

# Машинознавство

УДК 004.8:621.431.36

А.В. Гончаренко, студ.  
І.Ю. Черепанська, к.т.н., доц.  
Житомирський державний технологічний університет

## ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ КЕРУВАННЯ ПОДАЧЕЮ ПАЛИВА ІНЖЕКТОРНОГО ДВИГУНА

*Запропонована система інтелектуального керування подачею палива до інжекторного двигуна внутрішнього згорання на основі нечіткої логіки. Розроблено правила керування базовою тривалістю вприскування та коефіцієнтом корекції вприскування.*

**Ключові слова:** автоматизоване керування, нечітка логіка, двигун внутрішнього згорання, стехіометричний склад паливно-повітряної суміші, базова тривалість вприскування, коефіцієнт корекції вприскування.

**Постановка проблеми.** Сучасна світова тенденція економії природних паливних ресурсів, високі вимоги екологічної безпеки та охорони навколишнього середовища [5] стимулюють розвиток нових альтернативних технологій керування машинами та механізмами, зокрема сучасними автомобілями. Так на сьогодні гостро стоїть питання зменшення токсичності відпрацьованих газів (ВГ) у двигунах внутрішнього згорання (ДВЗ), що передбачає керування дозуванням палива, оскільки склад відпрацьованих газів (ВГ) і токсичних речовин, що містяться в них, вирішальною мірою залежить від складу паливної суміші [5], зокрема від співвідношення між масою палива і повітря. Тому важливого значення набувають питання автоматизованого керування тривалістю вприскування палива в інжекторний двигун внутрішнього згорання (ДВЗ), зокрема питання корекції базової тривалості вприскування палива та коефіцієнта корекції вприскування для забезпечення оптимального співвідношення між масою палива і повітря, яке має назву стехіометричний склад паливно-повітряної суміші.

**Аналіз останніх джерел і публікацій** [0, 2, 6] показав, що на сьогодні питання щодо керування подачею палива у ДВЗ для забезпечення стехіометричного складу паливно-повітряної суміші виокремилася в окремий та актуальний напрямок досліджень. Зокрема наукові дослідження в даному напрямку та практичні впровадження результатів проводяться в таких провідних країнах світового автомобілебудування, як США [0], Японія [2] та інші. В сучасних автомобілях вказаних країн використовуються так звані інтелектуальні електронні блоки керування (ЕБК), що працюють з використанням штучного інтелекту, зокрема нечіткої логіки. Проте детальна інформація щодо принципів роботи вказаних ЕБК є комерційною таємницею. Теоретичні розробки щодо керування вприскуванням палива проводяться в Росії [6]. В Україні дослідження в даному напрямку знаходяться на недостатньому рівні. Тому актуальність робіт щодо керування подачею палива у ДВЗ для забезпечення оптимального співвідношення між масою палива і повітря, тобто стехіометричного складу паливно-повітряної суміші, зокрема для вітчизняного автомобілебудування є очевидною.

**Постановка завдання.** З огляду на те, що ДВЗ є нелінійною нестационарною стохастичною системою, що піддається впливу постійно змінюваних в часі зовнішніх збурюючих факторів і повна математична модель якого ще й дотепер не сформована [6], очевидно є ефективність використання штучного інтелекту для автоматизованого керування такими об'єктами [4], зокрема для корекції базової тривалості вприскування палива та керування коефіцієнтом корекції вприскування для забезпечення стехіометричного складу паливно-повітряної суміші.

**Основний матеріал.** Зменшення концентрації найбільш токсичного газу – чадного (СО) при роботі ДВЗ пов'язане зі збідненням паливної суміші, а згорання чадного газу в нейтралізаторі ВГ найбільш ефективно відбувається при так званій "нормальній суміші", що відповідає оптимальному співвідношенню між кількістю палива та повітря, що повинно становити 14,7:1. Вказане називають стехіометричним складом паливно-повітряної суміші (рис. 1).

Відношення кількості повітря до кількості палива, яке надходить в циліндри ДВЗ, характеризують показником  $\lambda$ , значення якого при стехіометричному складі паливно-повітряної суміш становить  $\lambda = 1$  [5]. При цьому суміш в циліндрах ДВЗ називають "нормальною", а співвідношення кількості палива та повітря є оптимальним та становить 14,7:1 відповідно. При цьому завдання керування дозуванням подачею палива у ДВЗ здійснюється в двох режимах – холостого ходу та навантаження і полягає у підтримці постійними значень вказаних параметрів тобто  $\lambda = 1$ , співвідношення кількості палива та повітря становить 14,7:1 відповідно, склад паливно-повітряної суміші є стехіометричним.

В цілому завдання керування подачею палива є задачею оптимізації, що передбачає формування системою керування подачею палива (СКПП) деякого управлінського впливу  $G(t)$  з метою утримання постійними значень вказаних параметрів, тобто співвідношення між кількістю повітря  $y_1$  та кількістю палива  $y_2$  у паливній суміші при постійній зміні температурних умов і навантаженні на двигун:

$$G(t) : F(t) = \Psi_1 : y_2 \rightarrow opt, \quad (1)$$

де  $y_1$  – кількість повітря у паливній суміші;  $y_2$  – кількість палива у паливній суміші.

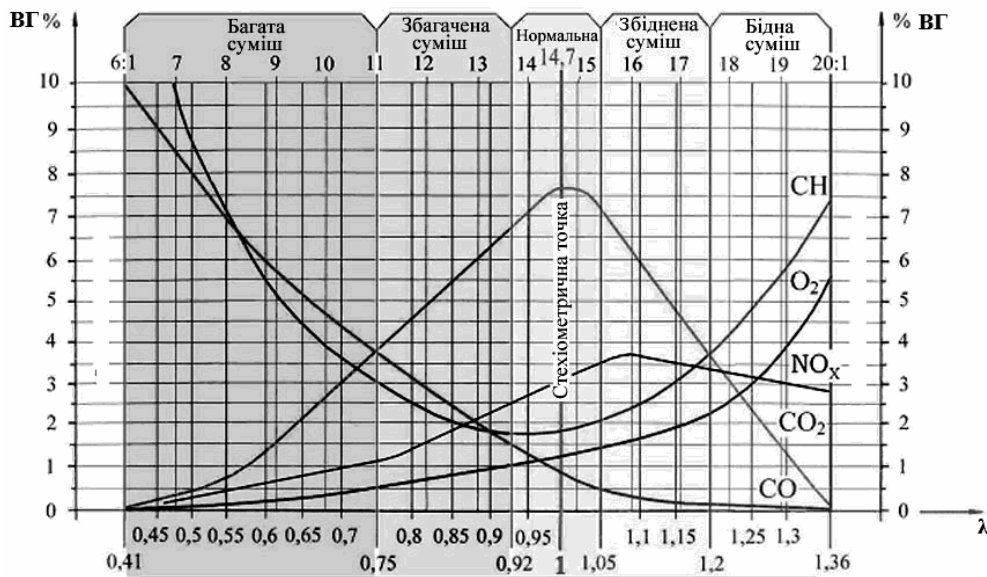


Рис. 1. Вміст відпрацьованих газів бензинового ДВЗ [5]

Управління  $G$  полягає у керуванні часом вприскування або базовою тривалістю вприскування  $T_{basic}$  та так званим коефіцієнтом корекції вприскування або паливподачі  $k$ . Тобто управління здійснюється за двома каналами зв'язку. В результаті такого поділу СКПП може бути спрощено представлена класичною схемою організації управління, що застосовується в динамічних системах зі зворотнім зв'язком по стану (рис. 2).

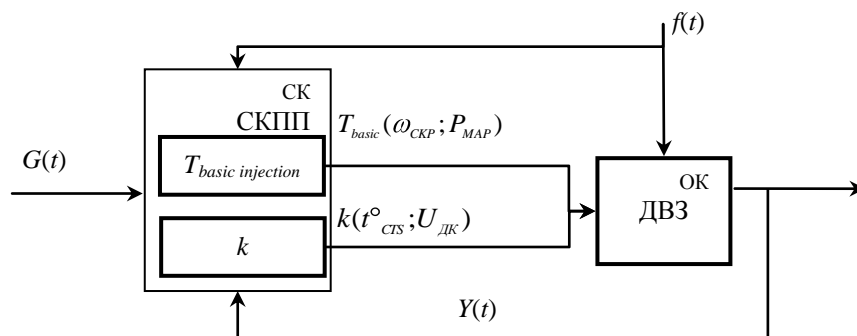


Рис. 2. Спрощена схема керування подачею палива у ДВЗ:

$G(t)$  – управлінський вплив;  $Y(t)$  – сигнал зворотного зв'язку;  $f(t)$  – збурюючі фактори;  $T_{basic}$  – тривалість вприскування;  $k$  – коефіцієнт корекції вприскування

Час базової тривалості вприскування  $T_{basic}$  функціонально залежить від частоти обертання колінчастого валу ДВЗ  $\omega_{СКР}$  та абсолютного тиску  $P_{МАР}$  у впускному колекторі ДВЗ:

$$T_{basic} = f(\omega_{СКР}; P_{МАР}), \quad (2)$$

де  $T_{basic}$  – базова тривалість впорскування палива, мс;  $\omega_{CKP}$  – частота обертання колінчастого валу ДВЗ, об./хв.;  $P_{MAP}$  – абсолютний тиск у впускному колекторі, кПа.

Коефіцієнт корекції паливоподачі  $k$  залежить від температури охолоджуючої рідини  $t_{CTS}^{\circ}$  у ДВЗ та напруги датчика кисню  $U_{DK}$ , який визначає вміст кисню у паливній суміші:

$$k = f(t_{CTS}^{\circ}; U_{DK}), \quad (3)$$

де  $k$  – коефіцієнт корекції паливоподачі, %;  $t_{CTS}^{\circ}$  – температура охолоджуючої рідини,  $t^{\circ}\text{C}$ ;  $U_{DK}$  – напруга з датчика кисню, В.

Відповідно до функціональних залежностей (2) та (3) вхідні дані можна представити відповідними множинами. Так частота обертання колінчастого валу  $\omega_{CKP}$  змінюється в інтервалі від 0 до  $n$  об./хв. Тоді інтервали частот обертання колінчастого валу можна представити множиною різних режимів роботи ДВЗ наступним чином:

$$\omega_{CKP} = \{\omega_{CKP}^j \mid j = \overline{1; 3}\} = \{\alpha_{CKP}^1; \alpha_{CKP}^2; \alpha_{CKP}^3\}, \quad (4)$$

де  $\alpha_{CKP}^1$  – режим низьких обертів (low speed) валу ДВЗ;  $\alpha_{CKP}^2$  – режим середніх обертів (med speed) валу ДВЗ;  $\alpha_{CKP}^3$  – режим високих обертів (high speed) валу ДВЗ.

Абсолютний тиск в колекторі  $P_{MAP}$  змінюється в інтервалі від 0 до  $p$  кПа. Відповідно інтервал тисків роботи ДВЗ можна представити множиною:

$$P_{MAP} = \{P_{MAP}^i \mid i = \overline{1; 4}\} = \{P_{MAP}^1; P_{MAP}^2; P_{MAP}^3; P_{MAP}^4\}, \quad (5)$$

де  $P_{MAP}^1$  – режим дуже низького тиску (very low pressure) роботи ДВЗ;  $P_{MAP}^2$  – режим низького тиску (low pressure) роботи ДВЗ;  $P_{MAP}^3$  – режим високого тиску (high pressure) роботи ДВЗ;  $P_{MAP}^4$  – режим дуже високого тиску (very high pressure) роботи ДВЗ.

Температура охолоджуючої рідини  $t_{CTS}^{\circ}$  у ДВЗ змінюється від  $-t$  до  $t$ , тоді інтервал температур охолоджуючої рідини може бути представлений наступною множиною:

$$t_{CTS}^{\circ} = \{t_{CTS}^z \mid z = \overline{1; 3}\} = \{t_{CTS}^{\circ 1}; t_{CTS}^{\circ 2}; t_{CTS}^{\circ 3}\}, \quad (6)$$

де  $t_{CTS}^{\circ 1}$  – холодний ДВЗ (cold);  $t_{CTS}^{\circ 2}$  – теплий ДВЗ (warm);  $t_{CTS}^{\circ 3}$  – гарячий ДВЗ (hot).

Напруга датчика кисню  $U_{DK}$  при статичних режимах роботи ДВЗ, як правило, для всіх ДВЗ змінюється в інтервалі від 0,1 до 0,9 В, що може бути представлено наступною множиною:

$$U_{DK} = \{U_{DK}^r \mid r = \overline{1; 5}\} = \{U_{DK}^1; U_{DK}^2; U_{DK}^3; U_{DK}^4; U_{DK}^5\}, \quad (7)$$

де  $U_{DK}^1$  – напруга з датчика кисню при бідній паливно-повітряній суміші (very lean mixture), В;  $U_{DK}^2$  – напруга з датчика кисню при збідненій паливно-повітряній суміші (lean mixture), В;  $U_{DK}^3$  – напруга з датчика кисню при нормальній паливно-повітряній суміші (optimal mix), В;  $U_{DK}^4$  – напруга з датчика кисню при збагаченій паливно-повітряній суміші (rich mixture), В;  $U_{DK}^5$  – напруга з датчика кисню при багатій паливно-повітряній суміші (very rich mixture), В (рис. 1).

Залежно від різних режимів роботи ДВЗ, його температури, складу паливно-повітряної суміші тощо для керування базовою тривалістю впорскування  $T_{basic}$  та коефіцієнтом корекції впорскування  $k$  сформовані відповідні множини керуючих правил або альтернатив для керування базовою тривалістю впорскування  $T_{basic}$  (табл. 1) та керування коефіцієнтом корекції впорскування  $k$  (табл. 2).

Таблиця 1

Нечіткі правила керування базовою тривалістю впорскування  $T_{basic}$ 

№ з/п	Правило	Опис
1	$T_{basic}^1 = \alpha_{CKP}^1 \cdot P_{MAP}^1$	якщо ДВЗ працює на низьких обертах та з дуже низьким тиском у впускному колекторі, то час впорскування $T_{basic}^1$
2	$T_{basic}^2 = \alpha_{CKP}^1 \cdot P_{MAP}^2$	якщо ДВЗ працює на низьких обертах та з низьким тиском у впускному колекторі, то час впорскування $T_{basic}^2$

3	$T_{basic}^3 = \alpha_{CKP}^1 \cdot P_{MAP}^3$	якщо ДВЗ працює на низьких обертах та з високим тиском у впускному колекторі, то час вприскування $T_{basic}^3$
4	$T_{basic}^4 = \alpha_{CKP}^1 \cdot P_{MAP}^4$	якщо ДВЗ працює на низьких обертах та з дуже високим тиском у впускному колекторі, то час вприскування $T_{basic}^4$
5	$T_{basic}^5 = \alpha_{CKP}^2 \cdot P_{MAP}^1$	якщо ДВЗ працює на середніх обертах та з дуже низьким тиском у впускному колекторі, то час вприскування $T_{basic}^5$
6	$T_{basic}^6 = \alpha_{CKP}^2 \cdot P_{MAP}^2$	якщо ДВЗ працює на середніх обертах та з низьким тиском у впускному колекторі, то час вприскування $T_{basic}^6$
7	$T_{basic}^7 = \alpha_{CKP}^2 \cdot P_{MAP}^3$	якщо ДВЗ працює на середніх обертах та з високим тиском у впускному колекторі, то час вприскування $T_{basic}^7$
8	$T_{basic}^8 = \alpha_{CKP}^2 \cdot P_{MAP}^4$	якщо ДВЗ працює на середніх обертах та з дуже високим тиском у впускному колекторі, то час вприскування $T_{basic}^8$
9	$T_{basic}^9 = \alpha_{CKP}^3 \cdot P_{MAP}^1$	якщо ДВЗ працює на високих обертах та з дуже низьким тиском у впускному колекторі, то час вприскування $T_{basic}^9$
10	$T_{basic}^{10} = \alpha_{CKP}^3 \cdot P_{MAP}^2$	якщо ДВЗ працює на високих обертах та з низьким тиском у впускному колекторі, то час вприскування $T_{basic}^{10}$
11	$T_{basic}^{11} = \alpha_{CKP}^3 \cdot P_{MAP}^3$	якщо ДВЗ працює на високих обертах та з високим тиском у впускному колекторі, то час вприскування $T_{basic}^{11}$
12	$T_{basic}^{12} = \alpha_{CKP}^3 \cdot P_{MAP}^4$	якщо ДВЗ працює на високих обертах та з дуже високим тиском у впускному колекторі, то час вприскування $T_{basic}^{12}$

Примітка: значення базової тривалості вприскування  $T_{basic}$  (рис. 3) є величиною, що безперервно змінюється в інтервалі значень від 0 до 3 мс залежно від частоти обертання колінчатого валу ДВЗ та тиску в колекторі

Таблиця 2

Нечіткі правила керування коефіцієнтом корекції вприскування  $k$ 

№ з/п	Правило	Опис
1	2	3
1	$k^1 = t_{TS}^1 \cdot U_{DK}^1$	якщо ДВЗ холодний, а паливно-повітряна суміш бідна, то коефіцієнт корекції вприскування $k^1$
2	$k^2 = t_{TS}^2 \cdot U_{DK}^2$	якщо ДВЗ холодний, а паливно-повітряна суміш збіднена, то коефіцієнт корекції вприскування $k^2$
3	$k^3 = t_{TS}^3 \cdot U_{DK}^3$	якщо ДВЗ холодний, а паливно-повітряна суміш нормальна, то коефіцієнт корекції вприскування $k^3$
4	$k^4 = t_{TS}^4 \cdot U_{DK}^4$	якщо ДВЗ холодний, а паливно-повітряна суміш збагачена, то коефіцієнт корекції вприскування $k^4$
5	$k^5 = t_{TS}^5 \cdot U_{DK}^5$	якщо ДВЗ холодний, а паливно-повітряна суміш багата, то коефіцієнт корекції вприскування $k^5$
6	$k^6 = t_{TS}^6 \cdot U_{DK}^1$	якщо ДВЗ теплий, а паливно-повітряна суміш бідна, то коефіцієнт корекції вприскування $k^6$
7	$k^7 = t_{TS}^7 \cdot U_{DK}^2$	якщо ДВЗ теплий, а паливно-повітряна суміш збіднена, то коефіцієнт корекції вприскування $k^7$

Закінчення табл. 2

1	2	3
8	$k^8 = t_{TS}^8 \cdot U_{DK}^3$	якщо ДВЗ теплий, а паливно-повітряна суміш нормальна, то коефіцієнт корекції вприскування $k^8$
9	$k^9 = t_{TS}^9 \cdot U_{DK}^4$	якщо ДВЗ теплий, а паливно-повітряна суміш збагачена, то коефіцієнт корекції вприскування $k^9$
10	$k^{10} = t_{TS}^{10} \cdot U_{DK}^5$	якщо ДВЗ теплий, а паливно-повітряна суміш багата, то коефіцієнт корекції вприскування $k^{10}$
11	$k^{11} = t_{TS}^{11} \cdot U_{DK}^1$	якщо ДВЗ гарячий, а паливно-повітряна суміш бідна, то коефіцієнт корекції вприскування $k^{11}$

12	$k^{12} = t_{GS}^2; U_{DK}^2$	якщо ДВЗ гарячий, а паливно-повітряна суміш збіднена, то коефіцієнт корекції вприскування $k^{12}$
13	$k^{13} = t_{GS}^3; U_{DK}^3$	якщо ДВЗ гарячий, а паливно-повітряна суміш нормальна, то коефіцієнт корекції вприскування $k^{13}$
14	$k^{14} = t_{GS}^4; U_{DK}^4$	якщо ДВЗ гарячий, а паливно-повітряна суміш збагачена, то коефіцієнт корекції вприскування $k^{14}$
15	$k^{15} = t_{GS}^5; U_{DK}^5$	якщо ДВЗ гарячий, а паливно-повітряна суміш багата, то коефіцієнт корекції вприскування $k^{15}$

*Примітка:* значення коефіцієнта корекції вприскування  $k$  (рис. 4) є нелінійною величиною, що безперервно змінюється в інтервалі значень від -4 до 8 % від базової тривалості вприскування  $T_{basic}$  (значення  $T_{basic}$ , рис. 3) залежно від температури ДВЗ та складу паливно-повітряної суміші

#### Приклади зміни коефіцієнтів корекції вприскування $k$ для різних температурних режимів роботи ДВЗ

Температурний режим роботи ДВЗ	Значення коефіцієнтів корекції вприскування $k$
Для <u>холодного температурного режиму</u> , що реалізується на початку роботи ДВЗ	Відповідно до (6) температура ДВЗ відповідає $t_{CTS}^1$ – холодний ДВЗ (cold). При цьому співвідношення кількості палива та повітря визначене за показами датчика кисню $U_{DK}$ відповідно до виразу (7) може відповідати одному з 5 складів паливно-повітряної суміші, тобто паливно-повітряна суміш може бути від бідної до багатой. Тоді значення коефіцієнта корекції вприскування $k$ змінюється від 8 до 0 % (рис. 4) і може бути $k^1, k^2, k^3, k^4, k^5$ відповідно
Для <u>теплого температурного режиму</u> , що реалізується при прогріванні ДВЗ	За (6) температура ДВЗ відповідає $t_{CTS}^2$ – теплий ДВЗ (warm). При цьому співвідношення кількості палива та повітря визначене за показами датчика кисню $U_{DK}$ відповідно до (7) може відповідати одному з 5 складів паливно-повітряної суміші, тобто паливно-повітряна суміш може бути від бідної до багатой. Тоді значення коефіцієнта корекції вприскування $k$ змінюється від 6 до -2 % (рис. 4) і може бути $k^6, k^7, k^8, k^9, k^{10}$ відповідно
Для <u>гарячого температурного режиму</u> , що реалізується при тривалій роботі ДВЗ	За (6) температура ДВЗ відповідає $t_{CTS}^3$ – гарячий ДВЗ (hot). При цьому співвідношення кількості палива та повітря визначене за показами датчика кисню $U_{DK}$ відповідно до виразу (7) може відповідати одному з 5 складів паливно-повітряної суміші, тобто паливно-повітряна суміш може бути від бідної до багатой. Тоді значення коефіцієнта корекції вприскування $k$ змінюється від 4 до -4 % (рис. 4) і може бути $k^{11}, k^{12}, k^{13}, k^{14}, k^{15}$ відповідно

Кінцевий розв'язок щодо керування подачею палива  $G$  у загальному вигляді представляється як сукупність локальних рішень або альтернатив щодо керування базовою тривалістю вприскування  $T_{basic}$  та коефіцієнтом корекції паливонадачі  $k$  таким чином:

$$G = \left. \left. \begin{matrix} T_{basic}^m \cdot k^s \end{matrix} \right\} \right\} m = \overline{1; 12}; s = \overline{1; 15}. \quad (8)$$

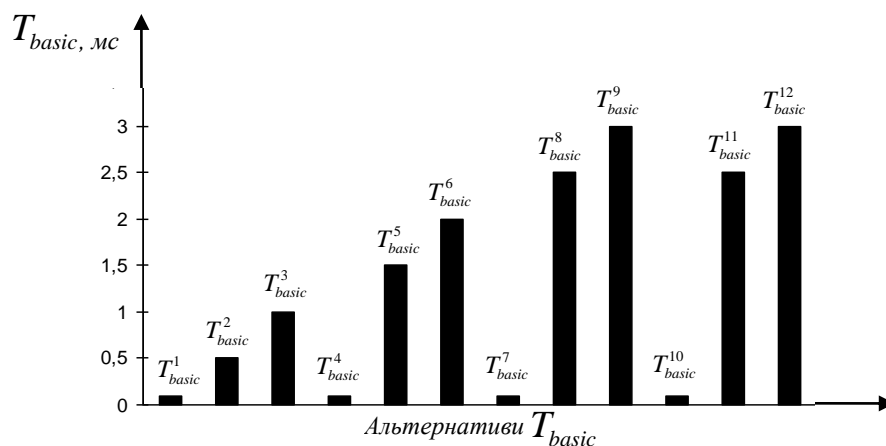
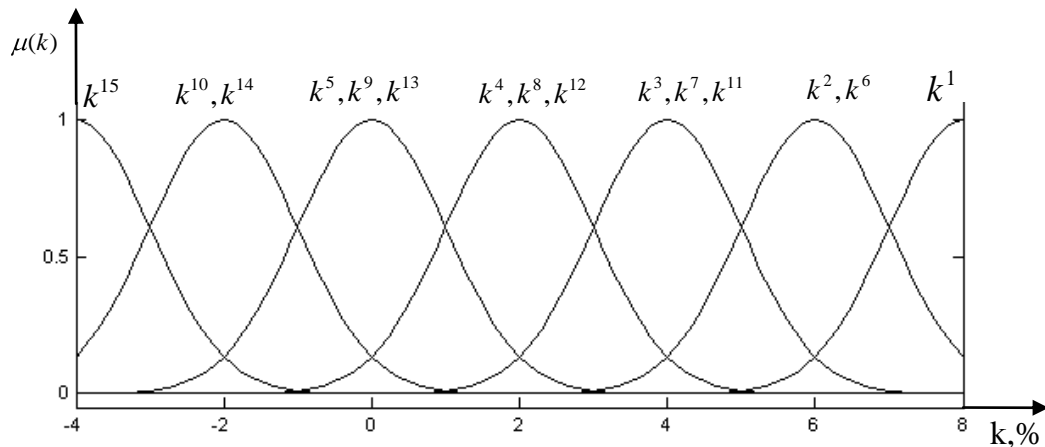


Рис. 3. Значення базової тривалості впрыскування  $T_{basic}$ Рис. 4. Значення коефіцієнтів корекції впрыскування  $k$  та їх функції належності  $\mu(k)$ 

Вказане може бути реалізовано у системі інтелектуального керування подачею палива (СІКПП), структурна схема якої наведена на рисунку 5. Очевидно, що СІКПП може бути реалізована як сукупність двох модулів. Модуль № 1 «Basic injection» використовується для керування базовою тривалістю впрыскування  $T_{basic}$ . Модуль № 2 «Short term» використовується для керування коефіцієнтом корекції впрыскування  $k$ . Модуль № 1 «Basic injection» та модуль № 2 «Short term» входять до складу ЕБК ДВЗ. Модуль № 1 «Basic injection» використовує покази датчика положення колінчатого валу (ДПКВ) та датчика абсолютного тиску (ДАТ), виходом модуля є час відкритого стану форсунки. Модуль № 2 «Short term» використовує покази датчика кисню (ДК) та датчика температури охолоджуючої рідини (ДТОР), виходом модуля є коефіцієнт корекції паливо-повітряної суміші.

Кожен модуль містить базу знань з лінгвістичними змінними та нечіткими правилами, блок фазифікації, блок дефазифікації, блок рішення. Блок фазифікації перетворює чисельні вхідні значення в ступінь відповідності лінгвістичним змінним. Блок дефазифікації перетворює результати виведення в чисельні значення. Блок рішення виконує операції виведення на основі існуючих нечітких правил, наданих в таблицях 1, 2.

ЕБК за сигналами від датчиків контролю, що можуть розглядатись як зворотній зв'язок (ЗЗ), здійснює керування системою запалення (СЗ), системою рециркуляції відпрацьованих газів (EGR), регулятором холостого ходу (РХХ) та безпосередньо системою подачею палива (СПП) для впрыскування палива у камеру згорання ДВЗ. Як ЗЗ використовуються ДК, ДТОР, ДАТ, ДПКВ. При цьому на ДВЗ діють різні збурюючі впливи, пов'язані з конструкцією самого двигуна і які виникають в процесі його експлуатації:  $f_n$  – зміни навантажень на двигун,  $f_m$  – зміна температури зовнішнього середовища,  $f_z$  – зміни характеру горіння суміші в циліндрах.

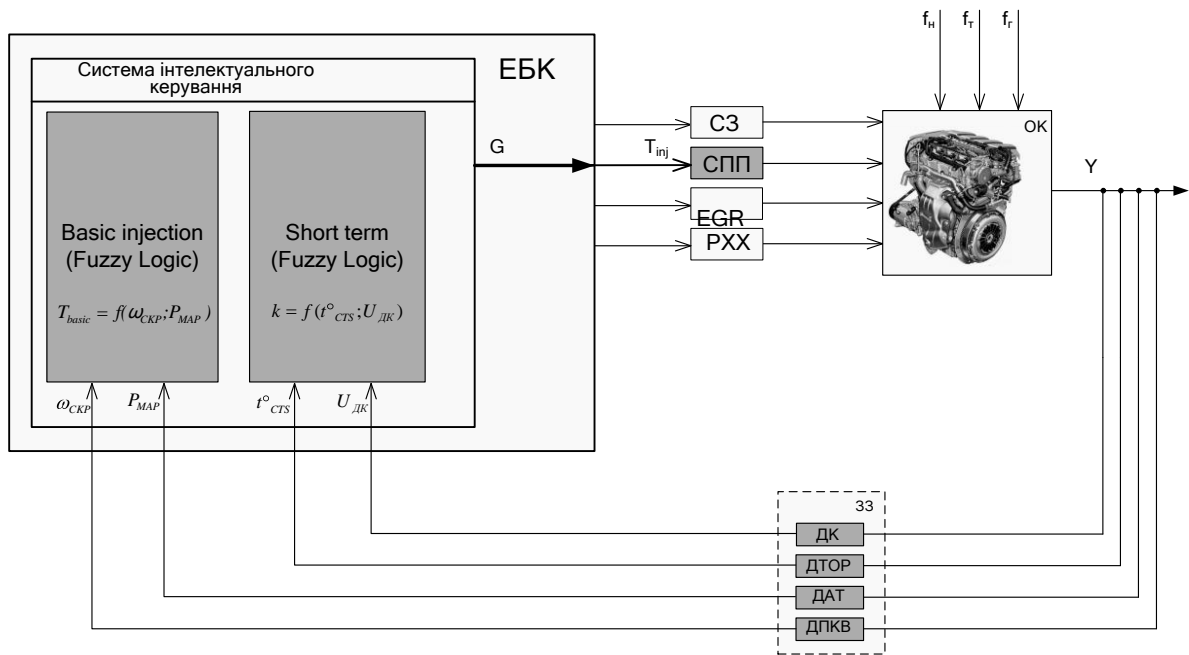


Рис. 5. Структурна схема системи інтелектуального керування подачею палива

Величина корекції кількості палива, що подається в циліндри за сигналом від ДК, залежить від різних факторів. Зміна базової тривалості впрыскування  $T_{basic}$  здійснюється в ЕБК, в який інтегрована пропонується система інтелектуального керування, відбувається відповідно до нечітких правил (табл. 1). Зменшуючи або збільшуючи базовий час впрыскування  $T_{basic}$  палива в межах допустимого, ЕБК перевіряє сигнал від ДК, що вказує на склад паливно-повітряної суміші та встановлює нове значення цього параметра. Якщо паливно-повітряна суміш багатша, ніж стехіометрична (14,7 частинок повітря на 1 частину палива), то вміст кисню у ВГ низький, отже, вихідна напруга ДК, наприклад, в інтервалі значень 0,7...0,9 В буде відповідати багатій паливно-повітряній суміші і на вхід ЕБК буде поступати сигнал "багата суміш". Відповідно за цим сигналом ЕБК зменшує час відкритого стану форсунки, і в результаті суміш буде збіднюватися, тобто буде збільшуватись кількість кисню. Коли паливно-повітряне співвідношення зміниться і суміш стане біднішою, ніж стехіометрична, то вміст кисню у ВГ збільшиться, і вихідна напруга ДК буде знаходитись в інтервалі значень 0,3...0,1 В, що відповідає бідній паливно-повітряній суміші. Тоді сигнал "бідна суміш" надходить до ЕБК і час відкриття форсунки збільшується. Весь цикл роботи модулів Basic injection та Short term безперервно повторюється, і склад суміші постійно коливається між збідненими і збагаченими станами. Це дозволяє постійно підтримувати стехіометричний склад паливно-повітряної суміші.

Імітаційна модель роботи СІКПП наведена на рисунку 6. Модель побудована за допомогою пакета Simulink середовища MATLAB. Моделювання блоків нечіткої логіки виконано з використанням пакету розширення Fuzzy Logic Toolbox в інтерактивному режимі за допомогою графічних засобів редагування і візуалізації всіх компонентів систем нечіткої логіки. Для побудови нейро-нечітких модулів було використано редактор адаптивних систем нейро-нечіткого виводу (ANFIS). Оцінка роботи модуля № 1 «Basic injection» проводилась у програмному пакеті MatLab. Базу знань модуля № 2 «Short term» було створено на основі принципу роботи ЕБК при корекції базової тривалості впрыску палива, за допомогою Fuzzy Logic Toolbox середовища MATLAB з використанням нечітких алгоритмів типу Mamdani. Оцінка роботи модуля № 2 «Short term» проводилась у програмному пакеті MatLab.

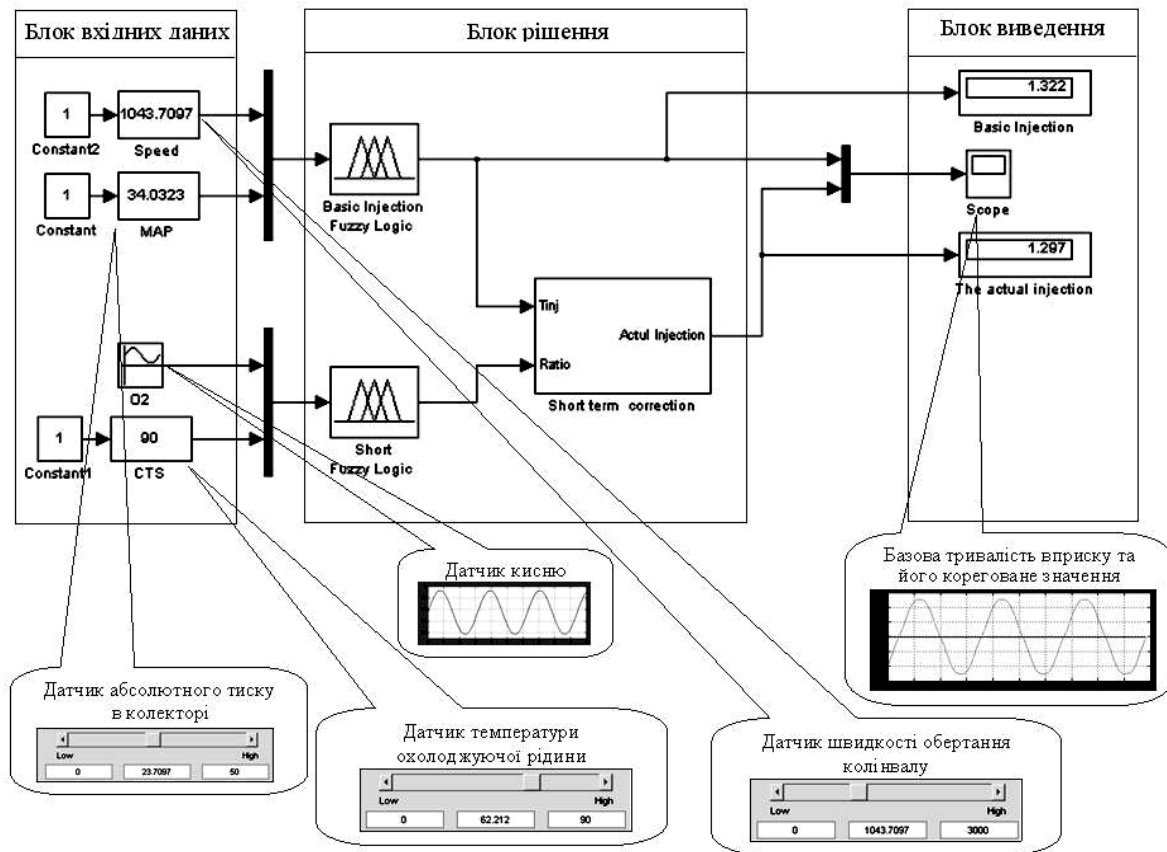


Рис. 6. Імітаційна модель роботи системи інтелектуального керування подачею палива

Фізичне підключення СІКПП до реального об'єкта, тобто до ДВЗ, що дає змогу перевірити працездатність даної системи в реальних умовах роботи ДВЗ, здійснюється за допомогою RTRCD модуля плати налагодження, наприклад HC12 (виробництво Німеччина), що дозволяє здійснити зв'язок між МК та ЕОМ. Спрощена структурна схема підключення системи керування до ДВЗ наведена на рисунку 7.

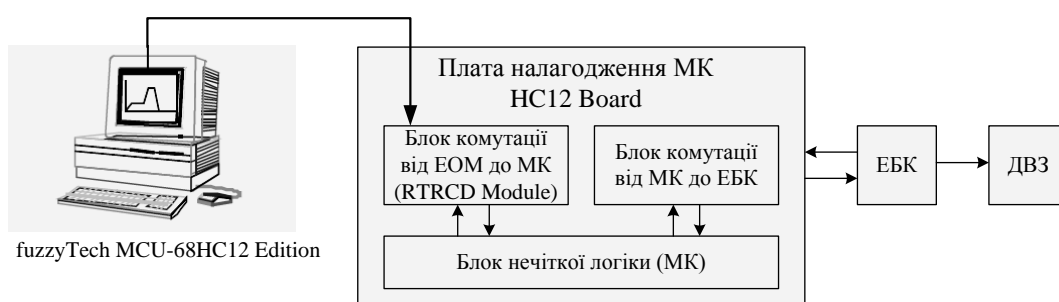


Рис. 7. Класична спрощена структурна схема підключення системи керування до ДВЗ

**Висновки.** Таким чином пропонується система інтелектуального керування подачею палива (СІКПП) на основі штучного інтелекту, зокрема fuzzy logic, дозволяє в автоматизованому режимі керувати складом паливо-повітряної суміші в режимі реального часу з високою точністю забезпечуючи її стехіометричний склад і як наслідок зменшити витрату палива та рівень шкідливих викидів ВГ.

#### Список використаної літератури:



1. Fuzzy logic air/fuel controlle [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.google.com/patents/US5524599>.
2. Lee S.H. Engine Fuel Injection Control using Fuzzy Logic / Lee S.H. , Howlett R.J. & Walters S.D. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://rjhowlett.complexnet.co.uk/papers/2004-2.pdf>.
3. Автомобильный справочник : пер. с англ. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : ЗАО КЖИ «За рулем», 2004. – 992 с.
4. Гриняев С. Нечеткая логика в системах управления / С.Гриняев // Компьютерра. – 2001. – № 38 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://old.komputerra.ru/offline/2001/415/13052>.
5. Леценко В.П. Кислородные датчики / В.П. Леценко. – М. : Легион-Автодата, 2003. – 112 с.
6. Чиркин С.Ю. Синтез управления двигателем внутреннего сгорания на основе экспериментальных данных : автореф. дис. ... канд. тех. наук. : спец. 05.13.06 «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами в машиностроении» / Сергей Юрьевич Чиркин. – М., 2010. – 16 с.

ГОНЧАРЕНКО Артем Васильович – студент Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- математичне моделювання;
- автоматизовані виробництва;
- моделювання штучного інтелекту.

Тел.: 096-863-94-00.

E-mail: [gonchar241190@gmail.com](mailto:gonchar241190@gmail.com)

ЧЕРЕПАНСЬКА Ірина Юріївна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автоматизованого управління технологічними процесами та комп'ютерних технологій Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- математичне моделювання;
- автоматизовані виробництва.

Тел.: 068-219-14-97.

E-mail: [cheri\\_ko@mail.ru](mailto:cheri_ko@mail.ru)

Стаття надійшла до редакції 17.04.2014

**Гончаренко А.В., Черепанська І.Ю.** Використання штучного інтелекту для керування подачею палива інжекторного двигуна

**Гончаренко А.В., Черепанская И.Ю.** Использование искусственного интеллекта для управления подачей топлива инжекторного двигателя

**Goncharenko A.V., Cherepanska I.Yu.** Artificial intelligence using to control the fuel injection engines

УДК 004.8:621.431.36

**Использование искусственного интеллекта для управления подачей топлива инжекторного двигателя / А.В. Гончаренко, И.Ю. Черепанская**

Предложена система интеллектуального управления подачей топлива инжекторного двигателя внутреннего сгорания на основе нечеткой логики. Разработаны правила управления базовой продолжительности впрыска и коэффициентом коррекции впрыска.

**Ключевые слова:** автоматизированное управление, нечеткая логика, двигатель внутреннего сгорания, стехиометрический состав топливно-воздушной смеси, базовая продолжительность впрыска, коэффициент коррекции впрыска.

УДК 004.8:621.431.36

**Artificial intelligence using to control the fuel injection engines / A.V. Goncharenko, I.Yu. Cherepanska**

The system of the fuel injection internal combustion engine based on fuzzy logic intellectual control is proposed. The database of the basic injection duration correction and the injection correction factor management rules are developed.

**Keywords:** automatic control, fuzzy logic, the internal combustion engine, the stochiometric composition of the fuel-air mixture, the basic injection timing, injection correction factor.