

РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧИХ СИСТЕМ АВТОМОБІЛЯ НА ОСНОВІ НОВІТНІХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

НИКОНОВ О.Я., ШУЛЯКОВ В.М.

Наводиться огляд сучасних комунікаційних протоколів для інформаційно-керуючих систем автомобілів. Будеться функціональна схема інформаційно-керуючої системи автомобіля. Проводиться порівняльний аналіз сучасних комунікаційних протоколів в інформаційно-керуючих системах автомобілів. Синтезується контур керування системи паливopодавання транспортних дизелів.

Вступ

Широке застосування нових пристроїв мехатроніки перед'являє все більш високі вимоги до інформаційно-керуючої системи (ІКС) автомобіля [1-4]. Прогноз на найближчі роки – до 90% автомобільних новинок, що безпосередньо впливають на вартість при зміні модельного ряду, буде доводитися на ІКС. Тому підвищення якості, надійності і швидкодії ІКС автомобіля є важливою і актуальною задачею.

Шляхи вирішення поставленої задачі ведуть до розроблення методів і алгоритмів синтезу ІКС з використанням розвиненої математичної моделі об'єкта керування з урахуванням його нелінійних характеристик, інтелектуальних систем керування, новітніх інформаційних технологій, а також стохастичних характеристик зовнішніх збурень, що діють на автомобіль [3-5].

Метою роботи є побудова функціональної схеми ІКС автомобіля, проведення порівняльного аналізу сучасних комунікаційних протоколів в ІКС автомобілів, розроблення і синтез контурів керування ІКС автомобілів на основі об'єднання синергетичного підходу і методів транспортної телематики, інтелектуального керування і еволюційного моделювання.

1. Комунікаційні протоколи для ІКС автомобіля

Нарис. 1 наведено приклад інтеграції ІКС автомобіля. Розглянемо більш детально сучасні комунікаційні протоколи для автомобільного транспорту та проведемо їх порівняльний аналіз.

FlexRay – мережевий протокол, орієнтований на використання в новітніх автомобільних системах управління. Вже на стадії розробки *FlexRay* планувався як високошвидкісний інтерфейс зі швидкістю обміну 10 Мбіт/с. Основними властивостями даного протоколу є: можливість доступу до шини без колізій, одночасна синхронізація всіх вузлів, гарантований час передачі даних, адресація вузлів через ідентифікатори, підтримка одного (10 Мбіт/с) або двох (20 Мбіт/с) каналів передачі даних. Областями застосування протоколу *FlexRay* є пристрої, що вимагають високої надійності і мінімального часу передачі даних, наприклад, електронні блоки управління гальмами автомобіля, круїз-контроль, центральний блок керування. В даний час члени *FlexRay*-консорціуму (BMW, DaimlerChrysler, Freescale Semiconductor, Philips, GM і Bosch) ведуть спільну роботу з розробки вимог для майбутніх автомобільних пристроїв.

CAN є послідовним асинхронним мультимастерінговим інтерфейсом з можливістю гнучкого і надійного управління інформаційними потоками відрізних пристроїв автомобіля, підключених до загальної шини. Він був спеціально розроблений для застосування в автомобільних системах зі швидкістю передачі даних до 1 Мбіт/с. Даний інтерфейс забезпечує високу перешкодозахищеність мережі на фізичному рівні. В даний час існує три специфікації фізичного рівня *CAN*-інтерфейсу: 1) високошвидкісний ISO 11898 – 1 Мбіт/с; 2) відмовостійкий ISO 11519-2 з можливістю передачі даних по одному дроту – 125 Кбіт/с; 3) специфікація, розроблена фірмою General Motors, зі швидкістю передачі даних 33,33 Кбіт/с.

Застосування *CAN*-інтерфейсу дозволяє спростити реалізацію програмно-апаратного забезпечення при розробці мультиплексної шини автомобіля. *CAN* в даний час є стандартом для застосування його в автомобільній промисловості як інтерфейс обміну даними в середньо-завантажених мережах.

LIN є відносно недорогим однодротовим послідовним інтерфейсом, заснованим на UART/SCI-технології. *LIN*-інтерфейс був спеціально розроблений для застосування в області автомобільної електроніки, де гарантована швидкість передачі даних не перевищує 20 Кбіт/с. Звичайними пристроями для застосування *LIN*-інтерфейсу є функціонально-закінчені кінцеві вузли, такі як дверний модуль, кермо, сидіння, керування кліматом і світлом. У таких пристроях *LIN*-інтерфейс дозволяє застосовувати нові мехатронні

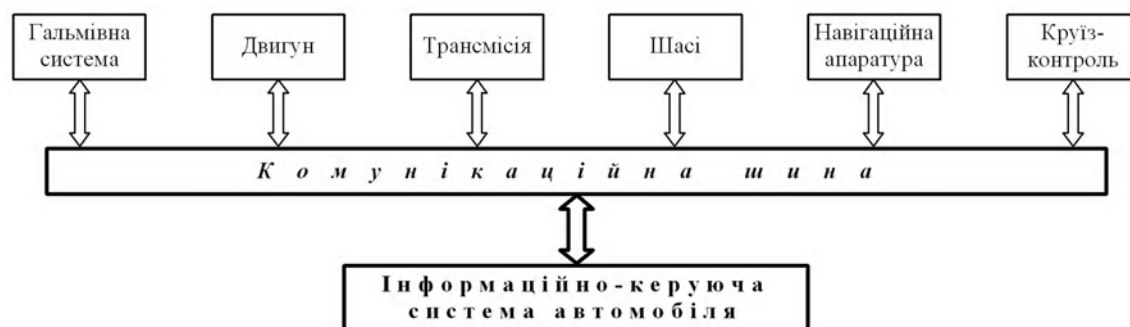


Рис. 1. Приклад інтеграції інформаційно-керуючої системи автомобіля

елементи, такі як «розумні датчики»/виконавчі механізми або освітлення. Оскільки аналогове кодування сигналів, в більшості випадків, поступово витісняється цифровим кодуванням, мехатронні елементи можуть бути легко підключені до автомобільної ІКС стандартними методами. Це дозволяє на практиці реалізувати можливість керування, діагностики та обслуговування всіх вузлів автомобіля в рамках однієї мультиплексної системи. Застосування LIN-інтерфейсу дозволяє різко зменшити кількість дротів в мережі автомобіля.

Таким чином, в сучасному автомобілі ефективно і надійно працююча ІКС, як правило, повинна містити три типи інтерфейсів:

- 1) високошвидкісний інтерфейс, що використовується у високо-завантажених і відповідальних вузлах систем безпеки та управління автомобіля;
- 2) інтерфейс для реалізації єдиної дводротової інформаційної системи автомобіля і підключення до нього різних вузлів і систем управління з середніми швидкостями обміну даними;
- 3) відносно недорогий і надійний інтерфейс з малою швидкістю обміну, який може використовуватися для зв'язку різних кінцевих виконавчих механізмів або датчиків з системами управління.

Зазначимо, що прилади FlexRay сумісні з основними стандартами мережі контролерів CAN, мережі локального внутрішнього зв'язку LIN, так що перехід до нових систем може здійснюватися поетапно.

В таблиці наведено порівняльний аналіз описаних комунікаційних протоколів для ІКС автомобіля. Слід зазначити, що вартість цих інтерфейсів приблизно пропорційна їх швидкості передачі даних.

Шина	LIN	CAN	FlexRay
Швидкість	40 кбіт/с	1 Мбіт/с	10 Мбіт/с
Кількість дротів	1	2	2 або 4
Типові застосування	Замки, підйомники скла, дзеркала, електропривод сидінь, аксесуари	Двигун, трансмісія, ABS	Високопродуктивні пристрої, безпека (Drive-by-wire, активна підвіска, адаптивний круїз-контроль)

2. Синтез контуру керування «Двигун»

Розглянемо електронну систему паливоподавання транспортних дизелів на основі нейроконтролера (НК) [5-10]. Для цієї системи була вибрана архітектура дискретного НК – 3-10-1, тобто вхідний шар НК містить 3 нейрони, розмір схованого шару НК – 10, а вихідний шар НК містить один лінійний нейрон, що формує сигнал керування на k -му кроці $u_k(k)$.

Функціональна схема електронної системи паливоподавання дизеля наведена на рис. 2. Тут представлено: педаль керування подачею палива (ПК), датчик положення педалі керування подачею палива (ДПП), електрогидравлічний виконавчий орган (ВО), який містить електромагніт керування (ЕК) і гідравлічний сервомотор (ГС), дизель (Д), датчик положення рейки паливного насоса (ДПР), датчик кутової швидкості обертання колінчастого валу (ДКШ), підсилювач датчика положення педалі керування подачею палива (ПДПП), підсилювач датчика положення рейки паливного насоса (ПДПР) і підсилювач блоку керування (П).

Величина кроку дискретизації сигналу керування Δu залежить від динамічних властивостей самого об'єкта керування і від бажаного робочого діапазону частот вхідного впливу. У цьому випадку дискретність керування виберемо рівною $\Delta u = 0.01$ с.

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

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

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

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

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

Стрибоподібні 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 за функціоналом виду

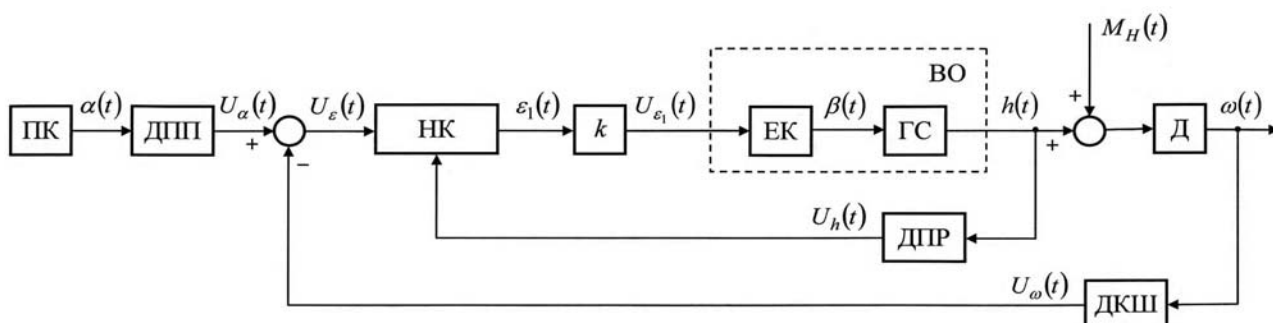


Рис. 2. Функціональна схема електронної системи паливоподавання транспортних дизелів з нейроконтролером

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

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

де $\varepsilon = 0.01$ – малий параметр, що вводиться для забезпечення безперервності функціоналу; γ – 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 а і скоротити розмірність пошукового простору.

Для оцінки пристосованості особини по функціоналу (1) диференційні рівняння системи паливopодавання транспортного дизеля [5, 11] перетворюються у форму Коші. Отримана система диференціальних рівнянь інтегрується методом Рунге-Кутта 4-го порядку з постійним кроком 0.001с.

Далі визначимо область пошуку для штучної нейронної мережі (ШНМ) 3-10-1:

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

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

Довжина кожної хромосоми виберемо рівною 16 біт, що дозволить точніше визначити параметри НСК для генетичного алгоритму (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 – вже з урахуванням збурень.

Для завершення синтезу НСК виберемо розмір популяції рівним 100 і проведемо настроювання параметрів ШНМ за допомогою ГА.

Синтез НСК з дискретним НК архітектури 3-10-1 зайняв близько 25 хвилин обчислень на обчислювальній станції з процесором Pentium IV (частота – 3200 МГц, оперативна пам'ять – 1024 Мб). Оптимальне рішення було знайдено після 4673 епох еволюції популяції.

На рис. 3 та 4 наведено типові розрахункові динамічні процеси для стохастичної системи паливopодавання 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 .

Навчання НК проводилося за допомогою модифікованого ГА сумісно з алгоритмом зворотного поширення.

На рис. 3 наведено динамічні процеси для штатного блоку керування при оптимальних значеннях варійованих параметрів для стохастичного об'єкта керування. На рис. 4 наведено динамічні процеси для блоку керування з НК.

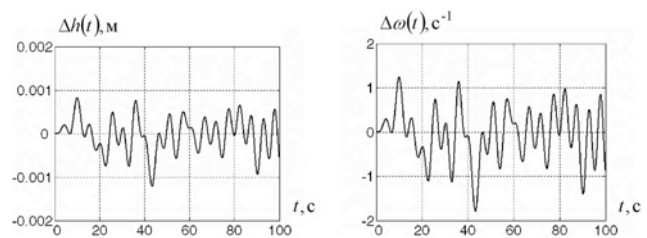


Рис. 3. Динамічні процеси стохастичної системи паливopодавання транспортного дизеля для штатного блоку керування

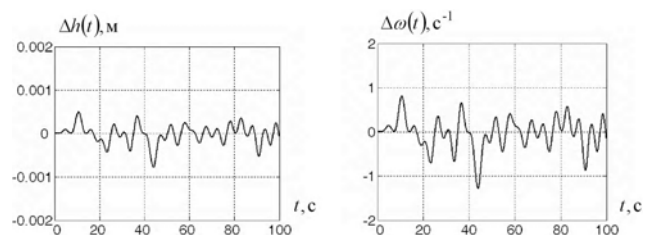


Рис. 4. Динамічні процеси стохастичної системи паливopодавання транспортного дизеля для блоку керування з нейроконтроллером

Аналіз наведених вище динамічних процесів, а також численні 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. Стрибокоподібні тренувальні сигнали гарантують синтез НК з малою статичною помилкою, однак для забезпечення НК необхідних динамічних характеристик у тренувальні сигнали треба включати гармонічні складові. Завдяки універсальним апроксимаційним властивостям ШНМ, синтезовані СК змогли адаптуватися до об'єкта 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.

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

Структурна схема комплексного дослідницького стенду наведена на рис. 5.

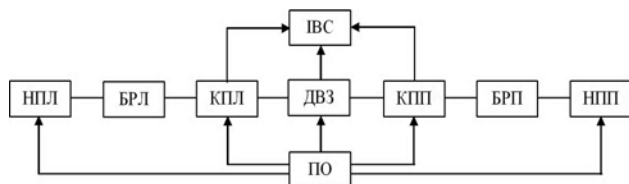


Рис. 5. Структурна схема комплексного дослідницького стенду: ДВЗ – двигун внутрішнього згоряння; КПП, КПЛ – коробки передач правого і лівого бортів; БРП, БРЛ – бортові редуктори правого і лівого бортів; НПП, НПЛ – навантажувальні пристрої правого і лівого бортів; ПО – пульт оператора; ІВС – інформаційно-вимірвальна система

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

Навантажувальні пристрої можуть бути виконані за двома схемами. Перша схема (рис. 6) 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.

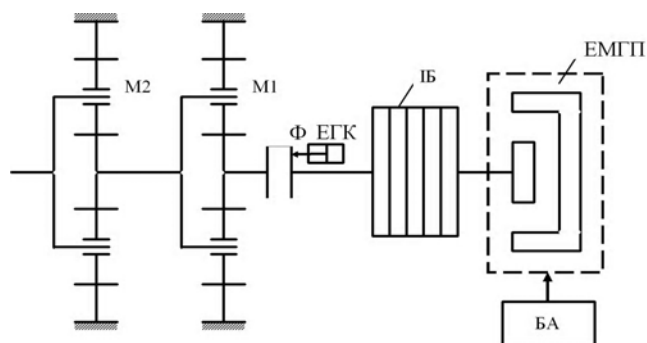


Рис. 6. Схема навантажувального пристрою: М1, М2 – мультиплікатори з передатними числами $i_1=0.318$ та $i_2=0.166$; Ф – фрикціон; ІБ – інерційний барабан; ЕМГП – електромагнітний гальмовий пристрій; БА – блок автоматики; ЕГК – електрогідравлічний клапан

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 $5-120 \text{ Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^2$ 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 c^{-1} і дорівнює кутовій швидкості ротора електромагнітного гальмового пристрою.

Результати експериментальних досліджень підтвердили теоретичні результати дослідження стохастичної системи паливоподавання транспортного дизеля і ефективність використання новітніх інформаційних технологій.

Висновки

Наукова новизна: запропоновано і обґрунтовано концепцію інтелектуального транспортного засобу на основі штучних нейромережових регуляторів для автомобілів з інформаційно-керуючими системами, що дозволяє якісно підвищити ефективність як одного транспортного засобу, так і транспортної системи в цілому за рахунок об'єднання синергетичного підходу і еволюційних методів навчання багатопарових штучних нейронних мереж шляхом об'єктивного формування архітектури цих мереж на основі функціоналів навчання і відповідних цілей керування. Дістало подальший розвиток використання принципів по-

будови 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.

Практичне значення: розроблено алгоритмічне і програмне забезпечення для інтегрованих інформаційно-керуючих телематичних систем транспортних засобів.

Для подальших досліджень доцільно використання нечітких нейронних мереж із самоорганізацією і змінною структурою, алгоритмів структурного випадкового пошуку на основі еволюційного моделювання, а також введення нейроконтролерів до внутрішніх контурів керування інформаційно-керуючих систем.

Література: 1. Информационные технологии на автомобильном транспорте / В.М. Власов, А.Б. Николаев, А.В. Постолит, В.М. Приходько; под ред. В.М. Приходько. М.: Наука, 2006. 283 с. 2. Говоруценко Н.Я., Туренко А.Н. Системотехника транспорта. Харьков: ХГАДТУ, 1998. 255 с. 3. Телематика на транспорте / П. Пржибыл, М. Свитек; под ред. В.В. Сильянова. М.: МАДИ(ГТУ), 2003. 540 с. 4. Алексієв О.П., Табулович В.П. Мультимедійна гнучка комп'ютеризована система безперервного моніторингу технічного стану автомобіля // Автомобільний транспорт. 2009. №25. С. 226-230. 5. Александрова - Т.Е., Ніконов О.Я. Параметрический синтез электронного всережимного регулятора дизеля БТД для детерминированного объекта // Механіка та машинобудування. 2001.

№ 1,2. С. 184-189. 6. Руденко О.Г., Бодянский Е.В. Искусственные нейронные сети. Харьков: ООО «Компания СМИТ», 2005. 408 с. 7. Филимонов Н.А. О применимости схем нейронного управления на основе инверсной прямой модели обучения // Мехатроника, автоматизация, управление. 2004. №10. С. 54-60. 8. Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы. М.: Горячая линия–Телеком, 2004. 452 с. 9. Методы робастного, нейро-нечеткого и адаптивного управления / Под ред. Н.Д. - Егупова. М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2002. 744 с. 10. Хайкин С. Нейронные сети / Пер с англ. М.: Издательский дом «Вильямс», 2006. 1104 с. 11. Александров Є.С. Козлов Е.П., Кузнецов Б.І. Автоматичне керування рухомими об'єктами і технологічними процесами. Харків: НТУ-«ХП», 2002. 492 с.

Надійшла до редколегії 01.09.2010

Рецензент: д-р техн. наук Волонцевич Д.О.

Ніконов Олег Якович, д-р техн. наук, доцент, завідувач кафедри інформатики Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. Наукові інтереси: інформаційні технології, системи керування, математичне моделювання, системи зв'язку. Адреса: Україна, 61002, Харків, вул. Петровського, 25, тел.: (057) 707-37-74, e-mail: nikonov@khadi.kharkov.ua.

Шуляков Владислав Миколайович, асистент кафедри інформатики Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. Наукові інтереси: інформаційні технології, математичне моделювання. Адреса: Україна, Харків, вул. Петровського, 25, тел.: (057) 707-37-74, e-mail: jason07@ukr.net.