

# Исследование нечеткого регулятора для линейного двигателя

Т. С. Леготкина, Е. А. Толчанов,  
А. И. Горожанкин, И. И. Безукладников  
Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет

Нгуен Вьет Фьонг  
Санкт-Петербургский государственный  
электротехнический университет  
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

**Abstract.** The fuzzy controller model for controlling of the linear motor to provide high-quality work was presented in the article.

**Keywords:** linear motor; physical model; system control model; neuro-fuzzy controller; fuzzyfication unit; amplifier unit

Линейные двигатели способны обеспечивать решение широкого спектра промышленных задач. Со временем технический прогресс нуждается в усовершенствовании характеристик приводов, а именно: закона изменения скорости, способности точного позиционирования, компактности, мощности.

Обеспечение качественной работы линейного двигателя является одной из наиболее актуальных задач при использовании, разработке и эксплуатации активно набирающих популярность в современном мире таких цифровых устройств, как 3D-принтеры. Необходимый закон управления двигателем 3D-принтера определим при моделировании системы. Для этого необходимо найти математическую модель линейного двигателя.

Для решения этой задачи был проведен ряд экспериментов на реальной физической модели линейного двигателя. Снят отклик физической системы на ступенчатое воздействие и получены экспериментальные данные  $w(t)$ , где  $w$  – скорость движения каретки, а  $t = k \cdot \Delta t$ ,  $\Delta t$  – шаг по времени (например,  $\Delta t = 0,5$ ).

В результате проведения эксперимента были получены 108 значений. Для лучшего восприятия данных применим сжатие и деление всех экспериментальных данных на 10000. Процесс сжатия выполнялся на основе алгоритма с адаптивной дискретизацией. У данного алгоритма параметры адаптации были подобраны на основе экспериментальных данных. Выходной сигнал подвержен помехам, поэтому произведем фильтрацию данных, используя алгоритм оценочной фильтрации нулевого порядка с допустимой предельной скоростью изменения, полученной на основе экспериментальных данных [1]. В итоге получаем выходной сигнал отклика системы на единично-ступенчатое воздействие, после сжатия и фильтрации данных (рис. 1).

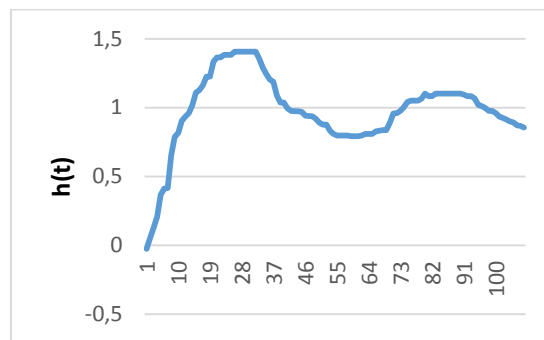


Рис. 1. Переходный процесс физической системы.

По графику переходного процесса предложено использовать колебательное звено 2-го порядка, которое описывается следующим дифференциальным уравнением:

$$\frac{d^2 y(t)}{dt^2} + \frac{2ET}{T^2} \frac{dy(t)}{dt} + \frac{1}{T^2} y(t) = \frac{K}{T^2} x(t)$$

Решением данного дифференциального уравнения является функция следующего вида:

$$y(t) = K \left[ 1 - \frac{1}{\sqrt{1-E^2}} e^{-\frac{Et}{T}} \sin \left[ \frac{\sqrt{1-E^2}}{T} t + \arctg \left( \frac{\sqrt{1-E^2}}{E} \right) \right] \right]$$

Используя метод прямого поиска найдены коэффициенты модельной функции:  $E=0.229505$ ,  $T=8.28230$ ,  $K=1.0005$ .

С учетом найденных коэффициентов дифференциальное уравнение будет иметь следующий вид:

$$\frac{d^2 y(t)}{dt^2} + 0.0554 \cdot \frac{dy(t)}{dt} + 0.0145 \cdot y(t) = 0.0145 \cdot x(t)$$

Как видно из рис. 2, изменение скорости движения на ступенчатое воздействие имеет колебательный характер с большим перерегулированием (49 %), и постоянной времени (222). В качестве управляющего устройства для обеспечения требуемых динамических характеристик используем нейро-нечеткий регулятор.

Нейро-нечеткий регулятор рис. 2 состоит из фаззификатора, блока правил, и усилительного блока. Блока правил, включает в себя блок адаптации, блок импликации и нормализации.

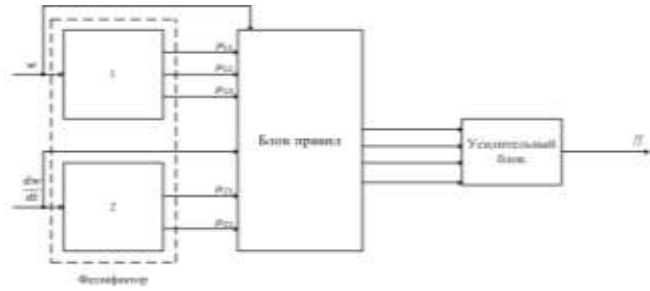


Рис. 2. Структурная схема нейро-нечеткого регулятора

Для исследования было использовано несколько систем управления, отличающихся схемами фаззификаторов с разными диапазонами изменения входного сигнала (0;1) и (-1;1), а также активационными функциями усилительного блока.

Блок фаззификации для диапазона (0;1) состоит из двух частей: первый фаззификатор для преобразования сигнала обратной связи по скорости перемещения каретки (содержит 3 термы –  $\mu_{11}, \mu_{12}, \mu_{13}$ ), второй – для преобразования сигнала по производной – ускорения (содержит 2 термы –  $\mu_{21}, \mu_{22}$ ). Термы линейные и описываются следующими выражениями для диапазона (0;1):

$$\mu_{11} = \begin{cases} 1, & \text{при } \omega < 0; \\ (1 - \omega), & \text{при } 0 \leq \omega < 1; \\ 0, & \text{при } \omega \geq 1; \end{cases}$$

$$\mu_{12} = \begin{cases} 2\omega, & \text{при } 0 \leq \omega \leq 0,5; \\ 2(1 - \omega), & \text{при } 0,5 \leq \omega \leq 1; \end{cases}$$

$$\mu_{13} = \begin{cases} 0, & \text{при } \omega < 0; \\ \omega, & \text{при } 0 \leq \omega < 1; \\ 1, & \text{при } \omega \geq 1; \end{cases}$$

$$\mu_{21} = \begin{cases} 1, & \text{при } \omega' < 0; \\ (1 - \omega'), & \text{при } 0 \leq \omega' < 1; \\ 0, & \text{при } \omega' \geq 1; \end{cases}$$

$$\mu_{22} = \begin{cases} 0, & \text{при } \omega' < 0; \\ \omega', & \text{при } 0 \leq \omega' < 1; \\ 1, & \text{при } \omega' \geq 1; \end{cases}$$

По приведенному алгоритму также был построен блок фаззификации для диапазона (-1;1).

Для получения лучших динамических характеристик работы нейро-нечеткого регулятора исследовано четыре активационных функции, определяющих работу усилительного блока.

$$f_1(x) = \frac{1}{1+e^{-kx}} - \text{смещённая сигмоидальная функция};$$

$$f_2(x) = \frac{1-e^{-kx}}{1+e^{-kx}} - \text{симметричная сигмоидальная функция};$$

$$f_3(x) = \frac{e^{kx}-e^{-kx}}{e^{kx}+e^{-kx}} - \text{гиперболический тангенс};$$

$$f_4(x) = \frac{2}{\pi} \operatorname{atan}(kx) - \text{обратный гиперболический тангенс}.$$

Коэффициент «k» является настроечным параметром при моделировании.

Получены графики переходных процессов с двумя диапазонами фаззификаторов (0;1) и (-1;1) а также исследованы четыре активационные функции. Графики переходных процессов с регулятором и без представлены на рис. 3 и 4.

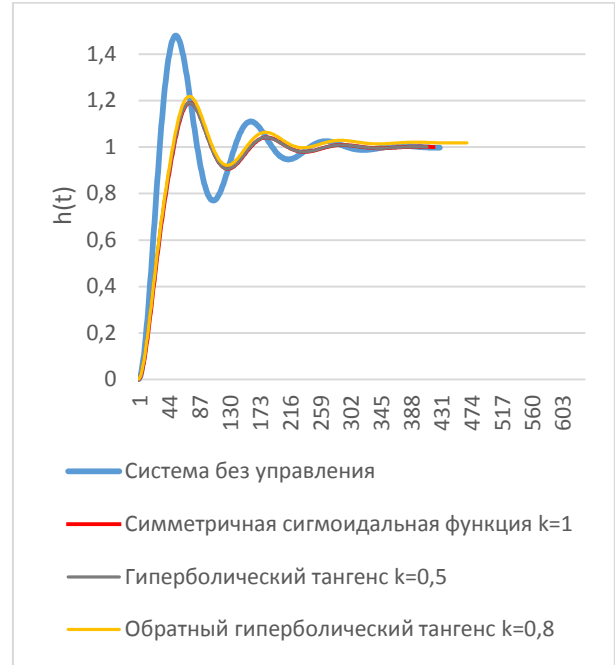


Рис. 3. Переходный процесс с нечетким регулятором с входным диапазоном (-1;1)

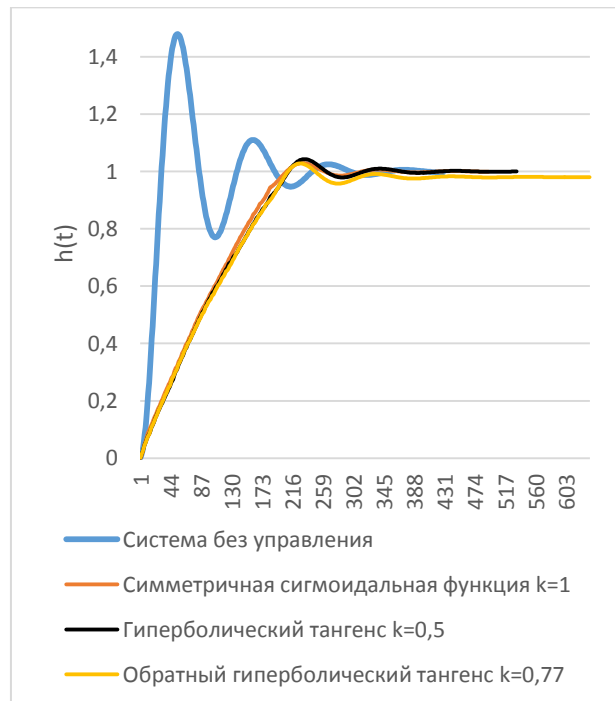


Рис. 4. Переходный процесс с нечетким регулятором с входным диапазоном (0;1)

Исследования нечеткого регулятора (рис. 2) были проведены в среде моделирования Labview [2]. Результаты исследования системы представлены в таблице.

ТАБЛИЦА I

	Без управ.	С регул. (-1;1)	С регул. (0;1)
Время переходного процесса	222	200	225
Перерегулирование	49%	19,5%	2,8%

Результаты показывают, что исходная система имеет большое перерегулирование. С нейро-нечетким регулятором для диапазона (0;1) перерегулирование значительно уменьшилось, лучший результат достигается при использовании гиперболического тангенса и

симметричной сигмоидальной функции. Для диапазона (-1;1) перерегулирование уменьшилось в два раза, время переходного процесса также уменьшилось. Наилучший результат достигается при использовании гиперболического тангенса и симметричной сигмоидальной функции. Исследования со смещенной сигмоидальной функции для двух диапазонов дает отрицательный результат с перерегулированием 100% поэтому ее нецелесообразно использовать.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Леготкина Т.С. Методы идентификации систем: учеб. пособие / Т.С. Леготкина Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2008. 123 с.
- [2] Суранов А.Я. LABVIEW 8.20 Справочник по функциям. М.: ДМК Пресс, 2007. 536 с.