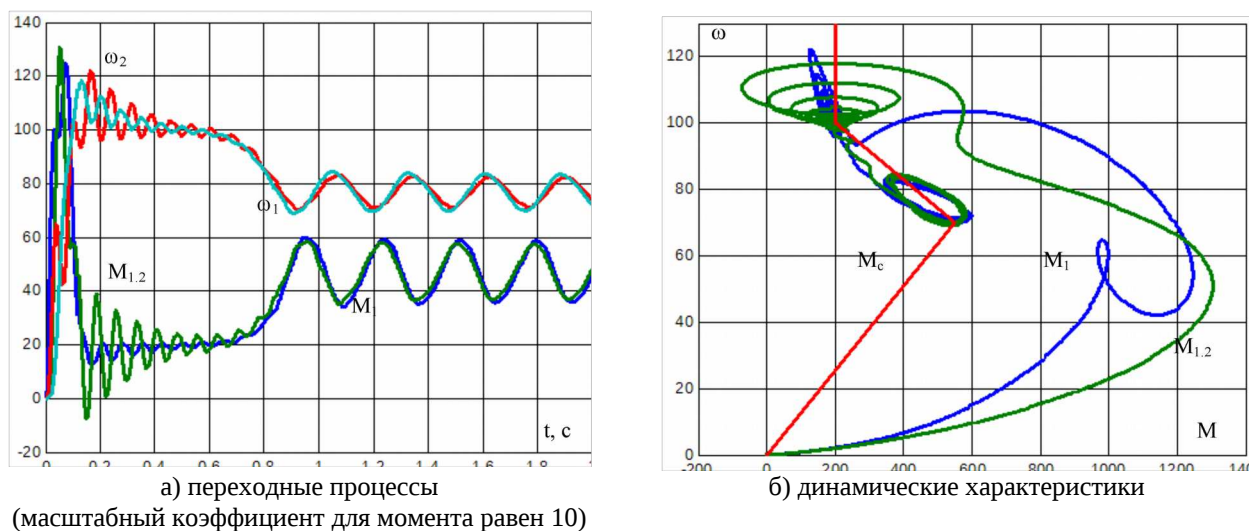


Рисунок 2 – Переходные процессы и динамические характеристики при прямом пуске электропривода рудничного электровоза АРП14

В общем случае, при применении регуляторов на базе нейронных сетей при изменении объекта регулирования, нейрорегулятор необходимо заново обучать каким-либо методом, например, методом генетического алгоритма [4]. Однако, нейронные сети, на базе которых построены нейрорегуляторы, обладают рядом свойств не присущих традиционным аналоговым системам управления. Одним из важнейших свойств нейронных сетей, благодаря которым, имеется возможность построения нейросетевых систем управления электроприводами – это свойства *обобщения* и *универсальной аппроксимации* [5, 6]. В процессе обучения весовые коэффициенты и сдвиги нейронных сетей настраиваются так, чтобы сеть аппроксимировала выходные данные хранящиеся в предъявляемых ей тренировочных сигналах, поэтому в конце процесса обучения сеть запоминает все тренировочные данные, то есть правильно реагирует на тестовые входы. Однако кроме способности помнить тренировочные сигналы, сеть обладает свойством обобщать данные, предъявляемые ей при обучении. Термин обобщение для обученной нейронной сети обозначает явление, когда осуществляемое ею преобразование вход-выход верно, как для тренировочных данных, так и для тестовых данных, не использовавшихся при тренировке. Обобщение возникает в нейронной сети как следствие хорошей нелинейной интерполяции входных данных, главным образом благодаря непрерывности и гладкости активационной функции самих нейронов.

В результате, имеется вероятность того, что ранее обученная нейронная сеть для какого-либо объекта регулирования, сможет работать и для другого объекта электропривода, если данные объекты не очень сильно отличаются по параметрам или структуре. В предыдущих статьях был рассмотрен синтез нейросетевых систем управления для одномассового электропривода рудничного электровоза АРП14, работающие с реактивной [1] или фрикционной [2] нагрузкой, и показана возможность построения замкнутых систем управления для электроприводов с двигателем постоянного тока последовательного возбуждения на основе нейронных сетей. Поэтому, прежде чем синтезировать нейрорегулятор для двухмассовой электромеханической системы рудничного электровоза АРП14, проверим ее работу с уже полученной нейронной сетью, синтезированной для одномассовой электромеханической системы с фрикционной нагрузкой структуры NN3-10-1.

Переходные процессы и динамические характеристики в двухмассовой нейросетевой системе управления при пуске от задатчика интенсивности электропривода рудничного электровоза АРП14 с нейрорегулятором, синтезированным для одномассовой системы представлены на рис. 3. Как видно из рис. 3, нейронная сеть, синтезированная для одномассовой электромеханической системы электропривода рудничного электровоза АРП14 легко справилась с задачей управления этого же объекта регулирования при условии рассмотрения его механической части как двухмассовой расчетной схемы, т.е. при учете упругости кинематических связей данного электропривода. При этом были достигнуты следующие показатели качества переходного процесса: перерегулирование скорости электродвигателя – 10,1%, перерегулирование скорости исполнительного механизма – 10,4%, статическая ошибка регулирования скорости – 2,7%.

Одним из преимуществ такой нейросетевой системы управления является то, что требуемый закон управления был синтезирован с помощью единственной, легко измеряемой, обратной связью по скорости электро-

двигателя (скорости первой массы), не возникло необходимости использовать обратную связь по скорости второй массы, что значительно упрощает физическую реализацию такой системы управления.

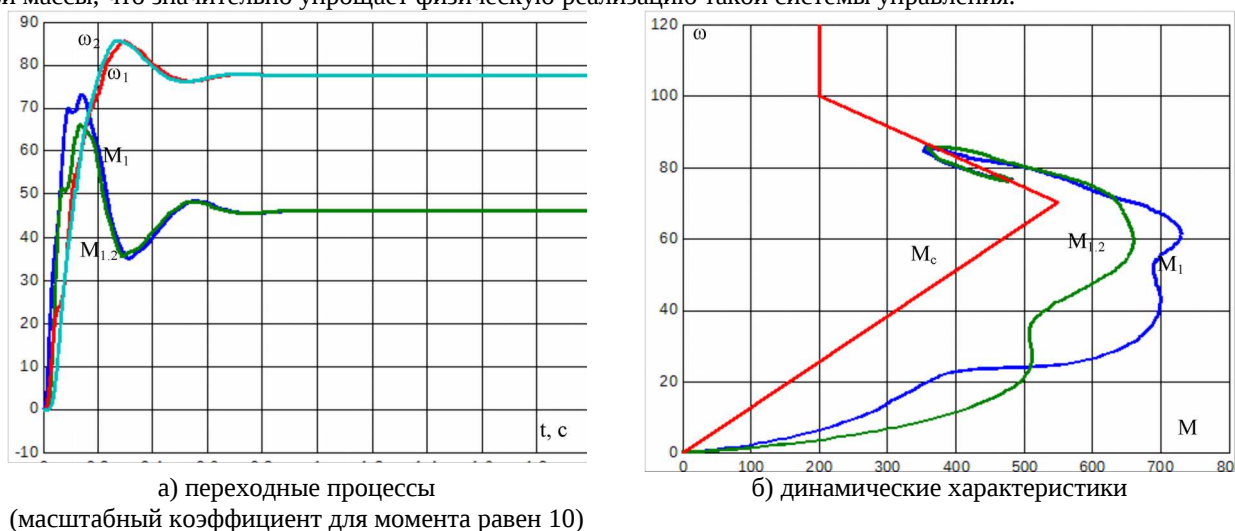


Рисунок 3 – Переходные процессы и динамические характеристики в нейросетевой системе управления при пуске от задатчика интенсивности электропривода рудничного электровоза АРП14

**Выводы.** Для нейросетевой системы управления двухмассовым электроприводом рудничного электровоза АРП14 имеется возможность использовать нейронную сеть, синтезированную для данного электропривода без учета упругости кинематических связей механической части. При этом были получены следующие показатели качества переходного процесса: перерегулирование скорости электродвигателя – 10,1%, перерегулирование скорости исполнительного механизма – 10,4%, статическая ошибка регулирования скорости – 2,7%.

**Список литературы:** 1. Обруч И. В., Кутовой Ю. Н. Замкнутые системы управления электроприводом с двигателем постоянного тока последовательного возбуждения на базе нейронных сетей // Вестник НТУ «ХПИ». Серия: «Проблемы автоматизированного ЭП: Теория и практика», спец. выпуск №36, 2013, сс. 485 – 487. 2. Обруч И. В., Кутовой Ю. Н. Нейросетевая система управления электропривода электровоза АРП14 // Электротехнические и компьютерные системы № 15 (91). Изд. «Техника», Киев, 2014, сс. 132 – 135. 3. Шахтарь П. С., Ренгевич А. А. Причины поломок осей рудничных электровозов // Сб. Вопросы рудничного транспорта. – М.: Госгортехиздат, 1962. – сс. 192 – 203. 4. De Jong K. A. Genetic Algorithms: A 10 Year Perspective // In: Process of the First Int. Conf. on Genetic Algorithms, 1985. – pp. 167 – 177. 5. Hornik K., Stinchcombe M., White H. Multilayer Feedforward Networks are Universal Approximators // Neural Networks. – 1989. – Vol. 2. – pp. 359 – 366. 6. Narendra K.S., Parthasarathy K. Identification and control of dynamical systems using neural networks // IEEE Trans. on Neur. Net. 1990. – vol. 1. № 1. – pp. 4 – 27.

**Bibliography (transliterated):** 1. Obruch I. V., Kutovoi Yu. N. Zamknutyie sistemy upravleniya elektroprivodom s dvigatelem postoyannogo toka posledovatel'nogo vzbuzhdeniya na baze neuronnykh setei // Vestnik NTU «KhPI». Seriya: «Problemy avtomatizirovannogo EP: Teoriya i praktika», spets. vypusk №36, 2013, ss. 485 – 487. 2. Obruch I. V., Kutovoi Yu. N. Neirosetevaya sistema upravleniya elektroprivoda elektrovoza ARP14 // Elektrotekhnicheskie i komp'yuternye sistemy № 15 (91). Izd. «Tekhnika», Kiev, 2014, ss. 132 – 135. 3. Shakhtar' P. S., Rengevich A. A. Prichiny polomok osei rudnichnykh elektrovozov // Sb. Voprosy rudnichnogo transporta. – M.: Gosgortekhzidat, 1962. – ss. 192 – 203. 4. De Jong K. A. Genetic Algorithms: A 10 Year Perspective // In: Process of the First Int. Conf. on Genetic Algorithms, 1985. – pp. 167 – 177. 5. Hornik K., Stinchcombe M., White H. Multilayer Feedforward Networks are Universal Approximators // Neural Networks. – 1989. – Vol. 2. – pp. 359 – 366. 6. Narendra K.S., Parthasarathy K. Identification and control of dynamical systems using neural networks // IEEE Trans. on Neur. Net. 1990. – vol. 1. № 1. – pp. 4 – 27.

Поступила (received) 06.07.2015