



Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности

Сайт журнала: <http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 004.896

СПОСОБ УПРАВЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫМИ ОБЪЕКТАМИ НА ОСНОВЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ЭЛМАНА

Манькин В.В.

Филиал ФГБОУ ВО "НИУ "МЭИ" в г. Смоленске, Россия (214013, г. Смоленск, Энергетический проезд, дом 1); e-mail: mcmasik2010@mail.ru

Статья посвящена проблеме автоматического управления на основе нейронных сетей. Предлагается способ управления промышленным объектом на основе нейронной сети Элмана, который позволяет улучшить показатели качества управления, такие как время регулирования, перерегулирование и оптимизацию интегрального квадратичного показателя качества управления. Нейронная сеть Элмана – это рекуррентная сеть, главной особенностью которой является обратные связи во внутренних слоях. Способ управления заключается в обучении нейронной сети и замене ПИД-регулятора в контуре управления на нейронную сеть. Данными для обучающей выборки являются входной и выходной сигналы регулятора. Важным аспектом является обучение нейронной сети. Для этого используется алгоритм обратного распространения ошибки, в котором изменение весов происходит по алгоритму оптимизации Левенберга-Марквардта. После обучения в контуре управления заменяется ПИД-регулятор на нейронную сеть, при этом обеспечивается улучшение показателей качества управления.

Ключевые слова: нейронные сети, промышленные объекты управления, показатели качества управления, алгоритм обучения, ПИД-регулятор.

METHOD OF MANAGEMENT OF INDUSTRIAL OBJECTS BASED ON ELMAN'S NEURAL NETWORK

Manykin V.V.

Smolensk Branch of the National Research University "Moscow Power Engineering Institute", Russia (214013, Smolensk, street Ehnergeticheskij, 1); e-mail: mcmasik2010@mail.ru

The article is devoted to the problem of automatic control based on neural networks. A method for managing an industrial facility based on the Elman neural network is proposed, which allows improving the quality of control quality, such as control time, overshoot and optimization of squared integral control quality index. Elman's neural network is a recurrent network, the main feature of which is feedback in the inner layers. The control method consists in training the neural network and replacing the PID controller in the control loop with the neural network. The data for the training sample is the input and output signals of the controller. An important aspect is the training of a neural network. To do this, we use the algorithm for back propagation of the error, in which the change in weights occurs according to the Levenberg-Marquardt optimization algorithm. After training in the control loop, the PID controller is replaced by a neural network, while improving the quality of the control.

Keywords: neural networks, industrial control objects, management quality indicators, learning algorithm, PID controller.

Построение системы управления промышленным объектом начинается с задания математической модели данного объекта. Поскольку наибольшее распространение в реальных системах имеют ПИД-регуляторы [2], то для них применяют модели объекта управления первого или второго порядка с задержкой [2]. Объясняется это тем, что при использовании моделей более высоких порядков становится сложным получение аналитического решения системы уравнений. Учитывая этот аспект, полученные в результате расчетов оптимальные коэффициенты ПИД-регулятора не всегда удовлетворяют требуемым показателям качества управления [7]. Что бы улучшить эти критерия, можно использовать интеллектуальные методы, например, нейронной сети [3, 5].

В настоящее время существует достаточное количество методов управления, основанных на нейронных сетях [5]. Целью использования нейронной сети являлось улучшение показателей качества управления таких как:

- Перерегулирование,
- Время регулирования;

а также оптимизация интегрального квадратичного показателя качества управления.

В рамках статьи применялся метод подражающего нейроуправления, представленный на рисунке 1, так как он является самым простым в получении обучающей выборки.

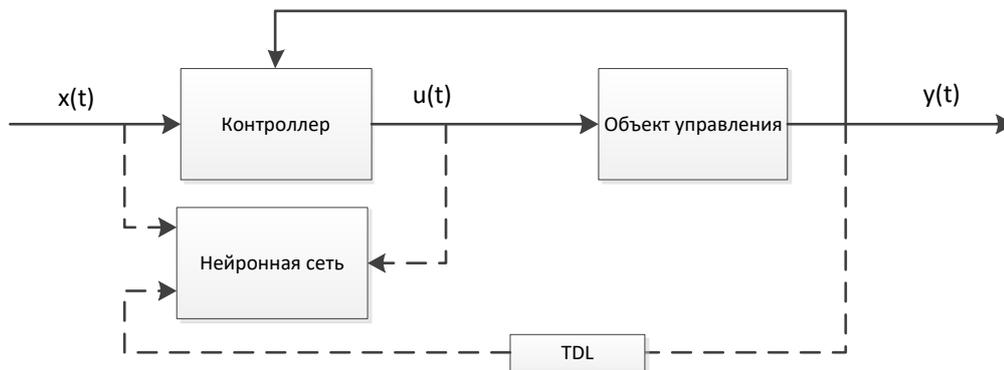


Рисунок 1 – Подражающее нейроуправление – режим обучение нейронной сети

При этом в данном методе для обучающей выборки использовалось не три сигнала как в классических вариантах – уставка $x(t)$, выходной сигнал системы управления $y(t)$ и выход с ПИД-регулятора $u(t)$ – а два – входной и выходной сигналы ПИД-регулятора (рисунок 2).

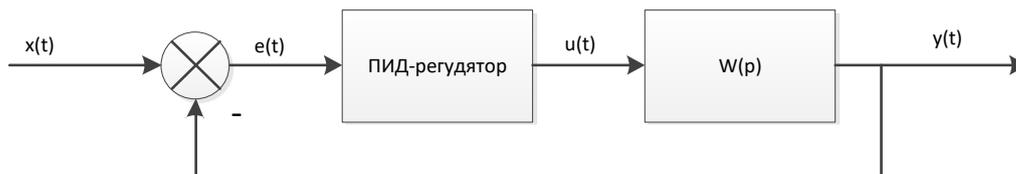


Рисунок 2 – Структурно-функциональная схема системы управления промышленным объектом

В качестве регулятора использовался цифровой ПИД-регулятор, который наиболее часто используется в реальных системах управления.

Цифровой регулятор заменялся двуслойной нейронной сетью Элмана [9]. В качестве сигнала $x(t)$ выступало единичное ступенчатое воздействие.

Обучение нейронной сети осуществлялось алгоритмом обратного распространения ошибки [4], но изменение весов происходило в соответствии с алгоритмом оптимизации Левенберга-Марквардта [1]. Данный алгоритм позволяет минимизировать комбинации квадратов ошибок и весов, что улучшает обобщающие способности сети.

Рассмотрим промышленный объект с передаточной функцией первого порядка:

$$W(p) = \frac{2e^{-1.9p}}{(3p + 1)} \quad (1)$$

Расчеты коэффициентов ПИД-регулятора производились при ограничении на частотный показатель колебательности M . При расчетах рекомендуется брать данный показатель из диапазона $1,1 \leq M \leq 1,6$ [6,8]. Для данного объекта управления расчет коэффициентов ПИД-регулятора осуществлялся при показателе колебательности $M=1.3$. В итоге были получены следующие коэффициенты:

$$K_p = 0.447, K_i = 0.235, K_d = 0.691$$

Выходные характеристики систем на действие единичного ступенчатого сигнала представлены на рисунке 3.

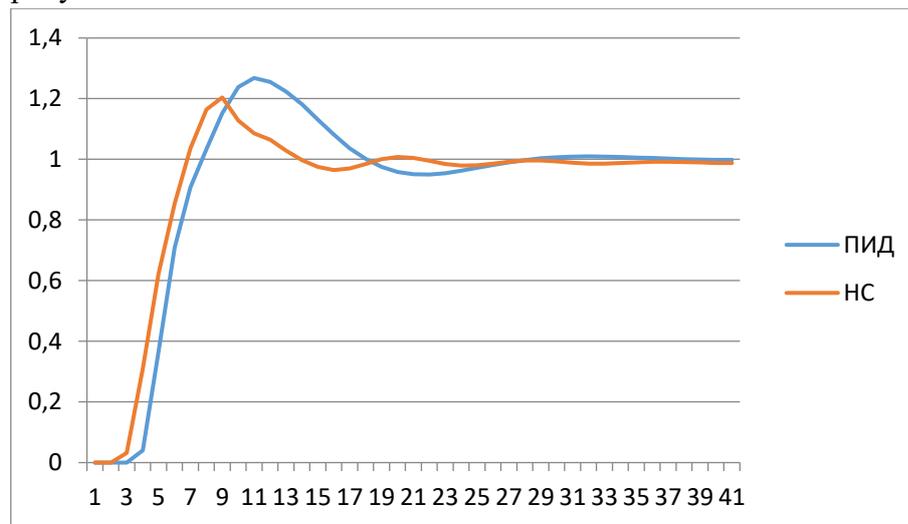


Рисунок 3 – Выходные характеристики систем на основе ПИД-регулятора и нейронной сети Элмана на действие единичного ступенчатого сигнала

В качестве нейронного регулятора использовалась нейронная сеть Элмана для объекта управления с передаточной функцией (1), с 10 нейронами во внутреннем слое, с функцией активации внутреннего и выходного слоя – гиперболический тангенс.

Сравнительные характеристики ПИД-регулятора и нейронной сети представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнение ПИД-регулятора и нейронной сети по показателям качества управления

№ п/п	Время регулирования при 15% окне, м.в.	Время регулирования при 10% окне, м.в.	Время регулирования при 5% окне, м.в.	Пере-регулирование, %	Интегральный квадратичный показатель, качественно
ПИД-регулятор	13,63	14,62	21,06	26,81	Хуже
Нейронная сеть	8,67	9,61	16,04	20,76	Лучше
Улучшение, %	36,39	34,2	23,84	22,57	

Рассмотрим объект управления с передаточной функцией второго порядка:

$$W(p) = \frac{2e^{-0.7p}}{(p+1)(3p+1)} \quad (2)$$

Для данного объекта при показателе колебательности $M=1.2$, были получены следующие коэффициенты:

$$K_p = 1.696, K_i = 1.943, K_d = 2.434$$

Выходные характеристики систем на действие единичного ступенчатого сигнала представлены на рисунке 3.

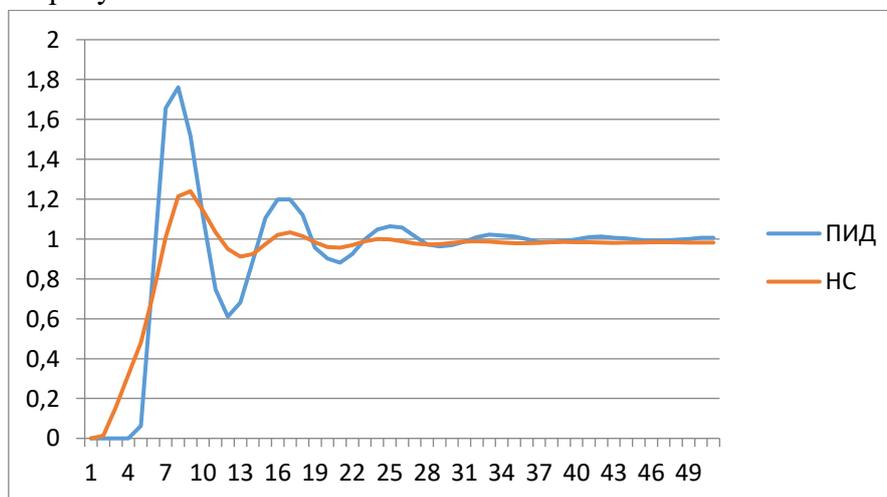


Рисунок 4 – Выходные характеристики систем на основе ПИД-регулятора и нейронной сети Элмана на действие единичного ступенчатого сигнала

В качестве нейронного регулятора использовалась нейронная сеть Элмана для объекта управления с передаточной функцией (2), с 10 нейронами во внутреннем слое, с функцией активации внутреннего слоя – сигмоида, выходного слоя – гиперболический тангенс.

Сравнительные характеристики ПИД-регулятора и нейронной сети представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Сравнение ПИД-регулятора и нейронной сети по показателям качества управления

№ п/п	Время регулирования при 15% окне, м.в.	Время регулирования при 10% окне, м.в.	Время регулирования при 5% окне, м.в.	Перерегулирование, %	Интегральный квадратичный показатель, качественно
ПИД-регулятор	16,61	20,6	25,18	77,16	Хуже
Нейронная сеть	8,93	9,39	13,52	24	Лучше
Улучшение, %	46,24%	54,55	46,31	68,9	

В рамках статьи было показано, что использование нейронной сети Элмана в качестве нейрорегулятора, улучшает качество управления, а именно уменьшает перерегулирование, уменьшает время регулирования, оптимизирует интегральный квадратичный показатель качества управления. К недостаткам данного метода можно отнести появление статической ошибки регулирования. Она не будет влиять, если установившееся значение попадает в заданное окно регулирования, иначе необходимо перенастраивать нейронную сеть.

Список литературы

1. Алгоритм Левенберга-Марквардта [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://neuronus.com/theory/246-algorithm-levenberga-markvardta.html> - (Дата обращения: 13.04.2017)
2. Денисенко, В.В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием / Денисенко, В.В. – М.: Горячая линия - Телеком, 2009. – 400 с., ил.
3. Кондратьев А. И., Тюменцев Ю. В. Нейросетевое адаптивное отказоустойчивое управление движением маневренного самолета/ Кондратьев А. И., Тюменцев Ю. В. // XII Всероссийская научно-техническая конференция «Нейроинформатика — 2010»: Часть 2. — М.: НИЯУ МИФИ, 2010. — С. 262—273
4. Метод обратного распространения ошибки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Метод_обратного_распространения_ошибки (Дата обращения: 13.04.2017)
5. Нейроуправление [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Нейроуправление> (Дата обращения: 12.04.2017)
6. Оценка качества при гармонических воздействиях [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://drive.ispu.ru/elib/lebedev/17.html> (Дата обращения: 13.04.2017)
7. Показатели качества процесса управления [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://automation-system.ru/main/10-regulyator/xarakteristiki-i-svoystva/23-74-pokazateli-kachestva-processa-upravleniya.html> (Дата обращения: 12.04.2017)
8. Ротач, В.Я. Теория автоматического управления: учебник для вузов / В.Я. Ротач. – 4-е изд., стереот. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – 400 с.
9. Третье поколение нейросетей: «Глубокие нейросети» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.mql5.com/ru/articles/1103#1_2_3 - (Дата обращения: 13.04.2017)

References

1. Levenberg-Marquardt algorithm [Electronic resource]. - Access mode: <http://neuronus.com/theory/246-algorithm-levenberga-markvardta.html> - (Date of circulation: 13.04.2017)
 2. Denisenko, V.V. Computer control of the technological process, experiment, equipment / Denisenko, V.V. - M.: Hot line - Telecom, 2009. - 400 p., IL.
 3. Kondratiev AI, Tyumentsev Yu. V. Neural network adaptive fault-tolerant control of the movement of a maneuverable airplane / Kondratiev AI, Tyumentsev Yu. V. // XII All-Russian Scientific and Technical Conference "Neuroinformatics - 2010": Part 2. - M.: NNIU MEPHI, 2010. - P. 262-273
 4. Method of reverse error placement [Electronic resource]. - Access mode: https://ru.wikipedia.org/wiki/Method_of_the_reverse_distribution_error (Date of contact: 13.04.2017)
 5. Neurocontrol [Electronic resource]. - Access mode: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Нейроуправление> (Date of circulation: 12.04.2017)
 6. Quality evaluation under harmonic influences [Electronic resource]. - Access mode: <http://drive.ispu.ru/elib/lebedev/17.html> (Date of circulation: 13.04.2017)
 7. Quality indicators of the management process [Electronic resource]. - Access mode: <http://automation-system.ru/main/10-regulyator/xarakteristiki-i-svoystva/23-74-pokazateli-kachestva-prozessa-upravleniya.html> (Date of circulation: 12.04.2017)
 8. Rotach, V.Ya. Theory of automatic control: a textbook for high schools / V.Ya. Rotach. - 4 th ed., Stereot. - M.: Publishing house MPEI, 2007. - 400 p.
 9. The third generation of neural networks: "Deep Neural Networks" [Electronic resource]. - Access mode: https://www.mql5.com/en/articles/1103#1_2_3 - (Date of circulation: 13.04.2017)
-