

УДК 519.683:656.11:681.3



## РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧОЇ ПІДСИСТЕМИ ДВИГУНА І ТРАНСМІСІЇ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ НА ОСНОВІ НЕЙРОДИНАМІЧНИХ МОДЕЛЕЙ

О.Я. Ніконов<sup>1</sup>, Н.В. Шатохіна<sup>2</sup>, В.Ю. Улько<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ХНАДУ, м. Харків, Україна, nikonov@khadi.kharkov.ua

<sup>2</sup>НТУ «ХПІ», м. Харків, Україна, shatosha@mail.ru

<sup>3</sup>ХНАДУ, м. Харків, Україна

Розглянута задача побудови ефективних інформаційно-керуючих систем наземних транспортних засобів спеціального призначення. Запропоновано концепцію інтелектуального транспортного засобу спеціального призначення на основі штучних нейромережових регуляторів. На прикладі транспортного двигуна ЗТД розроблена відповідна інформаційно-керуюча підсистема на основі динамічних нейронних мереж. Приведено результати досліджень для різних методів навчання нейронної мережі.

НЕЙРОДИНАМІЧНА МОДЕЛЬ, ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧА СИСТЕМА, ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ, ТРАНСПОРТНИЙ ЗАСІБ, ДВИГУН, ТРАНСМІСІЯ, МЕХАТРОНІКА

### Вступ

Транспортні засоби (ТЗ) спеціального призначення мають широкий спектр можливостей, який у повному обсязі недоступний звичайним автомобілям та тракторам. ТЗ спеціального призначення працюють в складних умовах експлуатації, інтенсивних навантажень, підвищеної відповідальності механізмів і поєднують в собі швидкохідність, маневреність, високу прохідність та вантажопідйомність. Розвиток та удосконалення ТЗ спеціального призначення характеризуються безперервним покращенням існуючих і створенням нових бортових інформаційно-керуючих систем (ІКС), що забезпечують підвищення ефективності цих машин.

В Україні зосереджена значна частина промисловості колишнього СРСР, а також знаходяться НДІ і КБ з машинобудування, в яких були створені різноманітні ТЗ спеціального призначення. Більшість цих машин, оснащених двигунами розробки Харківського конструкторського бюро з двигунобудування, підтверджують той факт, що Україна залишається одним із світових лідерів в галузі будування ТЗ спеціального призначення.

Однак численні демонстрації вітчизняних ТЗ спеціального призначення на міжнародних виставках і салонах довели не лише позитивні властивості цих машин. Оцінюючи вітчизняні ТЗ спеціального призначення, закордонні спеціалісти звертають увагу на слабку бортову інформаційно-керуючу систему (ІКС) таких машин, або на її відсутність взагалі, підвищену димність відпрацьованих газів в екстремальних умовах, а саме, на початку руху і при швидкому зростанні навантаження на колінчастому валу, недосконалу систему автоматичного керування гальмами і т.д. Ці факти пояснюються використанням ІКС з лінійними законами керування на основі традиційних ПІД-регуляторів та виконавчих пристроїв, що не відповідають сучасним вимогам.

### 1. Аналіз останніх досліджень і публікацій

Двигуни внутрішнього згоряння з системами автоматичного керування 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 керування двигунів внутрішнього згоряння.

Сучасні регулятори двигунів – це електронні та мікропроцесорні всережимні регулятори паливоподавання (ВРП). В транспортних засобах за керуванням паливоподавання двигуна відповідає або 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, а головне – значно більша можливість введення у регулятор додаткових корегуючих зв'язків і реалізація складних алгоритмів керування, що підвищують статичні та динамічні властивості ВРП, а також забезпечення дистанційного керування режимами роботи двигуна.

Результати останніх досліджень і публікацій свідчать про необхідність здійснення комплексної модернізації ІКС ТЗ спеціального призначення і побудови інтегрованих інформаційно-керуючих телематичних систем (ІКТС), що дозволить якісно підвищити їх точність, функціональну і структурну надійність, якість перехідних процесів при відпрацьованні керуючих сигналів при внутрішніх та зовнішніх збуреннях, а також знизити навантаження на екіпаж і витрати енергоресурсів [1–5].

## 2. Постановка задачі

Світовий досвід розробки цифрових радіотехнічних систем керування, результати досліджень алгоритмів ІКС серійних ТЗ на імітаційних моделях, аналіз алгоритмів роботи серійних промислових цифрових регуляторів, що випускаються фірмами Cybosoft Inc., SattControl AB, Foxboro та інших, показує, що на даний час не існує універсального алгоритму керування об'єктами, для яких характерні неповнота інформації про об'єкт керування при роботі його в різноманітних режимах та широкий діапазон зміни характеристик збурень [6–8]. В зв'язку з тим, що більшість систем ТЗ спеціального призначення є саме такими об'єктами, при проектуванні ІКС необхідно забезпечити можливість комбінації алгоритмів керування в процесі роботи. Цього можна досягнути за рахунок чіткої структуризації алгоритмів ІКС. Структура програм ІКС-систем повинна включати такі підсистеми [9, 10]:

- реєстрації станів об'єктів керування і ІКС;
- прийняття рішень, що забезпечує зміну типу і структури регуляторів, а також їх параметрів на основі інформації про режими роботи виконавчих пристроїв і збурення;
- алгоритмів керування, що включає: алгоритм із змінною структурою на основі традиційних ПІД-регуляторів; базовий алгоритм на основі нейронних структур; алгоритм самонастроювання на основі інформації про граничний коефіцієнт підсилення при замкненому контурі керування; блок адаптації на базі еталонної моделі чи стохастичної апроксимації; блок компенсації на основі інформації про збурення;
- вводу/виводу інформації.

## 3. Розробка ІКС двигуна і трансмісії

Шляхи вирішення поставленої задачі ведуть до розроблення методів і алгоритмів синтезу ІКТС з використанням розвиненої математичної моделі об'єкту керування з урахуванням його нелінійних характеристик, інтелектуальних систем керування, новітніх інформаційних технологій, а також стохастичних характеристик зовнішніх збурень, що діють на об'єкт. Інтелектуалізації таких систем можна досягнути насамперед на основі багатошарових 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 ІКС, здійснювати зміну структури і параметрів алгорит-

мів, забезпечувати високу адекватність алгоритму розрахунку його практичній реалізації.

Об'єднання синергетичного підходу і алгоритмів навчання багатошарових ШНМ дозволяє реалізувати синтез алгоритмів, що самонавчаються, для ІКС ТЗ спеціального призначення шляхом об'єктивного формування архітектури багатошарових ШНМ на основі функціонала навчання і відповідних цілей керування.

Математична модель збуреного руху замкнутої системи паливоподавання дизеля ЗТД (БТД) наведена в роботі [11] 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'язаний 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.

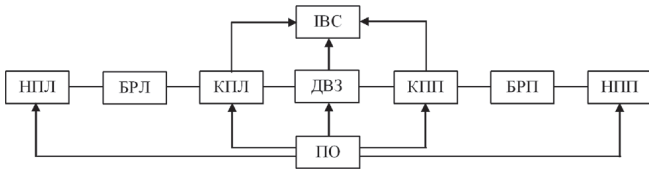
Нелінійність математичної моделі збуреного руху дизеля обумовлена такими факторами:

- 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.

Експериментальні дослідження системи паливоподавання транспортного дизеля і трансмісії здійснювалося на комплексному дослідницькому стенді, який відтворює реальні навантаження, що діють на ведучі колеса транспортного засобу.

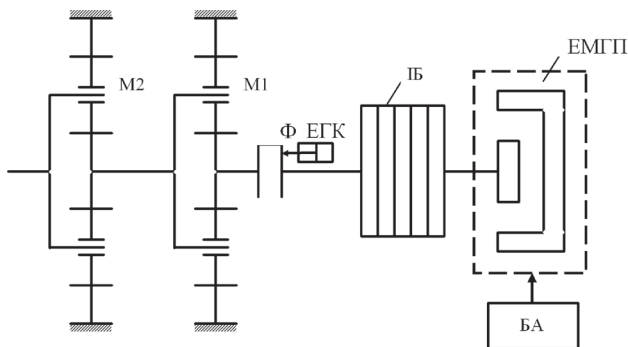
Структурна схема комплексного дослідницького стенду приведена на рис. 1.



**Рис. 1.** Структурна схема комплексного дослідницького стенду: ДВЗ – двигун внутрішнього згоряння; КПП, КПЛ – коробки передач правого і лівого бортів; БРП, БРЛ – бортові редуктори правого і лівого бортів; НПП, НПЛ – навантажувальні пристрої правого і лівого бортів; ПО – пульт оператора; ІВС – інформаційно-вимірювальна система

Стенд призначений для випробування транспортних МТВ з потужністю ДВЗ до 1200 кВт і кутовою швидкістю обертання вихідних валів бортових редукторів до  $70 \text{ с}^{-1}$ . Навантажувальні пристрої НПП і НПЛ забезпечують навантаження моторно-трансмісійне відділення (МТВ) та імітацію динамічного еквіваленту інерційної маси. Максимальне значення навантажень на вихідних валах бортових редукторів БРП і БРЛ може складати 160000 Н·м.

Навантажувальні пристрої можуть бути виконані за двома схемами. Перша схема (рис. 2) містить два мультиплікатори з передатними числами  $i_1=0,318$  та  $i_2=0,166$ . Друга схема містить лише один мультиплікатор з передатним числом  $i_2=0,166$ . Перша схема застосовується при дослідженнях МТВ у всьому діапазоні можливих навантажень, а друга схема – для дослідження МТВ у обмеженому діапазоні навантажень.



**Рис. 2.** Схема навантажувального пристрою: М1, М2 – мультиплікатори з передатними числами  $i_1=0,318$  та  $i_2=0,166$ ; Ф – фрикціон; ІБ – інерційний барабан; ЕМГП – електромагнітний гальмовий пристрій; БА – блок автоматики; ЕГК – електрогідравлічний клапан

Мультиплікатори М1 і М2 представляють собою однорідні планетарні редуктори і введені для

сполучення по частоті обертання вихідних валів бортових передач і електромагнітних гальмів.

Фрикціон Ф навантажувального пристрою є дисковим та нормально розімкненим. Його призначення полягає в охороні механізмів від руйнування шляхом швидкого відключення інерційного барабану ІБ. Фрикціон Ф керується електрогідравлічним клапаном ЕГК з пульта оператора.

Інерційний барабан ІБ забезпечує імітацію динамічного еквіваленту інерційної маси транспортного засобу. Момент інерції барабану регулюється у межах  $5 \div 120 \text{ Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^2$  з інтервалом  $5 \text{ Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^2$  – барабан набирається з окремих дисків. Необхідний момент інерції забезпечується відповідним набором дисків на валу. Кутова швидкість обертання інерційного барабану не перевищує  $400 \text{ с}^{-1}$  і дорівнює кутовій швидкості ротора електромагнітного гальмового пристрою.

Інформаційно-вимірювальна система стенда містить блок датчиків, пристрій зв'язку з об'єктом і обчислюваний комплекс. Пристрій зв'язку з об'єктом являє собою ряд апаратних модулів, за допомогою яких інформація з дискретних, аналогових і числоімпульсних датчиків, розміщених на об'єкті, що досліджується, і фіксуючих значення потрібних параметрів, перетворюється в коди, що доступні для прийому ЕОМ. Результати вимірювання реєструються ІВС, яка здійснює збір, накопичення і відображення інформації. Частота опиту датчиків складає 10 Гц. ІВС результати обробки інформації записує в файли даних на магнітний носій. За необхідності результати записів виводяться у вигляді табличного або графічного матеріалу за допомогою дисплейного модуля, принтера або графопобудовувача.

Моменти навантаження на ведучих колесах ТЗ  $M_{2\text{НП}}(t)$  та  $M_{2\text{НЛ}}(t)$  зв'язані з моментом навантаження на колінчастому валу ДВЗ співвідношеннями [12]:

$$M_{2\text{НП}}(t) = \frac{M_{\text{Н}}(t)}{2i_{\text{н}}i_{\text{бр}}\eta_{\text{бр}}\eta_{\text{н}}}; \quad (1)$$

$$M_{2\text{НЛ}}(t) = \frac{M_{\text{Н}}(t)}{2i_{\text{л}}i_{\text{бр}}\eta_{\text{бр}}\eta_{\text{л}}}, \quad (2)$$

де  $i_{\text{н}}(t)$ ,  $i_{\text{л}}(t)$  – передавальні відношення бортових коробок передач;  $i_{\text{бр}}$  – передавальне відношення бортового редуктору;  $\eta_{\text{н}}$ ,  $\eta_{\text{л}}$  – ККД бортових коробок передач;  $\eta_{\text{бр}}$  – ККД бортового редуктору.

В свою чергу, гальмові моменти, що створюються індукторними гальмами  $M_{\text{ГП}}(t)$  та  $M_{\text{ГЛ}}(t)$ , зв'язані з моментами навантаження  $M_{2\text{НП}}(t)$  та  $M_{2\text{НЛ}}(t)$  співвідношеннями

$$M_{2\text{НП}}(t) = \frac{M_{\text{ГП}}(t)}{i_1 i_2 \eta_1 \eta_2}; \quad (3)$$

$$M_{2\text{НЛ}}(t) = \frac{M_{\text{ГЛ}}(t)}{i_1 i_2 \eta_1 \eta_2}, \quad (4)$$

при з'єднанні елементів навантажувального пристрою за схемою, приведеною на рис. 2. У співвідношеннях (3) і (4) через  $\eta_1$  та  $\eta_2$  позначені ККД мультиплікаторів М1 і М2. Прирівнюємо праві частини співвідношень (1) і (3), а також співвідношень (2) і (4). В результаті отримаємо

$$M_{ГП}(t) = \frac{M_H(t) i_1 i_2 \eta_1 \eta_2}{2i_n i_{бр} \eta_{бр} \eta_n}; \quad (5)$$

$$M_{ГЛ}(t) = \frac{M_H(t) i_1 i_2 \eta_1 \eta_2}{2i_l i_{бр} \eta_{бр} \eta_l}. \quad (6)$$

Момент  $M_H(t)$  є випадковою функцією часу, яка може бути подана у вигляді

$$M_H(t) = M_{НО} + \Delta M_H(t). \quad (7)$$

Підстановка (7) у співвідношення (5) і (6) приводить до формул

$$\Delta M_{ГП}(t) = \frac{\Delta M_H(t) i_1 i_2 \eta_1 \eta_2}{2i_n i_{бр} \eta_{бр} \eta_n}; \quad (8)$$

$$\Delta M_{ГЛ}(t) = \frac{\Delta M_H(t) i_1 i_2 \eta_1 \eta_2}{2i_l i_{бр} \eta_{бр} \eta_l}. \quad (9)$$

Гальмові моменти  $M_{ГП}(t)$  та  $M_{ГЛ}(t)$  пропорційні струмам збудження, що формуються блоком автоматики

$$\Delta M_{ГП}(t) = k_3 \Delta i_{3л}(t); \quad (10)$$

$$\Delta M_{ГЛ}(t) = k_3 \Delta i_{3л}(t). \quad (11)$$

З урахуванням формул (8)-(11) маємо

$$\Delta i_{3л}(t) = \frac{\Delta M_H(t) i_1 i_2 \eta_1 \eta_2}{2i_n i_{бр} \eta_{бр} \eta_n k_3}; \quad (12)$$

$$\Delta i_{3л}(t) = \frac{\Delta M_H(t) i_1 i_2 \eta_1 \eta_2}{2i_l i_{бр} \eta_{бр} \eta_l k_3}. \quad (13)$$

Введемо позначення

$$k_{ен} = \frac{i_1 i_2 \eta_1 \eta_2}{2i_n i_{бр} \eta_{бр} \eta_n k_3}; \quad k_{ел} = \frac{i_1 i_2 \eta_1 \eta_2}{2i_l i_{бр} \eta_{бр} \eta_l k_3}.$$

Тоді співвідношення (12) і (13) приймають вигляд

$$\Delta i_{3л}(t) = k_{ен} \Delta M_H(t); \quad (14)$$

$$\Delta i_{3л}(t) = k_{ел} \Delta M_H(t). \quad (15)$$

#### 4. Побудова нейроконтролера для ІКС

Для ІКС транспортного дизеля і трансмісії була вибрана архітектура дискретного НК – 3-10-1, тобто вхідний шар НК містить 3 нейрона, розмір схованого шару НК – 10, а вихідний шар НК містить один лінійний нейрон, що формує сигнал керування на  $k$ -му кроці  $u_y(k)$ .

Величина кроку дискретизації сигналу керування  $\Delta_u$  залежить від динамічних властивостей самого об'єкта керування і від бажаного робочого діапазону частот вхідного впливу. У цьому випадку дискретність керування виберемо рівної  $\Delta_u = 0,01$  с.

Метою навчання НК є побудова нелінійної слідуючої системи керування (СК). Далі необхідно сформувати тренувальний набір сигналів. Виберемо набір тренувальних сигналів розміром  $M = 11$ :

$$u_r^i(k) = A_i 1(k); \quad t \in [0, T];$$

$$A_i = (-8 + 2i); \quad i = \overline{1, 7},$$

де  $1(k)$  – дискретний аналог одиничного східчастого сигналу:

$$1(k) = \begin{cases} 0, & k < 0; \\ 1, & k \geq 0. \end{cases}$$

Стрибокподібні вхідні сигнали в тренувальному наборі необхідні для забезпечення малої статичної помилки нейромережевої системи керування (НСК).

Тривалість тренувальних вхідних сигналів виберемо рівною  $T = 10$  с. Якість роботи НСК будемо оцінювати по функціоналу виду

$$I(y) = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \frac{1}{k_T} \sum_{k=1}^{k_T} \left( E \cdot t_k + \gamma \frac{E}{t_k + \varepsilon} \right); \quad (16)$$

$$E = \left[ \left( \omega_i(k) - u_r^i(k) \right)^2 \cdot t_k \right]^2, \quad t_{k+1} = t_k + \Delta_u,$$

де  $\varepsilon = 0,01$  – малий параметр, що вводиться для забезпечення безперервності функціонала;  $\gamma$  – ваговий коефіцієнт, що визначається експериментально.

Результати чисельних експериментів дозволили достатньо точно оцінити область пошуку параметрів НК, тому в цьому випадку можна відмовитися від застосування параметра тангенціальної активаційної функції  $a$  і скоротити розмірність пошукового простору.

Для оцінки пристосованості особи по функціоналу (16) диференційні рівняння системи паливоподавання транспортного дизеля перетворюються у форму Коші. Отримана система диференціальних рівнянь інтегрується методом Рунге-Кутта 4-го порядку з постійним кроком 0,001 с.

Далі визначимо область пошуку для ШНМ 3-10-1

$$w_{i,j} \in [-1, 1], \quad i = \overline{0, 3}, \quad j = \overline{1, 10};$$

$$w_i \in [-100, 100], \quad i = \overline{0, 10}.$$

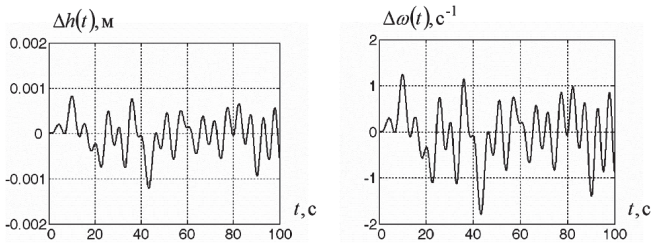
Довжину кожної хромосоми виберемо рівній 16 біт, що дозволить більш точно визначити параметри НСК для ГА пошуку.

Тому що НСК є дискретною, вихід НК розраховується тільки кожні 0,01с і фіксується на період дискретизації. Фіксація виходу НК повинна проводитися не тільки при моделюванні, але і при реальній роботі такої НСК. Проте, на базі НК можуть створюватися і імпульсні НСК, у яких амплітудно-модульований вихідний сигнал НК діє на вхід об'єкта керування обмежений час.

Для створення інваріантної до зовнішніх випадкових збурень НСК з дискретним НК, при навчанні НК будемо подавати на об'єкт збурюючий сигнал, що виникає під час руху автомобіля. Подавати на об'єкт збурюючий сигнал будемо один раз за дві епохи навчання. НК спочатку буде навчатися на навчальній вибірці без урахування збурень, а на наступному кроці – на навчальній вибірці вже з урахуванням збурень.

На рис. 3 та 4 наведено типові розрахункові динамічні процеси для стохастичної системи паливоподавання транспортного дизеля для однієї і тієї ж реалізації випадкового збурення  $M_H(t)$ . При цьому оцінки коливальності рейки паливного насоса  $|\Delta h_{\max}|$  і кутової швидкості обертання колінчастого валу  $|\Delta \omega_{\max}|$ , що наведені на рисунках, відхиляються від  $M[|\Delta h_{\max}|]$  і  $M[|\Delta \omega_{\max}|]$  не більш як на 2%. Об'єм статистичної вибірки при розрахунках математичних очікувань складав  $10^4$ .

На рис. 3 наведено динамічні процеси для штатного блоку керування при оптимальних значеннях варійованих параметрів для стохастичного об'єкту керування.



**Рис. 3.** Динамічні процеси стохастичної системи паливоподавання транспортного дизеля для штатного блоку керування

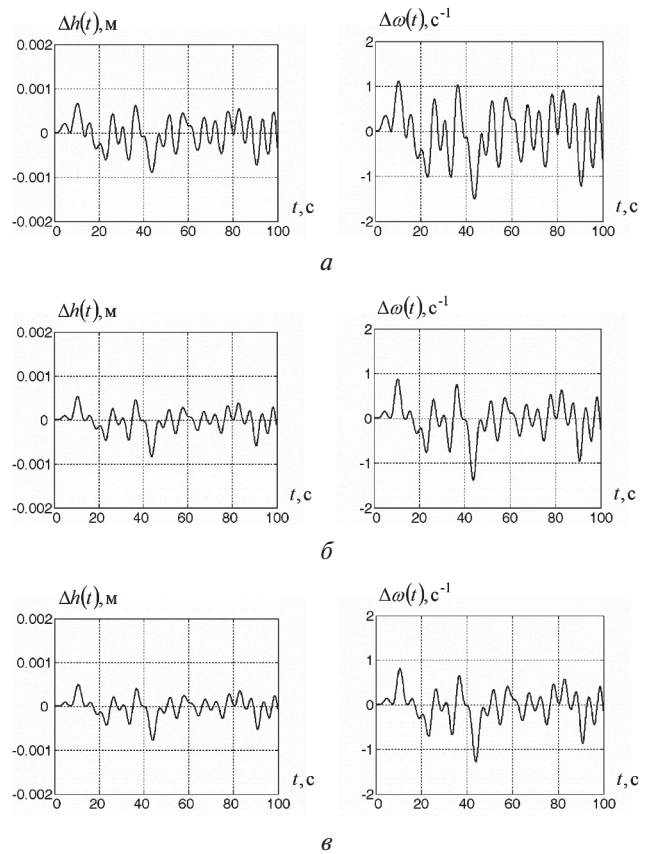
На рис. 4 наведено динамічні процеси для блоку керування з НК. Навчання НК проводилося за допомогою алгоритму зворотного поширення (випадок а), модифікованого ГА (випадок б) і модифікованого ГА сумісно з алгоритмом зворотного поширення (випадок в).

В табл. 1 наведено чисельні дані проведених розрахунків для системи ІКС транспортного дизеля ЗТД і трансмісії (об'єм статистичної вибірки при розрахунках математичних очікувань –  $10^4$ ).

**Таблиця 1**

Дані розрахунків для ІКС транспортного дизеля ЗТД і трансмісії

№	Алгоритми керування (навчання)	$M[ \Delta h_{\max} ],$ м	$M[ \Delta \omega_{\max} ],$ с <sup>-1</sup>
1	Штатний блок керування	0,00121	1,803
2	НК (зворотного поширення)	0,00090	1,512
3	НК (модифікований ГА)	0,00084	1,379
4	НК (модифікований ГА + зворотного поширення)	0,00078	1,289



**Рис. 4.** Динамічні процеси стохастичної системи паливоподавання транспортного дизеля для блоку керування з нейроконтролером

Аналіз вищенаведених динамічних процесів, а також чисельні дослідження дозволяють зробити висновок про те, що введення до контуру керування НК дозволяє зменшити коливальність рейки паливного насоса  $\Delta h(t)$  та кутової швидкості обертання колінчастого валу  $\Delta \omega(t)$  до 35% (при цьому відносна вибіркова дисперсія не перевищила 5%), тобто дозволяє підвищити точність роботи і паливну економічність дизеля.

Результати проведених досліджень підтверджують ефективність стимульованого навчання НК з затримкою на базі ГА. Стрибокподібні тренувальні сигнали гарантують синтез НК з малою статичною помилкою, однак для забезпечення НК необхідних динамічних характеристик у тренувальні сигнали необхідно включати гармонічні складові. Завдяки універсальним апроксимаційним властивостям ШНМ синтезовані СК змогли адаптуватися до об'єкту керування.

Також доведено, що необхідний обсяг обчислень і структура НК залежать не стільки від ступеня нелінійності, скільки від порядку об'єкта керування.

Ефективність рішення, що отримано за допомогою запропонованої методики, багато в чому визначається видом функціоналу якості. Вибір функціоналу, що використовується для оцінки роботи синтезованої СК з НК, як і структури самого

закону керування, є задачею, що вирішується дослідником залежно від складності та властивостей об'єкта керування.

Позитивною властивістю СК з НК є низька чутливість до відходу параметрів від заданих (номінальних, оптимальних), що значно спрощує настроювання НК і підвищує стійкість роботи в умовах зовнішніх і внутрішніх збурень. Істотна розподільність (паралельність) обчислювального процесу в ШНМ забезпечує підвищену, у порівнянні із традиційними контролерами, надійність СК, тому що якість роботи СК з НК погіршується з ростом кількості пошкоджень поступово. Вихід нейронів НК із робочого стану або обрив зворотних зв'язків також не приводять до миттєвих руйнівних процесів на відміну від традиційних контролерів.

Результати експериментальних досліджень підтвердили теоретичні результати дослідження стохастичної системи паливоподавання транспортно-го дизеля і ефективність використання штучного інтелекту і новітніх інформаційних технологій.

### Висновки

Розроблено математичні моделі інтегрованих інформаційно-керуючих телематичних систем наземних транспортних засобів спеціального призначення, зокрема підсистеми двигуна і трансмісії на основі використання відповідних нейроконтролерів у контурах керування, що надає можливість підвищити якість динамічних процесів при відпрацюванні керуючих сигналів і внутрішніх та зовнішніх збурюючих впливів.

Дістало подальший розвиток використання принципів побудови єдиного інформаційного простору на основі об'єднання синергетичного підходу і методів штучного інтелекту для автоматизації управління рухом транспортних машин, що дозволяє підвищити ефективність взаємодії цих машин.

Для подальших досліджень доцільно використання нечітких нейронних мереж і алгоритмів структурного випадкового пошуку на основі еволюційного моделювання.

**Список літератури:** 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. Пржибыл, П. Телематика на транспорте [Текст] / П.Пржибыл, М.Свитек. – М.: МАДИ (ГТУ), 2003. – 540 с. 5. Ніконов, 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. Анипко, О.Б. Концептуальное проектирование объектов бронетанковой техники [Текст] / О.Б.Анипко, М.Д.Борисюк, Ю.М.Бусяк. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2008. – 196 с. 8. Рябчук, В.Д. Проблемы теории и практики создания единой автоматизированной системы управления тактического звена [Текст] / В.Д.Рябчук, В.И.Ничипор // Военная мысль. – 2010. – №5. – С. 55–60. 9. Ніконов, О.Я. Розроблення і синтез інтегрованих інформаційно-керуючих телематичних систем для колісних та гусеничних машин спеціального призначення [Текст] : дис. докт. техн. наук / О.Я. Ніконов. – Харків, 2010. – 478 с. 10. 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. 11. 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. 12. Александров, Е.Е. Многоканальные системы оптимального управления [Текст] / Е.Е.Александров, И.Н.Богаенко, Б.И.Кузнецов. – К.: Техніка, 1995. – 312 с.

*Надійшла до редколегії 25.02.2011.*

УДК 519.683:656.11:681.3

**Разработка информационно-управляющей подсистемы двигателя и трансмиссии транспортных средств специального назначения на основе нейродинамических моделей / О.Я. Никонов, Н.В. Шатохина, В.Ю. Улько // Бионика интеллекта: науч.-техн. журнал. – 2011. – № 1 (75). – С. 114–119.**

На основе динамических искусственных нейронных сетей и методов эволюционного моделирования синтезирована информационно-управляющая подсистема двигателя и трансмиссии транспортных средств специального назначения. Проведены теоретические и экспериментальные исследования, показавшие эффективность разработанной интеллектуальной системы.

Ил. 4. Библиогр.: 12 назв.

UDC 519.683:656.11:681.3

**Development of informational-controlling subsystems of the engine and power train of special destination vehicles on a basis neurodynamic models / O.J.Nikonov, N.V.Shatokhina, V.J.Ulko // Bionics of Intelligence: Sci. Mag. – 2011. – № 1 (75). – P. 114–119.**

On the basis of dynamic artificial neural networks and methods of evolutionary simulation the informational-controlling subsystem of the engine and power train of special destination vehicles is synthesized. The theoretical and experimental researches which have shown effectiveness of developed intellectual system are carried out.

Fig. 4. Ref.: 12 items.