

УДК 681.5

Н.М. Кузнецов¹, И.Н. Морозов²**ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕВОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ
В УПРАВЛЕНИИ ВОДООТЛИВНЫМИ УСТАНОВКАМИ**Кольский научный центр РАН, г. Апатиты¹,
Мурманский арктический государственный университет²

В статье рассмотрена возможность применения нейросетевого регулирования при создании автоматизированной системы регулирования процесса водоотлива. Для достижения поставленной цели была разработана и детально описана процедура настройки системы регулирования водоотливной установки с использованием нейросетевого регулятора. Для определения адекватности предлагаемой системы регулирования было произведено имитационное моделирование в среде Matlab приложении Simulink. По полученным переходным процессам определялись качественные показатели системы регулирования: величина перерегулирования, время регулирования, статическая ошибка. Анализ показателей качества регулирования позволил сделать вывод о том, что автоматическая система регулирования с нейросетевым регулятором обладает требуемым запасом устойчивости и удовлетворяет требованиям к системе регулирования водоотливной установки.

Ключевые слова: имитационное моделирование, Matlab, нейрорегулирование, система автоматического регулирования.

Введение

Технико-экономическая проработка вариантов электроснабжения предприятий и внедрения нового технологического оборудования с целью повышения энергоэффективности обретает в наши дни огромную актуальность [1-4]. Для повышения точности прогнозирования электропотребления в горной промышленности [5-8] и управление режимами работы электроприводов [9-11] осуществляются с применением математических методов моделирования. Искусственные нейронные сети в настоящее время нашли широкое применение в робототехнике [12] в процессе создания систем управления электроприводами [13-15]. Целью данной работы является изучение действующей системы электропривода водоотливной установки рудника и оценка возможности применения нейросетевого регулирования. При отсутствии системы автоматизации (ручное управление) на таком ответственном объекте насосное оборудование используется неэффективно: слишком велико влияние на производственный процесс человеческого фактора (работа водоотливной установки во многом зависит от квалификации дежурного персонала, от скорости приема и передачи распоряжений). Тем самым затрудняется производство горных работ и приводит к временному прекращению добычи руды с подтопленных горизонтов. Безотказная и экономичная работа водоотлива возможна при использовании совершенной системы автоматики, которая позволит сократить число аварийных отключений, обеспечить бесперебойность откачки воды, экономии электроэнергии, сократить затраты на ремонт оборудования и сократить число обслуживающего персонала, то есть обеспечить надежную и безопасную работу водоотливной установки. Оценка возможности применения нейросетевого регулирования в системе управления водоотливными установками проводилась на примере водоотливной установки горизонта +310 м Расвумчоррского рудника АО «Апатит».

Расчет и моделирование существующей системы регулирования

Структурная схема регулирования скорости асинхронного двигателя водоотливной установки при питании его от преобразователя частоты на основе автономного инвертора напряжения, с управлением по вектору потокосцепления статора представлена на рис 1.

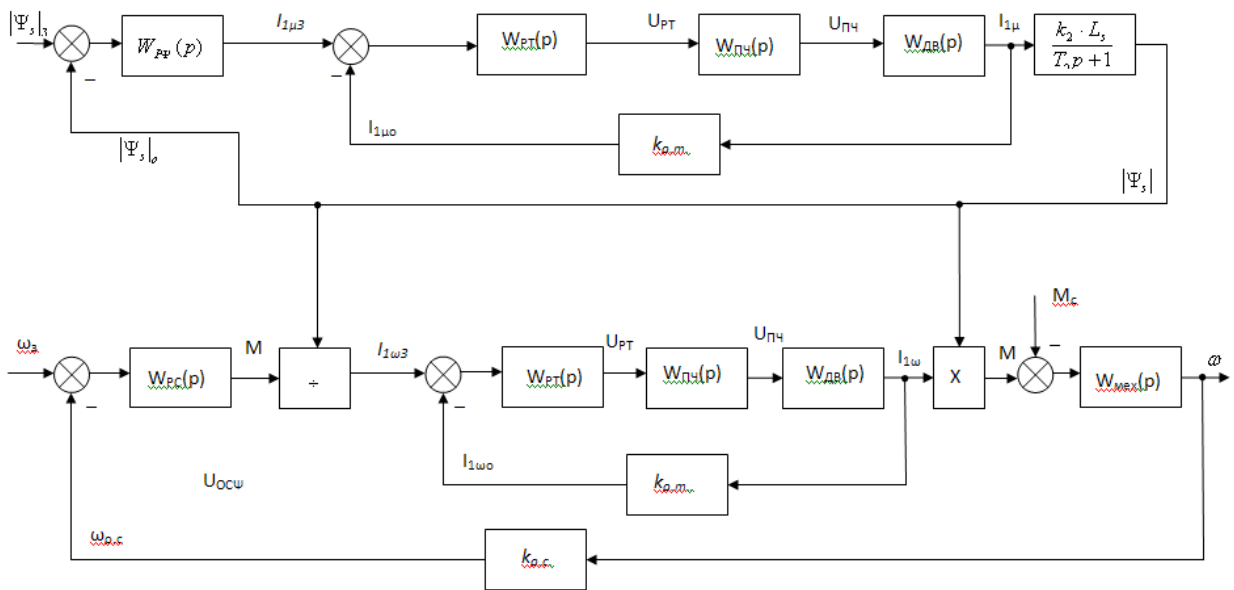


Рис. 1. Структурная схема системы преобразователь частоты – асинхронный двигатель с обратной связью по скорости, току двигателя при постоянстве потокосцепления статора

Для настройки контуров регулирования был проведен поверочный расчет передаточных функций звеньев системы автоматического регулирования. Полученные результаты расчета настроек контуров регулирования сведены в табл. 1.

Таблица 1

Параметры регуляторов системы векторного управления

Параметр регулятора	Регулятор потокосцепления РΨ	Регулятор скорости, РС	Регулятор тока 1, РТ1	Регулятор тока 2, РТ2
Коэффициент усиления	1,39	132,5	1,82	1,82
Постоянная времени	0,497	-	1,355	1,355
Передаточная функция	$1,39 + \frac{1}{0,497 p}$	132,5	$1,82 + \frac{1}{1,355 p}$	$1,82 + \frac{1}{1,355 p}$

Расчет контуров регулирования системы векторного управления позволил исследовать работу привода в различных режимах его работы с помощью имитационного моделирования. Моделирование системы регулирования проводилось на ЭВМ с помощью программы Matlab приложения Simulink (рис. 2).

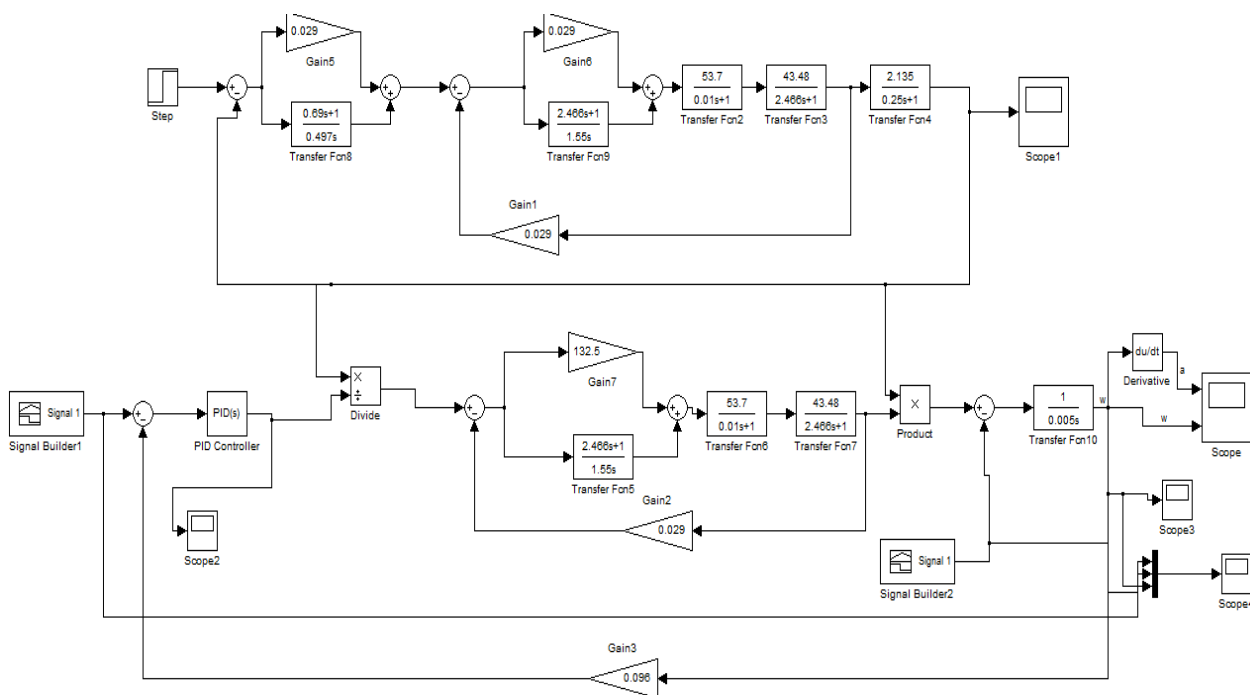


Рис. 2. Имитационная модель электропривода водоотливной установки

Результат моделирования представлен на рис. 3.

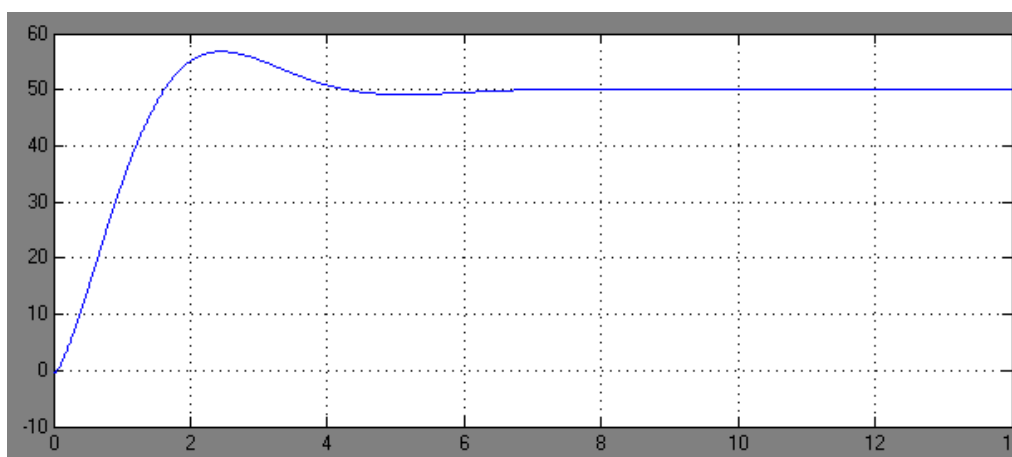


Рис. 3. Результат моделирования

По результату моделирования (рис. 3) определяли качественные показатели системы регулирования давления насосной установки при использовании ПИ-регулятора давления:

- перерегулирование при пуске:

$$\gamma_n^{III} = \frac{h_{\max} - h_{уст}}{h_{уст}} \cdot 100\% = \frac{56,8 - 50}{50} \cdot 100\% = 13,6\%$$

- время переходного процесса при пуске: $t_n^{III} = 6,4$ сек.;
- статическая ошибка отсутствует.

Настройка и моделирование системы регулирования с нейросетевым регулятором

Для оценки возможности применения нейросетевого регулирования в работе предлагается использовать нейрорегулятор NN Predictive Controller. Модель системы автоматического

регулирования давления насосной установки с использованием нейросетевого регулятора NN Predictive Controller показана на рис. 4.

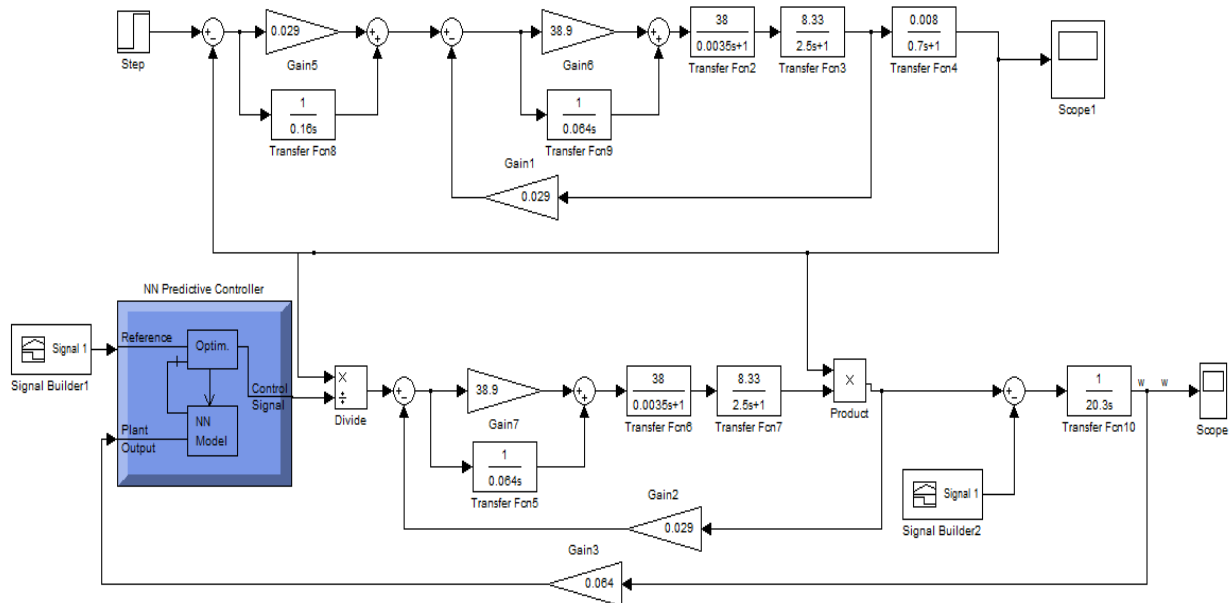


Рис. 4. Имитационная модель электропривода водоотливной установки с применением нейросетевого регулятора NN Predictive Controller

Для настройки блока NN Predictive Controller использовалось первичное окно настройки нейросети, которую данный блок реализует (рис. 5).

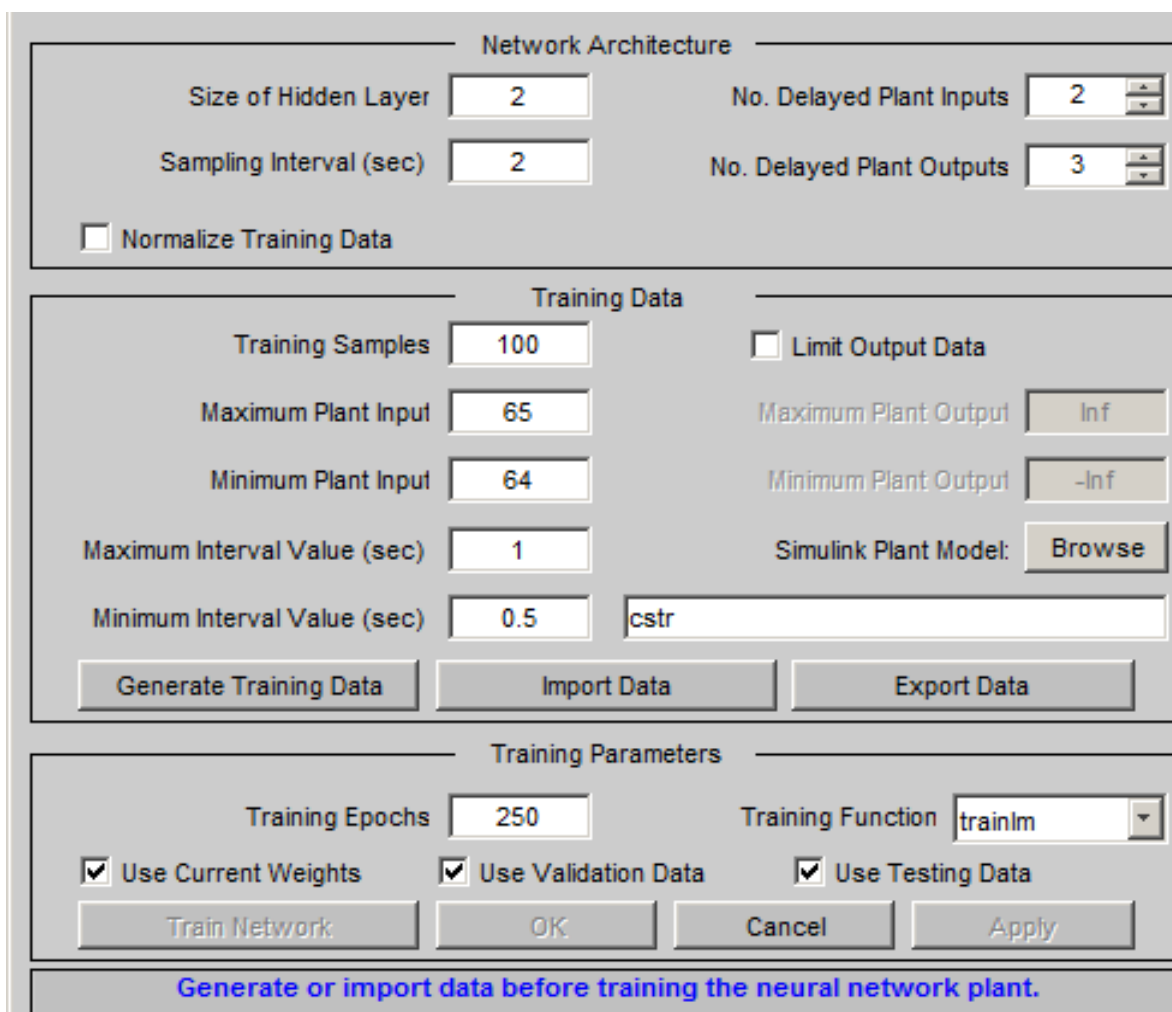
Neural Network Predictive Control

Cost Horizon (N2) <input style="width: 50px;" type="text" value="2"/>	Control Weighting Factor (ρ) <input style="width: 50px;" type="text" value="2"/>
Control Horizon (Nu) <input style="width: 50px;" type="text" value="2"/>	Search Parameter (α) <input style="width: 50px;" type="text" value="2"/>
Minimization Routine <input style="width: 80px;" type="text" value="csrchbac"/>	Iterations Per Sample Time <input style="width: 50px;" type="text" value="70"/>
<input type="button" value="Plant Identification"/>	<input type="button" value="OK"/> <input type="button" value="Cancel"/> <input type="button" value="Apply"/>

Perform plant identification before controller configuration.

Рис. 5. Настройки NN Predictive Controller

В данном окне указывались параметры структуры сети и параметры минимизации. Затем необходимо нажатием клавиши PlantIdentification вызвать окно, показанное на рис. 6.



Network Architecture

Size of Hidden Layer: 2

Sampling Interval (sec): 2

No. Delayed Plant Inputs: 2

No. Delayed Plant Outputs: 3

Normalize Training Data

Training Data

Training Samples: 100

Maximum Plant Input: 65

Minimum Plant Input: 64

Maximum Interval Value (sec): 1

Minimum Interval Value (sec): 0.5

Limit Output Data

Maximum Plant Output: Inf

Minimum Plant Output: -Inf

Simulink Plant Model: Browse

cstr

Generate Training Data Import Data Export Data

Training Parameters

Training Epochs: 250

Training Function: trainlm

Use Current Weights Use Validation Data Use Testing Data

Train Network OK Cancel Apply

Generate or import data before training the neural network plant.

Рис. 6. Параметры управляющего воздействия на объект регулирования

В окнах Maximum и MinimumPlantInput указывались параметры управляющего воздействия на объект регулирования. В окнах Maximum и MinimumIntervalValue указывался временной промежуток, с которого начнется процесс регулирования. После чего с помощью обучающей последовательности данных производилась настройка весовых коэффициентов регулятора. Результаты обучения представлены на рис. 7.

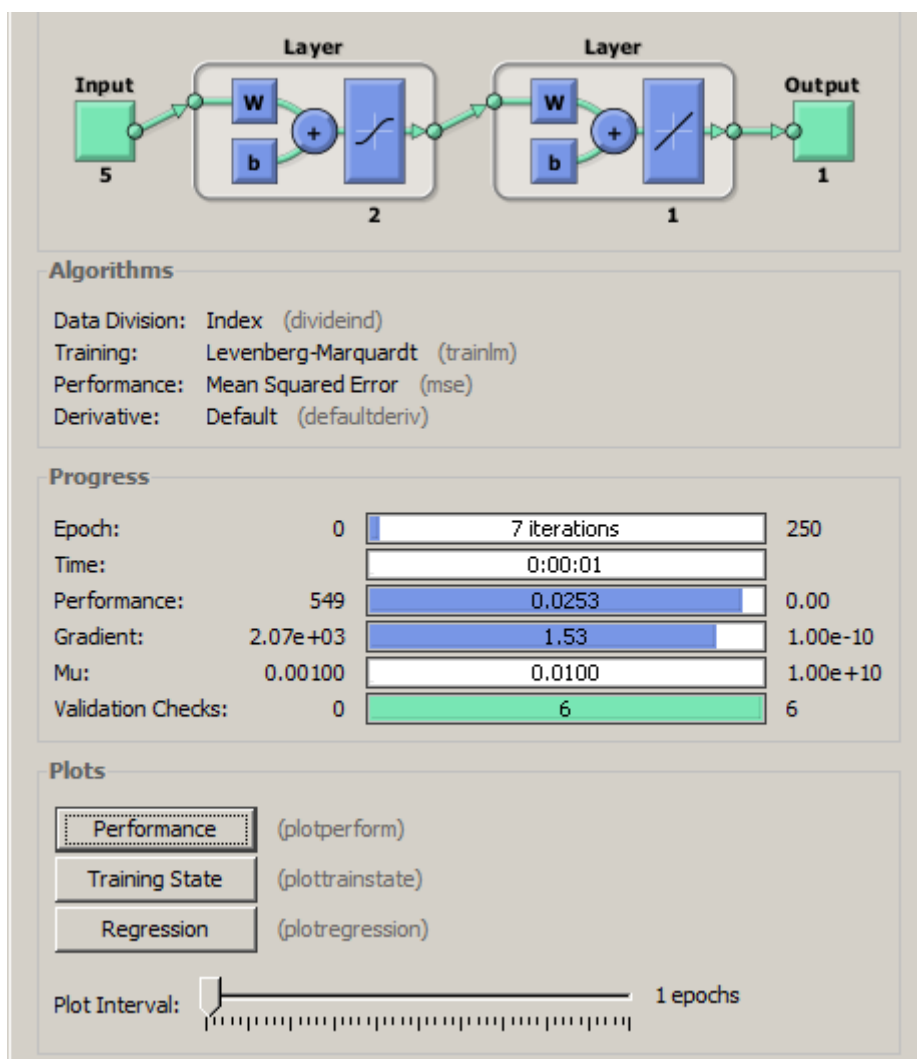


Рис. 7. Результаты обучения нейросетевого регулятора

Результат моделирования системы регулирования с нейросетевым регулятором представлен на рис. 8.

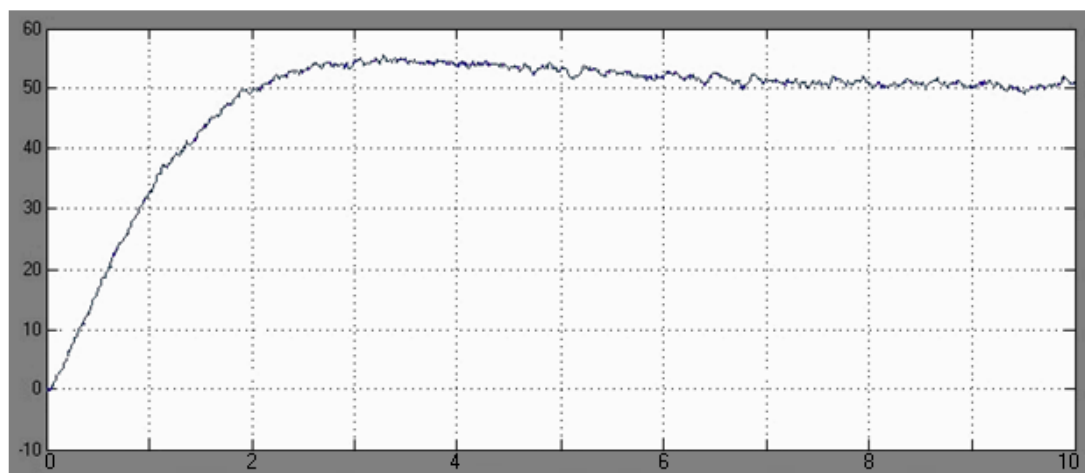


Рис. 8. Результат моделирования с применением нейросетевого регулятора NN Predictive Controller

По полученному результату моделирования (рис. 8) определяли качественные показатели системы регулирования давления насосной установки при использовании нейросетевого регулятора давления:

- перерегулирование при пуске:

$$\gamma_n^{\text{ПДД}} = \frac{h_{\text{max}} - h_{\text{уст}}}{h_{\text{уст}}} \cdot 100\% = \frac{55,7 - 50}{50} \cdot 100\% = 11,4\%$$

- время переходного процесса при пуске: $t_n^{\text{ПДД}} = 8 \text{ сек}$;

Заключение

При применении нейросетевого регулятора в переходном процессе появляются незначительные колебания, наблюдается снижение величины перерегулирования и увеличение времени переходного процесса. Тем не менее, данные отклонения работы системы с нейрорегулятором удовлетворяют требованиям к системе регулирования водоотливной установки и позволяют незначительно снизить скачок давления при пуске установки. Наблюдения показывают, что на результаты работы системы с нейрорегулятором значительно влияет объем обучающих выборок для настройки и обучения нейросетевой структуры регулятора. При наличии больших объемов обучающих последовательностей возможна более точная настройка весовых коэффициентов нейросети, что позволит добиться лучших показателей качества регулирования.

Библиографический список

1. **Голубцов, Н.В.** Инновации в энергетике / Н.В. Голубцов. – М.: ИНФРА-М, 2010. – 250 с.
2. **Федоров, О.В.** Энергосберегающая политика / О.В. Федоров, А.Б. Дарьенков. – М.: КноРус, 2015. – 294 с.
3. **Федоров, О.В.** Инвестиции в электроснабжение предприятий: учебное пособие / О.В. Федоров, Н.М. Кузнецов. – Новосибирск: Наука, 2010. – 120 с.
4. **Федоров, О.В.** Оценка эффективности частотно-регулируемых электроприводов / О.В. Федоров. – М.: Инфра-М, 2011. – 144 с.
5. **Абрамович, Б.Н.** Система прогнозирования энергопотребления с применением искусственной нейронной сети / Б.Н. Абрамович, И.С. Бабанова // Горные науки и технологии. – 2016. – № 2. – С. 66-77.
6. **Кузнецов, Н.М.** Рациональное электропотребление на горнодобывающих и горно-обогатительных предприятиях / Н.М., Кузнецов, В.И. Щуцкий. – Апатиты: Кольский научный центр РАН, 1997. – 211 с.
7. **Кузнецов, Н.М.** Моделирование потребляемой мощности шаровой мельницы / Н.М. Кузнецов, И.Н. Морозов // Горные науки и технологии. – 2016. – № 4. – С. 50-58.
8. Кузнецов, Н.М. Эффективность потребления электроэнергии на горных предприятиях / Н.М. Кузнецов // Актуальные проблемы электроэнергетики: сборник статей. – Нижний Новгород, 2018. – С. 267-272.
9. **Фащиленко, В.Н.** Регулируемый электропривод насосных и вентиляторных установок горных предприятий: учеб. пособие / В.Н. Фащиленко. – М.: Горная книга, 2011. – 260 с.
10. **Федоров, О.В.** Частотно-регулируемый электропривод в экономике страны / О.В. Федоров. – М.: Издательский Дом «Инфра-М», 2011. – 142 с.
11. **Кузнецов, Н.М.** Применение частотно-регулируемого электропривода на насосных станциях / Н.М. Кузнецов, А.А. Колмаков // Труды НГТУ им. П.Е. Алексеева. – 2008. – Т. 70. – С. 112-115.
12. **Theodoridis, D.C.** A new adaptive neuro-fuzzy controller for trajectory tracking of robot manipulators / D.C. Theodoridis, Y.S. Boutalis, M.A. Christodoulou // International Journal of Robotics and Automation. – 2011. – Vol. 26, № 1. – P. 64-75.
13. **Masood, M.K.** Review of anfis-based control of induction motors / M.K. Masood, W.P. Hew, N.A. Rahim // Journal of Intelligent and Fuzzy Systems. – 2012. – Vol. 23, № 4. – P. 143-158.

14. **Jeong, S.** Neuro-robotics study on integrative learning of proactive visual attention and motor behaviors / S. Jeong, M. Lee, H. Arie, J. Tani // *Cognitive Neurodynamics*. – 2012. – Vol. 6, № 1. – P. 43-59.
15. Douiri M.R., Belghazi O., Cherkaoui M. Recurrent self-tuning neuro-fuzzy for speed induction motor drive / M.R. Douiri, O. Belghazi, M. Cherkaoui // *Journal of Circuits, Systems, and Computers*. – 2015. – Vol. 24, № 9. – P. 1550131.

Дата поступления

в редакцию: 16.10. 2018

N.M. Kuznetsov¹, I.N. Morozov²
APPLICATION OF NEURAL NETWORK CONTROLLER
IN THE CONTROL OF PUMP PLANT

Northern energetics research centre – Branch of the federal research centre
«Kola science centre of the Russian academy of sciences», Apatity¹,
Murmansk arctic state university, Murmansk²

Purpose: The purpose of the research in this work is to create a system of neural network regulation for the control of pump plant.

Design/methodology/approach: Methods of analysis include theoretical studies of technical documentation of systems for regulating pumping plants, mathematical modeling of systems using the MatLab software package using the Simulink application.

Findings: As a result of the research, theoretical studies were conducted on the feasibility of applying a neural network approach to the control of pump plant. A mathematical model with neural network control is developed, a comparison with existing and calculated data is carried out.

Originality/value: Development of a model of a water drainage system using a neural network controller, which allows reducing the amount of pressure overshoot in the pipeline.

Research limitations/implications: The obtained results can be applied at enterprises, the technological map of which requires the use of pumping plants to ensure the optimality of the technological process.

Conclusions: When a neural network controller is used in the transient process, slight oscillations appear, a decrease in the overshoot value and an increase in the transient time are observed. Nevertheless, these deviations of the operation of the system with the neural regulator satisfy the requirements for the regulation system of the drainage system and allow a slight reduction in the pressure drop at the start-up of the plant.

Key words: simulation modeling, Matlab, neural network control, automatic control system.