

УДК 004.896

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВИГАТЕЛЕМ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКИХ ДИНАМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

Ямалов И.И., Обуденов М.С., Фаизова Р.Р.

*ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет»,
Уфа, e-mail: yamalov.i.i@mail.ru*

Современные транспортные средства на сегодняшний день оснащены множеством систем электронного управления, что определяет ряд жестких требований, предъявляемых к ним. К этим требованиям относятся: топливная экономичность, энергоэффективность, высокие требования по экологичности и эксплуатационным характеристикам. Применение интеллектуальных систем считается одним из инновационных направлений развития систем управления двигателем внутреннего сгорания. Возможность самообучения системы интеллектуального управления позволяет обойтись без точного моделирования объекта управления и функционировать в условиях, не предусмотренных на этапе проектирования. Вместе с тем прикладные основы интеллектуальных систем управления двигателем малых транспортных средств и системы контроля сложных технических объектов, включающих искусственные нейронные сети, на сегодняшний день исследованы недостаточно. В данной статье описывается архитектура построения существующих интеллектуальных систем управления. Проводится анализ последних публикаций в данной тематике. В статье производится исследование системы управления параметрами двигателя внутреннего сгорания на основе нечеткой логики управления. Для этой задачи разрабатывается компьютерная модель в программном комплексе Matlab/Simulink, регулирующая параметры двигателя на основе показаний датчиков. Рассмотрена схема построения нечеткого контроллера. На основе результатов моделирования проводятся экспериментальные исследования. Рассмотрена структура стенда. Приведено исследование расхождения результатов имитационного моделирования и эксперимента.

Ключевые слова: интеллектуальные системы управления, нечеткая логика, угол опережения зажигания, цикловое наполнение, коэффициент коррекции

EXPERIMENTAL STUDIES OF AN INTELLIGENT CONTROL SYSTEM OF AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE BASED ON FUZZY DYNAMIC MODELS

Yamalov I.I., Obudenov M.S., Faizova R.R.

Ufa State Aviation Technical University, Ufa, e-mail: yamalov.i.i@mail.ru

Modern vehicles today are equipped with a variety of electronic control systems, which determines a number of stringent requirements for them. These requirements include: fuel efficiency, energy efficiency, high requirements for environmental friendliness and performance. The use of intelligent systems is considered one of the innovative directions in the development of control systems for an internal combustion engine. The possibility of self-learning of the intelligent control system makes it possible to dispense with accurate modeling of the control object and to function under conditions not envisaged at the design stage. At the same time, the applied foundations of intelligent control systems for the engine of small vehicles and control systems for complex technical objects, including artificial neural networks, have not been sufficiently studied to date. This article describes the architecture for building existing intelligent control systems. The analysis of recent publications on this topic is carried out. The article studies the control system for the parameters of an internal combustion engine based on fuzzy control logic. For this task, a computer model is being developed in the Matlab / Simulink software package, which regulates engine parameters based on sensor readings. The scheme of construction of a fuzzy controller is considered. Experimental studies are carried out on the basis of the simulation results. The structure of the stand is considered. The study of the discrepancy between the results of simulation and experiment is presented.

Keywords: intelligent control systems, fuzzy logic, ignition timing, cyclic filling, correction factor

В настоящее время существуют проблемы, которые невозможно решить традиционными методами теории автоматического управления. Часто это происходит в больших и сложных объектах и системах, где алгоритмы не могут быть сформулированы или выполнены в неопределенных ситуациях. Такими средствами и системами обычно управляют люди (операторы), которые принимают решения. Этот тип системы управления называется системой управления на основе знаний, или интеллектуальной системой управления.

Анализ последних публикаций в данной области [1–3] показал, что интеллектуальные системы, построенные на основе

нечетких нейронных сетей, широко распространены на сегодняшний день. Данные системы в большинстве строятся на архитектурах ANFIS и NNFLC [4, 5]. Архитектура ANFIS [6–9] (Adaptive Network Based Fuzzy Inference System) используется в случаях необходимости нейронной сети с единственным выходом и несколькими входами. Причем термы входных лингвистических переменных описываются стандартными функциями принадлежности, а термы выходной переменной представляются линейной или постоянной функцией принадлежности. Архитектура NNFLC [10–13] (Neurons Network Fuzzy Logic Controller) обладает отличительной особенностью –

разделение структуры на слои, каждый из которых обладает своим функционалом.

В ряде работ в качестве регулятора используется гибридная нечеткая логика [14, 15], которая отличается от обыкновенной нечеткой логики тем, что значение управляемого сигнала описывается аппаратом нечеткой логики, однако функции принадлежности настраиваются с помощью алгоритмов обучения нейронных сетей. В настоящей работе отдается предпочтение архитектуре NNFLC за счет ее гибкости и возможности получить множество выходных переменных.

Цель исследования: исследование системы управления параметрами двигателя внутреннего сгорания на основе нечеткой логики управления.

Материалы и методы исследования

В основе создания интеллектуальных систем управления лежат методы ситуационного, событийного управления и инновационные интеллектуальные информационно-технологические процессы обработки информации [15]. Принцип работы системы управления двигателем основан на комплексном управлении величиной крутящего момента двигателя внутреннего сгорания. В зависимости от режима работы двигателя и интенсивности система способна изменять величину крутящего момента. Существует два способа регулирования величины крутящего момента: изменяя угол опережения зажигания и изменяя количество топливно-воздушной смеси в цилиндре.

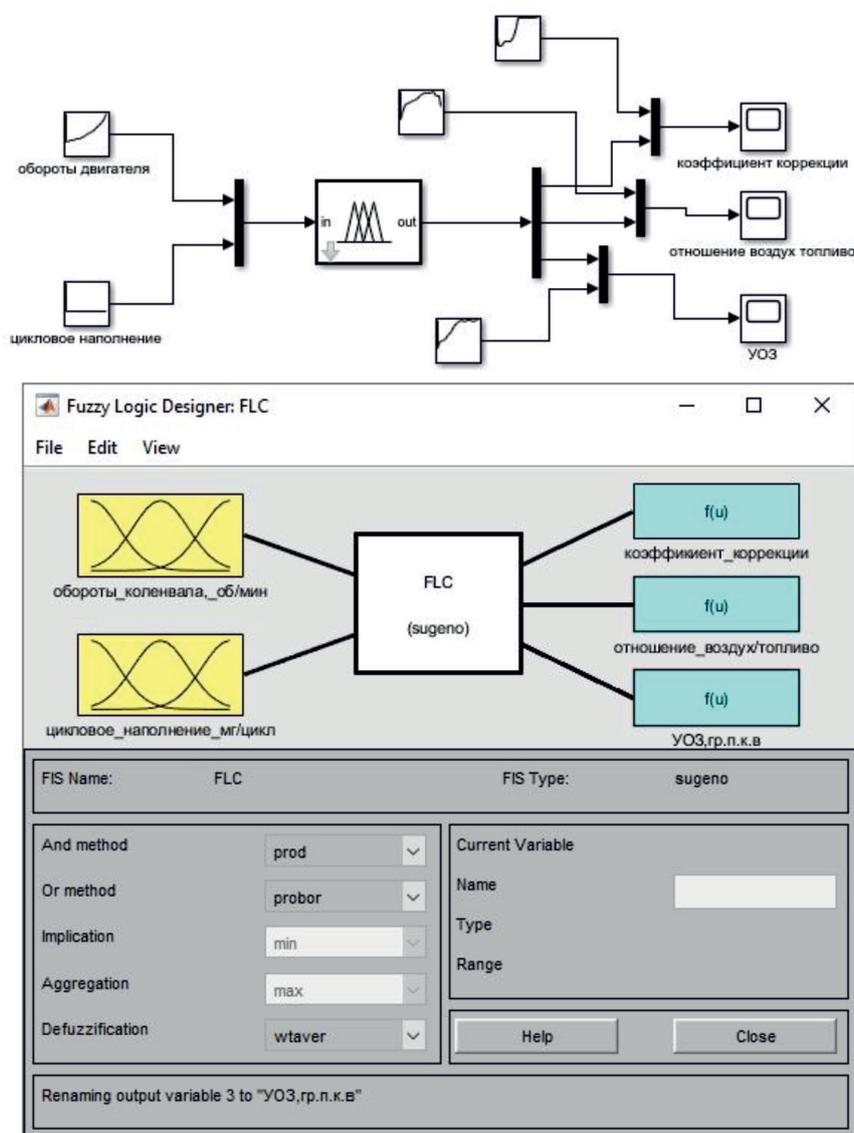


Рис. 1. Имитационная модель и структура блока fuzzy logic

В соответствии с задачей разработана компьютерная модель в программном комплексе *Matlab/Simulink* (рис. 1). Система управления работает следующим образом: на вход блока *fuzzy logic controller* с помощью блока интерполированной повторяющейся последовательности подается аппроксимированное значение параметра оборотов двигателя и циклового наполнения, полученные экспериментально с датчиков двигателя внутреннего сгорания. Для проверки работоспособности представленной схемы используются блоки аппроксимирующей функции желаемого отклика. На выходе получены три регулируемых параметра: угол опережения зажигания (УОЗ) для экономичного режима работы, отношение воздух – топливо и коэффициент коррекции. Для наглядного представления разницы между аппроксимированным значением желаемого отклика и выходного значения блока *fuzzy logic controller* используется блок *mux*.

В полученной системе в качестве алгоритма нечеткого вывода применяется алгоритм Сугено (Sugeno).

На вход блока фаззификатор поступают четкие входные значения, на выходе получаются нечеткие значения. Блок база знаний хранит в себе информацию по нечетким отношениям входа-выхода. Также данный блок обладает функцией принадлежности, посредством которой идентифицирует переменные на входе для базы нечетких правил, а переменные – на выходе для контролируемого объекта. Блок база правил хранит информацию о работе процесса домена. На вход блока дефаззифика-

тор поступают нечеткие входные значения, на выходе получаются четкие значения.

Составление правил. Шаг 1. Пространства входных и выходных данных разделяются на области. Принимаются допущения, при которых пределы каждой переменной известны. По максимальному и минимальному значению определяются отрезки допустимых значений. Для входной переменной обозначенной как обороты двигателя равен {600, 7650}. Для выходной переменной УОЗ равен {2, 58.5}, для переменной коэффициент коррекции равен {0, 3.98}, для расхода воздуха – {13.1, 16.7}.

Каждый отрезок разделим на N областей, причем значение N для каждой переменной подбирается индивидуально, а отрезки могут иметь одинаковую или различную длину. Значение функции для оборотов двигателя показано на рис. 2.

Шаг 2. Далее составляется база правил. Для каждой из трех выходных переменных база правил будет составляться индивидуально. Для того чтобы составить базу правил, необходимо иметь таблицы зависимости выходных значений от входных. База правил определяется следующим образом:

– Правило 1: если x_1 есть P1 и x_2 есть P1, то y есть P12. Где x_1 и x_2 значение входных параметров, принадлежащих P1 и P1, а y значение выходного параметра, принадлежащее множеству P12. Таким образом, составляется таблица с правилами, представленная в таблице для каждого из параметров.

Шаг 3. Дефаззификация в данном нечетком контроллере осуществляется методом взвешенного среднего.

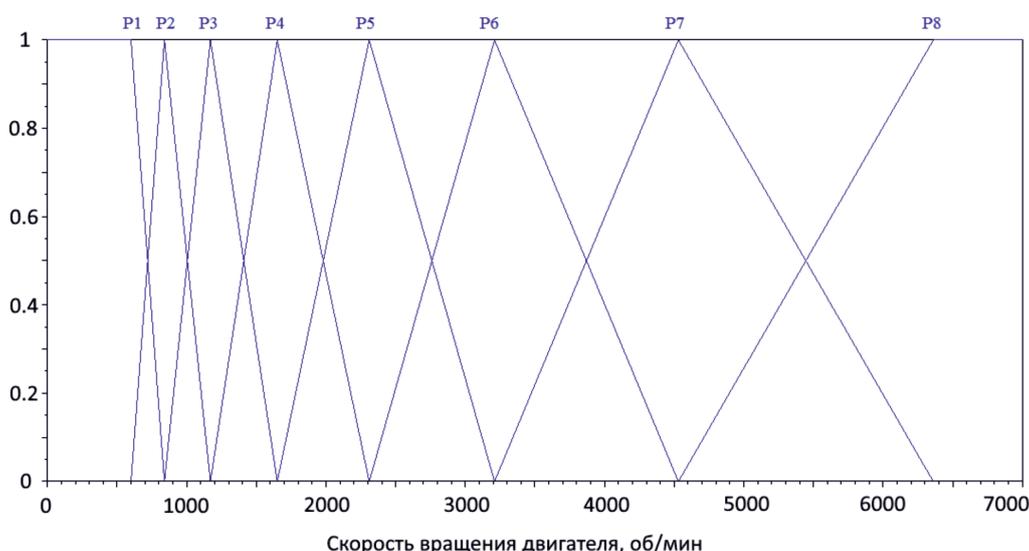


Рис. 2. График значений входной функции оборотов двигателя

Таблица правил для циклового наполнения

Скорость вращения двигателя / Цикловое наполнение	P1	P2	P3	P4	P5	P6
P1	P12	P15	P21	P22	P22	P23
P2	P14	P21	P21	P25	P29	P29
P3	P11	P16	P18	P22	P27	P27
P4	P2	P12	P18	P22	P25	P26
P5	P1	P9	P15	P22	P23	P23
P6	P1	P10	P15	P22	P23	P23

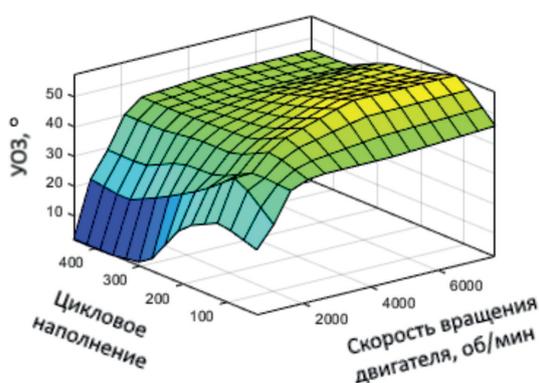


Рис. 3. Зависимость УОЗ от оборотов двигателя и циклового наполнения



Рис. 4. Индикация угла опережения зажигания на стенде

Результаты исследования и их обсуждение

В результате моделирования получены зависимости отношения воздух – топливо от оборотов двигателя и циклового наполнения, УОЗ от оборотов двигателя и циклового наполнения и коэффициент коррекции от оборотов двигателя и циклового наполнения. Данные графики зависимости значений выходных параметров от показаний датчиков представлены на рис. 3.

Экспериментальные исследования проводились на стенде, который состоит из частотного привода, магнитоэлектрических датчиков, системы управления двигателем, построенной на микроконтроллере STM32F303, генератора с разрядником.

Данный стенд позволяет наглядно исследовать угол опережения зажигания (рис. 4). Подключение стенда производится посредством высоковольтных про-

водов от катушки зажигания. Ротор генератора выполняет функцию вращающегося разрядника.

По итогам экспериментальных исследований на стенде получена кривая зависимости УОЗ от скорости вращения двигателя (рис. 5).

Экспериментальная кривая УОЗ снималась по вращающемуся искровому разряднику в зависимости от оборотов. Важно отметить, что искрообразование было устойчивым, без пропусков зажигания. Из графика можно судить об адекватности результатов экспериментального исследования, расхождение составляет не более 4%.

Заключение

Разработана система управления параметрами двигателя с помощью блока *fuzzy logic control*. Составлена база правил для каждой из трех выходных переменных.

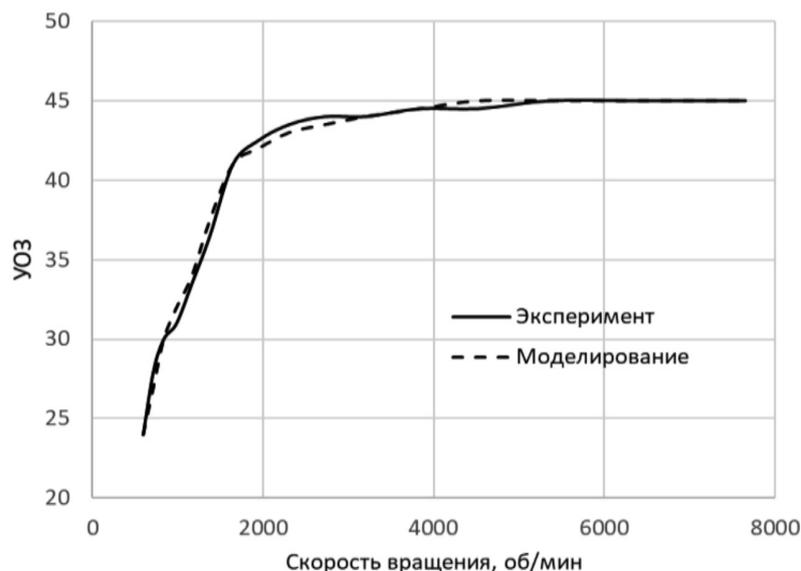


Рис. 5. Зависимость угла опережения зажигания от скорости вращения двигателя

В созданной модели управление параметрами двигателя было достигнуто путем аппроксимации функций зависимости выходных параметров от показаний датчиков. Проанализировано расхождение результатов имитационного моделирования и экспериментального исследования, которое составило не более 4%.

Работа выполнена в рамках гранта республики Башкортостан № 24ГР.

Список литературы

1. Зориктуев В.Ц., Рубцов Д.Ю., Файрушин Б.Н. Методология построения интеллектуальных систем управления // Вестник УГАТУ. 2013. Т. 17. № 8 (61). С. 79–86.
2. Dongyun W., Kai W., Mingcong D. The Application Study of Intelligent PID Algorithm for the Internal Combustion Engine Control System. IEEE International Conference on Mechatronics and Automation. (Xi'an, China: August 4-7 2010). P. 923–927. DOI: 10.1109/ICMA.2010.5588555.
3. Хрящев Ю.Е., Кирик В.В., Третьяков А.А. Использование аппарата нечеткой логики в управлении дизелем // Математические методы в технологиях. Ярославль, 2007. Т. 7. С. 310–312.
4. Cheng M., Enzhe S., Guofeng Z., Chong Y. Study on Intelligent Speed Control Algorithm for Diesel Engine. Conference of INEC. 2018. P. 1–12. DOI: 10.24868/issn.2515-818X.2018.036.
5. Палагута К.А., Чиркин С.Ю., Тройков С.М. Использование среды MATLAB для моделирования системы управления ДВС // Труды международного симпозиума – надежность и качество. 2011. Т. 1. С. 58–60.
6. Ulrich L., Dierk Sch.. Artificial Intelligence for Combustion Engine Control. International Congress & Exposition Detroit, Michigan. 1996. P. 3–12. DOI: 10.4271/960328.
7. Кашевник А.М. Интеллектуальная система управления логистической сетью при совместном использовании автотранспорта // Информационно-управляющие системы. 2012. № 5 (60). С. 75–81.
8. Mr. Sundar Ganesh C.S., Mr. Joseph Mathew K. Intelligent Speed Control System for Automobiles. International Journal of New Trends in Electronics and Communication (IJNTEC). Sep. 2013. Vol. 1. Issue. 2. P. 1–4.
9. Абрамов Г.В., Желтоухин И.В. Математическая модель интеллектуальной системы автоматического управления // Вестник Воронежского государственного технического ун-та. 2014. Т. 10. № 4. С. 32–37.
10. Горбаченко В.И. Интеллектуальные системы: нечеткие системы и сети. 2-е изд., испр. и доп. М.: Издательство Юрайт, 2018. 103 с.
11. Глушков С.В., Седова Н.А. Управление курсом судна с использованием интеллектуальной системы // Вестник Морского государственного университета. 2010. № 37. С. 2–8.
12. Корягин Е.В. Разработка элементов интеллектуальной системы управления транспортного средства // Наука и мир. 2015. Т. 1. № 5. С. 61–69.