

МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ В ТЕХНОЛОГІЇ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ



УДК 621.43.068.4

В.С. Авер'янов, к.т.н., доцент, averynov@ukr.net

Д.З. Шматко, к.т.н., доцент, zombizon@yandex.ua

О.О. Сасов, к.т.н., доцент, sasov@ukr.net

О.В. Кочнева, провідний інженер

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ВИЗНАЧЕННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ ЧАДНОГО ГАЗУ В ВИХЛОПНИХ ГАЗАХ АВТОМОБІЛІВ

У даній роботі проведено дослідження шкідливих речовин, які викидаються з вихлопними газами в атмосферу при експлуатації автомобіля з бензиновим двигуном, методом газової хроматографії. Отримана математична модель дозволяє визначати концентрацію чадного газу у вихлопних газах автомобілів в залежності від експлуатаційних режимів роботи автомобіля (частоти обертання колінчастого вала, швидкості руху автомобіля і навантаження на автомобіль).

Ключові слова: *автомобіль, вихлопні гази, шкідливі речовини, газова хроматографія, математична модель.*

In the present paper studies of harmful substances that are blown with exhaust gases into the atmosphere during the operation of a car with a gasoline engine, using gas chromatography were carried out. A mathematical model allowing to determine the concentration of carbon monoxide in the exhaust gases of cars is obtained, depending on the operating conditions of the car (crankshaft speed, vehicle speed and load on the car).

Keywords: *automobile, exhaust gases, harmful substances, gas chromatography, mathematical model.*

Постановка проблеми

Автомобільний транспорт займає важливе місце в єдиній транспортній системі країни. Він перевозить понад 80% народногосподарських вантажів, що обумовлено високою маневреністю автомобільного транспорту, можливістю доставки вантажів «від дверей до дверей» без додаткових перевантажень в дорозі, а, отже, високою швидкістю доставки і збереженням вантажів. Висока мобільність, здатність оперативно реагувати на зміни пасажиропотоків ставлять автомобільний транспорт "поза конкуренцією" при організації місцевих перевезень пасажирів. На його частку припадає майже половина пасажирообороту.

Автомобілі переміщуються за допомогою силового агрегату — двигуна внутрішнього згоряння. При роботі двигун спалює паливо. Залежно від виду палива, що спалюється, коефіцієнта витрати повітря і типу двигуна горіння палива може відбуватися з утворенням продуктів повного і неповного згоряння.

При повному горінні палива продукти згоряння складаються з наступних компонентів: двоокису вуглецю CO_2 , водяної пари H_2O , надлишкового кисню O_2 і азоту N_2 . Якщо в паливі є

сполуки сірки, то продукти горіння містять оксиди сірки SO_2 і SO_3 , які відносяться до числа шкідливих викидів. З окислів азоту в вихлопних газах зазвичай присутні окис азоту NO та дво-окис азоту NO_2 , які також є шкідливими для навколишнього середовища [1].

При неповному горінні в продуктах згорання палива можуть з'явитися горючі гази: окис вуглецю CO , водень H_2 , метан CH_4 , а іноді і вуглеводні C_mH_n .

В останні роки все більшого значення набуває проблема охорони навколишнього середовища. З метою пошуку шляхів для зниження забруднення повітряного басейну проводиться велика кількість комплексних досліджень. Успіх проведення таких досліджень багато в чому залежить від можливостей газового аналізу при визначенні концентрації різних шкідливих викидів в продуктах згорання і промислових викидах.

Тому фахівці, що працюють на транспорті і в дорожньому господарстві, повинні прагнути забезпечити стійкість транспортної системи — баланс «попит-пропозиція» при підвищенні якості перевезень і збереження екологічно безпечного рівня впливу на навколишнє середовище.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Проведений аналіз показав, що останнім часом все більше приділяється увага питанням екологічної безпеки автотранспорту та визначенню шкідливих викидів в атмосферу [2—5]. Завдання по розробці математичних моделей для визначення концентрації шкідливих викидів у вихлопних газах автомобілів залишається невирішеною.

Формулювання мети дослідження

Метою роботи є розробка математичної моделі для визначення концентрації чадного газу у вихлопних газах автомобілів.

При дослідженні використовували вихлопні гази бензинового двигуна легкового автомобіля ЗАЗ Forza.

Виклад основного матеріалу

Газова хроматографія може бути визначена як метод поділу газових сумішей шляхом багаторазового повторення процесів адсорбції (абсорбції) і десорбції при русі газової суміші всередині хроматографічної колонки [5].

Робота газового хроматографа заснована на тому, що час проходження кожного компонента аналізованої газової суміші через хроматографічну колонку не залежить від її складу, а є індивідуальною властивістю даного компонента. Тому, якщо умови проведення аналізу постійні, то яким би не був склад вихідної суміші, пік, відповідний даної речовини завжди буде знаходитися на своєму місці.

Для кількісного аналізу газової суміші зазвичай використовується висота або площа отриманих на хроматограмі піків, які пропорційні концентрації даного компонента у вихідній газовій суміші.

Вміст шкідливих речовин у вихлопних газах автомобілів залежить від експлуатаційних режимів роботи автомобіля (частоти обертання колінчастого вала, швидкості руху автомобіля і навантаження на автомобіль).

Для побудови математичної моделі визначення концентрації чадного газу у вихлопних газах автомобілів від вищенаведених факторів у вигляді полінома першого порядку застосовувалися методи планування експерименту, а саме, повний факторний експеримент. Рівні варіювання факторів представлені в таблиці 1.

Таблиця 1. Рівні варіювання факторів

Фактори	Позначення факторів	$x_i^*=-1,414$	$x_i=-1$	$x_i=0$	$x_i=1$	$x_i^*=1,414$
Частота обертання колінчастого вала n , об/хв	x_1	600	1000	2000	3000	3600
Навантаження на автомобіль G , кг	x_2	60	100	200	300	360
Швидкість руху автомобіля v_a , км/год	x_3	10	20	40	60	70

Для спрощення запису умов експерименту і обробки експериментальних даних масштаби по осях вибираються так, щоб верхній рівень варіювання відповідав +1, нижній -1, а основний рівень варіювання дорівнював нулю [6]. Для факторів з безперервною областю визначення це можливо здійснити за допомогою перетворення:

$$x_j = \frac{\tilde{x}_j - \tilde{x}_{j0}}{I_j}, \quad (1)$$

де x_j — кодоване значення фактора; \tilde{x}_j — натуральне значення фактора; \tilde{x}_{j0} — натуральне значення основного рівня; I_j — інтервал варіювання; j — номер фактора.

За допомогою формули перетворення запишемо матрицю плану і отримані результати експерименту (табл. 2).

Таблиця 2. Матриця плану і результати експерименту

№ досліджу	Кодоване значення факторів в експерименті			
	\tilde{x}_1	\tilde{x}_2	\tilde{x}_3	CO, %
1	1	1	1	7,8
2	-1	1	1	6,4
3	1	1	-1	12
4	-1	1	-1	8,4
5	1	-1	1	6,5
6	-1	-1	1	5,6
7	1	-1	-1	10
8	-1	-1	-1	8,6
9	1,414	0	0	8,1
10	-1,414	0	0	5,4
11	0	0	1,414	4,2
12	0	0	-1,414	6,4
13	0	1,414	0	5,8
14	0	-1,414	0	4,0
15	0	0	0	5,2
16	0	0	0	5,0

Експериментальні дослідження проводилися за допомогою газового хроматографа. Процентний зміст чадного газу вимірювали на відповідних експлуатаційних режимах роботи автомобіля. В результаті обробки експериментальних даних були отримані оцінки впливу факторів і взаємодій чинників на досліджуваний параметр.

Для переміщення до точки оптимуму використовувалася математична модель виду [6]:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_k),$$

де x_1, \dots, x_k — фактори залежностей.

В даному випадку математична модель для повного трьох факторного експерименту з ефектом взаємодії має вигляд:

$$y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 + b_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + b_{13} \cdot x_1 \cdot x_3 + b_{23} \cdot x_2 \cdot x_3 + b_{24} \cdot x_2 \cdot x_4 + b_{123} \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3. \quad (2)$$

Метою проведення досліджень є визначення за результатами експерименту значення невідомих коефіцієнтів розглянутої моделі. До сих пір, кажучи про модель, ми не зупинялися на важливому питанні, що до статистичної оцінки її коефіцієнтів. Тепер необхідно зробити ряд зауважень з цього приводу. Можна стверджувати, що експеримент проводився для перевірки гіпотези про те, що лінійна модель $y = f(x_1, x_2, \dots, x_k)$ адекватна. Експеримент, у якому кінце-

ве число дослідів, дозволяє тільки отримати вибіркові оцінки для коефіцієнтів рівняння (2). Їх точність і надійність залежать від властивостей вибірки і потребують статистичної перевірки.

Коефіцієнти можна обчислити за формулою:

$$b_j = \frac{\sum_{i=1}^N x_{ji} \cdot y_i}{N}, \quad j = 0, 1, 2, \dots, k, \quad (3)$$

де N — кількість виконаних дослідів.

Для підрахунку коефіцієнта b_1 використовується вектор-стовпець x_1 а для b_2 — стовпець x_2 . Залишається неясним, як знайти b_0 . Якщо наше рівняння (2) справедливо, то воно вірно і для середніх арифметичних значень змінних. Але в силу властивості симетрії $\tilde{x}_1 = \tilde{x}_2 = 0$, $\tilde{y} = b_0$. Отже, b_0 є середнє арифметичне значення параметра оптимізації.

Коефіцієнти лінійної моделі (2) мають такі величини:

$$b_0 = 6,84; \quad b_1 = 0,7; \quad b_2 = 0,4; \quad b_3 = -1; \\ b_{12} = 0,17; \quad b_{13} = -0,17; \quad b_{23} = 0,02; \quad b_{123} = -0,11.$$

Коефіцієнти при незалежних змінних вказують на силу впливу факторів. Чим більше чисельна величина коефіцієнта, тим більший вплив робить фактор. Якщо коефіцієнт має знак плюс, то зі збільшенням величини фактора параметр оптимізації збільшується. Величина коефіцієнта відповідає внеску даного фактора на величину параметра оптимізації при переході фактора з нульового рівня на верхній або нижній.

Підставивши знайдені коефіцієнти в рівняння (2), отримаємо наступне співвідношення:

$$y = 6,84 + 0,7 \cdot \tilde{x}_1 + 0,4 \cdot \tilde{x}_2 - \tilde{x}_3 + 0,17 \cdot \tilde{x}_1 \cdot \tilde{x}_2 - 0,17 \cdot \tilde{x}_1 \cdot \tilde{x}_3 + 0,02 \cdot \tilde{x}_2 \cdot \tilde{x}_3 - 0,11 \cdot \tilde{x}_1 \cdot \tilde{x}_2 \cdot \tilde{x}_3. \quad (4)$$

У рівнянні (4) змінні значення \tilde{x}_1 , \tilde{x}_2 , \tilde{x}_3 є кодовані величини. Для зручності обчислення кодовані величини замінюємо натуральними:

$$\tilde{x}_1 = \frac{n - 2000}{1000} = 0,001 \cdot n - 2; \\ \tilde{x}_2 = \frac{G - 200}{100} = 0,01 \cdot G - 2; \\ \tilde{x}_3 = \frac{v_a - 40}{20} = 0,05 \cdot v_a - 2, \quad (5)$$

де n — частота обертання колінчатого валу, об/хв.; G — навантаження на автомобіль, кг; v_a — швидкість руху автомобіля, км/год.

Підставивши вирази (5) в рівняння (4), отримаємо математичну залежність для визначення концентрації чадного газу у вихлопних газах автомобілів:

$$CO = 7,56 + 2,6 \cdot 10^{-4} \cdot n + 4,6 \cdot 10^{-3} \cdot G - 0,057 \cdot v_a + 3,9 \cdot 10^{-6} \cdot n \cdot G + \\ + 2,5 \cdot 10^{-6} \cdot n \cdot v_a + 1,2 \cdot 10^{-4} \cdot G \cdot v_a - 5,5 \cdot 10^{-8} \cdot n \cdot G \cdot v_a.$$

За експериментальними даними були побудовані графічні залежності концентрації чадного газу від частоти обертів колінчастого вала та від швидкості руху автомобіля (рис. 1).

Аналіз даних показав, що при швидкості автомобіля 60 км/год. і частоті обертання колінчастого вала 2000 об/хв., концентрація чадного газу (CO) в вихлопних газах автомобілів найменша. Ця швидкість є оптимальною швидкістю руху автомобіля. Тому що при цій швидкості відбувається процес повного згоряння палива і оптимальні умови для обміну газів в циліндрах двигуна.

Висновки

Отримана математична модель дозволяє визначати концентрацію чадного газу у вихлопних газах автомобілів в залежності від експлуатаційних режимів роботи автомобіля (частоти обертання колінчастого вала, швидкості руху автомобіля і навантаження на автомобіль).

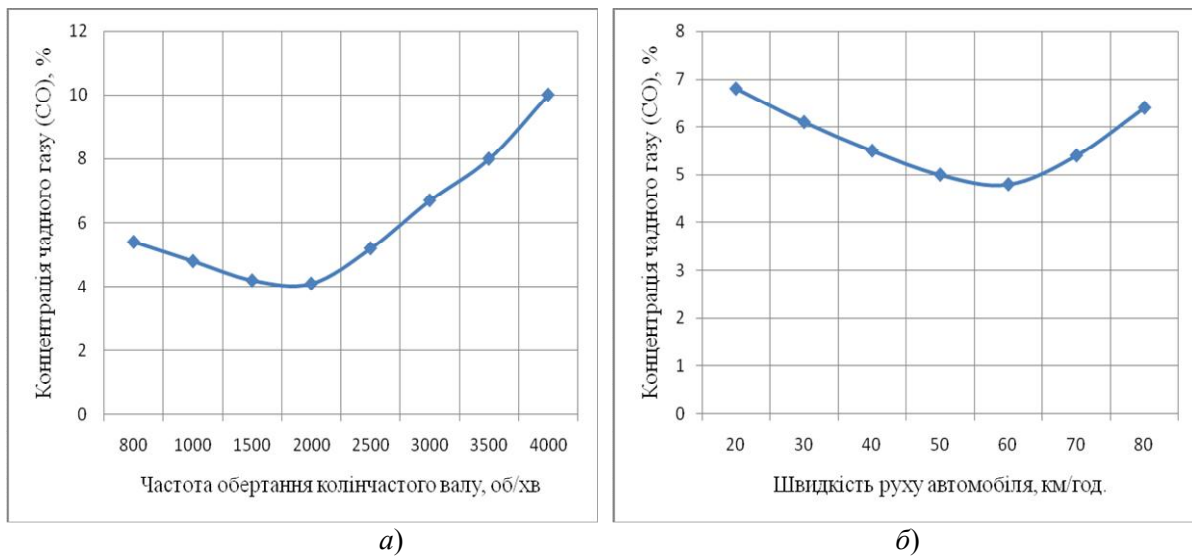


Рис. 1. Залежності концентрації чадного газу у вихлопних газах автомобілів. а) — від частоти обертання колінчастого валу; б) — від швидкості руху автомобіля.

Список використаної літератури

1. Матейчик В. П. Методи оцінювання та способи підвищення екологічної безпеки дорожніх транспортних засобів. Монографія / Матейчик В.П. – К.: НТУ, 2006. – 216 с.
2. Ситдикова А.А., Святова Н.В., Царева И.В. Анализ влияния выбросов автотранспорта в крупном промышленном городе на состояние загрязнения атмосферного воздуха // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 3. – С. 40–48.
3. Степанова Н.В., Святова Н.В., Сабирова И.Х., Косов А.В. Оценка влияния и риск для здоровья населения от загрязнения атмосферного воздуха выбросами автотранспорта // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 10–6. – С. 1185–1190.
4. Pattenden S. Methodological approaches to the analysis of hierarchical studies of air pollution and respiratory health – examples from the CESAR study / S. Pattenden, B.G. Armstrong, D. Houthuijs et al. // J. Exposure Analysis and Environmental Epidemiology. – 2010. – № 10. – P. 420–426.
5. Основы аналитической химии. [Т.А. Большова и др.] – М.: Издательский центр Академия, 2012. – 384 с.
6. Ч. Хикс. Основные принципы планирования эксперимента. М.: Наука, 1997. – 184 с.