

УДК 629.113



І. К. Шаша



Г. М. Маренко



С. М. Мельніков

МЕТОДИ ОЦІНЮВАННЯ І ШЛЯХИ ЗНИЖЕННЯ ТОКСИЧНОСТІ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ АВТОМОБІЛІВ

Здійснено порівняльне оцінювання екологічної небезпеки автомобілів з бензиновими та дизельними двигунами шляхом визначення фактичних та умовних викидів основних шкідливих речовин. Наведені в статті математичні моделі можуть бути використані у розробленні основних стандартів рівнів викидів шкідливих речовин у г/км і контрольно-діагностичного устаткування для перевірки технічного стану автомобілів, у проектуванні і будівництві доріг і вулиць, створенні систем управління шляхово-транспортними потоками у великих населених пунктах і т. п.

К л ю ч о в і с л о в а: екологія, відпрацьовані гази, токсичність, прогнозування, моделювання, автомобіль, двигун, швидкість, навантаження, математична модель, метод, умови експлуатації.

Постановка проблеми. Забруднення навколишнього середовища планети набуває катастрофічного характеру. Основною причиною є діяльність людей у промислових галузях і транспорті. Щорічно в атмосферу викидаються мільйони тонн отруйних газоподібних з'єднань, важких металів, радіоактивних, канцерогенних і мутагенних речовин.

У процесі вирішення глобальної екологічної проблеми військова техніка правомірно розглядається як один з найпотужніших факторів впливу на атмосферу, літосферу і гідросферу. Вона стала одним з основних постачальників оксидів азоту і вуглецю, вуглеводнів, альдегідів, сажі й канцерогенного бенз(о)пірену. Негативний вплив автотранспорту на середовище виявляється не тільки в токсичності відпрацьованих газів. Він також виявляється у випарах пального, мастил і кислот, насиченні повітря продуктами зносу шин, азбестових гальмових накладок, дисків зчеплень і металевих матеріалів; забрудненні виробничих приміщень при технічному обслуговуванні і ремонті автомобілів; споживанні кисню повітря для процесів горіння; виникненні шумів тощо. Загальні викиди шкідливих речовин рухомих складом автомобільного транспорту приблизно у 5-6 разів перевищують викиди усіх інших видів транспорту, разом узятих.

Транспортну екологію не можна розглядати ізольовано, поза зв'язком з іншими, не менш важливими екологічними проблемами. Зменшення токсичності – невід'ємна частина загальної проблеми, пов'язаної з удосконаленням конструкції автомобілів, підтриманням їх у технічно справному стані, економією та якістю пального і мастильних матеріалів, поліпшенням стану дорожньої мережі та організації руху транспорту. Якщо основні агрегати і системи будуть у технічно справному стані, а якість бензину і дизельного пального покращиться, то викиди шкідливих речовин знизяться до мінімуму. Проблема токсичності не є фатальною, але вона дуже складна і загрозлива.

Аналіз досліджень та публікацій. Про масштаби і ступінь забруднення довкілля на земній кулі свідчить той факт, що станом на березень 2017 року по вулицях і дорогах світу рухалося понад 330 млн автомобілів, які споживали близько 4,1 млрд кг пального на кожні 100 км пробігу. За теоретичними обчисленнями для згоряння 1 кг бензину необхідно 14,6...14,8 кг повітря. Це означає, що у двигуні для згоряння 1 кг пального протягом години потрібно 200 л кисню, тобто у середньому приблизно в 2,5 разу більше, ніж за добу вдихає людина.

Склад і зміст оцінювання впливу шкідливих об'єктів на навколишнє середовище (ОВНС) у містобудівній проектній документації визначається в Україні ДБН А.2.2-1-2003 С.2, а за кордоном – комплексом нормативів під загальною назвою “Environmental Impact Assessment” (EIA).

Міжнародні принципи проектування обумовлені відповідними положеннями Статуту ООН, Декларації Стокгольмської конференції з проблем навколишнього середовища, Заключного акта

Наради з безпеки і співробітництва в Європі (НБСЕ), підсумкових документів Мадридської і Віденської зустрічей представників держав-учасниць НБСЕ, документів з ОВНС у Варшаві, рекомендацій Ради управляючих Програми ООН з навколишнього середовища, Міністерської декларації зі сталого розвитку в Бергені.

Метою ОВНС є забезпечення гарантій суспільству з недопущення негативних екологічних наслідків реалізації запроєктованої господарської діяльності, нормалізації умов оточуючих природного, техногенного і соціального середовищ.

Існує багато варіантів розрахунку розмірів викидів шкідливих речовин. Оцінювання стану повітряного басейну в населених пунктах проводиться шляхом порівняння реальних концентрацій з гранично-припустимими концентраціями [1]. Але все зводиться тільки до оцінювання рівня забруднення навколишнього середовища, механізм зменшення екологічного навантаження шляхом впровадження необхідних заходів відсутній. Нагадаємо, що критерієм екологічної безпеки доріг є така градація: концентрація СО до 3 мг/м³ – “відмінно”; від 3 до 5 мг/м³ – “добре” або “екологічно слабо небезпечно”; від 5 до 20 мг/м³ – “задовільно” або “екологічно помірно небезпечно”; від 20 мг/м³ та вище – “незадовільно” або “екологічно небезпечно”.

Методи прогнозування і моделювання процесу забруднення повітря міста поки відстають від розрахункових методів визначення концентрації шкідливих речовин стаціонарних джерел. Тому основна увага спеціалістів спрямована на створення і удосконалення моделей для розрахунку приземних концентрацій шкідливих речовин, які враховують вплив різних факторів на характер дисперсії цих речовин в умовах примігстральної забудови. Оскільки кожний метод розрахунку включає різні параметри, слід приділяти увагу розробленню більш точної універсальної методики розрахунку [2, 3].

У сфері розроблення більш ефективних методів спостереження і належного контролю за викидами відпрацьованих газів і величинами інтенсивності дорожнього руху, особливо у великих містах України, ведуться дослідження з розроблення відповідної мережі спостереження, що забезпечить отримання необхідних результатів і допоможе швидко виконати належні заходи з організації дорожнього руху (ОДР) на екологічно небезпечних ділянках вулично-дорожньої мережі. Але існуючі системи спостереження не досліджують екологічні та технічні характеристики схем ОДР на різноманітних ділянках з урахуванням забудови навколо доріг [4].

Значна увага приділяється і комплексним схемам ОДР та встановленню функціональних залежностей рівня екологічних характеристик від технічних схем ОДР. Проте усі дослідження рівня екологічних характеристик зводяться лише до того, що в імітаційних моделях враховується циклічний характер руху автомобілів у містах, який пов'язаний із зупинками перед перехрестями та наступним розгоном, без достатнього оцінювання параметрів всього транспортного потоку.

Метою статті є удосконалення методу оцінювання та визначення шляхів зниження токсичності відпрацьованих газів автомобілів. У рамках викладеного матеріалу здійснено порівняльне оцінювання екологічної безпеки автомобілів з бензиновими та дизельними двигунами шляхом визначення фактичних та умовних викидів основних шкідливих речовин.

Виклад основного матеріалу. Для порівняльного оцінювання екологічної безпеки розглянемо фактичні й умовні викиди основних шкідливих речовин у г/км двох приблизно однакових за вантажопідйомністю автомобілів (див. табл. 1).

З рис. 1 видно, що умовні максимальні викиди (УВ) для автомобілів з бензиновими двигунами складають 597 ум. од., а з дизельними – 1690 ум. од. Якщо на автомобілях з бензиновими двигунами встановлювати каталітичні нейтралізатори, то умовний викид можна знизити приблизно до 15...20 ум. од.

На автомобілях з дизельними двигунами каталітичні нейтралізатори оксидів азоту застосовувати не можна, тому практично неможливо істотно знизити умовний викид.

Для загального оцінювання екологічної безпеки двох автомобілів необхідно визначити коефіцієнти максимальних, середніх і мінімальних викидів.

При максимальних викидах $K_1 = 1690 / 597 = 2,7$. Якщо виключити застосування бензину з домішками тетраетилсвинцю, то $K_2 = 1690 / 417 = 4,0$. Якщо на автомобілях з бензиновими двигунами встановити каталітичні нейтралізатори, а для автомобілів з дизельними двигунами виключити сажу, оксиди сірки і бенз(о)пірен, то $K_3 = 510/17 = 30,0$.

*Фактичні та умовні викиди основних шкідливих речовин автомобілів
з бензиновими та дизельними двигунами*

Шкідливі речовини	Бензинові двигуни			Дизельні двигуни		
	фактичний викид, г/км	коефіцієнт небезпечності	умовний викид	фактичний викид, г/км	коефіцієнт небезпечності	умовний викид
CO	40	0,33	13,3	7	0,33	2,3
C _n H _m	6	0,67	4,0	10	0,67	6,7
NO _x	16	25	400	20	25	500
C	1	20	20	10	20	200
SO ₂	–	–	–	24	20	480
Pb	0,05	3,3·10 ³	160	–	–	–
БП	–	–	–	0,0005	106	500
Всього			597			1690

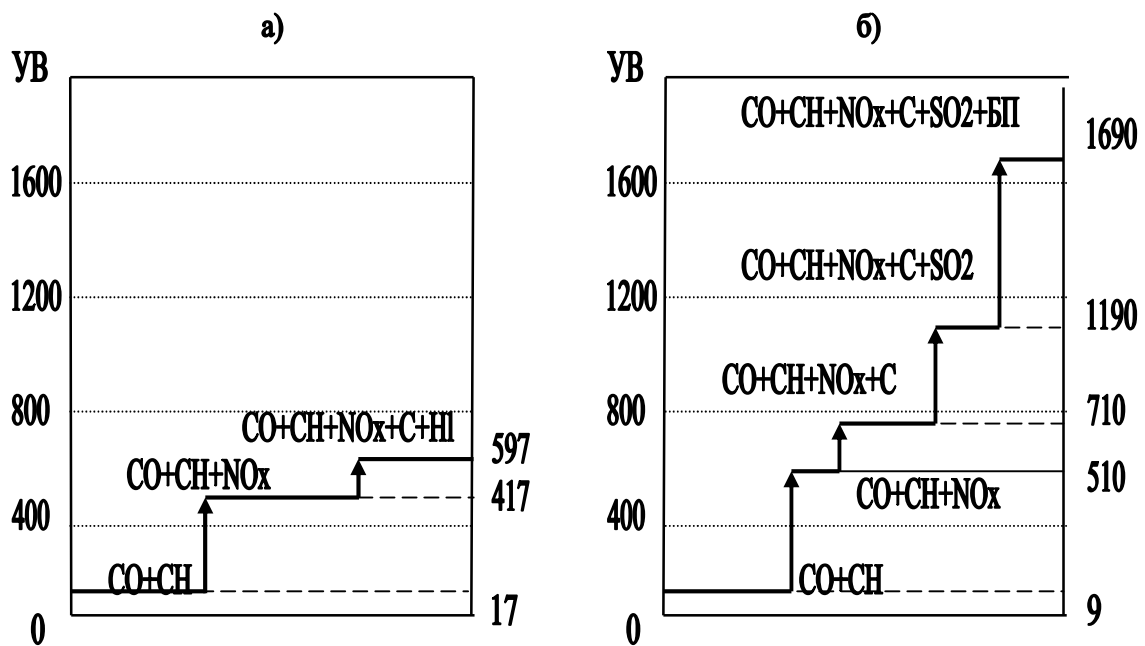


Рис. 1. Показники викиду шкідливих речовин бензинових (а) і дизельних (б) автомобілів

Таким чином, в усіх випадках за екологічними оцінками автомобілі з бензиновими двигунами мають явну перевагу, що необхідно пам'ятати, зокрема, організовуючи пасажирські перевезення у великих населених пунктах. Безперечними перевагами автомобілів з дизельними двигунами є високі індикаторні коефіцієнти корисної дії (у дизельних двигунів 0,45, у бензинових 0,3) і вища паливна економічність при роботі на нижчому за якістю пальному. Такі дані необхідно враховувати, надаючи рекомендації з розроблення нових зразків військової техніки.

Побудова експлуатаційних характеристик токсичності автомобілів з бензиновими і дизельними двигунами є одним із шляхів зниження токсичності відпрацьованих газів.

Для експлуатаційних цілей необхідні характеристики викиду шкідливих речовин у г/км залежно від швидкості руху, ваги автомобіля і сумарного дорожнього опору. З метою одержання таких характеристик, насамперед, необхідно проаналізувати залежності, наведені на рис. 2.

Як показують спеціальні дослідження, ці криві достатньо точно можна виразити поліномом другого степеня у вигляді $A_1 + B_1 \cdot \alpha + C_1 \cdot \alpha^2$, де A_1 , B_1 і C_1 – сталі коефіцієнти. Наприклад, для карбюраторного двигуна вміст CO можна розрахувати за формулою $X_{CO} = 61,3 - 114 \cdot \alpha + 53 \cdot \alpha^2$. Якщо у цьому виразі взяти диференціал по α і дорівняти до нуля, то одержимо значення коефіцієнта надлишку повітря, при якому вміст CO буде мінімальним: $X_{CO} = -114 + 106 \cdot \alpha = 0$. Звідси $\alpha = 1,075$. З рівняння також видно, що при $\alpha = 1$ $X_{CO} \approx 0,3$ %.

Вміст вуглеводнів розраховується за формулою $X_{CH} = 0,922 - 1,677 \alpha + 0,776 \alpha^2$. Очевидно, що мінімум X_{CH} спостерігається при $\alpha = 1,08$. При $\alpha = 1$ $X_{CH} = 0,021$ %.

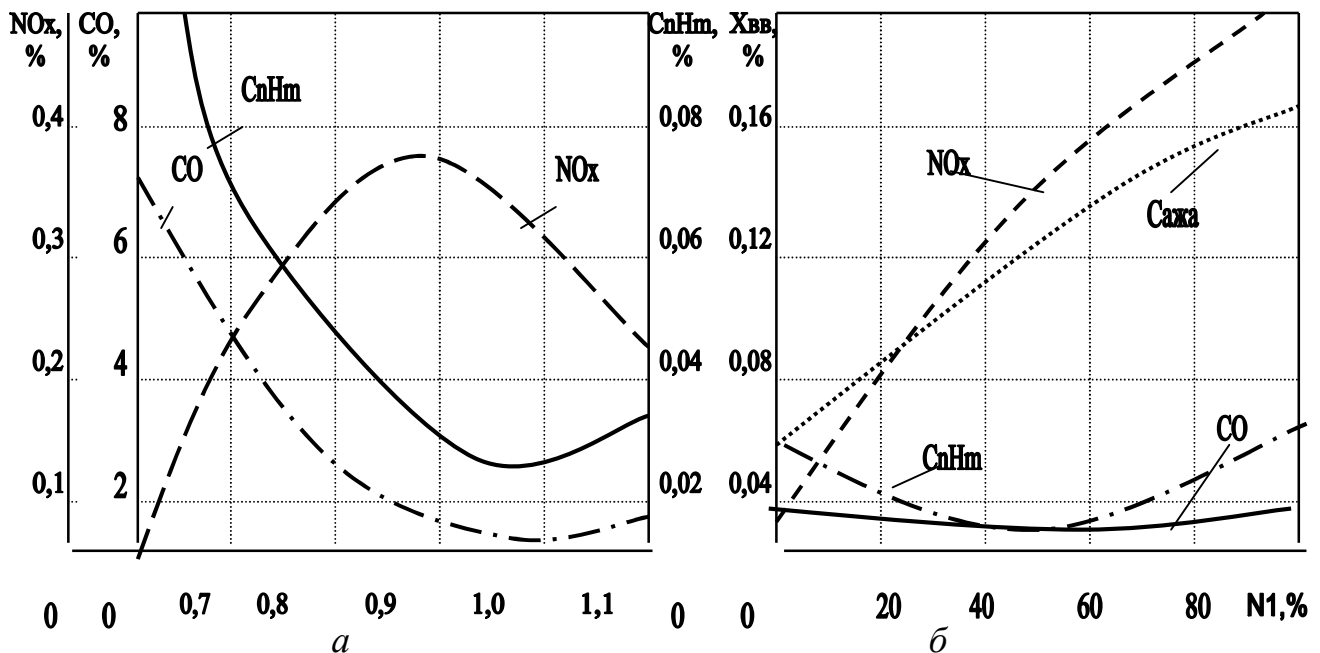


Рис. 2. Характеристики токсичності карбюраторного двигуна автомобіля ЗІЛ-431410 (а) і дизельного двигуна автомобіля КрАЗ-6322 (б)

Концентрацію оксидів азоту можна визначити за формулою $X_{NO} = -3,64 + 7,88\alpha - 3,88\alpha^2$. Максимум NO_x буде при $\alpha = 1,01$. При $\alpha = 1$ $X_{NO} = 0,36$ %.

З достатньою точністю можна прийняти, що коефіцієнт надлишку повітря α змінюється лінійно, залежно від відсотка використання потужності N_1 : $\alpha \approx (a_1 + b_1 N_1)$. Коефіцієнт a_1 коливається в межах 0,7...0,9, а коефіцієнт b_1 – у межах 0,0027...0,0046. Наведену формулу можна застосовувати, якщо відсоток використання потужності змінюється в межах від 0 до 80 %.

Якщо залежність для визначення α у загальному вигляді підставити в наведені формули для визначення концентрації шкідливих речовин, то одержимо вирази, які можна записати так:

$$X_{CO, CH, NO} = A_2 + B_2 N_1 + C_2 N_1^2, \quad (1)$$

де A_2 , B_2 , C_2 – сталі для даного автомобіля коефіцієнти.

Вміст шкідливих компонентів у відпрацьованих газах дизельних двигунів, залежно від відсотка використання потужності також можна визначити за допомогою поліному другого степеня. Сталі коефіцієнти A_2 , B_2 , C_2 для двигуна ЯМЗ-238 наведено у табл. 2.

Значення сталих коефіцієнтів A_2, B_2, C_2 для двигуна ЯМЗ-238

Коефіцієнти	X_{CO}	X_{CH}	X_{NO}	X_C
A_2	0,05	0,017	0,02	0,053
B_2	$-1,5 \cdot 10^{-3}$	$0,31 \cdot 10^{-3}$	$2,3 \cdot 10^{-3}$	$1,6 \cdot 10^{-3}$
C_2	$14 \cdot 10^{-6}$	$2,47 \cdot 10^{-6}$	$-4 \cdot 10^{-6}$	$-5 \cdot 10^{-6}$

Викид шкідливих речовин Q у г/км при русі автомобілів з різними навантаженнями і швидкостями можна розрахувати, якщо буде відома молекулярна маса M_{BB} шкідливої речовини, її концентрація у відсотках до об'єму X_{BB} і загальна витрата суміші у $m^3/км$.

Щоб визначити кількість моль у $1 m^3$, необхідно 1000 л розділити на 22,4 л (один моль газу займає 22,4 л при $0^\circ C$ та 0,1 МПа). Молекулярна маса одного моля M_{BB} із певним допущенням визначається з хімічної формули компонента: для CO – 28, для NO₂ – 46 (для NO – 30), для C (сажа) – 12.

Молекулярну масу вуглеводнів (C₆H₁₄) для бензинових автомобілів приймають 86, для дизельних (C₉H₂₀) – ~128. Виділення газу в $m^3/км$ можна визначити, якщо витрату пального у л/100 км помножити на 0,01 ρ і на вираз $15 \alpha / 1,22$, де α – коефіцієнт надлишку повітря, а 1,22 – густина повітря в $кг/m^3$. Загальну формулу для розрахунку викиду шкідливих речовин запишемо так: $Q_{BB} = 44,6 \cdot M_{BB} \cdot 0,01 X_{BB} \cdot 0,01 \rho_T \cdot Q \cdot 15 \alpha / 1,22 = 0,054 M_{BB} \cdot X_{BB} \cdot \rho_T \cdot Q \cdot \alpha$ г/км.

Підставивши значення M_{BB} в останню формулу, одержимо залежності для визначення викиду шкідливих речовин у атмосферу. Для CO: $Q'_{CO} = 153 \rho_T X_{CO} \cdot Q \cdot \alpha$. Для NO_x: $Q'_{NO} = 2,5 \rho_T X_{NO} \cdot Q \cdot \alpha$. Для бензину: $Q'_C = 4,7 \rho_T X_{CH} \cdot Q \cdot \alpha$. Для дизельного пального: $Q'_C = 7 \rho_T X_{CH} \cdot Q \cdot \alpha$.

Якщо в останні залежності підставити вирази для визначення X_{BB} , Q і α , одержимо формулу в розгорнутому вигляді для бензинового автомобіля:

$$Q' = 0,0548 M_{BB} \cdot \rho_T (A_2 + B_2 N_1 + C_2 N_1^2) \cdot [A \cdot i_k + B \cdot i_k^2 \cdot V_a + C (G_a \cdot \psi + 0,077 k \cdot V_a^2)] \cdot (a_1 + b_1 \cdot N_1) / \eta_i \text{ г/км}, \quad (2)$$

де M_{BB} – молекулярна маса токсичних речовин у грамах; A_2, B_2, C_2 – сталі коефіцієнти для різних токсичних речовин; A, B, C – сталі для даного автомобіля коефіцієнти; a_1, b_1 – сталі для даного карбюратора коефіцієнти.

За допомогою наведених формул побудовано графіки зміни викидів CO, NO_x і C_nH_m залежно від навантаження ($G_a \cdot \psi = 1000, 3000, 5000, 7000$ Н) і швидкості руху автомобіля ЗІЛ-431410 (рис. 3, а, б, в).

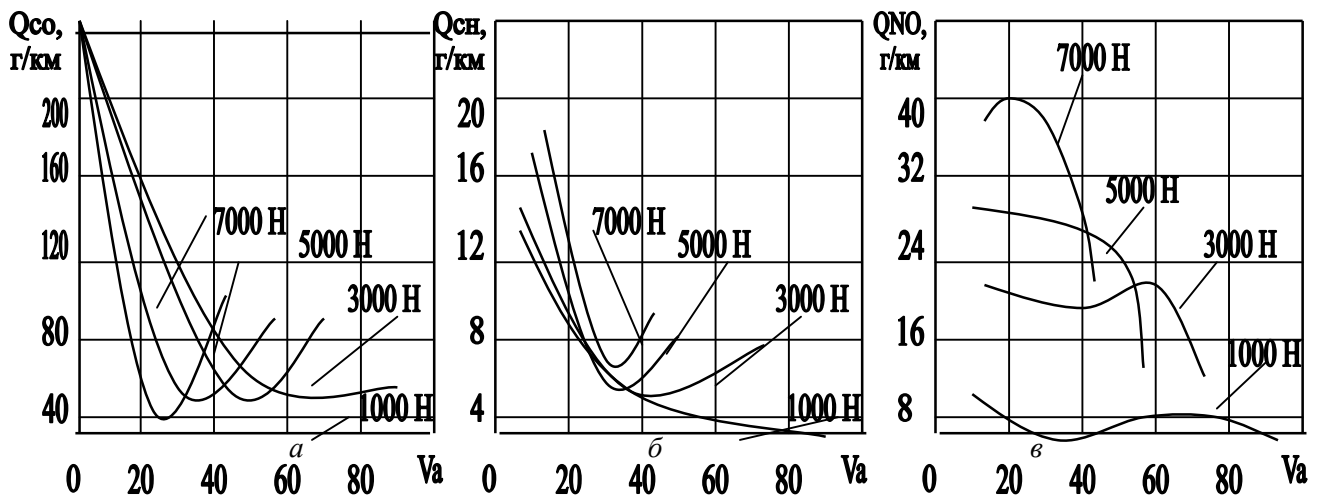


Рис. 3. Графіки зміни викидів шкідливих речовин при різних навантаженнях і швидкостях руху автомобіля ЗІЛ-431410: а – CO; б – C_nH_m; в – NO_x

З графіків видно, що зі збільшенням швидкості від 15 до 90 км/год викид оксидів вуглецю знижується від 160 до 5 г/км. Конкретному навантаженню відповідає визначена швидкість, при якій викид CO має мінімальну величину: при $G_a \cdot \psi = 7000$ Н вона складає 30...33 км/год, при 5000 Н – 40...45 км/год, при 3000 Н – 55...60 км/год і при 1000 Н – 75...85 км/год.

Викид вуглеводнів C_nH_m знижується зі збільшенням швидкості від 12 до 1,5 г/км. При великих навантаженнях (7000 Н) мінімальний викид становить 6 г/км, при середніх (3000...5000 Н) – 3...4 г/км і при малих (1000 Н) – 1,5...2 г/км.

Залежно від навантаження і швидкості руху автомобіля викид оксидів азоту змінюється у межах 6...40 г/км. При малих навантаженнях викид NO_x від швидкості змінюється мало. При великих навантаженнях зі збільшенням швидкості викид знижується приблизно у два рази.

Наведені графіки можна назвати експлуатаційними характеристиками токсичності автомобілів. Вони дозволяють оцінювати сумарний викид речовин у г/км за різних умов експлуатації автомобілів. Наприклад, при 30 км/год і

$G_a \cdot \psi = 3000$ Н сумарний викид шкідливих речовин на 1 км складає 94 г (70 г CO, 7г CH і 17 г NO_x).

Сумарна зведена токсичність зі збільшенням середньої швидкості до 80 км/год знижується приблизно у два рази. Це відбувається тому, що зі збільшенням середньої швидкості різко знижується витрата пального у л/100 км. Отже, одним з основних заходів, що сприяють зменшенню вагового викиду шкідливих речовин, є збільшення середніх технічних швидкостей автомобілів (поліпшення дорожніх умов). Сумарний викид, як видно з наведених формул, залежить, головним чином, від витрати пального і процентного вмісту шкідливих речовин X_{BB} . Тому практично всі заходи, спрямовані на зниження витрати пального, сприяють зменшенню викиду шкідливих речовин.

На рис. 4 наведено залежності викидів CO, CH, NO_x і C автомобілем КрАЗ-6322 з дизельним двигуном при різних швидкостях та навантаженнях ($G_a \cdot \psi = 3000, 6000$ і 9000 Н).

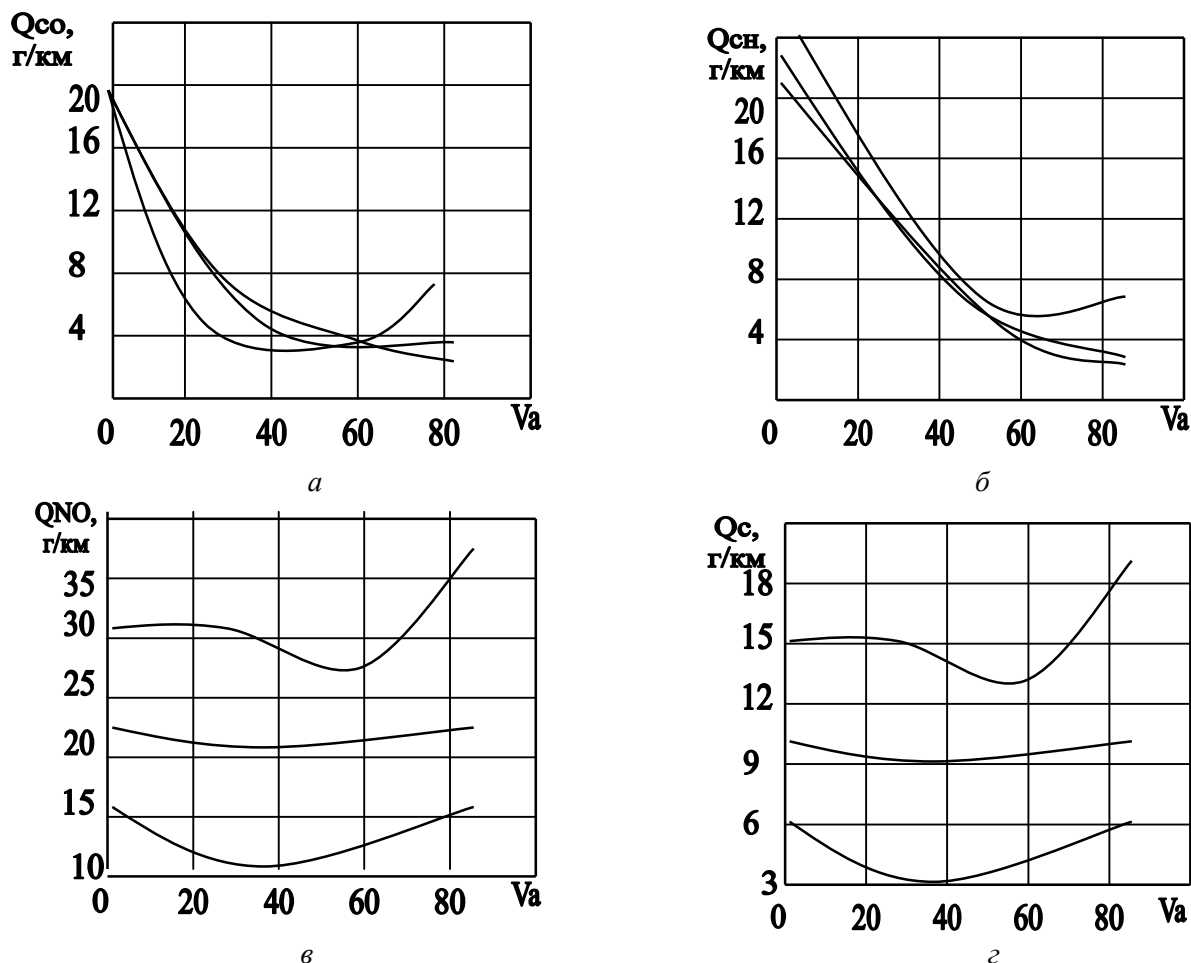


Рис. 4. Графіки зміни викидів шкідливих речовин дизельним автомобілем при різних навантаженнях і швидкостях руху: а – CO; б – C_nH_m ; в – NO_x ; г – C

На відміну від ЗИЛ-431410, викид СО приблизно у десять разів менший. Викид при великих швидкостях складає 3...4 г/км. На лініях відсутні явно виражені мінімуми для малих і середніх навантажень. Помітний мінімум для швидкості 60 км/год спостерігається тільки у разі великого навантаження.

Залежно від навантаження і швидкості руху автомобіля викид оксидів азоту змінюється в межах 10...30 г/км. Мінімальний викид спостерігається при швидкостях 40...50 км/год. Зі збільшенням навантаження викид NO₂ зростає. Це пояснюється тим, що зростає температура згоряння, що є основною умовою утворення в циліндрах двигунів оксидів азоту.

Викиди сажі змінюються у межах 6...15 г/км. Збільшення викидів спостерігається на малих швидкостях руху. Для середніх та високих швидкостей викиди сажі змінюються у незначних межах. Зі збільшенням навантаження викиди зростають.

Висновки

Наведені математичні моделі мають важливе практичне значення для аналізу технічних, економічних та екологічних заходів зі зниження забруднення біосфери.

Вони можуть бути використані у розробленні основних стандартів на викид шкідливих речовин у г/км і контрольно-діагностичного устаткування для перевірки технічного стану автомобілів; для проектування і будівництва доріг і вулиць; у створенні систем управління шляхово-транспортними потоками великих населених пунктів і т. п.

Список використаних джерел

1. Державні санітарні правила охорони атмосферного повітря населених місць (від забруднення хімічними та біологічними речовинами) [Копія] / М-во охорони здоров'я України. – Погоджено М-вом охорони навколишнього природного середовища та ядерної безпеки України 18.03.1996; Держ. ком. України по гідрометеорології 12.12.1995. – Київ : М-во охорони здоров'я України, 09.07.97.
2. Обґрунтування вимог до тактико-технічних та експлуатаційних характеристик автомобілів та бойових машин Національної гвардії України [Текст] : монографія / М. А. Подригало, С. А. Соколовський, Р. О. Кайдалов та ін. – Харків : НАНГУ, 2016. – 340 с.
3. Солуха, Б. В. Оцінка впливу шкідливих викидів автотранспорту на атмосферне повітря в зоні житлової забудови (ОВНС згідно ДБН А.2.2.-1-95) [Текст] : метод. вказівки / Б. В. Солуха. – Київ : КНУБА, 2000. – 54 с.
4. Абрамова, Л. С. Выявление латентных факторов частных коэффициентов аварийности [Текст] / Л. С. Абрамова, Г. Г. Птица // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2012. – № 5/4 (59). – С. 32–37.

Стаття надійшла до редакції 30.11.2018 р.

УДК 629.113

И. К. Шаша, Г. Н. Маренко, С. М. Мельников

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ И ПУТИ СНИЖЕНИЯ ТОКСИЧНОСТИ ОТРАБОТАННЫХ ГАЗОВ АВТОМОБИЛЕЙ

Проведена сравнительная оценка экологической опасности автомобилей с бензиновыми и дизельными двигателями путем определения фактических и условных выбросов основных вредных веществ. Приведены математические модели процессов, которые могут быть использованы в разработке основных стандартов уровней выбросов вредных веществ в г/км и контрольно-диагностического оборудования для проверки технического состояния автомобилей, при проектировании и строительстве дорог и улиц, создании систем управления дорожно-транспортными потоками в крупных населенных пунктах и т.п.

К л ю ч е в ы е с л о в а: екологія, отработанные газы, токсичность, прогнозирование, моделирование, автомобиль, двигатель, скорость, нагрузка, математическая модель, метод, условия эксплуатации.

UDC 629.113

I. K. Shasha, G. M. Marenko, S. M. Melnikov

**METHODS OF EVALUATING AND WAYS OF REDUCING
THE TOXICITY OF EXHAUST AUTOMOBILE GASES**

Environmental pollution of our planet is becoming catastrophic. The main cause is people activities in industrial sectors and transport. Military hardware is rightly considered as one of the most powerful factors affecting the atmosphere, the lithosphere, and the hydrosphere in the process of solving the global environmental problem of each state. It has become one of the main supplier of nitrogen and carbon oxides, hydrocarbons, aldehydes, carbon black and carcinogenic benzopyrene. There are many options for calculating the emissions of harmful substances. The evaluation of the air in communities is made by comparing real concentrations with the maximum permissible concentrations. But everything is limited only by the evaluation of the level of environmental pollution and the mechanism of reducing the environmental load by introducing the necessary measures is absent. The purpose of the article is to improve the method of evaluation and determination the ways of reducing the toxicity of exhaust car gases. A comparative evaluation of the environmental hazard of cars with gasoline and diesel engines is made by determining the actual and conditional emissions of the main harmful substances in the framework of the presented material. Plotting the operating characteristics of the toxicity of cars with gasoline and diesel engines is one way to reduce the toxicity of exhaust gases. The characteristics of emission of harmful substances in g / km, depending on the speed, weight of the car and total road resistance, are required for operational purposes. The mathematical models presented in this article are of great practical importance in the analysis of technical, economic and environmental measures to reduce pollution of the biosphere. They can be used in the development of the basic standards for the emission of harmful substances in g / km and in control and diagnostic equipment for checking the technical condition of cars, in the design and construction of roads and streets, in the creation of control systems for traffic and traffic flows in large communities, etc.

K e y w o r d s: ecology, exhaust gases, toxicity, forecasting, modeling, car, engine, speed, load, mathematical model, method, operating conditions.

Шаша Ігор Костянтинович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри автобронетанкової техніки Національної академії Національної гвардії України.
ORCID 0000-0001-7549-3119

Маренко Геннадій Миколайович – кандидат технічних наук, доцент кафедри автобронетанкової техніки Національної академії Національної гвардії України.
ORCID 0000-0002-7461-9186

Мельніков Сергій Михайлович – старший викладач кафедри автобронетанкової техніки Національної академії Національної гвардії України.
ORCID 0000-0001-7463-6798