

## СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ШВИДКІСТЮ АВТОМОБІЛЯ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЙРОКОНТРОЛЕРА

*В роботі розглянуто систему керування швидкістю автомобіля з використанням ПІД-контролера і показано доцільність застосування в такій системі нейромережових технологій. Описано спосіб побудови такого контролера на основі оберненої моделі еталона.*

*Ключові слова: швидкість автомобіля, ПІД-регулятор, нейроконтролер, обернена модель еталона.*

*The system for vehicle speed control based on PID-controller has been considered in this paper. It shows that the use of neural technologies is more appropriate in such system. It describes the way of such controller design based on an inverse model of the standard.*

*Keywords: vehicle speed, PID-regulator, neurocontroller, inverse model of the standard.*

### 1. ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Одним з визначальних чинників-забруднювачів довкілля є зростання кількості автотранспорту (бензинового і дизельного). На сьогодні розглядаються можливості зменшення його шкідливого впливу переходом автотранспорту з рідинно- чи газопаливних двигунів на електричні [1]. При цьому важливо розв'язати науково-практичну задачу керування електродвигуном автомобіля, що, як відомо [2], є нелінійним об'єктом. Для реалізації законів керування нелінійними об'єктами добре надається методологія нейронних мереж [4]. Тому доцільно проаналізувати можливість ефективності керування швидкістю електромобіля контролером, побудованим на базі нейронної мережі.

### 2. ПОБУДОВА СПРОЩЕНОЇ ФІЗИЧНОЇ МОДЕЛІ РУХУ АВТОМОБІЛЯ

В [3] розглянуто систему керування швидкістю автомобіля з використанням пропорційного (П)- та пропорційно-інтегрально-диференційного (ПІД) - контролерів, проте не висвітлено алгоритм розрахунку коефіцієнтів при пропорційній, інтегральній та диференціальних складових закону керування.

---

<sup>1</sup> Національний університет "Львівська політехніка".

<sup>2</sup> Українська академія друкарства.

Там же припущено, що автомобіль рухається поступально похилою площиною (рис. 1) і на нього діють ряд зовнішніх сил: сила тяги двигуна (яка передається через колеса) або сила гальмування автомобіля ( $F_e$ ) (в цьому випадку величина  $F_e$  від'ємна), протидіюча рухові аеродинамічна сила ( $F_w$ ), і проекція ( $F_h$ ) сили тяжіння ( $P$ ) на повздовжню вісь автомобіля.

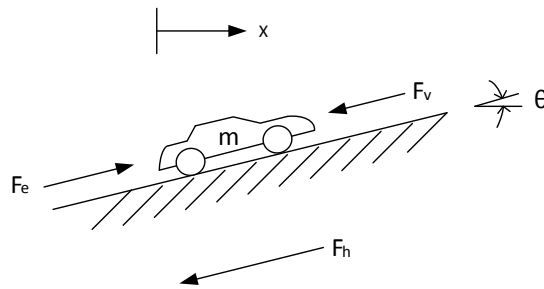


Рис. 1. Рух автомобіля похилою площиною

Рух автомобіля (рис. 1) можна описати другим законом Ньютона:

$$m\ddot{x} = F_e - F_w - F_h,$$

де  $m$  – маса автомобіля,  $\ddot{x}$  – прискорення (що є другою похідною за часом від переміщення  $x$ ).

Аеродинамічна сила залежить від густини повітря, фронтальної площі автомобіля і дії повітряного потоку, швидкість якого складається з двох компонент: швидкості автомобіля  $\dot{x}$  і швидкості вітру  $v_w$ . Тобто,

$$F_w = k_{fw}(\dot{x} + v_{wx})^2, \quad (1)$$

де  $k_{fw}$  – коефіцієнт пропорційності (зокрема [3], прийнято  $k_{fw} = 0.001$ , кг/м).

Аналізувався [3] випадок зміни швидкості вітру в часі за синусоїдним законом, а саме:

$$v_{wx} = 20 \sin(\omega t)$$

й прийнято  $\omega = 0.001$  рад/с [3].

Ми ж проаналізуємо ситуацію, коли вітер має поривний характер, в цьому випадку кут  $\alpha$  між напрямом руху автомобіля і

вектором напрямку вітру може змінюватися в межах  $0 \leq \alpha \leq 2\pi$  (рис.2). Приймаємо також, що швидкість вітру для нашого випадку змінюється в межах 4÷5м/с .

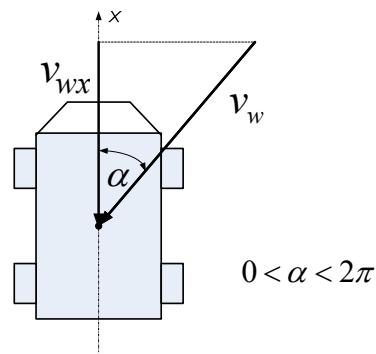


Рис. 2. Вплив вітру на автомобіль

Отже, проекція вектора  $v_w$  швидкості вітру на вісь  $x$  напрямку руху автомобіля матиме вигляд

$$v_{wx} = rand(4..5) \cdot \cos(rand(0..2\pi)), \quad (2)$$

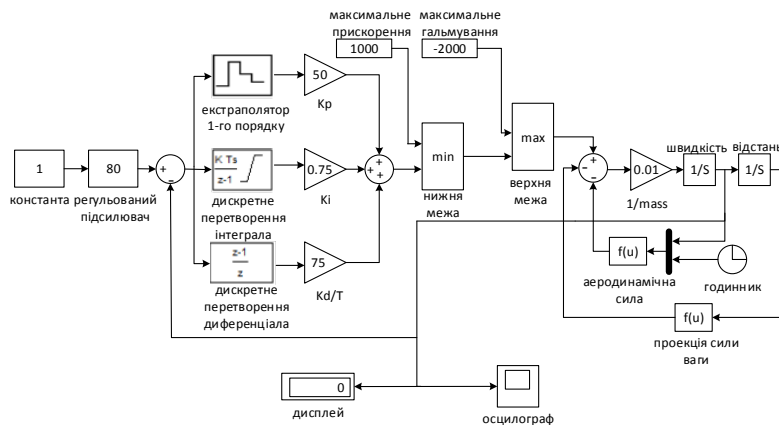
де  $rand()$  - функція, що вибирає випадкове значення аргумента з нормальним законом розподілу.

З врахуванням (2) вираз (1) набуде вигляду

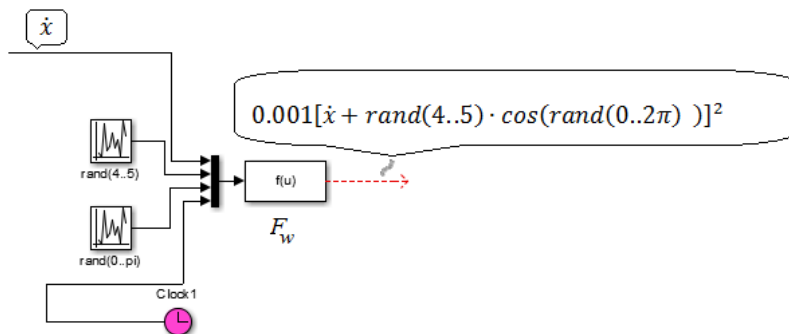
$$F_w = 0.001[\dot{x} + rand(4..5) \cdot \cos(rand(0..2\pi))]^2 \quad (3)$$

### 3. ПІД-КОНТРОЛЕР РУХУ АВТОМОБІЛЯ

Для керування швидкістю автомобіля використано [3] дискретний ПД – регулятор (рис. 3), коефіцієнти якого при пропорційній, інтегральній та диференціальній складових, відповідно, мають наступні значення:  $K_p=50$ ,  $K_i=0.75$ ,  $K_d=75$ . Тривалість моделювання становила 1000 с, а значення заданої швидкості складало 80 км/с.



а)



б)

Рис. 3. Структурна схема системи керування автомобілем з дискретним ПІД-контролером (а) та її блок “Аеродинамічна сила” у вигляді структурної схеми Simulink (б)

Структура (рис.3,б) блоку “Аеродинамічна сила”сформована на основі виразу (3).

#### 4. ПОБУДОВА НЕЙРОННОГО КОНТРОЛЕРА НА ОСНОВІ ОБЕРНЕНОЇ МОДЕЛІ ЕТАЛОНА

Відомо [4], що для забезпечення процесу керування в нелінійному об’єкті, можна використовувати контролери, виконані на базі нейронних мереж, а саме: нейронний контролер вводить в систему автоматичного керування (рис. 4).

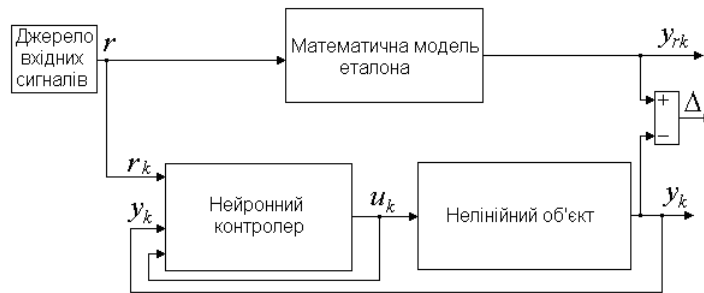


Рис. 4. Схемавведення нейронного контролера в систему автоматичного керування

Керування слід здійснювати так, щоб вихідний сигнал об'єкта відповідав деякому еталонному сигналу, при цьому повинна мінімізуватися різниця між еталонним сигналом і сигналом на виході системи, яку кількісно можна оцінювати її середньоквадратичним значенням.

**Навчання нейронних контролерів.** Будемо вважати, що архітектура нейронного контролера відома та в процесі навчання необхідно лише визначити його вагові коефіцієнти.

В цьому випадку нейронний контролер так доповнює нелінійний об'єкт, щоб утворена система максимально наближалася до еталону (в ідеалі  $y_{rk} = y_k$ ) при подаванні будь-якої реально допустимої послідовності  $r_k$ . Оскільки для навчання нейронної мережі потрібно знати її вхідні вихідні сигнали, то нейронний контролер можна навчити, якщоодночасно відомі:

1. задаючий сигнал на вході нейронного контролера (послідовність  $r_k$ );
2. вихідний сигнал нейронного контролера (послідовність  $u_k$ , що подається на об'єкт);
3. сигнал оберненого зв'язку з виходу об'єкта (послідовність  $y_k$ ).

Складність полягає у тому, що до початку процесу навчання попередньо вказані три послідовності одночасно не є відомими. Якщо задати вхідний сигнал (послідовність  $r_k$ ), тоді в припущенні, що  $y_k = y_{rk}$ , на основі математичної моделі еталона можна зробити відомою послідовність  $y_k$ , проте тоді послідовність  $u_k$  залишається невідомою. Якщо скористатись іншим способом та подати на об'єкт тестову послідовність  $u_k$ , то на виході цього об'єкта одержимо  $y_k$ , але при тому невідомою залишиться послідовність  $r_k$ .

Відповідно до вимог системи стабілізації руху автомобіля, динаміка процесу стабілізації швидкості має відповідати певним

вимогам, які визначені видом і параметрами задаючого сигналу. Для автомобілів А-класу тривалість перехідного процесу не повинна перевищувати 5 с, а перерегулювання - 5% [5]. Відповідно до названих вимог, еталон можна задати за допомогою моделі, передатна функція якої описується рівнянням І-го порядку, параметри якого  $K=200$ ,  $T=2$ с. Отже, представимо еталон в операторній формі та запишемо відношення  $y_r(s)/r(s)$  як:

$$w(s) = \frac{y_r(s)}{r(s)} = \frac{200}{2s + 1}.$$

В загальному випадку для створення моделі оберненого еталона можна скористатися нейронною мережею та сформувати узагальнену схему навчання нейронного контролера з використанням нейронної моделі оберненого еталона (рис. 5).

В результаті навчання нейронної мережі синтезовано контролер, який після введення в систему керування повинен забезпечити слідування вихідного сигналу системи за сигналом на виході еталона (задаючим сигналом).

Ефективність використання нейромережевого підходу в системі керування визначимо, порівнюючи її реакцію на дію вхідного сигналу з реакцією системи із класичним ПІД- контролером (рис. 6).

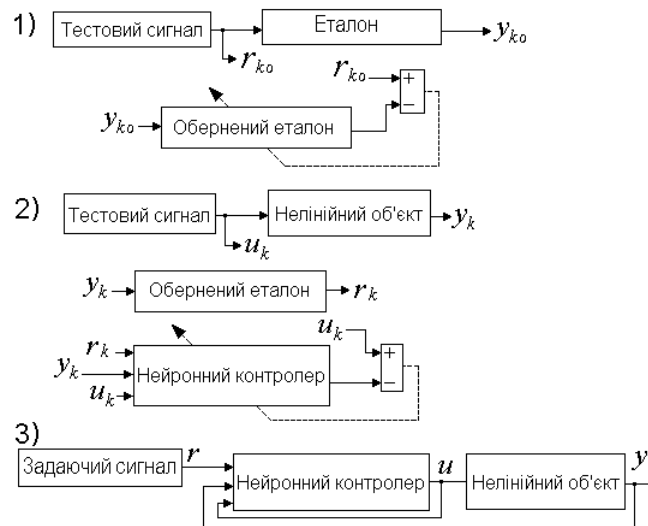
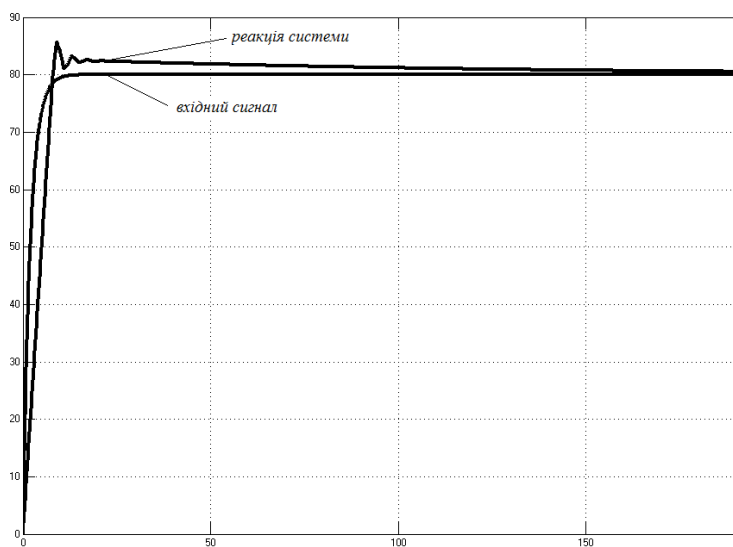


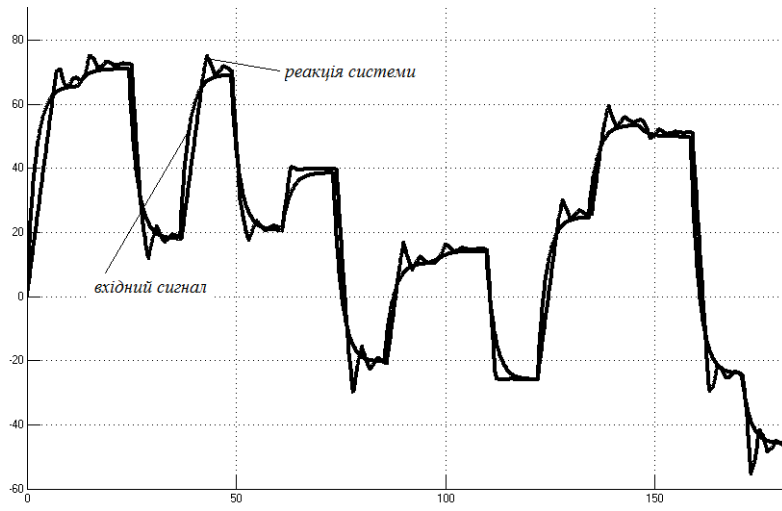
Рис. 5. Навчання нейронного контролера з використанням нейронної моделі оберненого еталона

## 5. ПОРІВНЯННЯ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ З КЛАСИЧНИМ ТА НЕЙРОННИМ КОНТРОЛЕРАМИ

На основі порівняння реакцій системи керування на збурення (рис. 6 і 7) бачимо, що середньоквадратичне відхилення нейроконтролерного керування становить 0,007, порівняно з 0,219 для класичного, а максимальне відхилення -0,01 і 0,31, що в 30 разів краще – при стрибкоподібному збуренні; а при збуренні сигналом з випадковою амплітудою середньоквадратичне відхилення становить 0,004 для нейроконтролерного керування, порівняно з 3,837 для класичного, а максимальне відхилення -0,006 і 5,43, що понад 800 разів краще від класичного.

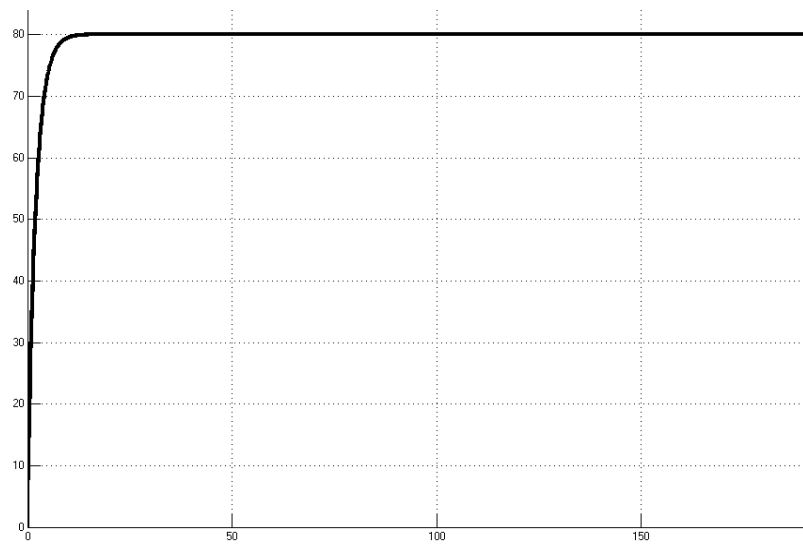


а)



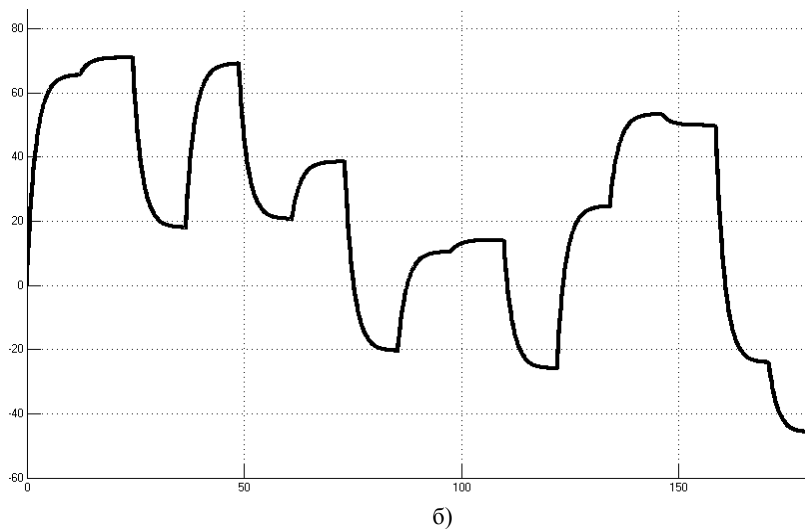
б)

Рис.б. Реакція системи з класичним дискретним ПІД - контролером на збурення, наближене до стрибкоподібного (а) та на збурення сигналом, що підпорядковується нормальному закону розподілу (б)



а)





б)  
Рис. 7. Реакція системи з дискретним нейронним контролером на збурення (криві сигналів збурення і реакції системи практично збіглися)

## 5. ВИСНОВКИ

Система з нейронним контролером, навчання якого здійснювалось з використанням оберненої моделі еталона, забезпечує кращу збіжність процесів на виході еталона порівняно з системою на базі класичного ПІД-контролера.

1. Eckard Helmers. *Electric cars: technical characteristics and environmental impacts* / Eckard Helmers\* and Patrick Marx // *Helmers and Marx Environmental Sciences Europe* 2012, 24:14 - Режим доступу: [http://download.springer.com/static/pdf/957/art%253A10.1186%252F2190-4715-24-14.pdf?auth66=1420478609\\_5b4bc73a9cdcd0a4f4b5078574b4a697&ext=.pdf](http://download.springer.com/static/pdf/957/art%253A10.1186%252F2190-4715-24-14.pdf?auth66=1420478609_5b4bc73a9cdcd0a4f4b5078574b4a697&ext=.pdf)
2. Наконечний М. В. Ідентифікація об'єктів керування та синтез контролерів з використанням штучних нейронних мереж : автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук : 05.13.05 - комп'ютерні системи та компоненти / Наконечний Маркіян Володимирович ; Національний університет "Львівська політехніка". - Львів, 2013. - 41 с. 3. Дзбни Дж. *Simulink 4. Секрети мастерства.* / Дж. Дзбни, Т. Харман (пер. М. Симонова) // *Бином. Лаборатория знаний, Москва, 2003.* 4. Yu. Hirnyak. *Control system of robot movement* / Yu. Hirnyak, O. Ivakhiv, M. Nakonechnyi, T. Repetylo // *Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems (IDAACS), 2013 IEEE 7th International Conference, 12-14 sep 2013, Berlin, Germany.* P.- 334 – 337.5. <http://www.fiat.com>.