

**ОБГРУНТУВАННЯ ЗНИЖЕННЯ ТОКСИЧНОСТІ БЕНЗИНОВОГО ДВИГУНА ПРИ ВИКОРИСТАННІ ЕТАНОЛ-БЕНЗИНОВИХ СУМІШЕЙ В ЯКОСТІ ПАЛИВА**

(Представлено д.т.н., проф. І.Г. Грабаром)

Наведено теоретичне обґрунтування зниження токсичності бензинового двигуна при роботі на етанол-бензинових сумішах. Показано, що зміна концентрації етилового спирту в газохолі за визначеними законами сприяє поліпшенню екологічних показників бензинового двигуна за CO, CnHm та NOx. Обґрунтовано концентрації спирту в газохолі з погляду зменшення викидів токсичних компонентів.

В ряді розвинених країн постійно проводиться робота щодо пошуку і використання альтернативних нафтовим видів пального. Особливо це питання актуальне для країн з обмеженими енергоресурсами і складною екологічною ситуацією.

Використання бензинів з 10-відсотковою домішкою спиртів не викликає великих труднощів для сучасного двигунобудування. Ця суміш дозволяє підвищити міру стиску двигуна і таким чином можливо зниження витрат пального. Газохол (суміш бензину і спирту) як автомобільне пальне давно використовується в США, Німеччині, Італії, Швеції, Бразилії та інших країнах.

Автори [1] стверджують, що застосування альтернативних палив дозволяє знизити токсичність автомобіля до 4 %. Вони пропонують розробити проект застосування альтернативних палив в Україні як частину національної програми боротьби із загазованістю атмосфери. Коефіцієнт ефективності даного проекту, при орієнтовних сумарних витратах на весь проект у 5 %, складе 0,8, таким чином, він буде одним із наймаловитратніших у програмі.

З урахуванням прогнозу споживання бензину в Україні (табл. 1) застосування 10-відсоткового газохолу дозволить заощадити в 2010 році до 0,99–1,46 млн т бензину.

Таблиця 1

Прогнози рівнів споживання палив автомобільним транспортом України [4]

Рік	Варіант	Споживання палив автотранспортом України, млн т		
		Бензин	Дизельне паливо	Інші палива
2000	I	11,2	3,8	1,1
	II	14,4	4,6	1,4
2010	I	9,9	13,8	2,4
	II	14,6	19,9	3,5

При значному збільшенні масштабів споживання бензину виникає ряд серйозних проблем, у тому числі, пов'язаних зі шкідливими викидами токсичних компонентів в атмосферу та їх впливом на навколишнє середовище.

В той же час, тільки Андрушівський спиртзавод (Житомирська область) сьогодні може виробити 12 млн л/рік технічного етилового спирту [2], а потреби автотранспорту Житомирської області в спирті можуть скласти більш ніж 10 млн л/рік.

Присутність етанолу знижує концентрацію шкідливого CO. Механізм цього процесу був розглянутий у [2]. Важливо, що етиловий спирт відповідає всім вимогам щодо альтернативних палив. Зменшення концентрації CO при роботі двигуна з 10-відсотковою домішкою етилового спирту при випробуванні, відповідно до [6], для бензину А-76 склало 3,63, а для бензину АИ-92 – 2,37 разів. Деяке збільшення CnHm свідчить про необхідність проведення регулювань системи запалювання та живлення двигуна, оскільки при додаванні лише малих об'ємів (до 2–3 %) етилового спирту в бензин спеціальні регулювання двигуна не потрібні [7]. Кількість вуглеводнів (CnHm) у відпрацьованих газах при цьому підвищувалася, але не перевищувала вимог [6].

Відсотковий вміст токсичних компонентів у відпрацьованих газах карбюраторного двигуна (у %) з достатнім ступенем точності може бути визначено з формул [1]:

$$x_{CO} = 61,3 - 114\alpha + 53\alpha^2;$$

$$x_{CnHm} = 200,922 - 1,677\alpha + 0,776\alpha^2; \tag{1}$$

$$x_{NOx} = -3,64 + 7,88\alpha - 3,88\alpha^2.$$

Τεоретично необхідна кількість повітря для згоряння 1 кг для етилового спирту – 9 кг, а для бензину знаходиться в межах 14,8...14,9 кг. Якщо припустити, що в циліндрах двигуна відбувається згоряння стехіометричної суміші на сталому швидкісному і навантажувальному режимах, то для 1 кг бензину вміст токсичних компонентів складе (у %):

$$X_{CO} = 61,3 - 114 \frac{14,85}{14,85} + 53 \left( \frac{14,85}{14,85} \right)^2 \left( \frac{14,85}{14,85} \right)^2 = 0,3;$$

$$X_{CnHm} = 0,922 - 1,677 \frac{14,85}{14,85} + 0,776 \left( \frac{14,85}{14,85} \right)^2 = 0,021;$$

$$X_{NOx} = -3,64 + 7,88 \frac{14,85}{14,85} - 3,88 \left( \frac{14,85}{14,85} \right)^2 = 0,36.$$

При згорянні 10-відсоткового газохолу для аналогічного швидкісного та навантажувального режимів (у %):

$$X_{CO} = 61,3 - 114 \frac{14,85}{14,85 \cdot 0,9 + 9 \cdot 0,1} + 53 \left( \frac{14,85}{14,85 \cdot 0,9 + 9 \cdot 0,1} \right)^2 = 0,06;$$

$$X_{CnHm} = 0,922 - 1,677 \frac{14,85}{14,85 \cdot 0,9 + 9 \cdot 0,1} + 0,776 \left( \frac{14,85}{14,85 \cdot 0,9 + 9 \cdot 0,1} \right)^2 = 0,017;$$

$$X_{NOx} = -3,64 + 7,88 \frac{14,85}{14,85 \cdot 0,9 + 9 \cdot 0,1} - 3,88 \left( \frac{14,85}{14,85 \cdot 0,9 + 9 \cdot 0,1} \right)^2 = 0,358.$$

Подібні міркування можна провести для різноманітних концентрацій етилового спирту в суміші з бензином для діапазону зміни коефіцієнта надлишку повітря 0,7...1,2. Результати можна представити у вигляді графічної моделі токсичності, що для CO (рис. 1) буде мати чітко виражені мінімуми токсичності для заданих коефіцієнтів надлишку повітря та концентрацій спирту в газохолі.

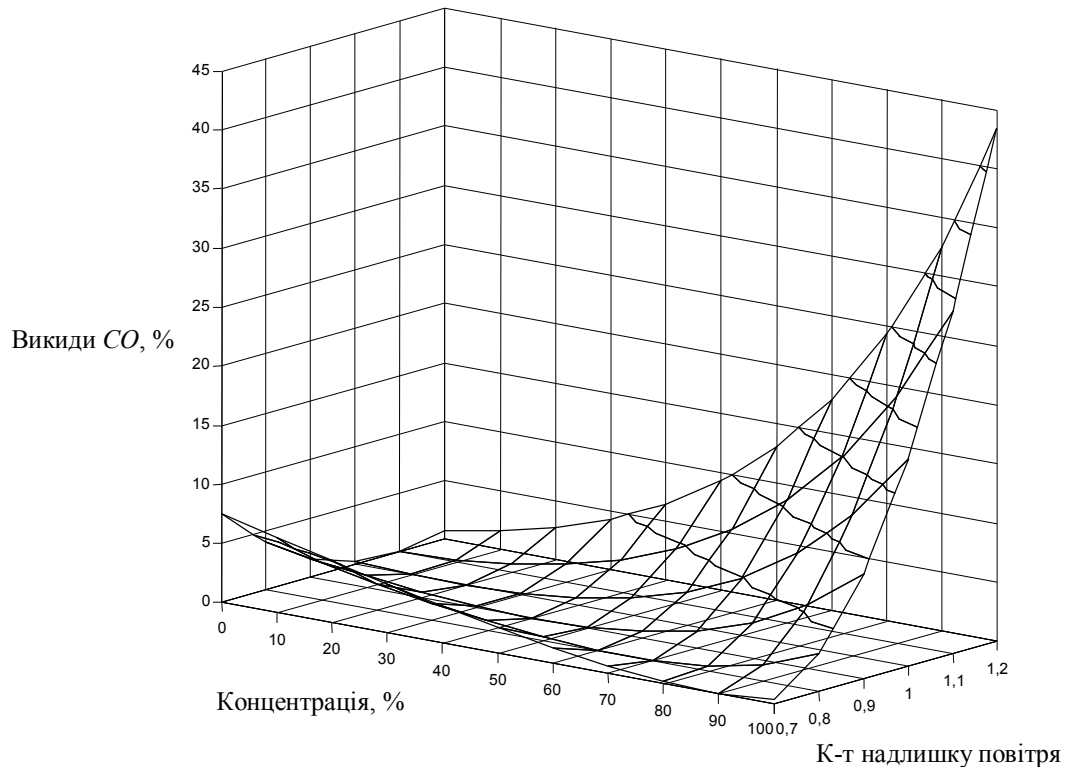
Цей факт дозволяє зробити висновок про можливість мінімізації токсичних викидів за CO зміною концентрації етилового спирту в суміші. Зменшення токсичності за CO при роботі двигуна на режимі холостого ходу з використанням газохолу, як видно з наведених вище формул, повинно відбуватися, що узгоджується з результатами експериментальних досліджень [2]. Розбіжності за величиною зниження токсичності пов'язані, очевидно, із недосконалістю моделі та погрішністю вимірів.

Оцінка характеру зміни викидів CO, у залежності від коефіцієнта надлишку повітря, дозволяє зробити висновок про необхідність зміни концентрації етилового спирту в газохолі в широкому діапазоні. Менші значення коефіцієнта надлишку повітря потребують більших концентрацій спирту. Зростання коефіцієнта надлишку повітря, наприклад, у разі зміни режиму до середніх навантажень, визначає зниження концентрації спирту з погляду зниження викидів CO.

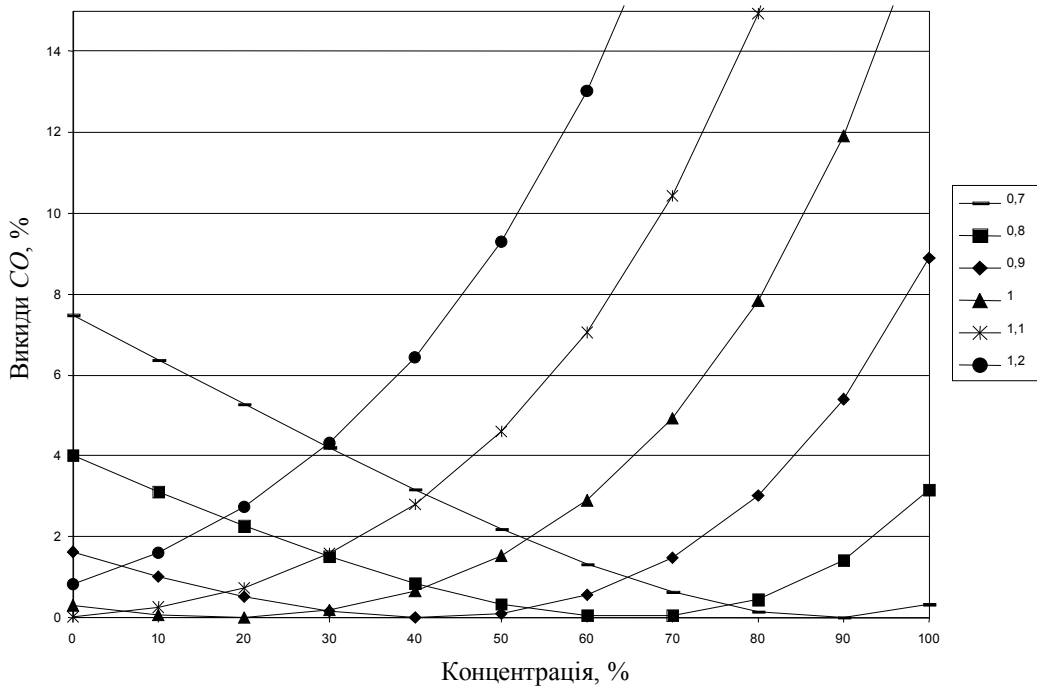
Розглянувши модель у перетинах площин, що відповідають різноманітним концентраціям, продиференціювавши функції  $X_{CO} = f(\alpha)$  для різноманітних концентрацій, прирівнявши до нуля похідні, можна визначити координати точок із мінімальними значеннями викидів CO. Таким чином, можна перейти до залежності, що характеризує мінімальні викиди CO від концентрації етилового спирту в газохолі. Перетини моделі у вертикальній площині, що відповідають різноманітним коефіцієнтам надлишку повітря, показані на рис. 2.

Таким чином, стає зрозумілим, що для режиму холостого ходу ( $\alpha \approx 0,7$ ) концентрація спирту в газохолі повинна бути біля 90 %. Режими малих і середніх навантажень, при яких  $0,7 < \alpha \leq 1,05$ , вимагають зменшення концентрацій від 90 до 20 %, для режиму повного навантаження, з погляду зниження викидів CO, необхідно мати концентрацію спирту близько 40 %. Ці судження ілюструє рис. 3. Лінійна апроксимація залежності концентрації спирту в газохолі  $K_{CO} = f(\alpha)$  з достовірністю  $R^2 = 0,994$  дозволяє одержати функцію, що описує концентрацію етилового спирту в газохолі з погляду мінімального вмісту CO у відпрацьованих газах для різноманітних  $\alpha$ :

$$K_{CO} = -225\alpha + 244,7 (\%). \tag{2}$$



Ρικ. 1. Μοδελί τοκικιότις ζα CO υ ζαλεζυότις βιδ κoeffiόκτιντα ναδλιίκου πώβιτριά



Ρικ. 2. Περετινι μοδελί υ βερτικάλυότις πλωκιότις βιδ ριόζυις κoeffiόκτιντα ναδλιίκου πώβιτριά

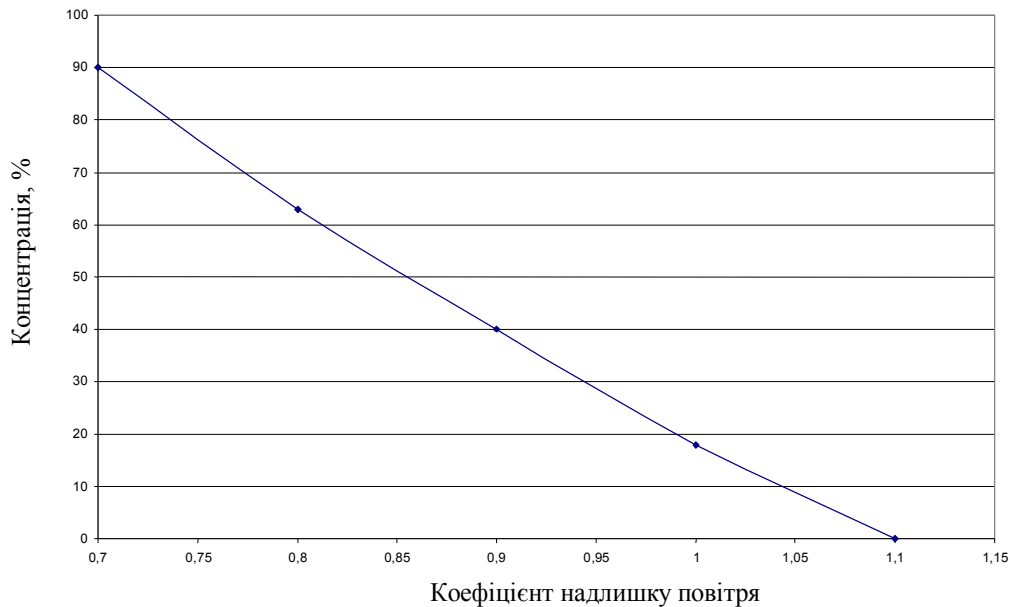


Рис. 3. Концентрація етилового спирту в газохолі з погляду мінімального вмісту CO у відпрацьованих газах для різноманітних α

Відповідно до [1], коефіцієнт надлишку повітря може бути визначено:

$$\alpha = a_1 - \frac{b_1}{c_1 + N_1}, \tag{3}$$

де  $a_1, b_1, c_1$  – постійні для даного карбюратора коефіцієнти;

$N_1$  – відсоток використання потужності.

Формула (3) справедлива тільки для режимів навантаження до 80 % [1].

Коефіцієнти  $a_1, c_1$  дорівнюють 1,15 і 10 відповідно. Коефіцієнт  $b_1$  знаходиться в межах 1...5. Приймаючи значення коефіцієнта  $b_1 = 5$ , (3) можна представити у вигляді:

$$N_1 = \frac{6,5 - 10\alpha}{\alpha - 1,15} (\%). \tag{4}$$

З урахуванням (4) можна побудувати модель токсичності за CO у залежності від концентрації етилового спирту в газохолі та відсотка використання потужності двигуна. Графічне представлення моделі показано на рис. 4.

Рівняння концентрації спирту в газохолі, що відповідає мінімумам токсичності за CO в залежності від потужності двигуна, може бути отримано аналогічно наведеним вище міркуванням (достовірність апроксимації  $R^2 = 0,982$ ):

$$K_{CO} = -20,521 \ln(N_1) + 88,954 (\%). \tag{5}$$

Графічне представлення моделі токсичності за  $CnHm$ , що отримано згідно з (1), надано на рис. 5.

Характер зміни викидів  $CnHm$  у залежності від коефіцієнта надлишку повітря дозволяє зробити висновок про необхідність зміни концентрації етилового спирту в газохолі в діапазоні 0...95 %. Так на режимі холостого ходу концентрації повинні бути великими. Зростання коефіцієнта надлишку повітря вимагає зниження концентрації спирту в газохолі з погляду зниження викидів  $CnHm$ .

Концентрація спирту, за умови мінімуму викидів  $CnHm$ , може бути визначена (із достовірністю апроксимації  $R^2 = 0,98$ ):

$$K_{CnHm} = -180,15 \ln(\alpha) + 23,93 (\%). \tag{6}$$

Використовуючи (3), можна побудувати модель токсичності за  $CnHm$  в залежності від потужності двигуна (рис. 6).

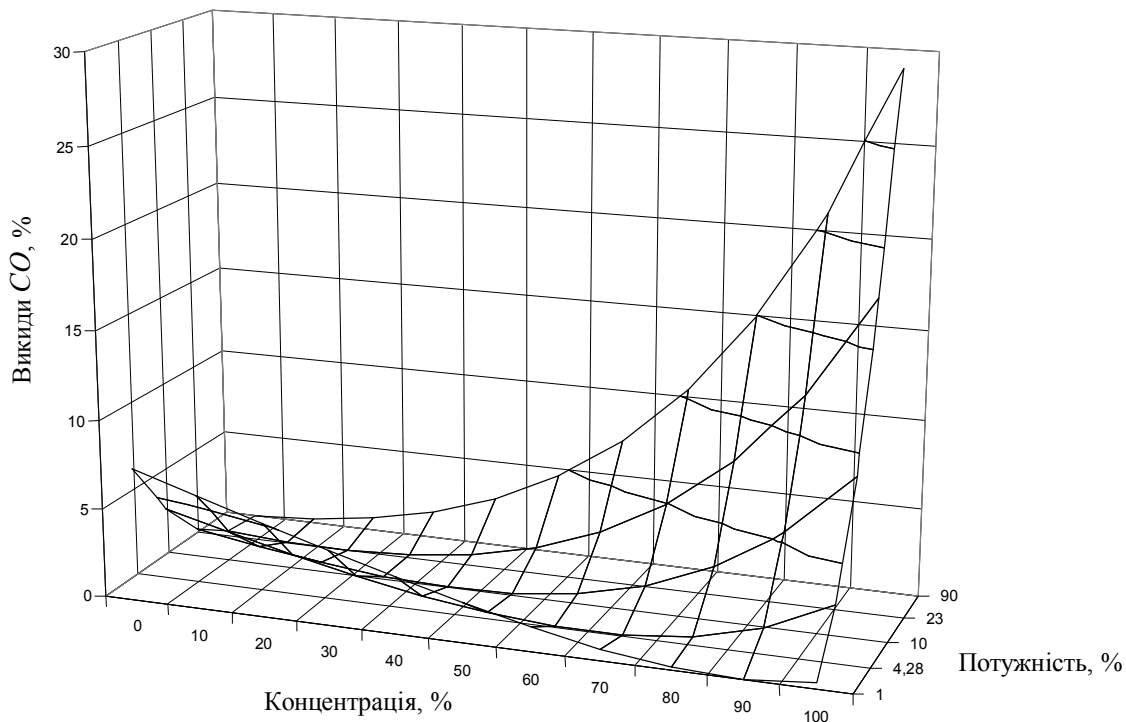


Рис. 4. Модель токсичності за CO у залежності від потужності двигуна

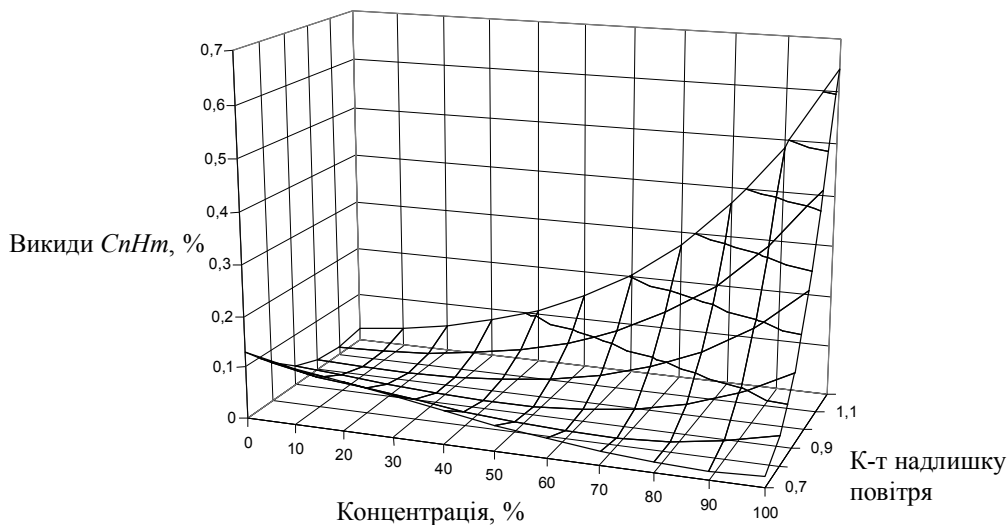


Рис. 5. Модель токсичності за CnHm у залежності від коефіцієнта надлишку повітря

Аналогічно, використовуючи (1), одержано модель токсичності за NOx у залежності від коефіцієнта надлишку повітря та концентрації газохолу. Модель наведено на рис. 7. Характер зміни токсичності за NOx у залежності від концентрації етилового спирту в суміші дозволяє зробити висновок, що з погляду зменшення викидів NOx необхідне використання високих концентрацій спирту в газохолі (до 100 %) для коефіцієнта надлишку повітря в діапазоні 0,8...1,1. Для режиму холостого ходу концентрація зменшується до 4 %. Закон зміни можна отримати за допомогою міркувань, що аналогічні до наведених вище. Для підвищення достовірності апроксимації ( $R^2 = 1$ ) необхідно розглянути два діапазони зміни коефіцієнта надлишку повітря. Для  $0,7 \leq \alpha < 0,8$ :

$$K_{NOx} = -193\alpha + 254,4 \text{ (\%)} \tag{7}$$

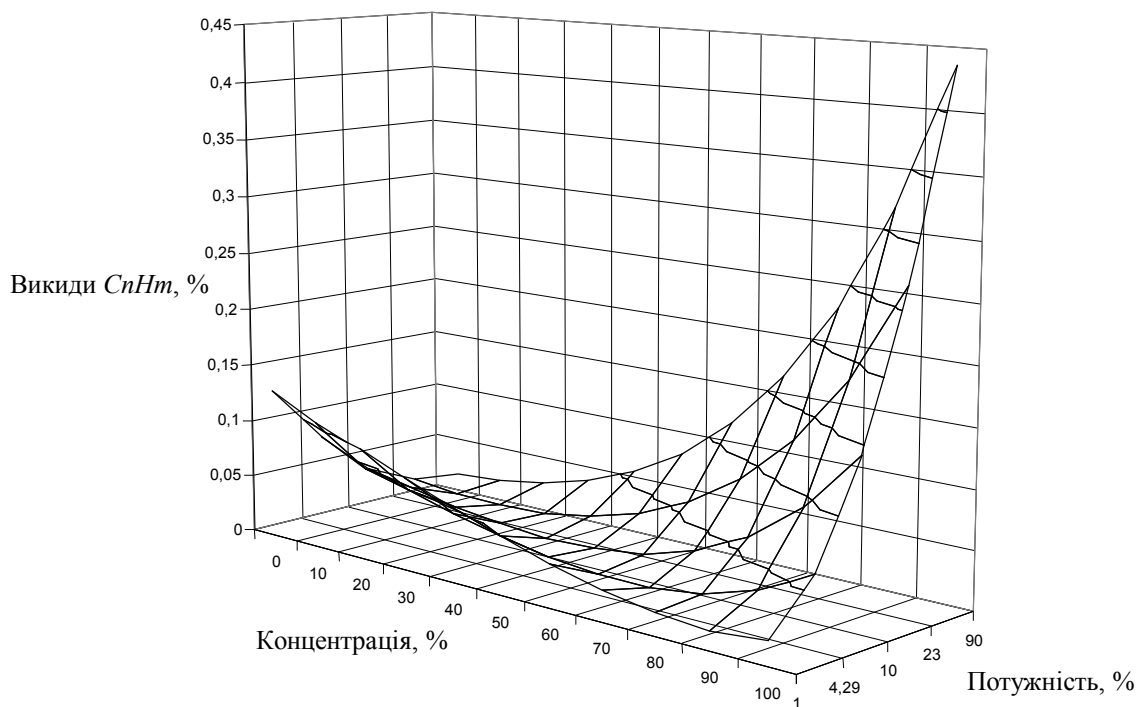


Рис. 6. Модель токсичності за SnHm у залежності від потужності двигуна

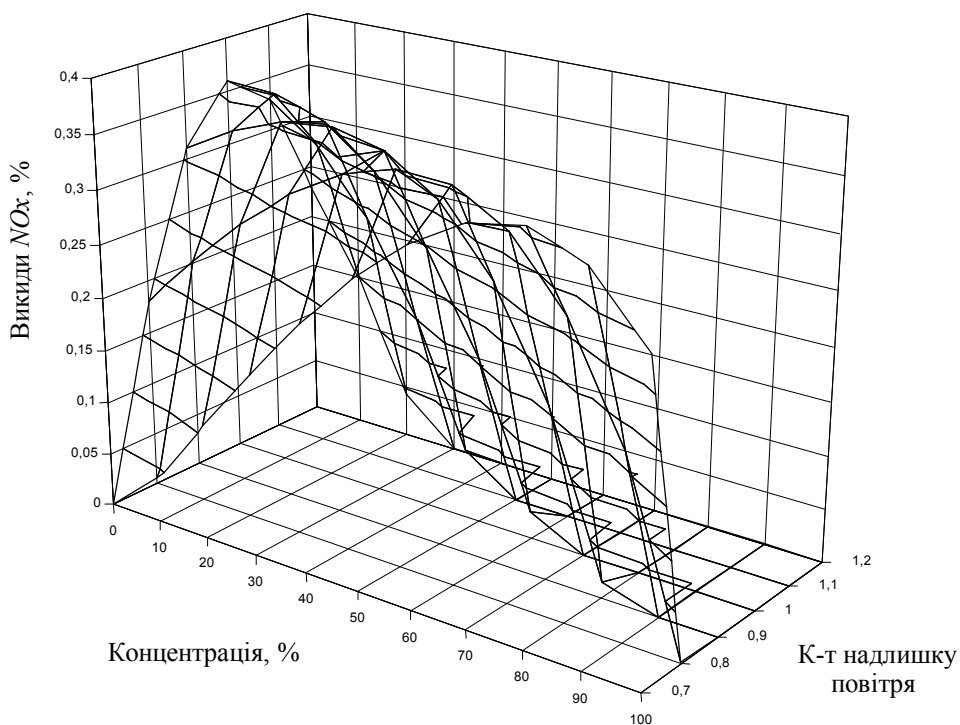


Рис. 7. Модель токсичності за NOx у залежності від коефіцієнта надлишку повітря

Для  $0,8 \leq \alpha < 1,2$ :

$$K_{NOx} = 30,061\alpha - 20,242 \text{ (\%)}. \tag{8}$$

В залежності від відсотка використання потужності модель токсичності за NOx надано на рис. 8.

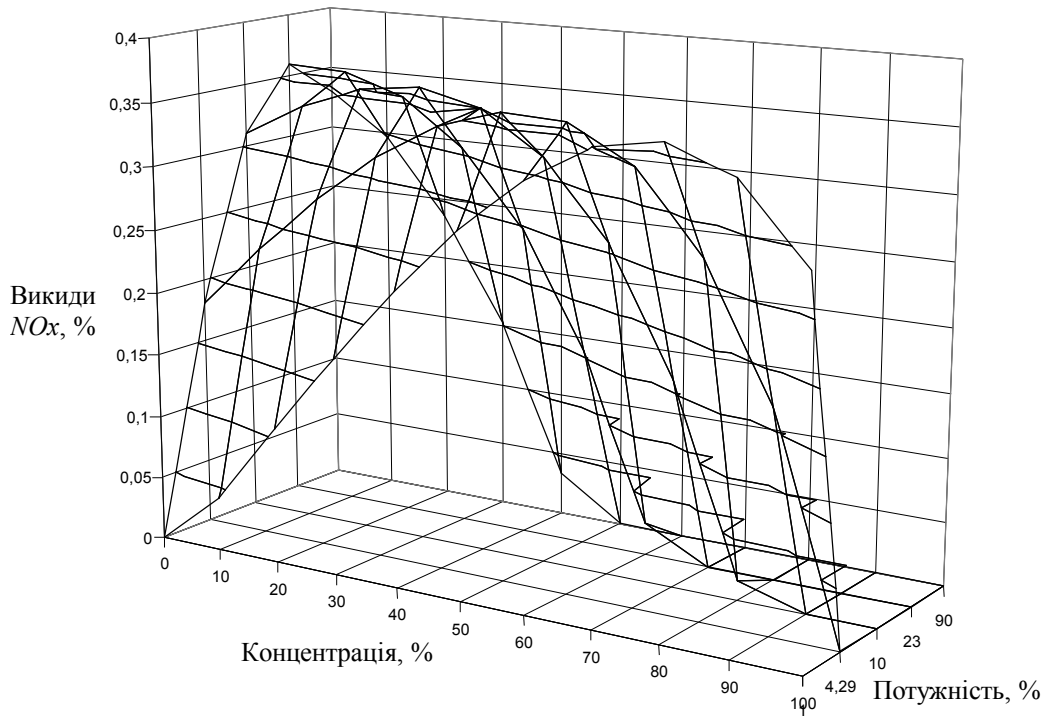


Рис. 8. Модель токсичності за NO<sub>x</sub> у залежності від потужності двигуна

Таблиця 2

Токсичний компонент	Модель концентрації спирту за умовою мінімуму викидів, %	Достовірність апроксимації
CnHm	$- 21,2 \ln(N_1) + 91,903$	$R^2 = 0,977$
NOx	Для N <sub>1</sub> до 4 %: $31,907N_1 - 27,627$ Для N <sub>1</sub> более 4 %: $153,95N_1^{-0,288}$ або $- 19,076 \ln(N_1) + 125,58$	$R^2 = 1$ $R^2 = 0,998$ $R^2 = 0,987$

Математичні моделі концентрації етилового спирту в суміші з бензином за умовою мінімумів викидів CnHm і NOx для різноманітного відсотка використання потужності карбюраторного двигуна надано в табл. 2. Вирази отримані за допомогою міркувань, що аналогічні до (5).

**Висновки:**

1. Отримано графічні й аналітичні моделі токсичності за CO, CnHm та NOx карбюраторних двигунів при роботі з використанням газохолів різної концентрації.
2. Відповідно до наведених моделей стає можливим побудова системи впорскування палива, яке складається з бензину й етилового спирту різноманітної концентрації, за умови зниження токсичності карбюраторного двигуна за зазначеними критеріями.
3. Застосування суміші етилового спирту та бензину дозволяє не тільки замінити частину бензину, але й поліпшує показники токсичності за CO, CnHm та NOx внаслідок зниження теоретично необхідної кількості повітря для згорання порції палива і, відповідно, збільшення коефіцієнта надлишку повітря.

**ЛІТЕРАТУРА:**

1. *Говоруценко Н.Я., Туренко А.Н.* Системотехніка транспорту (на прикладі автомобільного транспорту). – Изд. 2-е, перераб. и дополн. – Харьков: РИО ХГАДТУ, 1999. – 468 с.
2. *Грабар І.Г., Захлебний В.П., Льченко А.В., Опанасюк Є.Г., Черниш І.Г.* Етанол-бензинова паливна суміш та екологія автотранспорту // Вісник Житомирського інженерно-технологічного інституту. – 1999. – № 8. – С. 63–67.
3. *Грабар І.Г., Льченко А.В., Опанасюк Є.Г.* Шляхи підвищення екологічної безпеки автомобільних бензинових двигунів // Вісник Житомирського інженерно-технологічного інституту. – 1998. – № 7. – С. 27–31.
4. *Каніло П.М., Бей І.С., Ровенський О.І.* Автомобіль та навколишнє середовище. – Харьков: Прапор, 2000. – 304 с.
5. *Быков Г.А.* Спирт вместо бензина или вместе с бензином // Автошляховик України. – 1995. – № 4. – С. 21–23.
6. ГОСТ 17.2.2.03-87 «Охрана природы. Атмосфера. Нормы и методы измерений содержания окиси углерода и углеводородов в отработанных газах автомобилей с бензиновыми двигателями. Требования безопасности». – М.: Издательство стандартов, 1987. – 8 с.
7. *Чулков А.З.* Экономия светлых нефтепродуктов на транспорте. – М.: Транспорт, 1985. – 304 с.
8. Технологічний регламент на виготовлення бензинів з добавкою етилового спирту автомобільних. – Житомир: НТК Крона, 1995. – 11 с.
9. Бензини з добавкою етилового спирту автомобільні. Технічні умови У 21555469.002-95. – Житомир: НТК Крона, 1995. – 7 с.

ЛЬЧЕНКО Андрій Володимирович – старший викладач кафедри «Автомобілі і механіка технічних систем» Житомирського інженерно-технологічного інституту.

Наукові інтереси:

- паливна економічність і екологічна безпека автомобільного транспорту;
- мікропроцесорні засоби і комп'ютерні системи в автомобілі;
- діагностика автомобілів.

Подано 14.09.2000