



М.В. Бураков

МОДИФИКАЦИЯ АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ С ЭТАЛОННОЙ МОДЕЛЬЮ

(Санкт-Петербургский государственный
университет аэрокосмического приборостроения)

Адаптивные системы с эталонной моделью (АСЭМ) относятся к классу систем прямого адаптивного управления [1]. Как правило, эталонная модель имеет простую структуру, это может быть, например, передаточная функция невысокого порядка. Механизм настройки параметров регулятора стремится минимизировать ошибку между выходом замкнутой системы $y(t)$ и выходом модели $y_m(t)$:

$$e(t) = y(t) - y_m(t) \rightarrow 0.$$

Рассмотрим простой алгоритм адаптации, использующий так называемое *правило MIT* (от *Massachusetts Institute of Technology*) [1, 2].

Определим целевую функцию, подлежащую минимизации, в виде:

$$J(\theta) = \frac{1}{2} e^2(\theta),$$

где θ - настраиваемые параметры. Таким образом, целевая функция всегда положительна, и уменьшение $J(\theta)$ означает уменьшение e .

Правило *MIT* предполагает изменение параметров θ в направлении анти-градиента целевой функции:

$$\frac{d\theta}{dt} = -k \frac{\partial J}{\partial \theta} = -k \left(e \frac{\partial e}{\partial \theta} \right).$$

Коэффициент k определяет длину шага в процессе минимизации.

Выберем закон управления в виде

$$u(t) = \theta_1 g(t) - \theta_2 y(t).$$

Для объекта управления 2-го порядка закон адаптации имеет вид [1]:

$$\begin{cases} \frac{d\theta_1}{dt} = -\gamma \frac{\partial e}{\partial \theta_1} e = -\gamma \left(\frac{a_{1m}s + a_{0m}}{s^2 + a_{1m}s + a_{0m}} g(s) \right) e, \\ \frac{d\theta_2}{dt} = \gamma \frac{\partial e}{\partial \theta_2} e = \gamma \left(\frac{a_{1m}s + a_{0m}}{s^2 + a_{1m}s + a_{0m}} y(s) \right) e. \end{cases} \quad (1)$$

где θ_1 и θ_2 - настраиваемые параметры, a_{1m} и a_{0m} - параметры модели, $g(t)$ - входной сигнал, γ - коэффициент скорости адаптации.

Выбор константы γ имеет большое значение для качества адаптации. Предлагаемая модификация АСЭМ заключается в использовании переменного значения коэффициента скорости адаптации, для выработки которого применяется обучаемая искусственная нейронная сеть (ИНС).

Входом ИНС служит $e(t)$, а также ее производная и интеграл (или их дискретные аналоги). В зависимости от решаемой задачи ИНС может иметь и другие входы.



Рассмотрим применение модификации АСЭМ в задаче управления двигателем постоянного тока (ДПТ). Цель адаптации здесь может ставиться как поддержание постоянной скорости вращения $\omega(t)$ при изменении момента нагрузки $M_H(t)$ на валу двигателя. Структура системы управления представлена на рис. 1.

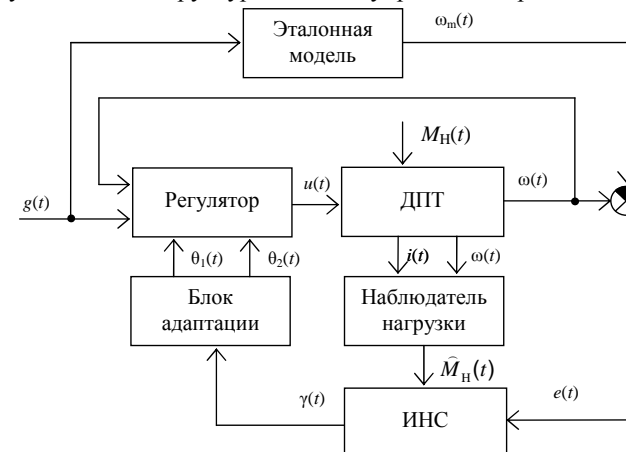


Рис. 1. Структура модифицированной АСЭМ

Одним из входов ИНС является оценка момента нагрузки, таким образом, ИНС имеет 3 входа (рис. 2).

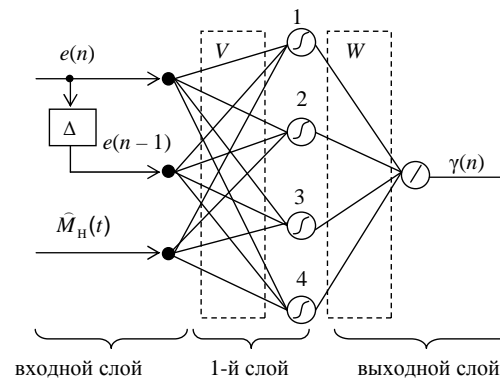


Рис. 2. Структура ИНС

Матрица весов V здесь полагается заданной исходя из способа аппроксимации интеграла и производной [3, 4]:

$$V = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$



Активационные функции описываются с помощью кусочно-линейной аппроксимации.

В процессе обучения необходимо определить параметры активационных функций нейронов 1-го слоя и веса выходного слоя W . Для решения задачи был использован генетический алгоритм [5, 6]. Длина хромосомы здесь составила 20 генов – действительных чисел.

При вычислительном эксперименте в среде Simulink MatLab рассматривалось скачкообразное изменение нагрузки (рис. 3 и 4).

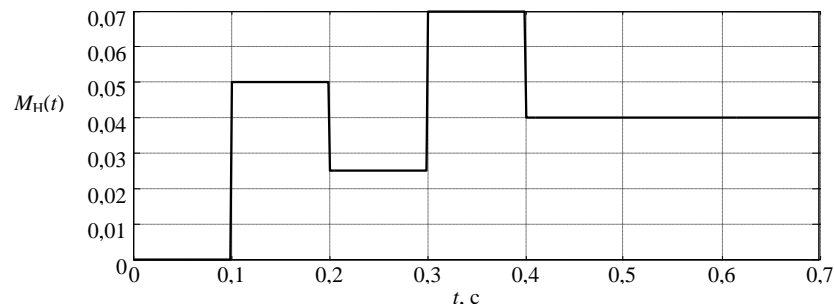


Рис. 3. Изменение нагрузки на валу двигателя

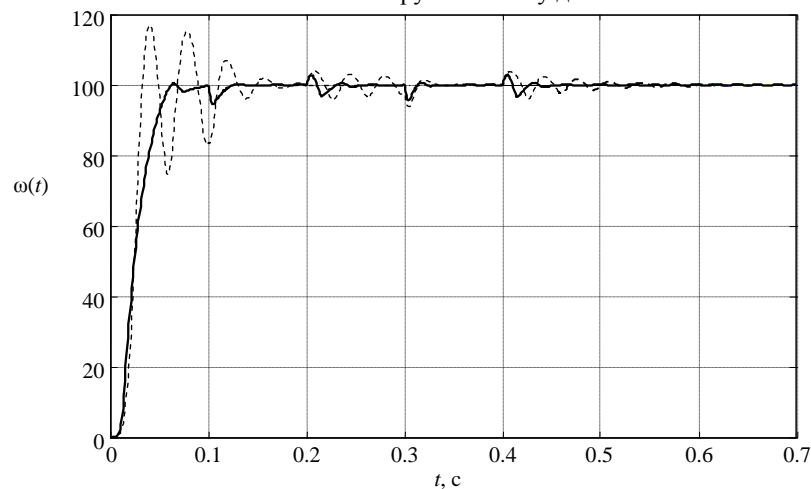


Рис. 4. Сравнение работы вариантов АСЭМ

Как показал эксперимент, наилучшим постоянным коэффициентом адаптации является $\gamma = 0,5$. На рис. 4 приведено сравнение работы АСЭМ с постоянным коэффициентом адаптации (пунктир) и АСЭМ с переменным γ , управляемым обученной ИНС.

На рис. 5 приведен график изменения γ во время переходного процесса.

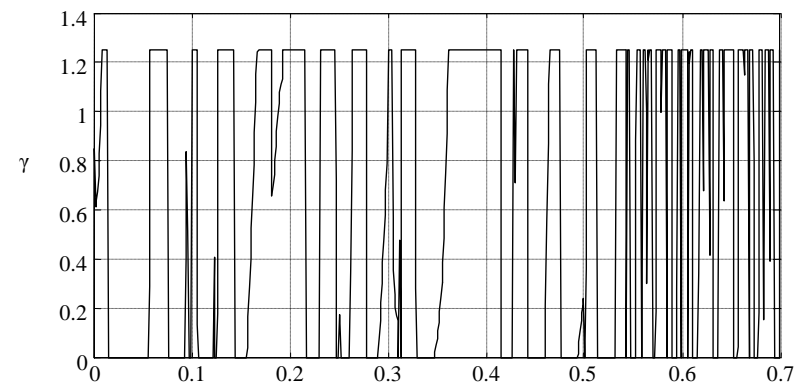


Рис. 5. Изменение коэффициента скорости адаптации

Таким образом, нейросетевое управление коэффициентом скорости адаптации АСЭМ обеспечивает заметное улучшение качества переходных процессов. Такая модификация АСЭМ может быть использована в системах электропривода и других приложениях.

Литература

1. Astrom K. J., Wittenmark B. Adaptive Control, Addison Wesley, 1995. 574 p.
2. Gang T. Adaptive control design and analysis. John Wiley & Sons, New Jersey, 2003. 601 p.
3. Бураков М.В. Нейросетевая реализация ПИД-регулятора // XVI Всероссийская НТК «Нейроинформатика-2014»: Сборник научных трудов. В 3-х частях. Ч. 3. М.: НИЯУ МИФИ, 2014. С.117-125.
4. Бураков М.В. Конструирование нечеткого регулятора ПИД-типа // Перспективные информационные технологии (ПИТ 2015), Том 1: труды Международной НТК / под ред. С.А. Прохорова. – Самара: Издательство Самарского научного центра РАН, 2015. С. 152-155.
5. Бураков М.В. Синтез нейронного регулятора // Изв. Академии наук. Теория и системы управления, 1999, №3, С.140-145.
6. Бураков М.В. Генетический алгоритм: теория и практика. СПб, ГУАП. 2008. 164с.