

УДК 519.711

НЕЙРОСЕТЕВОЕ УПРАВЛЕНИЕ УГЛОВЫМ ПОЛОЖЕНИЕМ ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА

А. И. Бобиков, к.т.н., доцент кафедры АИТУ РГРТУ, alexbozvanov@yandex.ru;

А. О. Бозванов, студент РГРТУ, alexbozvanov@yandex.ru.

Увеличивающийся спрос на использование двигателей постоянного тока для различных промышленных применений за последние несколько десятилетий сделали их одним из самых важных системных приводов. Таким образом, актуальным является развитие интеллектуальной системы управления угловым положением двигателя, в частности, нейросетевой системы управления двигателем постоянного тока, основанной на четко определенной математической модели, что является очень важным инструментом для этого типа приводов системы. Нелинейные параметры, такие как зона нечувствительности, насыщение и люфт, вызывают наибольшую тревогу при управлении угловым положением двигателя постоянного тока. Чтобы уменьшить влияние этих нелинейностей и для того чтобы улучшить эффективность системы, в статье предложен новый алгоритм управления угловым положением двигателя постоянного тока с использованием нейросетевого регулятора. Целью работы является проектирование нейросетевого регулятора, который будет способен устранить или ослабить влияние нелинейностей на угловое положение двигателя постоянного тока. В статье рассмотрена система управления угловым положением двигателя постоянного тока, построенная с использованием инструмента Simulink в пакете приложений MATLAB.

Ключевые слова: двигатель постоянного тока, нелинейности, угловое положение, ПИД-регулятор, адаптивный регулятор, алгоритм обратного распространения ошибки, нейросетевой регулятор, регрессия.

DOI: 10.21667/1995-4565-2016-57-3-139-144

Введение

Двигатели постоянного тока (ДПТ) используются для обеспечения вращательного или прямолинейного движения в различных электромеханических устройствах [1]. Они находят свое применение во многих отраслях производства.

Однако, несмотря на интенсивные разработки, все еще ДПТ до сих пор обладают нелинейными свойствами и имеют параметры, влияющие на их качество и требующие разработки более сложных систем управления, или в ряде случаев, являющиеся причиной потребления большого количества энергии и возникновения неисправностей.

Нелинейности влияют на работу двигателя по-разному. Насыщение будет ограничивать выходное положение от достижения желаемого углового положения. Зона нечувствительности возникает вследствие статического трения, которое ограничивает входной сигнал от исходного полезного уровня до более низкого уровня, что не позволяет системе достигать максимального значения. Люфт может существовать всякий раз, когда зубчатые соединения не совпадают в механической системе двигателя, что плохо сказывается на производительности системы.

Система ДПТ имеет два выхода, которыми можно управлять: угловая скорость и угловое положение. Повышение эффективности системы происходит от надлежащего контроля обоих выходов вместе или путем контроля одного из них. Для некоторых применений, таких как жесткие диски и робототехника, управление угловым положением является более важным, чем управление скоростью [4].

Идея разработки регулятора для борьбы с нелинейностями ДПТ не нова. В статье [2] данная проблема решается с помощью регуляторов, настроенных следующими методами: классический метод Циглера-Николса, алгоритм нечеткой самонастройки, а также алгоритм нейросетевого управления. Однако в статье решается задача управления скоростью ДПТ.

В настоящее время существует мало работ по управлению угловым положением двигателя. В основном рассматривают линейную модель ДПТ. В работе [3] проблема ослабления влияния нелинейностей решается благодаря регулятору, настроенному с помощью имперского метода оптимизации. Такой регулятор основан на принципе каскадного управления и состоит из трех контуров управления: контура управления по-

ложением, контура управления скоростью и контура управления током. Данный способ решения проблемы является трудоемким и требует больших вычислительных затрат. Также в данной работе представлена лишь реакция системы на ступенчатый входной сигнал с амплитудой 0.5 радиан. Таким образом, мы можем предполагать, что данный регулятор был настроен при фиксированных параметрах, и это не дает достаточной информации о реакции системы при других значениях задающего воздействия.

В данной работе рассматривался тот же подход к настройке регулятора, что и в статье [2]. Однако данный подход не дает требуемого результата. Основными особенностями подхода, рассмотренного в данной статье, является то, что:

- во-первых, при выборе первоначальных значений ПИД-регулятора использовался пакет *Simulink Response Optimization* [7], а не метод Циглера-Николса, как в статье [2];
- во-вторых, для разработки и обучения нейросетевого регулятора использовался гармонический сигнал различной частоты в диапазоне от 0.5 до 2.5 рад/сек.

Теоретические сведения о ДПТ

Двигатель постоянного тока имеет два основных компонента. Первый – электрический компонент, состоящий из сопротивления R , индуктивности L , входного напряжения V и противоэлектродвижущей силы E . Второй – механический компонент, благодаря которому создается полезное механическое вращательное движение на валу. А именно – вал привода, момент инерции привода и инерции нагрузки J и затухание b .

На рисунке 1 изображена типичная модель ДПТ. Через θ обозначен угол поворота вала.

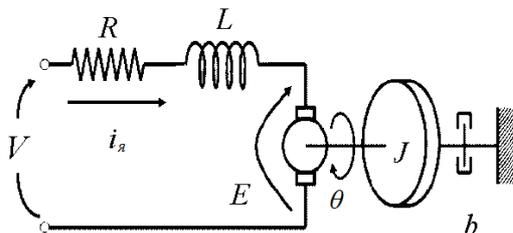


Рисунок 1 – Принципиальная схема ДПТ

Построение модели ДПТ

Основываясь на законы Ньютона и Кирхгофа и рисунок 1 получаем передаточную функцию, связывающую входное напряжение V и положение двигателя θ :

$$\frac{\theta(s)}{V(s)} = \frac{k}{s((R + Ls)(Js + b) + k^2)}, \quad (1)$$

где R – сопротивление, L – индуктивность,

J – момент инерции привода и нагрузки, b – вязкое трение, k – конструктивный параметр.

С использованием передаточной функции ДПТ (1) была построена модель ДПТ в Simulink (рисунок 2). Также в нее были добавлены нелинейности, присущие двигателю постоянного тока. Значение зоны нечувствительности составляет 1.5 В, верхняя граница эффекта насыщения равняется 0.5 В, нижняя – -0.5 В, параметр люфта равен 0.05.

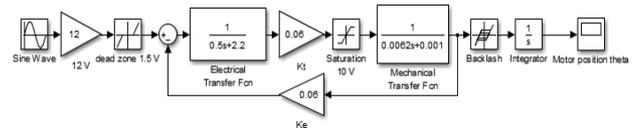


Рисунок 2 – Модель ДПТ в Simulink

Значения параметров, используемых в модели Simulink, приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты расчетов

Параметр	Значение
J	0.0062 Н·м·с ² /рад
b	0.001 Н·м·с/рад
Kt	0.06 Н·м/А
Ke	0.06 В·с/рад
R	2.2 Ом
L	0.5 Гн

Разработка оптимального ПИД-регулятора

Для расчета параметров ПИД-регулятора был использован пакет *Simulink Response Optimization* для автоматической оптимизации параметров моделей и регуляторов систем управления [7].

С целью проведения оптимизации системы управления (СУ) была собрана схема, представленная на рисунке 3. Задавая ограничения на переходный процесс, время нарастания и время регулирования, можно найти оптимальные параметры ПИД-регулятора. Затем происходит процесс оптимизации. Для рассматриваемой модели ДПТ были определены значения параметров ПИД-регулятора: $Kp=22.71$, $Ti=1.61$, $Td=11.93$. На рисунках 4-5 представлены реакции системы управления при ступенчатом и гармоническом сигналах соответственно.

Из данных рисунков видно, что имеет место большое отклонение действительного положения от желаемого углового положения.

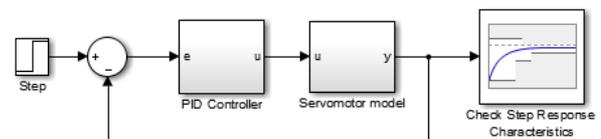


Рисунок 3 – Схема для оптимизации параметров ПИД – регулятора

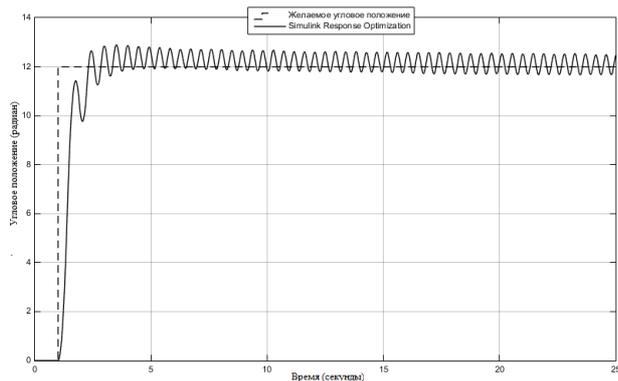


Рисунок 4 – Реакция СУ при ступенчатом входном сигнале

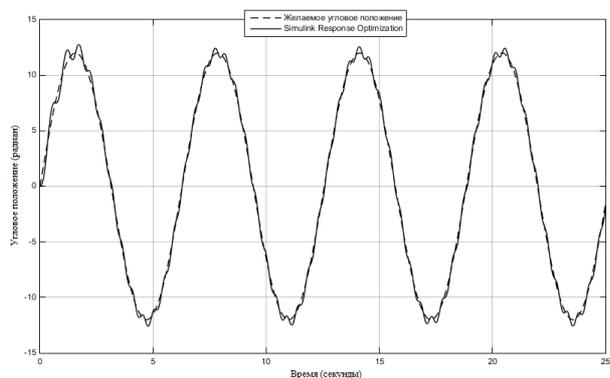


Рисунок 5 – Реакция СУ при гармоническом входном сигнале

Разработка нечеткого самонастраивающегося ПИД-регулятора

Для уменьшения влияния нелинейностей на работу ДПТ за основу был взят подход на основе нечеткого самонастраивающегося ПИД-регулятора, рассмотренный в статье [2]. При разработке данного подхода появилась проблема выбора диапазона изменения параметров ПИД – регулятора. С целью решения данной проблемы в качестве границ диапазонов были взяты параметры, полученные в предыдущем пункте.

Структурная схема СУ с нечетким самонастраивающимся ПИД-регулятором представлена на рисунке 6.

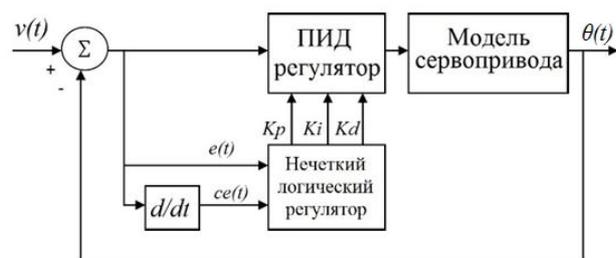


Рисунок 6 – Структурная схема СУ с нечетким самонастраивающимся ПИД-регулятором

Для проектирования нечеткого логического регулятора были выбраны функции принадлежности входных e , ce и выходных Kp , Ki и Kd

лингвистических переменных (ЛП), сформирована база из 25 правил вида «ЕСЛИ...ТО». В отличие от статьи [2] в качестве входных и выходных ЛП нами были использованы стандартные универсумы, чтобы избежать путаницы в заданиях границ универсума для каждого выходного параметра. При этом под понятием стандартный универсум будем иметь в виду универсум $[-1, 1]$. Чтобы использовать стандартный универсум, необходимо выполнить модификацию в схеме системы управления с нечетким логическим регулятором, преобразующую выходы нечеткого регулятора.

Реакции системы с нечетким самонастраивающимся ПИД-регулятором на ступенчатый и синусоидальный входной сигнал представлены соответственно на рисунках 7-8.

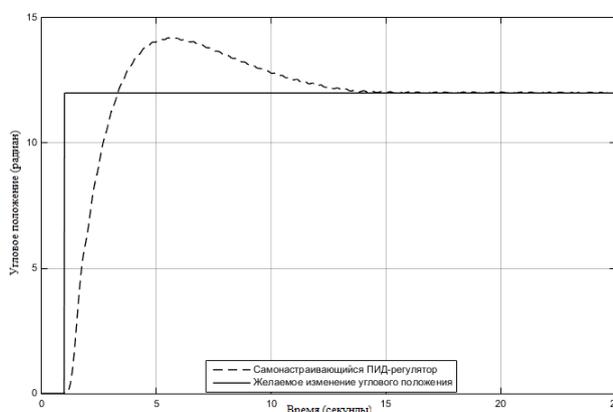


Рисунок 7 – Реакция СУ с адаптивным нечетким регулятором на ступенчатый входной сигнал

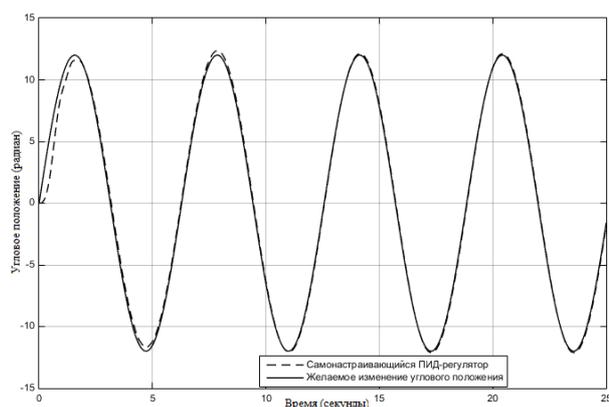


Рисунок 8 – Реакция СУ с адаптивным нечетким регулятором на синусоидальный входной сигнал

По рисункам 7, 8 видно, что данный вид регулятора не только не в состоянии справиться с нелинейностями ДПТ, но и обладает большим перерегулированием, что весьма нежелательно. Для повышения качества процесса управления имеет смысл прибегнуть к алгоритму нейросетевого управления.

Переоборудование нечеткого самонастраивающегося ПИД-регулятора в нейросетевой регулятор

Сам по себе вопрос проектирования нейросетевого регулятора является общеизвестным. Существует целый ряд работ, в которых так или иначе затрагивается тема проектирования нейросетевого регулятора с целью улучшения качества процесса управления [5, 6]. Однако они не позволяют обеспечить желаемую точность обучения. Поэтому нами разработан новый метод обучения нейросетевого регулятора на примере самонастраивающегося нечеткого ПИД-регулятора.

Для создания модели нейросетевого регулятора в Matlab был использован инструмент Neural Network Fitting Tool.

Для обучения нейронной сети используется алгоритм обратного распространения ошибки, при котором сеть рассчитывает возникающую в выходном слое ошибку и вычисляет вектор градиента как функцию весов и смещений [8]. Целью данного алгоритма является подстройка весов нейронной сети, чтобы приложение некоторого вектора входов приводило к требуемому вектору выходов. При обучении предполагается, что для каждого входного вектора существует парный ему целевой вектор, задающий требуемый выход.

В качестве входных и целевых данных для обучения нейронной сети используется входной и выходной сигналы ПИД-регулятора, записанные в рабочее пространство Matlab в виде двумерных матриц. Далее осуществляется обучение нейронной сети с помощью инструмента Neural Network Fitting, подавая гармонический сигнал различной частоты в диапазоне от 0.5 до 2.5 рад/сек, число нейронов в скрытом слое 25. Процесс обучения занял 116 эпох. На рисунках 9 – 10 представлены графики регрессии процесса обучения.

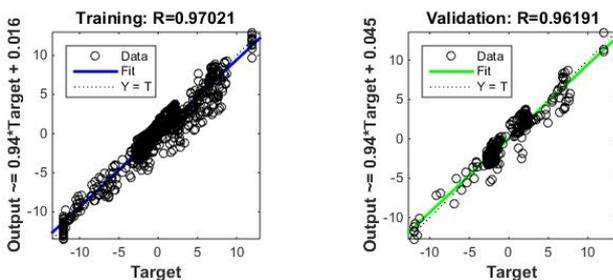


Рисунок 9 – График регрессии на начальном этапе процесса обучения

По рисунку 10 видно, что в основном все данные расположены вдоль линии регрессии, что свидетельствует об успешном обучении.

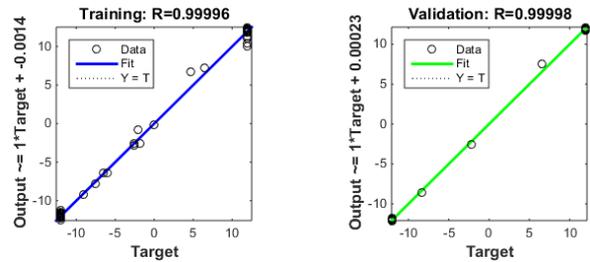


Рисунок 10 – График регрессии на конечном этапе процесса обучения

Схема модели системы управления с нейросетевым регулятором представлена на рисунке 11. Реакция системы управления с обученным таким способом нейросетевым регулятором на ступенчатый и синусоидальный входной сигналы изображена на рисунках 12 – 13, по которым видно, что рассмотренный подход позволяет добиться высокой точности воспроизведения системой управления задающего воздействия и достаточно сильно ослабить влияние нелинейностей ДПТ.

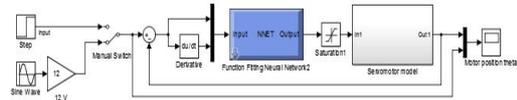


Рисунок 11 – Модель ДПТ с нейросетевым регулятором

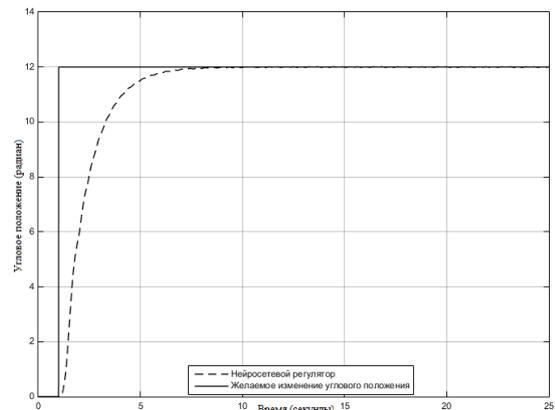


Рисунок 12 – Действительное и желаемое изменение положения системы с нейросетевым регулятором при ступенчатом входном сигнале

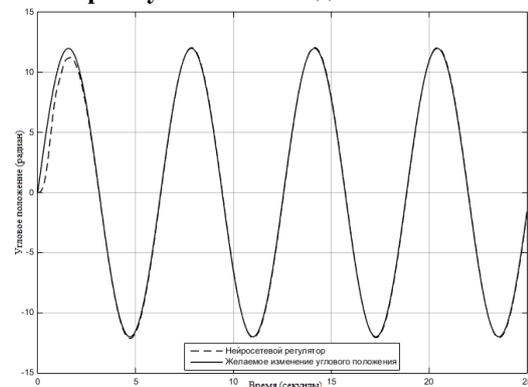


Рисунок 13 – Действительное и желаемое изменение положения системы с нейросетевым регулятором при синусоидальном входном сигнале

На рисунке 14 изображен график относительной ошибки при разных уровнях ступенчатого входного сигнала. Как мы видим, с увеличением величины ступенчатого сигнала относительная ошибка уменьшается.

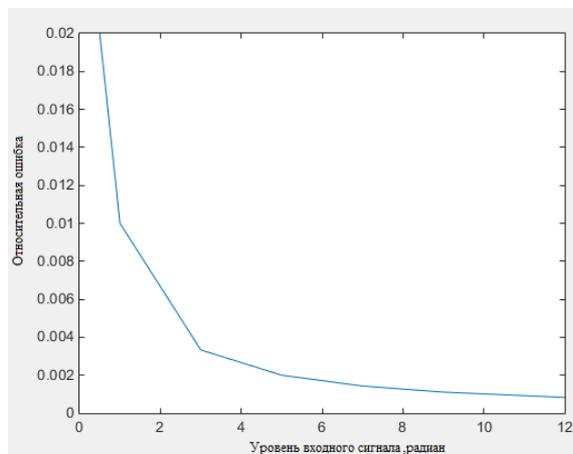


Рисунок 14 – График относительной ошибки при разных уровнях ступенчатого входного сигнала

Заключение

В статье предложен новый алгоритм нейросетевого управления угловым положением двигателя постоянного тока с нелинейностями. Показано, что с помощью интеллектуальных методов настройки регулятора можно ослабить влияние нелинейностей на выходной сигнал системы. Система управления с обученным таким способом нейросетевым регулятором достаточно точно обрабатывает гармонический сигнал разной частоты и ступенчатый входной сигнал в диапа-

зоне от 0.5 до 12 радиан, что является преимуществом перед имперским методом оптимизации, рассмотренным в статье [4].

Библиографический список

1. **Гусев Н. В.** Алгоритмическое обеспечение систем управления следящими электроприводами // Научно-технический и учебно-образовательный журнал: Известия высших учебных заведений. Электромеханика. – 2006. № 3. – С. 57-60.
2. **Бобиков А. И., Сурков И. И.** Нейросетевое управление скоростью двигателя постоянного тока // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2015. №52-2. С. 105 – 112.
3. **Ali Soltani, Mohammad Reza Ghadiri.** Position control of DC Servomotor with Nonlinearity Using ICA Based on FLC: – Iran, 2012.
4. **Fernando Rios-Gutierrez, Yahia Makableh.** Efficient position control of DC Servomotor using backpropagation Neural Network // Seventh International Conference on Natural Computation, January 2011.
5. **Lyshevski S. E.** Nonlinear control of mechatronic systems with permanent-magnet DC motors // Mechatronics, Volume 9, Issue 5, August 1999.
6. **E. E. Ezema, I. I. Eneh.** Improving the Functional Limitations of DC Motor using Neural Network Controller // International Journal of Computer Technology and Electronics Engineering (IJCTEE), Volume 3, Issue 5, October 2013.
7. **Дьяконов В. П.** Simulink 5/6/7: самоучитель // ДМК Пресс, Москва, 2006. – 784 с.
8. **Медведев В. С., Потемкин В. Г.** Нейронные сети. MATLAB 6. Под общ. ред. В. Г. Потемкина. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2001. – 630 с.

UDC 519.711

NEURAL NETWORK POSITION CONTROL OF DC MOTOR

A. I. Bobikov, Ph.D., associate professor, AITU, RSREU, Ryazan, alexbozvanov@yandex.ru;

A. O. Bozvanov, student, RSREU, Ryazan, alexbozvanov@yandex.ru

The increasing demand for use of DC motors for various industrial applications in the last few decades has made them one of the most important system drives. Thus, it is important to develop intellectual angular position of engine control system, neural DC engine control in particular, based on a well defined mathematical model, which is a very important tool for this type of drive systems. Nonlinear parameters such as dead zone, saturation and clearance, cause the greatest concern in the management of angular position of DC motor. To reduce the impact of these non-linearities, and to improve the efficiency of the system in the paper a new algorithm for management of angular position of a DC motor using neural network controller is proposed. The aim is to design a neural network controller which will be able to eliminate or reduce the influence of non-linearities in the angular position of DC motor. The article describes the system of angular position of DC motor control built using Simulink tool in MATLAB application package.

Key words: DC motor, non-linearities, angular position, PID-controller, adaptive controller, back propagation algorithm, neural network controller, regression.

DOI: 10.21667/1995-4565-2016-57-3-139-144

References

1. **Gusev N. V.** Algoritmicheskoe obespechenie sistem upravlenija sledjashhimi jelektroprivodami (Algorithmic maintenance management systems follower drive). *Nauchno-tehnicheskij i uchebno-obrazovatel'nyj zhurnal: Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Jelektromehanika.* – 2006. no. 3. – pp. 57-60.
2. **Bobikov A. I., Surkov I. I.** Nejrosetevoe upravlenie skorost'ju dvigatelja postojannogo toka (Neural network speed control of DC motor). *Vestnik Rjazanskogo gosudarstvennogo radiotekhnicheskogo universiteta.* 2015. no. 52-2. pp. 105-112 (in Russian).
3. **Ali Soltani, Mohammad Reza Ghadiri.** *Position control of DC Servomotor with Nonlinearity Using ICA Based on FLC:* – Iran, 2012.
4. **Fernando Rios-Gutierrez, Yahia Makableh.** Efficient position control of DC Servomotor using backpropagation Neural Network. *Seventh International Conference on Natural Computation*, January 2011.
5. **Lyshevski S. E.** Nonlinear control of mechatronic systems with permanent-magnet DC motors. *Mechatronics*, Vol. 9, Issue 5, August 1999.
6. **E. E. Ezema, I. I. Eneh.** Improving the Functional Limitations of DC Motor using Neural Network Controller. *International Journal of Computer Technology and Electronics Engineering (IJCTEE)*, Vol. 3, Issue 5, October 2013.
7. **D'jakonov V. P.** Simulink 5/6/7: samouchitel' (Simulink 5/6/7: tutorial). *DMK Press*, Moskva, 2006. – 784 p.
8. **Medvedev V. S., Potemkin V. G.** *Nejronnye seti. MATLAB 6* (Neural networks. MATLAB 6). Pod obshh. red. V. G. Potemkina. – M.: DIALOG-MIFI, 2001. – 630 p.