

УДК 621.436.004.8

## РОЗРОБЛЕННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ІНФОРМАЦІЙНО-УПРАВЛЯЮЧОЇ СИСТЕМИ ТРАНСПОРТНОГО ДИЗЕЛЯ. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ

**О.Я. Ніконов, професор, д.т.н., В.С. Щебенюк, доцент, к.т.н., ХНАДУ**

***Анотація.** Розглянута задача побудови ефективних інформаційно-управляючих систем наземних транспортних засобів. Запропоновано концепцію інтелектуального транспортного засобу на основі штучних нейромережових регуляторів. На прикладі транспортного двигуна ЗТД розроблена відповідна інформаційно-управляюча система на основі динамічних штучних нейронних мереж.*

***Ключові слова:** транспортний дизель, інтелектуальні системи, штучні нейронні мережі*

## РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ТРАНСПОРТНОГО ДИЗЕЛЯ. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

**О.Я. Никонов, профессор, д.т.н., В.С. Щебенюк, доцент, к.т.н., ХНАДУ**

***Аннотация.** Рассмотрена задача построения эффективных информационно-управляющих систем транспортных средств. Предложена концепция интеллектуального транспортного средства на основе искусственных нейросетевых регуляторов. На примере транспортного двигателя ЗТД разработана соответствующая информационно-управляющая система на основе динамических искусственных нейронных сетей.*

***Ключевые слова:** транспортный дизель, интеллектуальные системы, искусственные нейронные сети*

## DEVELOPMENT OF INTELLIGENT INFORMATION AND CONTROL SYSTEM TRANSPORT DIESEL ENGINES. MATHEMATICAL MODEL

**O. Nikonov, professor, dr. eng. sc.,  
V. Schebenyuk, assistant professor, cand. eng. sc., KhNAHU**

***Abstract.** The problem of development effective information-control systems of vehicles is considered. The concept of intelligent vehicle based on artificial neural network control is proposed. For example, motor vehicle ЗТД develop appropriate information and control system based on dynamic artificial neural networks.*

***Keywords:** transport diesel, intelligent systems, artificial neural networks.*

### Вступ

Двигуни внутрішнього згоряння з системами автоматичного управління мають низку особливостей, що відрізняють їх від енергетичних установок інших типів. До таких особливостей треба віднести циклічність роботи двигуна з одночасним протіканням складного комплексу механічних, гідравлічних, газодинамічних і термодинамічних явищ,

пов'язаних з наповненням, згорянням і перетворенням зворотно-поступального руху поршня в обертання колінчастого валу та ін. Все це вимагало від автоматичних регуляторів двигунів таких властивостей, які могли бути отримані лише за умови одночасного проведення ретельних наукових досліджень у галузі автоматичного управління двигунів внутрішнього згоряння.

Сучасні регулятори двигунів – це електронні та мікропроцесорні всережимні регулятори паливоподавання (ВРП). В транспортних засобах за управління паливоподавання двигуна відповідає центральний мікропроцесор інтегрованої системи керування, або окремий контролер. До переваг таких ВРП у порівнянні з регуляторами інших типів (механічних, гідравлічних, пневматичних) відносяться малі габарити і металоемкість, але, головне, значно більша можливість введення у регулятор додаткових корегуючих зв'язків і реалізація складних алгоритмів управління, що підвищують статичні та динамічні властивості ВРП, а також, забезпечення дистанційного управління режимами роботи двигуна.

Результати останніх досліджень і публікацій свідчать о необхідності здійснення комплексної модернізації інформаційно-управляючих систем (ІУС) транспортних засобів (ТЗ) і побудови інтегрованих інформаційно-управляючих телематичних систем (ІУТС), що дозволить якісно підвищити їх точність, функціональну і структурну надійність, якість перехідних процесів при відпрацюванні управляючих сигналів при внутрішніх та зовнішніх збуреннях, а також знизити навантаження на водія (екіпаж) і витрати енергоресурсів [1-5].

#### Аналіз публікацій

Світовий досвід розробки цифрових радіотехнічних систем управління, результати досліджень алгоритмів ІУС серійних ТЗ на імітаційних моделях, аналіз алгоритмів роботи серійних індустріальних цифрових регуляторів, що випускаються фірмами Cybosoft Inc., SattControl AB, Foxboro та інших показує, що на даний час не існує універсального алгоритму управління об'єктами, для яких характерні неповнота інформації про об'єкт управління при роботі його в різноманітних режимах та широкий діапазон зміни характеристик збурень [6]. В зв'язку з тим, що більшість систем ТЗ є саме такими об'єктами при проектуванні ІУС необхідно забезпечити можливість комбінації алгоритмів управління в процесі роботи. Це можна досягнути за рахунок чіткої структуризації алгоритмів ІУС. Структура програм ІУС систем повинна включати такі підсистеми [7]:

- реєстрації станів об'єктів управління і ІУС;
- прийняття рішень, що забезпечує зміну типу і структури регуляторів, а також їх пара-

- метрів на основі інформації про режими роботи виконавчих пристроїв і збурення;
- алгоритмів управління, що включає: алгоритм із змінною структурою на основі традиційних ПД-регуляторів; базовий алгоритм на основі нейронних структур; алгоритм самонастроювання на основі інформації про граничний коефіцієнт підсилення при замкненому контурі управління; блок адаптації на базі еталонної моделі чи стохастичної апроксимації; блок компенсації на основі інформації про збурення;
- вводу/виводу інформації.

#### Мета і постановка задачі досліджень

Метою статті є розроблення концепції інтеграції інформаційно-управляючих систем транспортних засобів на основі методів обчислювального інтелекту.

#### Розроблення математичної моделі

Шляхи вирішення поставленої задачі ведуть до розроблення методів і алгоритмів синтезу ІУТС з використанням розвиненої математичної моделі об'єкту управління з урахуванням його нелінійних характеристик, інтелектуальних систем управління, новітніх інформаційних технологій, а також стохастичних характеристик зовнішніх збурень, що діють на об'єкт. Інтелектуалізації таких систем можна досягнути насамперед на основі багатопараметричних штучних нейронних мереж (ШНМ) і методів еволюційного моделювання, зокрема генетичних алгоритмів (ГА), а також нечіткої логіки і гібридних нейро-фаззі архітектур.

Поставлена задача може бути вирішена за допомогою високопродуктивних цифрових обчислювачів, наприклад ADSP, SMART або обчислювачів на базі PLC.

Використання цифрових методів обчислення дозволяє застосувати сучасні алгоритми для ІУС, здійснювати зміну структури і параметрів алгоритмів, забезпечувати високу адекватність алгоритму розрахунку його практичної реалізації.

Об'єднання синергетичного підходу і алгоритмів навчання багатопараметричних ШНМ дозволяє реалізувати синтез алгоритмів, що самонавчаються, для ІУС ТЗ шляхом об'єктивного формування архітектури багатопараметричних

ШНМ на основі функціонала навчання і відповідних цілей управління.

Математична модель збуреного руху замкнутої системи паливopодавання дизеля ЗТД (6ТД) наведена в роботі [8] і має такий вигляд:

$$\frac{d\Delta\omega_1(t)}{dt} = -\frac{F_{\text{ДО}}}{I_{\Sigma}}\Delta\omega_1(t) + \frac{1}{I_{\Sigma}}\Delta M_{1\text{Д}}(t) - \frac{1}{I_{\Sigma}}\Delta M_{1\text{С}}(t);$$

$$\frac{d^2\Delta M_{1\text{Д}}(t)}{dt^2} = -\frac{2}{T_T}\frac{d\Delta M_{1\text{Д}}(t)}{dt} - \frac{1}{T_T^2}\Delta M_{1\text{Д}}(t) + \frac{1}{T_T^2}\left(\frac{\partial M_{1\text{Д}}}{\partial h}\right)_0\Delta h(t);$$

$$\frac{d^2\Delta x(t)}{dt^2} = -\frac{\zeta}{m}\frac{d\Delta x(t)}{dt} - \frac{c}{m}\Delta x(t) + \frac{1}{m}\left(\frac{\partial W}{\partial \Delta x}\right)_0\Delta x(t) + \frac{1}{m}\left(\frac{\partial W}{\partial \omega_1}\right)_0\Delta\omega_1(t);$$

$$\frac{d\Delta z(t)}{dt} = -\frac{1}{T_S}\Delta z(t) + \frac{1}{T_S}\Delta x(t);$$

$$\frac{d\Delta h(t)}{dt} = -\frac{1}{T_h}\Delta h(t) + \frac{k_z}{T_h}\Delta z(t),$$

де  $\omega_1(t)$  – кутова швидкість колінчастого вала;  $M_{1\text{Д}}(t)$  – активний момент, що розвиває дизель;  $M_{1\text{С}}(t)$  – момент опору на колінчастому валу;  $h(t)$  – переміщення рейки паливного насоса;  $x(t)$  – положення муфти відцентрового чутливого елемента;  $z(t)$  – положення поршня сервомотора;  $W$  – підтримуюча сила, що діє на муфту з боку обертових вантажів;  $I_{\Sigma}$  – приведений до колінчастого вала момент інерції пов'язаних з валом агрегатів;  $T_T$  – час затримки, пов'язане з вприскуванням палива в циліндри і його згоряння;  $T_S$ ,  $T_h$  – постійні часу проміжних каскадів посилення;  $m$  – маса обертових вантажів відцентрового чутливого елемента;  $c$  – коефіцієнт жорсткості пружини відцентрового чутливого елемента;  $\zeta$  – коефіцієнт демпфірування;  $k_z$  – коефіцієнт передачі важільної системи регулятора.

Нелінійність математичної моделі збуреного руху дизеля обумовлена такими факторами:

– нелінійною моментною характеристикою  $M_{1\text{Д}}(t)$ , яка відтворює залежність активного моменту, що розвивається дизелем, від кутової швидкості обертання колінчастого вала  $\omega(t)$  і положення РНП  $h(t)$ ;

– часом запізнення  $\tau$  між моментом вприскування палива в циліндри дизеля і реалізацією відповідного активного моменту.

У загальному випадку поняття «штучна нейронна мережа» охоплює ансамблі нейронів будь-якої структури, однак практичне застосування знайшли тільки деякі з них. Це пояснюється тим, що архітектура ШНМ безпосередньо пов'язана з методом її навчання. Навіть різні етапи розвитку ШНМ визначалися появою нових архітектур мереж і спеціально розроблених для них методів навчання [9-11].

На теперішній час можна виділити чотири основні різновиди архітектури ШНМ:

- 1) одношарові мережі прямої дії;
- 2) багатшарові мережі прямої дії;
- 3) рекурентні мережі;
- 4) повністю зв'язані мережі.

Для рішення задач керування широко застосовуються багатшарові мережі прямої дії.

Введемо позначення:

$R^d$  –  $d$ -мірний простір;

$\mathbf{x} = \{x_1, x_2, \dots, x_N\}, x_{N+1}$  – вхідний вектор;

$\mathbf{y} = \{y_1, y_2, \dots, y_M\}$  – вихідний вектор.

Нейронна мережа виконує функціональне перетворення, яке може бути представлене як  $\mathbf{y} = F(\mathbf{x})$ , де  $\mathbf{x} = \{x_i\}$ ,  $i = 1, N$ ,  $\mathbf{y} = \{y_k\}$ ,  $k = 1, M$ . Схований шар може складатися з декількох шарів, проте можна вважати, що достатньо розглядати лише три шари для опису поведінки. Для ШНМ з  $N$  вхідними вершинами,  $J$  вершинами схованого шару та  $M$  вихідними вершинами величини  $y_k$  мають вигляд

$$y_k = g\left(\sum_{j=1}^J w_{jk}^o h_j\right), \quad k = 1, M, \quad (1)$$

де  $w_{jk}^o$  – вхідна вага зв'язку від вершини  $j$

схованого шару до вершини  $k$  вихідного шару;  $g$  – функція, виконуюча відображення  $R^J \rightarrow R'$ .

Вихідні сигнали вершин схованого шару  $h_j$  задаються наступним чином

$$h_j = \sigma \left( \sum_{i=1}^N w_{ij}^j x_i + w_j^T \right), \quad j = 1, H,$$

де  $w_{ij}^j$  – вхідна вага зв'язку  $(i, j)$ ;  $w_j^T$  – величина порогу (вага від вузла, що має постійний сигнал до вузла  $j$ );  $x_i$  – сигнал на виході  $i$ -го вхідного вузла;  $\sigma$  – функція активації ШНМ.

Функція активації ШНМ  $\sigma$  визначає нелінійне перетворення, що здійснюється ШНМ. Найбільш розповсюдженими є наступні функції активації: гранична, кусочно-лінійна, сигмоїдальна, радіально-базисна. Функція  $g$  у рівнянні (1) може бути такою ж самою, що і  $\sigma$ , або іншою.

### Висновки

Запропоновано концепцію інтеграції інформаційно-управляючих систем транспортних засобів на основі методів обчислювального інтелекту. Розроблено математичну модель системи паливоподавання транспортного дизеля.

### Література

1. Інформатизація транспортної інфраструктури, машин та систем [Текст] / О.П.Алексієв, В.О.Алексієв, В.О.Хабаров, Г.Г.Четвериков // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. – 2010. – № 3(74). – С. 52–57.
2. Александров Є.Є. Автоматичне керування рухомими об'єктами і технологічними процесами [Текст] / Є.Є.Александров, Е.П.Козлов, Б.І.Кузнецов. – Харків: НТУ «ХПІ», 2002. – 492 с.
3. Алексієв В.О. Мехатроніка транспортних засобів та систем [Текст] / В.О.Алексієв, В.П.Волков, В.І.Калмиков. – Харків: ХНАДУ, 2004. – 176 с.
4. Голобородько О.О. Мехатронні системи автомобільного транспорту: навчальний посібник / О.О. Голобородько, В.В. Редчиць, О.М. Коробочка. – Харків: ТОВ «Компанія СМІТ», 2006 – 300 с.
5. Никонов О.Я. Нейрокибернетический подход к проблеме синтеза интеллектуальных систем управления колесных и гусеничных машин [Текст] / О.Я.Никонов, А.Е.Истомин // Вісник НТУ «ХПІ». Збірка наукових праць. Тематичний випуск: Автомобіле- та тракторобудування. – Харків: НТУ «ХПІ», 2005. – № 10. – С. 51–54.
6. Обчислювальні модулі для бортових інформаційно-керуючих систем бронетанкової техніки [Текст] / В.С.Глухов, Н.В.Заїченко, В.І.Іванов, Б.О.Оліярник // Механіка та машинобудування. – 2000. – № 1. – С. 115–122.
7. Ніконов О.Я. Активні системи гасіння коливань виконавчих механізмів транспортних роботів на основі теорії штучних нейронних мереж [Текст] / О.Я.Ніконов // Машинознавство. – 2006. – № 1. – С. 19–22.
8. Александрова Т.Е. Параметрический синтез электронного всережимного регулятора дизеля 6ТД для детерминированного объекта [Текст] / Т.Е.Александрова, О.Я.Никонов // Механіка та машинобудування. – 2001. – № 1,2. – С. 184–189.
9. Хайкин С. Нейронные сети [Текст] / Хайкин С.: пер с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2006. – 1104 с.
10. Терехов В.А. Нейросетевые системы управления [Текст] / В.А. Терехов, Д.В. Ефимов, И.Ю. Тюкин. – М.: ИПРЖР, 2002. – 480 с.
11. Ніконов О.Я., Шуляков В.М. Дослідження якості адаптивних нейро-фаззи регуляторів автомобіля на базі методу субтрактивної кластеризації // Вісник НТУ «ХПІ». – Серія: Автомобіле- та тракторобудування. – №29. – 2013. – Харків. – С. 10-15.
12. Shuliakov V., Nikonov O., Fastovec V. Application of Adaptive Neuro-Fuzzy Regulators in the Controlled System by the Vehicle Suspension // International Journal of Automation, Control and Intelligent Systems. – Vol. 1, № 3, 2015, pp. 66-72.

Рецензент: О.П. Алексієв, професор, д.т.н., ХНАДУ.

Стаття надійшла до редакції 6 листопада 2015 р.