

УДК 621.11-52: 681.3

*ИСТОМИН А.Е.*, НТУ «ХПИ»

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НЕЙРОСЕТЕВОЙ МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ СИСТЕМЫ НАВЕДЕНИЯ ТАНКОВОЙ ПУШКИ**

У даній статті розглянуто експериментальні дослідження нейромережевої мікропроцесорної системи наведення танкової гармати. Наведені результати експериментальних досліджень нейромережевої системи керування з нейроконтролером навченим безпосередньо по фізичній моделі системи наведення.

**Постановка проблеми.** Нейросетевые технологии дают возможность преодолеть недостатки присущие традиционным методам настройки контроллеров по модели объекта управления и позволяют производить настройку (обучение) нейроконтроллера (НК) непосредственно по физической модели объекта. Такая постановка является наиболее привлекательной т.к. она исключает переход от модели к реальному объекту.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Настройка параметров нейрорегулятора по математической модели и нейроэмулятору объекта управления, как показано в работах [1,2,3], дает достаточно хорошие результаты с точки зрения качества получаемых нейросетевых систем управления (НСУ). Однако при переходе от компьютерного моделирования НСУ к реальной системе, возникает проблема доработки, настройки и отладки контроллера в новых условиях. Это связано с тем, что контроллер настраивался на модели объекта, которым ему предстоит управлять в реальных условиях. В большинстве случаев это приводит к достаточно большим временным затратам, пока произойдет полная отладка контроллера.

**Формулировка цели.** Целью работы является проведение экспериментальных исследований нейросетевой микропроцессорной системы наведения танковой пушки на физической модели объекта.

**Физическая модель системы наведения танковой пушки.** Разработанная экспериментальная установка структурно представляет собой информационно-управляющий комплекс. Основным управляющим элементом данного комплекса выступает микропроцессорный блок с микроконтроллером, который осуществляет управление системой наведения танковой пушки. Информационная часть состоит из набора датчиков, которые дают информацию о текущем состоянии объекта.

Микроконтроллер соединен с персональным компьютером (ПК) через специальные разъемы каналами ISP и RS-232 интерфейсов. По каналу ISP в микроконтроллер «записывается» (записывается) рабочая программа (программная реализация нейронной сети), которая реализует нейросетевой закон управления. По каналу RS-232 интерфейса происходит обмен информации микроконтроллера с ПК. С помощью канала RS-232 в ПК передается информация о состоянии объекта, для вычисления показателей качества переходного процесса, а в микроконтроллер поступает информация о задающем воздействии и параметрах настройки НК [3].

Рабочий макет системы наведения представляет собой следящую электромеханическую систему, в состав которой входят следующие элементы:

- 1) плата управления с цифровым регулятором на микроконтроллере;
- 2) исполнительный микродвигатель постоянного тока;
- 3) тахогенератор из такого же двигателя, как и исполнительный;
- 4) потенциометрический задатчик угла;
- 5) потенциометрический датчик угла;
- 6) редуктор;
- 7) объект в виде физической модели системы наведения (рис. 1).

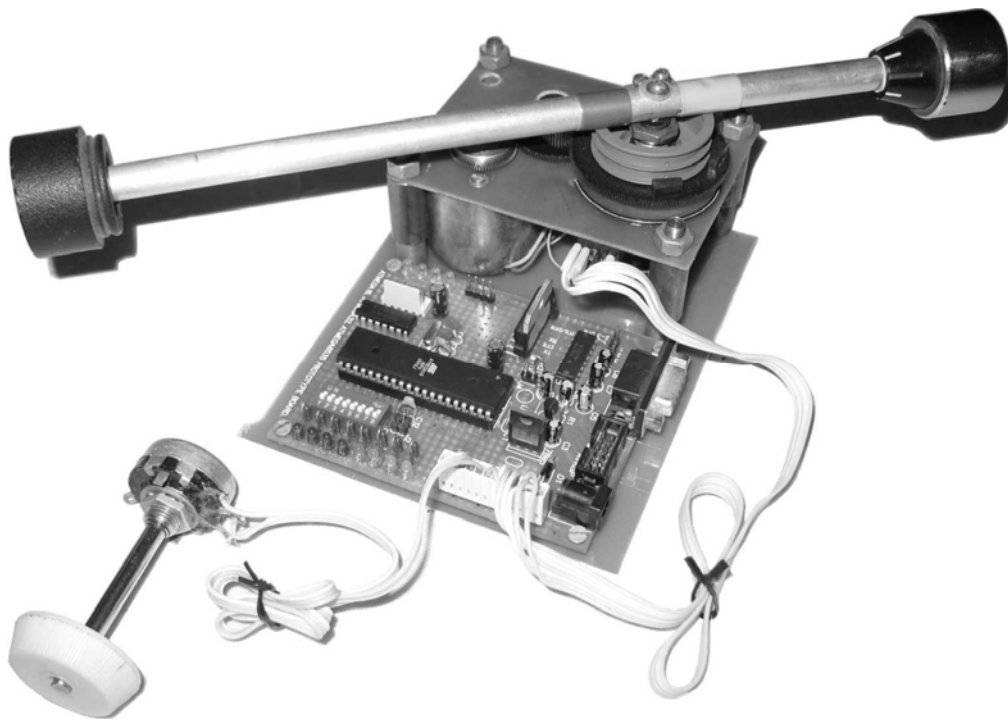


Рисунок 1 – Физическая модель системы наведения

**Экспериментальные исследования нейросетевой системы управления с НК, обученным по физической модели.** Рассмотрим задачу синтеза нейросетевой системы управления с дискретным нейроконтроллером обучающимся по физической модели объекта.

Воспользуемся для этого методикой синтеза, представленной в [3,4], и произведем настройку нейронной сети с архитектурой 3-10-1 генетическим алгоритмом. Глубины задержек по выходу и входу объекта управления, положим равными:

$$l_1 = 1; \quad l_2 = 0.$$

Тогда закон управления, реализуемый НК, имеет следующий вид

$$u(k) = NC(\varepsilon_\phi(k), \omega_{\phi_m}(k), \omega_{\phi_m}(k-1)),$$

где  $NC$  – функция формирования сигнала нейросетевым регулятором;  $\varepsilon_{\phi}(k) = \phi_z(k) - \phi_{\phi_m}(k)$  – ошибка по углу;  $\omega_{\phi_m}$  – выходной сигнал по скорости с тахогенератора.

Нейросетевые алгоритмы управления успешно реализуются на персональных компьютерах с помощью специализированных и универсальных программных продуктов. Так, популярный пакет MATLAB версий 7.x содержит средства, позволяющие моделировать и обучать нейронные сети по методу генетических алгоритмов. Он содержит специальный модуль Genetic Algorithm and Direct Search Toolbox позволяющий использовать генетический алгоритм для оптимизационных задач. В данном случае для настройки параметров НК [5].

Микроконтроллер соединен с персональным компьютером (ПК) посредством двух интерфейсов ISP и последовательного порта RS-232. По каналу ISP в микроконтроллер записывается рабочая программа, а через последовательный порт RS-232 происходит обмен информацией с ПК. Функциональная схема работы исследовательского стенда в процессе настройки нейрорегулятора представлена на рис. 2.

Процедура настройки нейрорегулятора состоит из нескольких этапов. На первом этапе происходит запись в контроллер рабочей программы с нейрорегулятором и формирование в рабочей области MATLAB-а переменных параметров системы – матриц весовых коэффициентов нейронной сети.

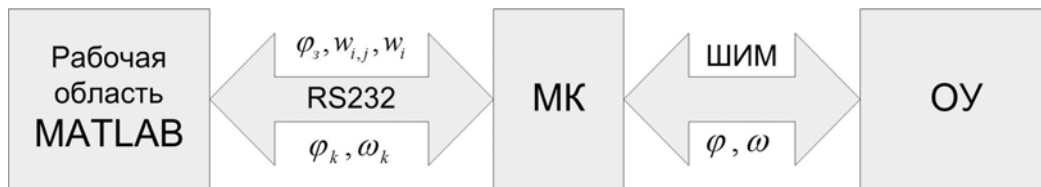


Рисунок 2 – Функциональная схема работы исследовательского стенда: МК – микроконтроллер; ШИМ – широтно-импульсный модулированный сигнал управления исполнительным приводом; ОУ – объект управления;  $\phi_z$  – сигнал угла задания;  $W_{i,j}, W_i$  – матрицы весовых коэффициентов НК;  $\phi_k, \omega_k$  – массивы значений угла и скорости объекта;  $\phi, \omega$  – сигналы с датчиков угла и скорости

На втором этапе происходит настройка параметров НК по программе разработанной в пакете MATLAB [6]. Разработанная в пакете MATLAB программа, реализует генетический алгоритм, а так же обмен данными из рабочей области пакета MATLAB через последовательный порт RS-232 с микроконтроллером. После того, как программа запущена, происходит формирование набора входных сигналов задания, матриц весовых коэффициентов и массивов сигналов обратной связи по углу и скорости объекта управления.

Формирование набора входных сигналов задания происходит программно, поскольку, в ручном режиме (с помощью потенциометра задатчика) его воспроизвести практически невозможно. Формирующая входные сигналы система представляет собой два звена: генератор случайных величин и апериодическое звено с постоянной времени  $T_0 = 0.02$  с. На вход апериодического звена подается сгенерированное случайное число с периодом 2 с. Продолжительность подачи задающих сигналов равна 100 с.

В процессе обработки объектом задающих сигналов в рабочей области происходит заполнение массивов данных с датчиков обратных связей по угловому отклонению и скорости объекта управления.

Как и в случае обучения НК по эмулятору объекта в схеме обучения на физической модели также имеется несколько уровней дискретизации. Первый уровень относится к времени дискретности получения значений угла и скорости с датчиков на физической модели, а второй к дискретности сигнала управления. Шаг дискретности сигналов обратных связей равен  $\Delta_{oc} = 0.01$  с, а дискретность сигнала управления НК  $\Delta_u = 0.02$  с. Таким образом, моделирование переходных процессов в НСУ происходит с шагом  $\Delta_{oc}$ , а сигнал управления вычисляется раз за два шага расчета по физической модели.

Для оценки качества работы НСУ введем следующий функционал [1,3]

$$I(\varphi_k) = \frac{1}{k_T} \sum_{k=1}^{k_T} \left[ E_k \cdot t_k + \gamma \frac{E_k}{t_k + 0.01} \right],$$

где  $E_k = ((\phi_3(k) - \phi_{\phi_m}(k)) \cdot t_k)^2$ ;  $\gamma$  – весовой коэффициент, определяемый экспериментально.

Далее определим область поиска для нейронной сети:

$$w_{i,j} \in [-1,1], i = \overline{0,3}, j = \overline{1,10}, w_i \in [-1,1], i = \overline{0,10}.$$

Таким образом, процедура настройки (обучения) НК представляет собой следующий процесс. После того, как сформированы все массивы данных, происходит вычисление функционала и подстройка весовых коэффициентов нейронной сети генетическим алгоритмом. Далее новые параметры регулятора записываются в микроконтроллер. Тогда снова происходит подача на объект входных сигналов, формирование массивов обратных связей, вычисление функционала и настройка параметров нейрорегулятора. Этот процесс (обучение нейронной сети) повторяется до тех пор, пока не будут найдены такие параметры НК, которые обеспечивают требуемые показатели качества.

**Отладка микропроцессорной системы.** Прежде чем переходить к физической модели с реальным микроконтроллером, произведем предварительную отладку системы управления с помощью программы компьютерного моделирования электронных устройств ISIS, входящую в состав системы PROTEUS VSM. В отличие от многих других эта программа способна моделировать устройства не только на дискретных компонентах, обычных аналоговых и цифровых микросхемах, но и на микроконтроллерах.

Симулятор дает возможность "заглянуть внутрь" микроконтроллера, сопоставив форму и характер сигналов на его выводах с ходом исполнения программы и изменениями состояния внутренних регистров. К этим регистрам модели (в отличие от реальной микросхемы) всегда имеется доступ. Возможность проверять работу микроконтроллеров всех популярных семейств в реальном масштабе времени и во

взаємодії з моделями реальних джерел сигналу і навантажок вигідно відрізняє ISIS від простіших симуляторів, існуючих в системах розробки програм і зазвичай дозволяють лише слідувати за ходом поетапного виконання програми.

Вповне достаточен існуючий в ISIS набір віртуальних вимірних приладів, серед яких вольтметр, амперметр, осцилограф, логічний аналізатор, генератори всіх можливих сигналів. Існує можливість спостерігати за станом внутрішніх регістрів мікроконтролерів різних сімейств, коректувати і налаштовувати їх програми. На рис. 3 представлена схема створена в пакеті ISIS для попередньої налагодки.

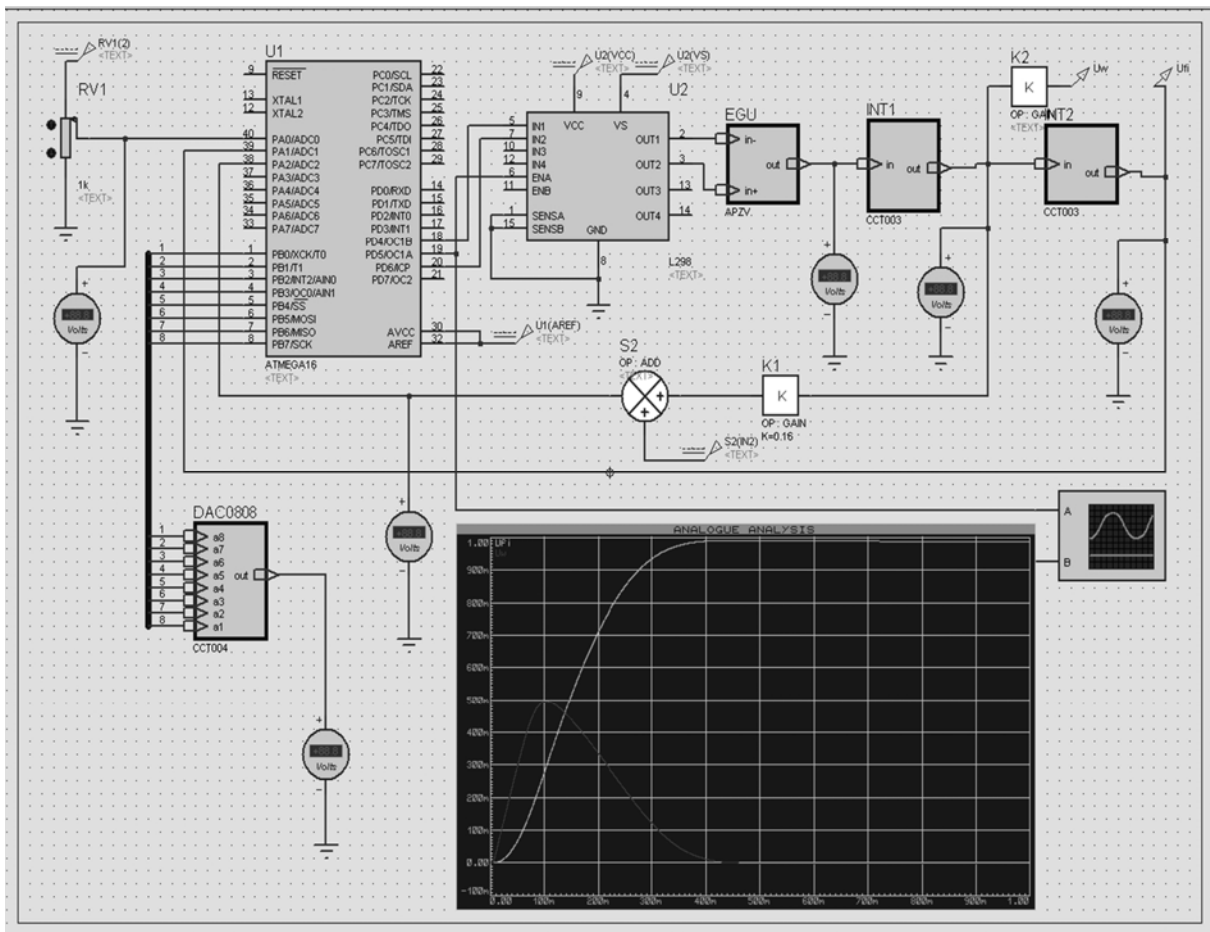


Рисунок 3 – Схема мікропроцесорної НСУ в пакеті ISIS

Даний крок дозволив прискорити процес доработки і дав можливість усунути помилки і неточності в програмній прошивці контролера. Представлена схема складається з мікроконтролера, блоку формування ШІМ сигналу і спрощеної моделі об'єкта.

**Результати експериментальних досліджень.** В процесі навчання НК на фізичній моделі були отримані параметри вагових коефіцієнтів нейрорегулятора (нейронної мережі), які залишилися записаними в пам'яті мікропроцесора, що дозволяє без додаткових операцій перейти к

эксперименту. Как и при обучении, в ходе эксперимента, сигналы задания будет генерировать компьютер. В результате проведенного эксперимента были получены графики сигнала по углу, представленные на рис. 4а,б.

**Выводы.** В статье рассмотрены вопросы экспериментальных исследований нейросетевой микропроцессорной системы наведения танковой пушки с НК обученным по физической модели объекта.

Анализ, полученных в ходе эксперимента, результатов позволяет сделать вывод о достаточно эффективном подходе к синтезу нейросетевой системы управления. Нейроконтроллер, обученный по физической модели объекта показал лучшие результаты, чем НСУ обученной на НЭ и СУ с ПД-регулятором. Перерегулирование не превышает 3 %, время переходного процесса составляет 0,6 с и количество колебаний в пределах 1 – 1.5. Однако, следует отметить достаточно продолжительное время обучения, которое составило порядка 4-5 часов.

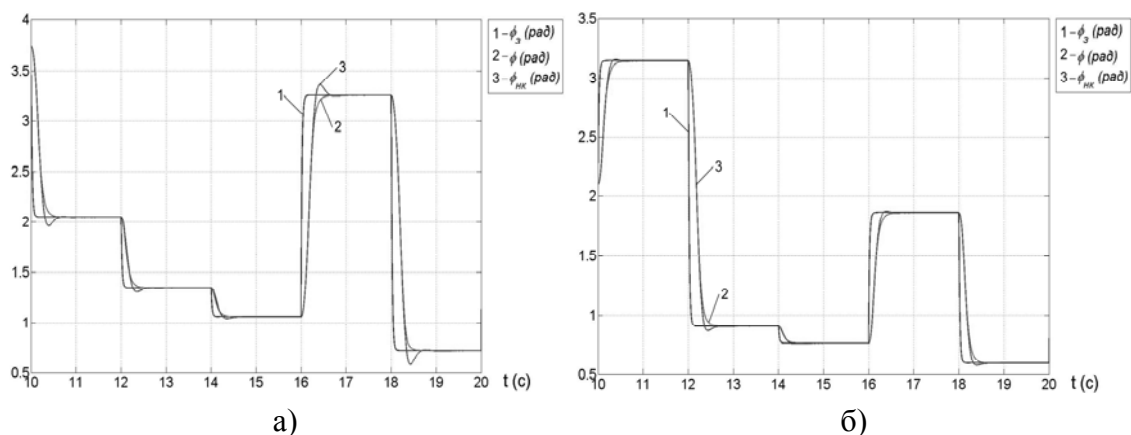


Рисунок 4 – Графики сигнала задания (1), обратной связи по углу для НК настроенного по НЭ (2) и физической модели (3)

**Список литературы:** 1. Никонов О.Я., Истомин А.Е. Нейрокибернетический подход к проблеме синтеза интеллектуальных систем управления колесных и гусеничных машин Сб. науч. тр. «Автомобиле- и тракторостроение». – Харьков: НТУ «ХПИ», 2005. – №10. – С. 51–54. 2. Никонов О.Я., Истомин А.Е. Система нейроруавления силовым следящим приводом Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХП», 2003. – №27. – С. 20–23. 3. Александров Е.Е., Богатыренко К.И., Истомин А.Е. Физическое моделирование нейросетевой микропроцессорной системы наведения танковой пушки // Артиллерийское и стрелковое вооружение. – 2007. – №1. – С. 27–30. 4. Вороновский Г. К., Махотило К. В., Петрашев С. Н., Сергеев С. А. Генетические алгоритмы, искусственные нейронные сети и проблемы виртуальной реальности. – Х.: Основа, 1997. – 112 с. 5. [www.mathworks.com/contact\\_TS.html](http://www.mathworks.com/contact_TS.html). Genetic Algorithm and Direct Search Toolbox™ User's Guide. 6. Matlab R2007 с нуля.: [пер. с англ.] / Brian R. Hunt [и др.]. - М.: Лучшие книги, 2008. - 352 с.: ил.