

## НЕЙРОСЕТЕВОЕ УПРАВЛЕНИЕ ДВУХМАССОВОЙ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ

**Постановка проблемы.** Используемые в настоящее время системы наведения и стабилизации вооружения легкобронированных машин не могут обеспечивать требуемых для эффективного ведения огня значений ошибки стабилизации, диапазона регулирования скорости, несплавности наведения и др. Поэтому разработка систем управления вооружением, имеющих высокие динамические характеристики, является важной и актуальной. Одним из наиболее перспективных направлений является построение нейросетевых систем управления.

**Анализ последних достижений и публикаций.** В последнее десятилетие проводятся большие работы по применению нейронных сетей в системах управления. В [1] рассмотрены вопросы теории и методы синтеза систем управления нелинейными динамическими объектами на основе обучаемых многослойных сетей. Многочисленные публикации, например [2,3] посвящены синтезу современных регуляторов электромеханических систем на основе методов фаззи – логики, нейронных сетей и генетических алгоритмов. Анализ последних достижений и публикаций по синтезу нейросетевых систем управления нелинейными динамическими объектами показывает, что данное направление является перспективным.

**Цель статьи.** Целью работы является синтез нейросетевой системы наведения и стабилизации вооружения легкобронированных машин, имеющей высокие динамические характеристики.

**Изложение материала исследования, полученных научных результатов.** Исполнительное устройство стабилизатора вооружения легкобронированных машин состоит из усилителя мощности, приводного двигателя и кинематического устройства сопряжения. Кинематическая схема системы наведения и стабилизации содержит упругие. Наличие упругих элементов усложняет расчетную схему механической части системы, превращая её в многомассовую. Система управления является существенно нелинейной, что обусловлено наличием момента сухого трения в подшипниках приводного двигателя и момента трения в кинематическом устройстве сопряжения, а так же наличием люфта между зубьями ведущей и ведомой шестерни. На вооружение действуют внешние возмущающие моменты, обусловленные колебаниями корпуса.

Для обеспечения высоких динамических характеристик системы наведения и стабилизации вооружения легкобронированной машины разработана двухконтурная система подчинённого регулирования с нейронной компенсацией нелинейностей исполнительного устройства стабилизатора вооружения в контуре регулирования скорости. Регулятор положения может быть линейным. Структурная схема нейросетевой системы управления, разработанная в Simulink системы MATLAB показана на рис. 1.

На рис. 2 показана схема модели объекта регулирования (Subsystem). Блоки MATLAB Fcn и MATLAB Fcn1 используются для задания моментов сухого трения на валу двигателя и механизма. Блок Dead Zone служит для моделирования люфта в кинематическом устройстве сопряжения.

В качестве нейрорегулятора контура скорости выбран регулятор с предсказанием NN Predictive Controller; реализованный в пакете прикладных программ Neural Network Toolbox системы MATLAB. При построении регулятора использован принцип предиктивного метода регулирования на основе модели, который заключается в формировании такой последовательности сигналов воздействия на объект, которая минимизирует разность между заданием и предсказываемым моделью процессом выходным сигналом в будущем.

Синтез нейроконтроллера состоит из двух этапов: этап идентификации объекта управления и этап синтеза закона управления. На этапе идентификации разрабатывается модель управляемого объекта в виде нейронной сети, которая на этапе синтеза используется для синтеза регулятора.

Был выполнен синтез нейроконтроллера и приведены всесторонние исследования системы при различных входных воздействиях с учётом возмущающих моментов, действующие на вооружение. Случайные изменения возмущающего момента  $M_c(t)$  формируются от источника случайного сигнала типа белого шума интенсивно-

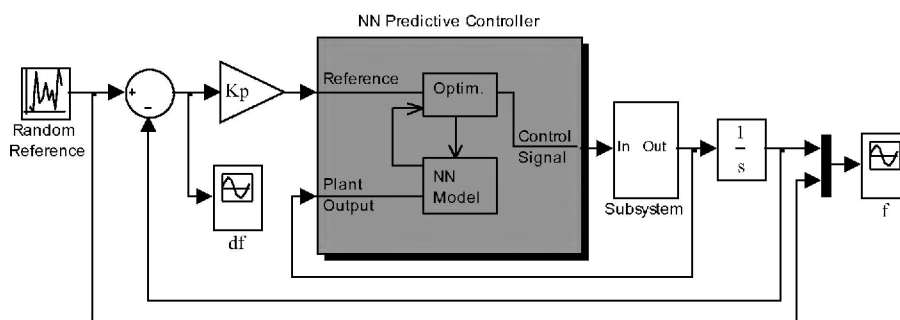


Рис. 1. Схема нейросетевой системы управления

стью  $\nu$  с помощью формирующего фильтра с передаточной функцией колебательного звена (см. рис.2). Параметры формирующего фильтра выбираются таким образом, чтобы спектральная плотность выходного сигнала совпадала с кривой экспериментальной спектральной плотности, полученной на основе статистической обработки реальных трасс.

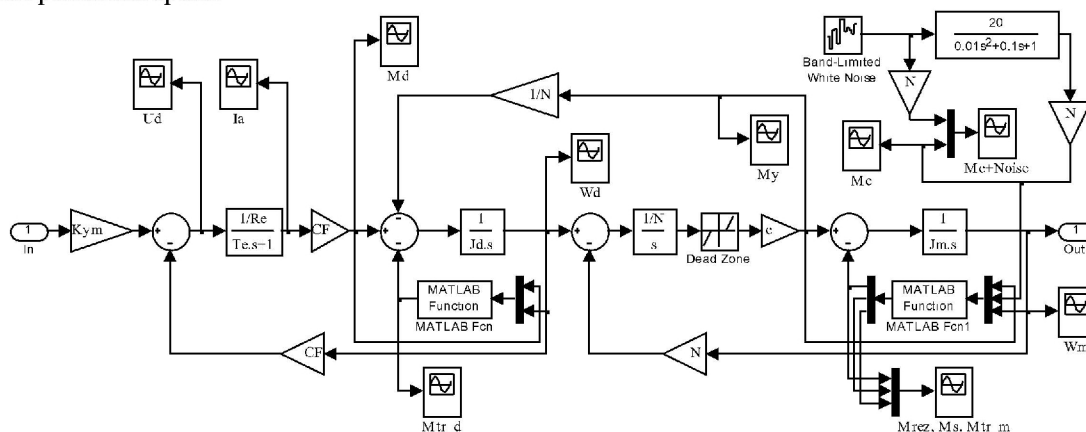


Рис.2. Схема модели объекта управления

Расчёт переходных процессов в системе с учётом момента сухого трения на валу рабочего механизма и возмущающего воздействия имеет ряд особенностей. Возмущающий момент носит активный характер, а момент трения - пассивный характер. Следовательно, при переходе скорости через ноль суммарный момент на валу двигателя  $M_{\Sigma}(t)$  изменяется скачком. В эти моменты времени расчёт переходных процессов происходит крайне медленно.

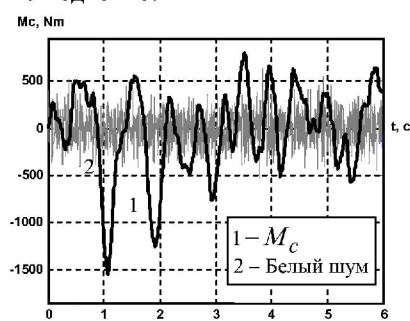


Рис.3. Возмущающий момент  $M_c(t)$

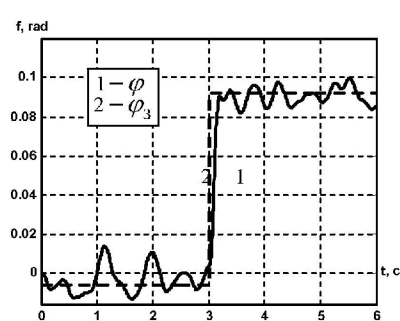


Рис 4. Отработка заданного угла  $\varphi$  в системе без

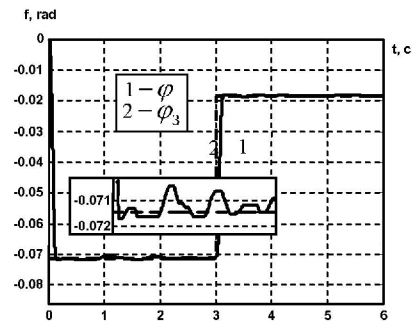


Рис 5. Отработка заданного угла  $\varphi$  в системе с нейрорегулятором

На рис. 3 показан график возмущающего момента  $M_c(t)$ . На рис. 4 представлен график отработки заданного угла  $\varphi$  в системе без нейрорегулятора, а на рис.5 – в системе с нейрорегулятором в контуре скорости. В системе без нейрорегулятора отклонения угла  $\varphi$  от установившегося значения составляют в среднем  $\pm 0,017$  рад, что соответствует  $\Delta\varphi = \pm 1^\circ$ . Как видно из графиков, отклонения угла  $\varphi$  от установившегося значения в системе с нейрорегулятором уменьшились более чем в 20 раз и составляют в среднем  $\pm 0,0008$  рад, что соответствует  $\Delta\varphi = \pm 0,046^\circ$ .

**Выводы.** В работе выполнен синтез нейросетевой системы наведения и стабилизации вооружения легкобронированных машин с использованием нейроконтроллера с предсказанием NN Predictive Controller, реализованного в пакете прикладных программ Neural Network Toolbox системы MATLAB. Выполнено моделирование системы без нейрорегулятора и системы с нейрорегулятором при наличии внешних возмущающих воздействий. Показано, что применение нейрорегулятора позволило уменьшить ошибку регулирования в 20 раз.

#### Литература

1. Терехов В.А., Ефимов Д.В., Тюкин И.Ю. Нейросетевые системы управления. - М.: ИПРЖР, 2002. - 480 с.
2. Клепиков В.Б., Махотило К.В., Сергеев С.А. Применение методов нейронных сетей и генетических алгоритмов в решении задач управления электроприводами // Электротехника.- 1999.- №5. - С. 2-6.
3. Нейро-фаззи регулятор для электроприводов с проскальзыванием: Клепиков В.Б., Клепиков А.В., Глебов О.Ю., Моисеенко П.Л., Полянская И.С. // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут».- Харків: НТУ«ХПІ».- 2002.- №9, Т.4.- С.47-52.