

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ НА БАЗЕ NEURAL NETWORK TOOLBOX СИСТЕМЫ MATLAB

Системы управления на основе нейронных сетей относятся к классу нелинейных динамических систем. В составе таких систем искусственная нейронная сеть может выполнять различные функции: диагностику технологического оборудования, управление подвижными объектами и технологическими процессами, прогнозирование ситуаций, оценку состояния и мониторинг технологических процессов и многое другое [1,2].

В данной работе предлагается рассмотреть два типа подобных систем управления реализованных на базе Neural Network Toolbox системы MATLAB, это NN Predictive Controller (нейросетевой регулятор с предсказанием) и NARMA-L2 Controller (нейросетевой регулятор на основе нелинейной авторегрессионной модели со скользящим средним) [3].

В качестве объекта управления рассмотрим нелинейный объект состоящий из двух динамических звеньев первого и второго порядка и нелинейного элемента – насыщение. Сигнал задания – единичное скачкообразное воздействие.

Нейросетевой регулятор с предсказанием использует модель нелинейного управляемого процесса в виде нейронной сети для того, чтобы предсказывать его будущее поведение. Кроме того, регулятор вычисляет сигнал управления, который оптимизирует поведение объекта на заданном интервале времени.

Нейронная сеть регулятора управляемого процесса представлена на рисунке 1. Она имеет 2 слоя нейронов и использует линии задержки (ЛЗ), чтобы запомнить предшествующие значения входов и выходов процесса с целью предсказать будущие значения выхода.

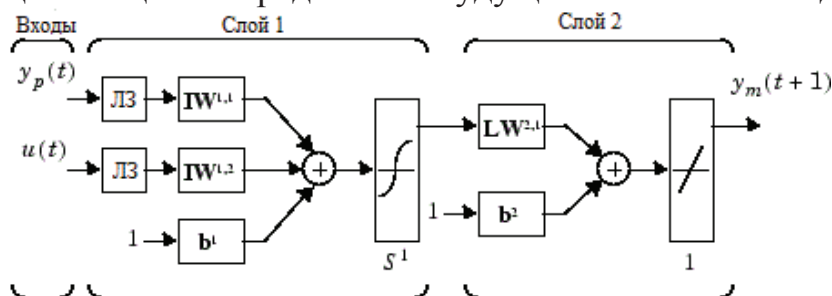


Рисунок 1 – Нейронная сеть регулятор с предсказанием

Управление с предсказанием использует принцип предсказания реакцию объекта управления на определенном интервале времени в будущем. Предсказания используются программой численной оптимизации для того, чтобы вычислить управляющий сигнал, который минимизирует следующий критерий качества управления:

$$J = \sum_{j=N1}^{N2} (y_r(t+j) - y_m(t+j))^2 + p \sum_{j=1}^{Nu} (u'(t+j-1) - u'(t+j-2))^2, \quad (1)$$

где константы  $N1$ ,  $N2$  и  $Nu$  задают пределы, внутри которых вычисляются ошибка слежения и мощность управляющего сигнала. Переменная  $u'$  описывает пробный управляющий сигнал,  $y_r$  – желаемая, а  $y_m$  – истинная реакция модели управляемого процесса. Величина  $p$  определяет вклад, который вносит мощность управления в критерий качества.

Нейросетевой регулятор с предсказанием состоит из нейросетевой модели управляемого процесса и блока оптимизации. Блок оптимизации определяет значения  $u'$ , которые минимизируют критерий качества управления.

По результатам моделирования системы нейросетевого управления с регулятором с предсказанием в системе Simulink можно сделать следующие выводы:

1. Наиболее существенно на качество процесса управления влияют параметры  $N2$  и  $Nu$  блока Neural Network Predictive Control. С увеличением значений этих параметров критерии качества системы управления значительно улучшаются.

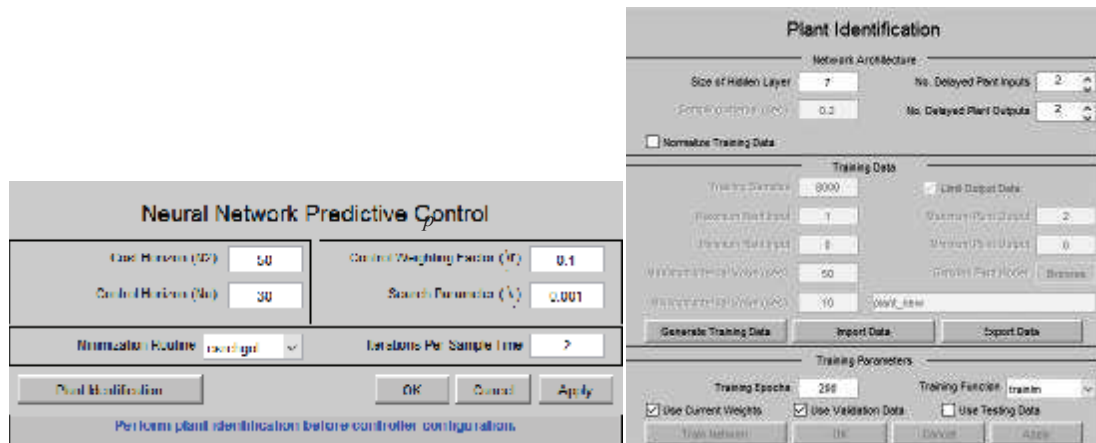
2. При проведении процедуры идентификации объекта управления увеличение размера скрытого слоя нейронной сети (количества используемых нейронов) и количества элементов запаздывания на входе и выходе нейросетевой модели объекта управления не оказывает существенного влияния на качество идентификации.

При моделировании были приняты параметры, представленные на рисунке 2 .

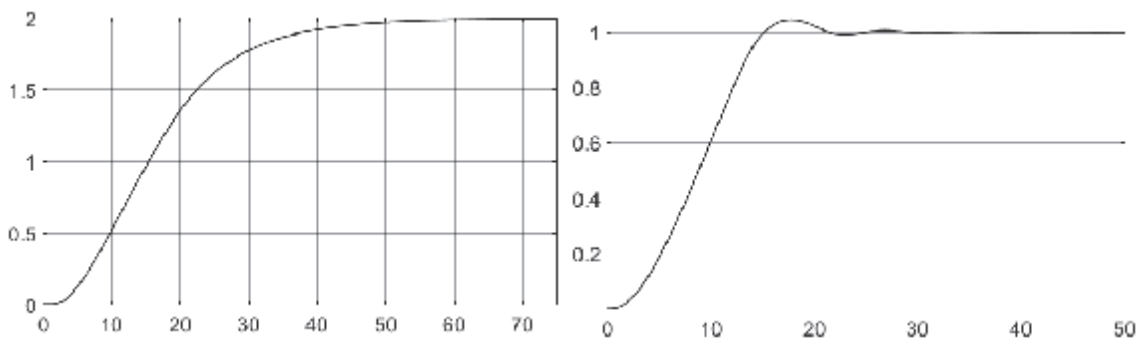
Переходные характеристики объекта управления и нейросетевой системы управления с регулятором с предсказанием представлена на рисунке 3. Время регулирования в данном случае составило 14 секунд, перерегулирование – 4.4 %.

Второй рассматриваемой нейросетевой системой является система с нейросетевым регулятором на основе нелинейной авторегрессионной модели со скользящим средним. Модель данной системы является дискретной и имеет следующий вид:

$y(k+d) = f[y(k), y(k-1), \dots, y(k-n+1), u(k-1), \dots, u(k-m+1)] +$   
 $+g[y(k), y(k-1), \dots, y(k-n+1), u(k-1), \dots, u(k-m+1)]u(k),$   
 где  $y(k)$  – выход нейросетевой модели;  $d$  – число тактов предсказания;  
 $u(k)$  – вход нейросетевой модели.



**Рисунок 2 – Параметры нейросетевой системы управления с регулятором с предсказанием**



**Рисунок 3 – Переходные характеристики объекта управления и нейросетевой системы управления с регулятором с предсказанием**

Управляющее воздействие для нейросетевого регулятора на основе нелинейной авторегрессионной модели вычисляется следующим образом:

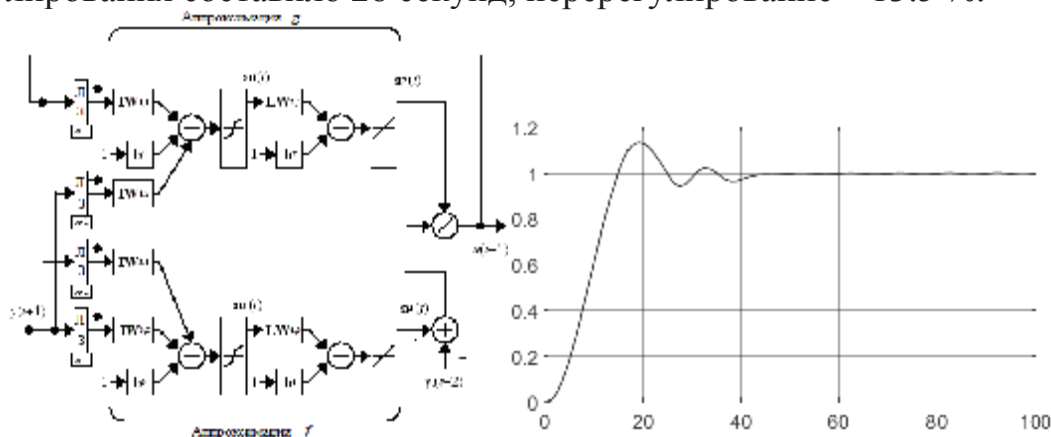
$$u(k+1) = \frac{y_r(k+d) - f[y(k), y(k-1), \dots, y(k-n+1), u(k-1), \dots, u(k-m+1)]}{g[y(k), y(k-1), \dots, y(k-n+1), u(k-1), \dots, u(k-m+1)]}$$

Структурная схема нейросетевого регулятора на основе нелинейной авторегрессионной модели и переходная характеристика нейросетевой системы управления с регулятором на основе нелинейной авторегрессионной модели представлена на рисунке 4.

По результатам моделирования системы нейросетевого управления с регулятором на основе нелинейной авторегрессионной модели в

системе Simulink можно сделать вывод, что показатели качества системы управления напрямую зависят от выбора такта дискретности (sampling interval).

В нашем случае такт дискретности составил 5 секунд (меньшие значения приводили к значительно худшим результатам). Время регулирования составило 28 секунд, перерегулирование – 13.5 %.



**Рисунок 4 – Структурная схема и переходная характеристика для нейросетевой системы управления с регулятором на основе нелинейной авторегрессионной модели**

В системе Simulink была также реализована система регулирования с классическим ПИД регулятором (блок PID Controller). Время регулирования составило 35 секунд, перерегулирование – 6 %.

Таким образом наилучшие показатели качества имеет нейросетевая система управления с регулятором с предсказанием. Вместе с тем её расчёт потребовал наиболее значительных вычислительных ресурсов. Нейросетевая система управления с регулятором на основе нелинейной авторегрессионной модели имеет худшие показатели качества, но требует значительно меньшего объёма вычислений. Реализованный в блоке PID Controller метод линеаризации нелинейных моделей и автоподстройки коэффициентов регулятора дал неплохие результаты при значительно меньших объёмах вычислений.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Терехов, В.А. Нейросетевые системы управления / В.А. Терехов, Д.В. Ефимов, И.Ю. Тюкин. М.: Высш. Шк., 2002.
2. Комашинский, В.И. Нейронные сети и их применение в системах управления и связи / В.И. Комашинский, Д.А. Смирнов М.: Горячая линия-Телеком, 2003
3. Медведев, В.С. Нейронные сети. MATLAB 6 / В.С. Медведев, В.Г. Потёмкин. М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2002.