

табл.1 следует отметить более предпочтительные показатели дизеля, работающего на номинальном режиме (в точке А на рис.1,а), по сравнению с интегральными показателями дизеля на 14-ти установившихся режимах предельной регуляторной характеристики. Это обусловлено сравнительно невысоким качеством рабочего процесса дизеля на установившихся режимах с неполной нагрузкой (например, в точке Е на рис.1,а). Показатели на установившемся номинальном режиме более предпочтительны и по сравнению с интегральными показателями дизеля в исследуемом переходном процессе. Однако, отмечено улучшение показателей в переходном процессе наброса нагрузки на дизель, оснащенный системой дополнительной подачи воздуха по сравнению с переходным процессом дизеля без системы подачи дополнительного воздуха.

Проведенные расчетные исследования подтвердили эффективность предложенной методики и возможность ее использования для практических расчетов экономических и экологических показателей в наиболее характерных для транспортного дизеля переходных процессах.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Крутов В.И. Двигатель внутреннего сгорания как регулируемый объект. - М.: Машиностроение, 1978. - 472 с.
2. Крутов В.И. Автоматическое регулирование и управление двигателей внутреннего сгорания. - М.: Машиностроение, 1989. - 416 с.
3. Грехов Л.В., Иващенко Н.А., Марков В.А. Топливная аппаратура и системы управления дизелей: Учебник для ВУЗов. - М.: Изд-во "Легион-Автодата", 2004. - 344 с.
4. Марков В.А., Баширов Р.М., Габитов И.И. Токсичность отработавших газов дизелей. - М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002. - 376 с.

## **МНОГОРЕЖИМНЫЙ ДИНАМИЧЕСКИЙ КОРРЕКТОР ПОДАЧИ ТОПЛИВА НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ**

**Смирнов А.Б.**

ГТУ «МАДИ», г. Москва

В работе показана возможность применения искусственных нейронных сетей (ИНС) как в качестве алгоритма реализации динамической цикловой подачи топлива, так и в качестве классификатора динамических режимов работы двигателя при обучении динамического корректора подачи топлива (ДКТ). Решения отрабатывались на динамических моделях, реализованных в приложении SIMULINK математического пакета MATLAB. Объектом управления являлась многопараметрическая модель смесеобразования с распределёнными по режимам параметрами. Идентификация модели двигателя производилась на основе экспериментов, проведённых на

двигателе 3МЗ-406, оснащённого микропроцессорной системой управления (МСУ) «МИКАС 10». Возмущения имитировались резким перемещением дроссельной заслонки (ДЗ) со случайно выбираемой амплитудой.

Анализ токсичных выбросов легкового автомобиля при испытаниях по ездовому циклу показывает, что их основная доля приходится на режимы холодного пуска, динамического прогрева и резкого перемещения дроссельной заслонки на прогретом двигателе [1]. Это связано с отклонением состава смеси от стехиометрического значения из-за присутствия топливной плёнки во впускном трубопроводе, что приводит к неэффективной работе нейтрализатора. Поэтому, в современных МСУ для реализации более точного динамического управления подачей топлива применяются многопараметрические модели с распределёнными по режимам параметрами. Это приводит к необходимости проведения большого объёма моторных испытаний. При этом в процессе эксплуатации параметры ДКТ не адаптируются к изменениям процессов в двигателе, что негативно сказывается на показателях автомобиля. Поэтому применение самоорганизующихся ИНС в качестве алгоритма управления динамической подачей топлива может обеспечить не только настройку без участия человека при калибровочных работах, но и подстройку параметров ДКТ к двигателю на протяжении всей эксплуатации автомобиля [2]. В связи с этим в последние годы за рубежом значительно увеличился интерес к использованию ИНС в качестве алгоритма управления динамической подачей топлива [3].

Функционально нейронный ДКТ разделён на две части: 1-я часть содержит «основную» ИНС, служащую для расчёта необходимой цикловой подачи топлива, а вторая содержит «вспомогательную» ИНС для классификации данных, поступающих для обучения «основной» ИНС. Выходом «основной» ИНС может быть как значение цикловой подачи топлива, реализуемой форсункой, так и значение массы топливной плёнки (см. рис. 1).

Во всех исследованных схемах управления в качестве «основной» применялась ИНС следующего типа: статическая двухслойная прямого распространения, с нелинейной функцией активации 1-го слоя и линейной функцией активации 2-го слоя. Алгоритм обучения: Левенберга-Макгвардта с использованием регуляризации по количеству нейронов 1-го слоя и с применением обучающего, тестового и контрольного множеств. В качестве «вспомогательной» применялась однослойная ИНС конкурирующего типа. Вид моделей «основной» и «вспомогательной» ИНС представлен на рис. 2. Так как решение отрабатывалось для прогретого двигателя, то в качестве контролируемых параметров для «основной» ИНС были приняты: цикловое наполнение воздухом двигателя (GBC) и частота вращения (FREQ), а для обучения также использовался сигнал динамического состава смеси (ALF).



Рис. 1. Возможные функции ИНС в составе многорежимного ДКТ.

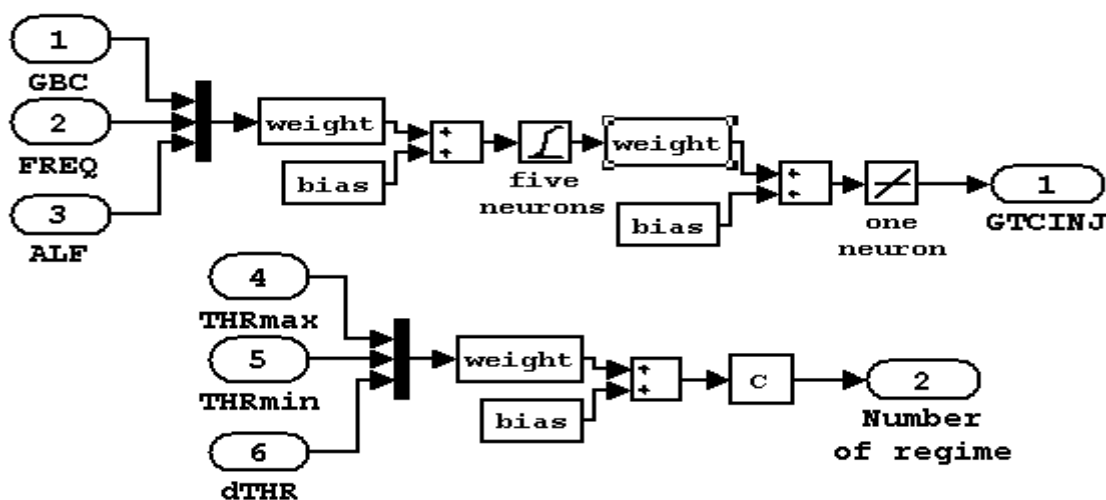


Рис. 2. Вид моделей «основной» и «вспомогательной» ИНС корректора.

Использование ИНС для классификации данных обусловлено наличием большого множества динамических режимов работы двигателя, которое трудно формализовать с помощью конечного набора лингвистических правил типа «если..., то...».

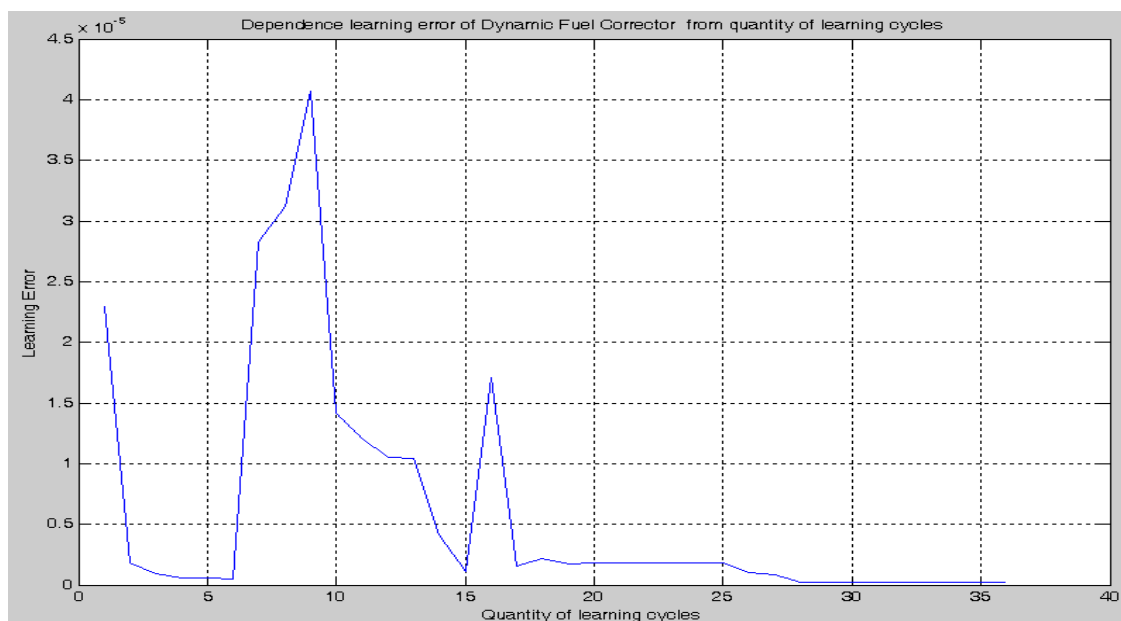


Рис. 3. Динамика настройки нейронного ДКТ при работе двигателя на 40-а произвольных характерных динамических режимах работы двигателя.

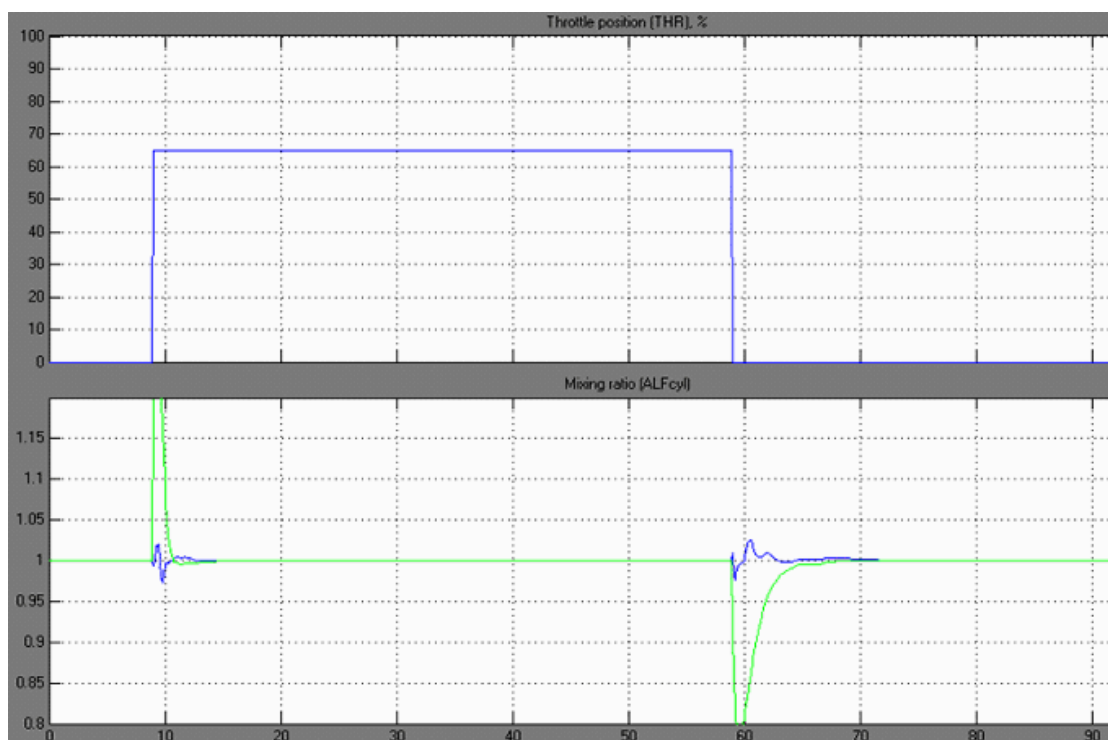


Рис. 4. Пример протекания составов смеси (нижний рисунок) до и после обучения нейронного ДКТ при произвольном резком перемещении ДЗ (верхний рисунок).

Классификация данных для обучения «основной» ИНС производилась по сигналу датчика положения дроссельной заслонки (ДЗ), и в качестве контролируемых параметров переходного процесса для «вспомогательной» ИНС были приняты: максимальное положение ДЗ ( $THR_{max}$ ), минимальное положение ДЗ ( $THR_{min}$ ) и направление изменения положения ДЗ ( $dTHR$ ) – бинарного типа «1»- открытие, «-1» - закрытие). На рис. 3 и рис. 4 приведено протекание ошибки обучения и составов смеси до и после обучения ДКТ при настройке на 40-а характерных динамических режимах двигателя.

Использование ИНС непосредственно для расчёта цикловой подачи позволяет компенсировать не только динамическое отклонение состава смеси, но и ошибку расходомера воздуха на статических режимах работы двигателя. Недостатком является длительный итерационный подбор параметров управления, т.е. один режим должен повториться несколько раз, но при длительной эксплуатации автомобиля это не является критичным.

При использовании ИНС в качестве наблюдателя топливной плёнки ошибка в определении начальной массы плёнки не влияет на результат коррекции. Значение текущей массы топливной плёнки получается интегрированием величины изменения массы плёнки за цикл. В свою очередь, изменение массы топливной плёнки за цикл определяется разницей между цикловой подачей топлива, реализованной форсункой, и количеством топ-

лива, поступившего в цилиндр, рассчитанного по сигналу линейного лямбда-зонда и цикловому наполнению воздухом двигателя.

Как следует из рис. 3, процессу уменьшения ошибки обучения свойственен колебательный характер, что определяется взаимным влиянием процедур обучения «основной» и «вспомогательной» ИНС. Причём такой характер протекания ошибки характерен как при использовании ИНС для расчёта цикловой подачи, так и при использовании в качестве наблюдателя массы топливной плёнки. При настройке нейронного ДКТ на 40-а динамических режимах удовлетворительная компенсация (см. рис. 4) достигается за 35 циклов обучения.

Недостатком схемы нейронного ДКТ с использованием двух ИНС является очень плохое управление на начальных этапах обучения по сравнению с ДКТ, использующим диспетчер с жёсткой, заранее определённой логикой, хотя при использовании ИНС в качестве наблюдателя массы топливной плёнки негативного влияния на протекание состава смеси можно избежать, временно отключив ДКТ до удовлетворительного обучения. В случае применения ИНС для реализации цикловой подачи топлива такой вариант исключён, т.к. последующий целевой вектор топливоподачи ИНС зависит от предыдущего. Следует отметить, что на практике целесообразно применять комбинацию описанных методов использования ИНС в одном ДКТ в зависимости от наличия достаточных данных для обучения.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Silva, Carla M., Farias, Tiago L., Mendes-Lopes, José M. C. Cold start, part warm start and warm up simulation of vehicles in ECOGEST / Instituto Superior Técnico, Portugal, F2004V045, 2004.
2. Омату С., Халид М., Юсоф Р. Нейроуправление и его приложения. - М.: Радиотехника, 2000.
3. Alippi C., Russis C., Piuri V. A Neural-Network Based Control Solution to Air-Fuel Ratio Control for Automotive Fuel-Injection Systems / IEEE transactions on systems, man and cybernetics –part C: applications and reviews, VOL. 33, NO. 2, 2003.

## **АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ ЦИФРОВЫХ РЕГУЛЯТОРОВ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ АВТОМОБИЛЬНОГО ДИЗЕЛЯ**

**Хрящев Ю.Е., Скурыгин Е.Ф., Тихомиров М.В.**

*ЯГТУ, г. Ярославль*

Проблема обеспечения устойчивости холостого хода автомобильных дизелей возникла при доводке электронной системы ЭСУ-1 на дизелях серии КАМАЗ-740.60-360, КАМАЗ-740.61-320, КАМАЗ-740.62-280, по-