

## Результати дослідження зведених викидів забруднювальних речовин автомобілями різних екологічних класів «Євро», як основи маркування рівня екологічної небезпеки

О. А. Клименко

Представлено результати дослідження зміни зведених масових експлуатаційних викидів забруднювальних речовин дорожніми транспортними засобами європейських екологічних класів від «Євро-0» до «Євро-6» всіх основних категорій. Охоплено легкові автомобілі, легкий комерційний транспорт, вантажні автомобілі, автобуси, та транспортні засоби категорії L (мопеди та мотоцикли). Зведені масові викиди забруднювальних речовин визначено в єдиній системі координат як від традиційного транспорту з двигунами внутрішнього згоряння, так і від електромобілів. Враховано викиди в атмосферне повітря продукти зносу пневматичних шин, дорожнього покриття та елементів гальмівних систем. В методиці розрахунку зведених масових експлуатаційних викидів враховано 64 види найбільш вагомих забруднювальних речовин, об'єднані в 8 умовних груп. Охоплено монооксид вуглецю, діоксид вуглецю, оксиди азоту, закис азоту, аміак, легкі вуглеводні, альдегіди, кетони, ароматичні вуглеводні, поліциклічні ароматичні вуглеводні, стійкі органічні забруднювачі, частинки, з'єднання сірки, метали та з'єднання металів. Враховано викиди частинок у складі відпрацьованих газів двигунів, продуктів зношування пневматичних шин, дорожнього покриття і гальм. З викидами частинок враховано як елементарний вуглець, так і окремо адсорбовані і абсорбовані канцерогени в їх складі. Усереднені експлуатаційні масові викиди забруднювальних речовин визначено з використанням методики Європейського агентства навколишнього середовища. Для кожної з 64-х забруднювальних речовин запропоновано коефіцієнт відносної шкідливості (агресивності), визначений на основі наявних даних щодо граничнодопустимих концентрацій речовин в атмосферному повітрі, для використання розрахунків масових викидів, зведених до монооксиду вуглецю. Встановлено, що: зведені викиди легковими автомобілями рівня «Євро-5»–«Євро-6» з бензиновими двигунами лише в 4 рази перевищують зведені викиди електромобілів; зведені викиди легкових автомобілів рівня «Євро-6++» з дизелями в два рази є більшими, ніж від легкових автомобілів рівня «Євро-5»–«Євро-6» з бензиновими двигунами; зведені викиди вантажних автомобілів та міських автобусів рівня «Євро-6» в середньому лише в 5 разів більше зведених викидів електричного транспорту; зведені викиди транспортними засобами категорії L (мопедами та мотоциклами) можуть істотно перевищувати викиди легкових автомобілів та навіть автобусів і вантажівок. Отримані результати можуть бути основою розроблення екологічної класифікації та маркування дорожніх транспортних засобів (ДТЗ). Це надає можливості запровадження фіскальних та інших механізмів стимулювання використання екологічно більш сприятливих видів транспортних засобів відповідно до практики країн-членів ЄС з ви-

*користанням принципу «забруднювач платить». Запропоновано загальні принципи запровадження універсальної системи маркування рівня екологічної небезпеки ДТЗ. Дискретні базові рівні екологічної небезпеки запропоновано встановлювати з кроком збільшення сумарних зведених викидів в 1,259 рази, що дорівнює збільшенню умовної енергетичної величини в  $10^{0.1}$  разів, тобто на 1 дБ*

*Ключові слова: дорожні транспортні засоби, викиди забруднювальних речовин, маркування рівня екологічної небезпеки*

## **1. Вступ**

Зменшення негативного впливу дорожнього транспорту на довкілля є важливою проблемою та потребує розроблення і впровадження більш ефективних заходів технічного і фіскального регулювання.

В різних регіонах світу використовують різні та несумісні між собою «системи координат» такого регулювання. Наприклад, в країнах-членах ЄС та в США застосовують принципово різні переліки нормованих забруднювальних речовин, їх гранично допустимі значення та випробувальні процедури, за якими їх визначають під час сертифікації. Транспортні засоби з дизелями і з бензиновими двигунами одного і того ж самого екологічного рівня «Євро» не є тотожними як за гранично допустимими нормами викидів забруднювальних речовин, так і їх середніми експлуатаційними значеннями. Крім того, постійно вносять зміни в процедури і види випробовувань та розширюють перелік нормованих забруднювальних речовин.

Разом з тим, заходи з регулювання потребують певних ресурсів, та, для їх ефективного використання, регулювання в ідеалі має бути пропорційним розміру сукупного негативного впливу дорожнього транспортного засобу на довкілля. Інтегральною оцінкою цього впливу можуть бути сумарні, зведені до оксиду вуглецю з урахуванням відносної агресивності викиди забруднювальних речовин.

Дослідження зведених викидів забруднювальних речовин автомобілями різних екологічних класів «Євро», а також електромобілів, в єдиній «системі координат», визначених за широким переліком основних забруднювачів, надає основу для покращення технічного та фіскального регулювання в цій сфері.

## **2. Аналіз літературних джерел та постановка проблеми**

В роботі [1] виконано аналіз світового досвіду технічного і фіскального регулювання викидів CO<sub>2</sub> і енергетичної ефективності дорожнього транспорту, та надано розгорнуті пропозиції щодо його подальшого поширення. Показано необхідність державного регулювання в цій сфері. Але недостатньо уваги було приділено аспекту так званого локального забруднення транспортом токсичними речовинами, що має бути невід'ємною складовою. Системний огляд стандартів у сфері регулювання викидів наведено, зокрема, в [2], що доводить несумісність стандартів і підходів різних регіонів світу. Та ця проблема потребує вирішення.

В джерелах [3–6] надано аналіз існуючих сьогодні фіскальних заходів регулювання в цій сфері, який показує велике їх розмаїття та практичну несумісність, що також є бар'єром в розвитку міжнародній торгівлі. Більш ніж в половині європейських країн податки на придбання та/або володіння транспортними засобами є

прямо або опосередковано диференційованими залежно від екологічного рівня [3]. В ЄС використовують як рівень стандарту на викиди токсичних забруднювальних речовин, так і викиди CO<sub>2</sub>, показники паливної економічності, а також вік транспортного засобу. Також використовують у різних комбінаціях об'єм двигуна, потужність, вид палива, вагу транспортного засобу, кількість осей тощо. Майже всі країни використовують індивідуальну систему диференційованого оподаткування та несумісні між собою набори показників в її основі [3].

Критичний аналіз систем регулювання, що ґрунтуються переважно на показниках питомих викидів CO<sub>2</sub> та паливної економічності, наведено в [4], а стислий огляд стандартів – в [5]. Отримані під час сертифікації показники питомих викидів CO<sub>2</sub> та паливної економічності все частіше не тільки не відображають реальні викиди CO<sub>2</sub> та споживання енергії в експлуатації, але й скоріше вводять в оману споживача та державні органи. Спирання виключно на викиди CO<sub>2</sub> є недостатньо ефективним також і з огляду на технології електричних автомобілів, де викиди CO<sub>2</sub> під час генерації енергії потребують окремого врахування, та залежать від структури електричної генерації країни. Разом з тим, застосування системи диференційованих податків та скидок вважають ефективним інструментом [6].

В [7] було запропоновано впровадження маркування енергетичної ефективності дорожніх транспортних засобів одночасно, тобто в рамках єдиної системи, з маркуванням саме поточного рівня екологічної небезпеки.

Інші заходи, що стимулюватимуть інвестування в якісне оновлення парку і новітні технології, примушуватимуть до використання в місцях масового зосередження людей переважно техніки, що завдає мінімальної шкоди здоров'ю населення, висвітлено в джерелах [8–12]. Сформульована в [8] позиція Європейської асоціації виробників автомобілів (АСЕА) містить схеми, принципи, підходи та критерії до впровадження зон з низькою емісією («зелених зон»). Разом з тим, рекомендація [8] використовувати безпосередньо екологічний рівень «Євро» суперечить одному з задекларованих базових принципів в частині пропорційності заходів, оскільки не враховує технологію та фактичний рівень забруднення.

Європейські міста у 2018 р. налічували загалом вже 260 «зелених зон», розгорнутий аналіз досвіду впровадження яких наведено в [9]. Доступ до «зелених зон» в багатьох містах є диференційованим не тільки за класом «Євро», але і з врахуванням виду палива, технології, та/або маси транспортного засобу тощо. Досвід Брюсселя в цьому напрямку наведено в [10] та очікувані результати – в [11], що цілком доводять доцільність запровадження «зелених зон». Але різні міста використовують різні та несумісні підходи, що є проблемою. Зазначено також проблему регулювання допуску автомобілів з іноземною реєстрацією. В [12] наведено розгорнутий аналіз міжнародного досвіду та пропозиції щодо впровадження маркування транспортних засобів за екологічним рівнем та рівнем енергоефективності, у тому числі – у розрізі необхідних організаційних заходів. Враховано також рівень шуму та питання утилізації і повторного використання конструкційних матеріалів. Але залишається відкритим питання регулювання транспортних засобів, що імпортують з північно-американського ринку.

В цілому світовий досвід свідчить про доцільність впровадження так званих зелених зон в містах. Пропозиції щодо запровадження регулювання показ-

ників викидів CO<sub>2</sub> та енергоспоживання нових легкових автомобілів та легкого комерційного транспорту наведено, зокрема, в [13].

Несумісність стандартів і підходів, що застосовують різні країни в різних регіонах світу, де, зокрема, виробляють автомобілі, потребує створення відповідної методологічної основи для подолання цих бар'єрів і запровадження більш ефективних інструментів регулювання на єдиній основі.

Уявляється доцільним розглянути можливості відмови від поточної практики (та законодавчих вимог) встановлення мінімального рівня екологічних норм «Євро» до дорожніх транспортних засобів на момент ввезення та першої державної реєстрації. Більш ефективним може бути запровадження визначення та маркування саме поточного екологічного рівня транспортного засобу з врахуванням віку, технічного стану та інших чинників. Одночасно має бути введено справедливу фіскальну політику відповідно до практики країн-членів ЄС з диференційованим залежно від поточного екологічного рівня та рівня енергоефективності й інших чинників оподаткуванням придбання та володіння транспортним засобом. Мають бути введені також диференційовані обмеження та преференції щодо доступу до інфраструктури з використанням принципу «забруднювач платить». Мається на увазі принципова можливість та/або вартість доступу до центральних частин міст та визначених місцевими громадами «зелених зон», вартість паркування, доступу на відокремлені смуги руху громадського транспорту тощо.

Дійова система маркування рівня екологічної небезпеки дорожніх транспортних засобів не може ґрунтуватися безпосередньо на позначенні екологічних норм «Євро», яким транспортний засіб відповідав на момент виробництва, оскільки:

1) транспортні засоби в рамках одного рівня норм «Євро», що використовують різні види палив, істотно відрізняються за рівнем викидів токсичних забруднювальних речовин;

2) порядкові цифри норм «Євро» характеризують лише послідовні етапи впровадження все більш жорстких екологічних вимог, але не відносну зміну гранично допустимих викидів;

3) гранично допустимі норми викидів за стандартами «Євро», що підтверджують в штучних лабораторних умовах, та викиди в реальній експлуатації, як правило, суттєво відрізняються в сторону збільшення останніх;

4) ефективність систем зниження токсичності двигунів істотно зменшується з часом [14, 15], особливо якщо ці системи вже спрацювали свій ресурс, чи є технічно несправними;

5) транспортний засіб може бути переобладнаний в експлуатації для використання, наприклад, газового палива, що може змінювати зведені викиди ним забруднювальних речовин в сторону істотного збільшення у порівнянні з базовою модифікацією. Це зумовлено тим, що виробники тонко налаштовують конструкцію транспортного засобу для її відповідності жорстким екологічним нормам на конкретному паливі. Зміна виду палива потребує складних додаткових доводочних робіт для забезпечення відповідності екологічним нормам. Але для цього необхідне високотехнологічне та високоартісне обладнання, що є недоступним, якщо таке переобладнання здійснюють в експлуатації;

б) транспортні засоби імпортують в Україну з різних ринків, на яких діють практично несумісні системи технічного регулювання (найбільш яркий приклад – автомобілі, що імпортують з США, які не мають європейського підтвердження типу);

7) у випадку вантажних автомобілів та автобусів, валові викиди забруднювальних речовин та, відповідно, збитки довкіллю є вираженою функцією не тільки питомих викидів на одиницю корисної роботи двигуна (у г/кВт×год), але й транспортної роботи;

8) електромобілі також є джерелом викидів забруднювальних речовин, в основному – через зношування пневматичних шин, дорожнього покриття та гальм, та доцільно розглядати їх з «традиційними» транспортними засобами в одній системі координат.

Отже, вирішення висвітлених в [1–13] та інших, наведених вище проблем, уявляється доцільним на основі розроблення принципово нової основи для запровадження системи класифікації та маркування екологічної небезпеки транспортних засобів. Вона має базуватися саме на сумарних зведених викидах на одиницю пробігу та транспортної роботи основних видів забруднювальних речовин з врахуванням виду палива.

### **3. Мета та задачі дослідження**

Метою роботи є дослідження зведених масових усереднених експлуатаційних викидів забруднювальних речовин дорожніми транспортними засобами (ДТЗ) європейських екологічних класів від «Євро-0» до «Євро-6» та електромобілів в єдиній системі координат, як основи наступного розроблення системи маркування рівня екологічної небезпеки ДТЗ.

Для досягнення мети були поставлені такі завдання:

– встановити для найбільш вагомих та досліджених на сьогоднішній час забруднювальних речовин, джерелами викидів яких є дорожній транспорт, коефіцієнти відносної шкідливості для використання в розрахунках масових викидів, зведених до монооксиду вуглецю;

– визначити в єдиній системі координат зведені масові викиди забруднювальних речовин як від традиційного транспорту з двигунами внутрішнього згоряння, так і від електромобілів;

– здійснити аналіз характеру еволюції зведених викидів транспортних засобів різного технологічного рівня та їх співставлення з врахуванням виду палива (енергоносія);

– розробити загальні принципи запровадження універсальної системи маркування рівня екологічної небезпеки ДТЗ.

### **4. Методика розрахунку зведених викидів забруднювальних речовин**

Сумарні зведені викиди  $\sum \text{CO}_{\text{зв}}$  (г/км) основних видів забруднювальних речовин розраховують ґрунтуючись на коефіцієнтах їх відносної шкідливості ( $K_{\text{ш}}$ ) відносно оксиду вуглецю, відповідно до підходу, викладеного в [16], що набув широкого використання:

$$\sum \text{CO}_{\text{зв}} = \sum_{i=1}^n m(i) \times K_{\text{ш}}(i), \quad (1)$$

де  $\sum \text{CO}_{\text{зв}}$  – сумарні зведені викиди основних видів забруднювальних речовин (в умовних грамах оксиду вуглецю (CO), шкідливість (агресивність) якого прийнято за одиницю, г/км;  $m(i)$  – масові викиди  $i$ -й забруднювальної речовини, г/км;  $K_{\text{ш}}(i)$  – коефіцієнт відносної шкідливості  $i$ -й забруднювальної речовини (відносно оксиду вуглецю (CO));  $n$  – загальна кількість видів забруднювальних речовин, що враховують.

Доцільно розраховувати масові викиди на одиницю пробігу широкого переліку забруднювальних речовин, які є наближеними до саме реальних експлуатаційних викидів, на відміну від граничнодопустимих викидів за нормами «Євро». Такі викиди можуть бути розраховані на основі, наприклад, методології Європейського агентства навколишнього середовища [17, 18], що використовують в багатьох країнах ЄС в цілях інвентаризації викидів забруднювальних речовин дорожнім транспортом. Відповідні методології також можуть бути використані для розрахунку викидів транспортних засобів з північноамериканського ринку та з інших ринків, що не мають європейського затвердження типу. В цьому дослідженні наведено результати розрахунків за формулою (1) зведених викидів з використанням викидів окремих забруднювальних речовин, встановлених в [17, 18], та коефіцієнтів відносної шкідливості, встановлених у розділі 5 нижче.

## 5. Встановлення значень коефіцієнтів відносної шкідливості забруднювальних речовин

В цій роботі з переліку забруднювальних речовин, що враховано в [17, 18], використано 64 забруднювальні речовини, які є найбільш впливовими з точки зору визначення сумарної токсичності викидів.

Коефіцієнти відносної шкідливості забруднювальних речовин встановлено на підставі аналізу наявних даних [19–25] щодо граничнодопустимих концентрацій забруднювальних речовин в атмосферному повітрі населених пунктів та у повітрі робочої зони, а також даних [16]. Прийняті за співвідношенням гранично допустимих концентрацій 64-х основних забруднювальних речовин та оксиду вуглецю значення коефіцієнтів відносної шкідливості ( $K_{\text{ш}}$ ) представлено в табл. 1. Для зручності використання їх зведено у 8 груп.

Основна частина валових масових викидів з відпрацьованими газами двигунів внутрішнього згоряння припадає на групу I газоподібних компонентів, до якої також віднесено і CO<sub>2</sub>. Незважаючи на дуже низький (0,0022) коефіцієнт відносної шкідливості CO<sub>2</sub> (що у 454,5 разів є меншим CO), його високі валові викиди (на CO<sub>2</sub> припадає лівова частка продуктів згоряння палива) призводять до помітного токсичного ефекту у великих містах. Розрахований за формулою (1) «внесок» CO<sub>2</sub> в зведені викиди складає 0,2–0,9 % для дизелів та 0,8–2,3 % для бензинових двигунів (вищі значення природно відповідають вищому екологічному класу транспортних засобів).

Таблиця 1

Коефіцієнти відносної шкідливості ( $K_{ш}$ ) відносно оксиду вуглецю 64-х основних забруднювальних речовин

Позначення (формула)	Назва англійською	Назва українською	$K_{ш}$
Група I:	Gaseous components that make up the bulk of the exhaust emissions of internal combustion engines	Газоподібні компоненти, що складають основну частину масових викидів з відпрацьованими газами двигунів внутрішнього згоряння	–
CO	carbon monoxide	оксид вуглецю (монооксид вуглецю)	1
CO <sub>2</sub>	carbon dioxide	діоксид вуглецю	0,0022
NO <sub>x</sub>	oxides of nitrogen	оксиди азоту	75
N <sub>2</sub> O	nitrous oxide	закис азоту	188
NH <sub>3</sub>	ammonia	аміак	75
«ЛНС»	«light hydrocarbons»	«легкі вуглеводні»	3,16
Група II:	Aldehydes	Альдегіди	–
CH <sub>2</sub> O/H <sub>2</sub> CO	formaldehyde	формальдегід	1000
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O/CH <sub>3</sub> CHO	acetaldehyde	ацетальдегід	300
C <sub>3</sub> H <sub>4</sub> O/CH <sub>2</sub> =CHCHO	acrolein	акролеїн	100
C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O/C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CHO	benzaldehyde	бензальдегід	50
C <sub>4</sub> H <sub>6</sub> O/CH <sub>3</sub> CH=CHCHO	crotonaldehyde	кротональдегід	5
C <sub>4</sub> H <sub>6</sub> O/CH <sub>2</sub> =C(CH <sub>3</sub> )	methacrolein	метакролеїн	5
C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O/CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> CHO	butyraldehyde	бутиральдегід	5
C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O/(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CHCHO	isobutanaldehyde	ізобутанальдегід	5
C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O/CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CHO	propionaldehyde	пропіональдегід	5
C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O/CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>4</sub> CHO	hexanal	гексанал	5
C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O/CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> )	i-valeraldehyde	і-валеральдегід	5
C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O/CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> )	valeraldehyde	валеральдегід	5
C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O/CH <sub>3</sub> C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> CHO	o-tolualdehyde	о-толуальдегід	5
C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O/CH <sub>3</sub> C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> CHO	m-tolualdehyde	м-толуальдегід	5
C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O/CH <sub>3</sub> C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> CHO	p-tolualdehyde	р-толуальдегід	5
Група III:	Ketones	Кетони	
C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O/CH <sub>3</sub> -CO-CH <sub>3</sub>	acetone	ацетон	8,57
C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O/CH <sub>3</sub> -C-CH <sub>2</sub> -CH <sub>3</sub>	methylethylketone	метил етилкетон	5
Група IV:	Aromatics	Ароматика	–
C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> /C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>3</sub>	toluene	толуол	5
C <sub>8</sub> H <sub>10</sub> /C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> C <sub>2</sub> H <sub>5</sub>	ethylbenzene	етилбензол	150
C <sub>8</sub> H <sub>10</sub> /C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> (CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	m,p-xylene	м, р-ксилол	15
C <sub>8</sub> H <sub>10</sub> /C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> (CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	o-xylene	о-ксилол	15
C <sub>9</sub> H <sub>12</sub> /C <sub>6</sub> H <sub>3</sub> (CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>	1,2,3 trimethylbenzene	1,2,3 триметилбензол	100
C <sub>9</sub> H <sub>12</sub> /C <sub>6</sub> H <sub>3</sub> (CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> (asym.)	1,2,4 trimethylbenzene	1,2,4 триметилбензол	200
C <sub>9</sub> H <sub>12</sub> /C <sub>6</sub> H <sub>3</sub> (CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> (sym.)	1,3,5 trimethylbenzene	1,3,5 триметилбензол	300
C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> /C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH=CH <sub>2</sub>	styrene	стирол	1500
C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	benzene	бензол	30
C <sub>9</sub>	C <sub>9</sub>	C <sub>9</sub>	5
C <sub>10</sub>	C <sub>10</sub>	C <sub>10</sub>	10
C>13	C>13	C>13	20

Продовження Таблиці 1

Група V («PAHs & POPs»):	Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and persistent organic pollutants (POPs) («PAHs & POPs»)	Поліциклічні ароматичні вуглеводні та стійкі органічні забруднювачі	–
$C_{22}H_{12}/C_{22}H_{10}O_2/ID(1,2,3,cd)P$	indeno(1,2,3-cd)pyrene	індено(1,2,3)пірен	1500000
$C_{20}H_{12}/C_{20}H_{10}O_2/B(k)F$	benzo(k)fluoranthene	бензо(к)фторантен	3000000
$C_{20}H_{12}/B(b)F$	benzo(b)fluoranthene	бензо(б)фторантен	3000000
$C_{20}H_{12}/B(a)P$	benzo(a)pyrene	бензо(а)пірен	3000000
Група VI («PM»):	Particulate Matter – PM	Частинки	–
«BC»	black carbon	«сажа»	41,5
PM <sub>2.5</sub> petrol	PM (<2,5 μm) originated from petrol engines exhaust gases	частинки (<2,5 мкм) у складі відпрацьованих газів (ВГ) двигунів, що живляться бензином	300
PM <sub>2.5</sub> diesel	PM (<2,5 μm) originated from diesel engines exhaust gases	частинки (<2,5 мкм) у складі відпрацьованих газів (ВГ) дизелів	200
PM <sub>2.5</sub> tyre	PM (<2,5 μm) originated from pneumatic tire wear products	частинки (<2,5 мкм) у складі продуктів зношування пневматичних шин	100
PM <sub>2.5</sub> brake	PM (<2,5 μm) originated from brake wear products	частинки (<2,5 мкм) у складі продуктів зношування гальм	150
PM <sub>2.5</sub> road	PM (<2,5 μm) originated from road surface wear products	частинки (<2,5 мкм) у складі продуктів зношування дорожнього покриття	50
Група VII:	Sulfur compound	З'єднання сірки	
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	sulfates	сульфати	30
SO <sub>2</sub>	sulfur dioxide	діоксид сірки	22
Група VIII («MS»):	Metals and its compounds – «MS»	Метали та з'єднання металів	–
Cd	cadmium	кадмій	2000
Cu	copper	мідь	40
Cr	chromium	хром	1000
Ni	nickel	нікель	4000
Se	selenium	селен	200
Zn	zinc	цинк	40
Hg	mercury	ртуть	4000
As	arsenic	миш'як	2000
Fe	iron	залізо	75
Mg <sub>2+</sub>	magnesium ion	іон магнію	60
Mo	molybdenum	молібден	150
Sb	antimony	сурма	150
Si	silicon	кремній	60
Sn	tin	олово	150
Ti	titanium	титан	20
Pb	lead	свинець	400
C <sub>8</sub> H <sub>20</sub> Pb	tetraethyllead	тетраетилсвинець	224000



Вагомий «внесок» в зведену токсичність надають оксиди азоту ( $\text{NO}_x$ ), що, зі зміною екологічних стандартів з «Євро-2» до «Євро-6» зменшився з 35 % до 24 % для бензинових двигунів, та з 48 % до 30 % для дизелів легкових автомобілів. «Внесок»  $\text{NO}_x$  від дизелів міських автобусів відповідно зменшився з 79 % до 31 %.

Викиди альдегідів і кетонів разом з викидами ароматичних вуглеводнів (відповідно, групи II, III і IV) вносять значний (2,9–4,8 % для дизелів та 19–26 % для бензинових двигунів) внесок в сумарну токсичність.

Особливо небезпечними є викиди поліциклічних ароматичних вуглеводнів та стійких органічних забруднювачів (група V). Їх «внесок» для бензинових двигунів збільшується з 6 % для «Євро-2» до 18 % для «Євро-6», а для дизелів з 4–16 % для «Євро-2» до 27–42 % «Євро-6» (менші значення відповідають двигунам легкових автомобілів).

Значний внесок в сумарну токсичність також надають викиди частинок (група VI) з різних джерел, особливо від дизелів (до 10 % для «Євро-2», наприклад).

Викиди з'єднань сірки (група VII) та металів (група VIII) не мають визначального впливу (до 0,1 % «внеску»), але є важливими з методологічної точки зору (а також врахування кислотних опадів).

Крім того, викиди забруднювачів груп VI, VII, VIII і V з продуктами зношування пневматичних шин, дорожнього покриття та гальм надають важливий внесок в сумарну токсичність автомобілів високих («Євро-5» та «Євро-6») екологічних класів (до 16–25 %). Також це враховує викиди від електромобілів, які насправді не є транспортними засобами з «нульовою емісією», як це вважалося раніше.

Таким чином, запропонований перелік основних забруднювачів дозволяє об'єктивно порівнювати сумарну токсичність транспортних засобів різного технологічного рівня, що використовують різні джерела енергії.

## **6. Результати розрахунку зведених викидів забруднювальних речовин автомобілями різних екологічних класів «Євро» та електромобілями**

Результати розрахунків за формулою (1) та на основі прийнятих в роботі значень коефіцієнтів шкідливості.

В графічних матеріалах застосовано такі скорочення типів транспортних засобів та палив:

– «E0», «E1» і далі – відповідно екологічні рівні «Євро-0», «Євро-1» і далі для легкових автомобілів і легкого комерційного транспорту (для спрощення використано виключно арабські цифри для позначення екологічного рівня як легкових автомобілів, так і автобусів);

– «PC» – Passenger Cars (легкові автомобілі);

– «EV» – Electrical Vehicles (електричні автомобілі);

– «EV(R)» – Electrical Vehicles (Clean Recuperation) (електричні автомобілі майбутнього покоління з близьким до 100 % використанням системи рекуперації енергії під час гальмування);

– «LDV» – Light Duty Vehicles (легкі вантажні та комерційні автомобілі);

– «HDV» – Heavy Duty Vehicles (важкі транспортні засоби);

– «UB» – Urban Buses (міські автобуси великої місткості);

- «L» – транспортні засоби категорії L (мопеди та мотоцикли);
- «P» – Petrol (бензин);
- «D» – Diesel oil (дизельне паливо).

На рис. 1, 2 наведено зведені до CO сумарні викиди забруднювальних речовин  $\sum CO_{зв}$  (г/км) відносно новими (в межах 30...60 тис. км з момент початку експлуатації) легковими автомобілями, залежно від екологічного класу «Євро», та електромобілів.

На рис. 3–6 наведено зведені до CO сумарні викиди забруднювальних речовин відповідно новим легким комерційним транспортом, транспортними засобами категорії L, вантажівками та автобусами в г/км, а також зведені до одиниці повної маси.

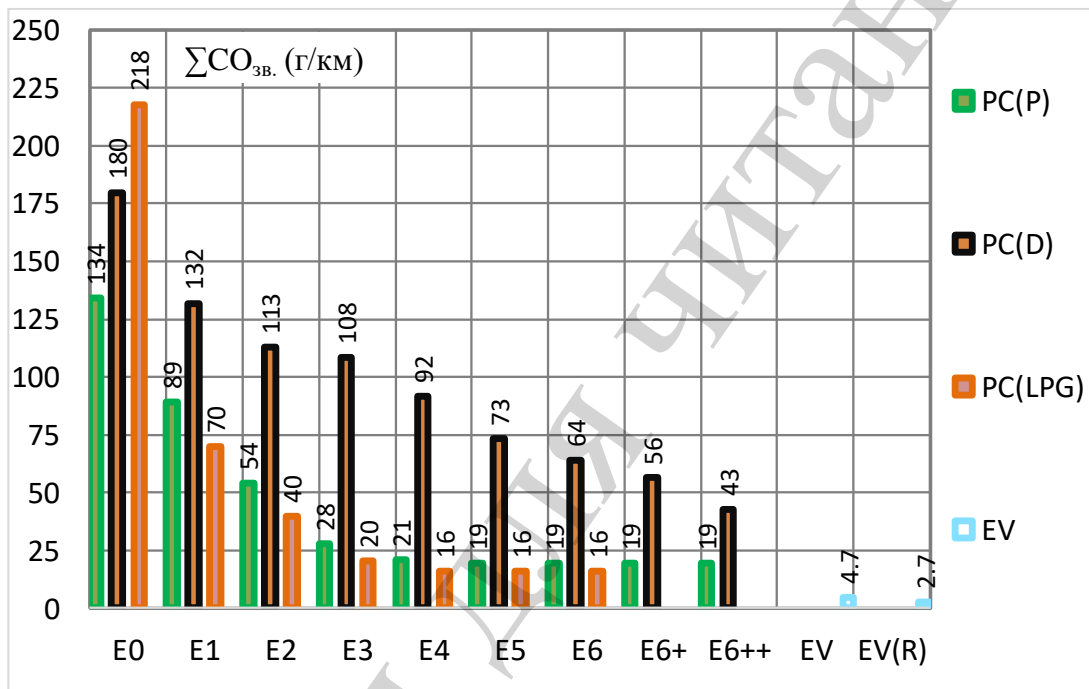


Рис. 1. Зведені до CO сумарні викиди легковими автомобілями (г/км)

Валові викиди забруднювальних речовин комерційним транспортом є в значній мірі функцією також і маси (рис. 5), відповідно, транспортної роботи, що має бути враховано в одній системі координат. Зведення питомих викидів ані до одиниці транспортної роботи, ані до повної маси транспортного засобу не дозволяє зробити це в зручний для практичного використання спосіб. Зведення питомих викидів, розрахованих на основі визнаної багатьма країнами світу методології Європейського агентства навколишнього середовища [17], до квадратного кореня від повної маси транспортного засобу надає цілком задовільні результати (рис. 6).

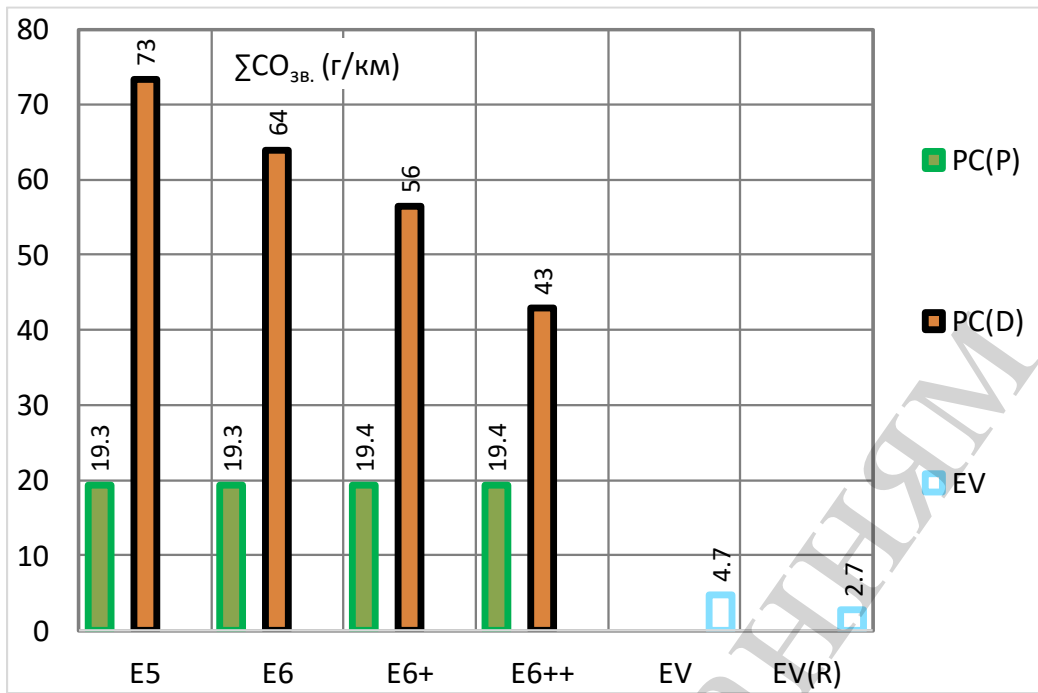


Рис. 2. Зведені до СО сумарні викиди легковими автомобілями екологічних класів «Євро-5»–«Євроб» (Євроб++ з дизелями) у порівнянні з електромобілями (г/км)

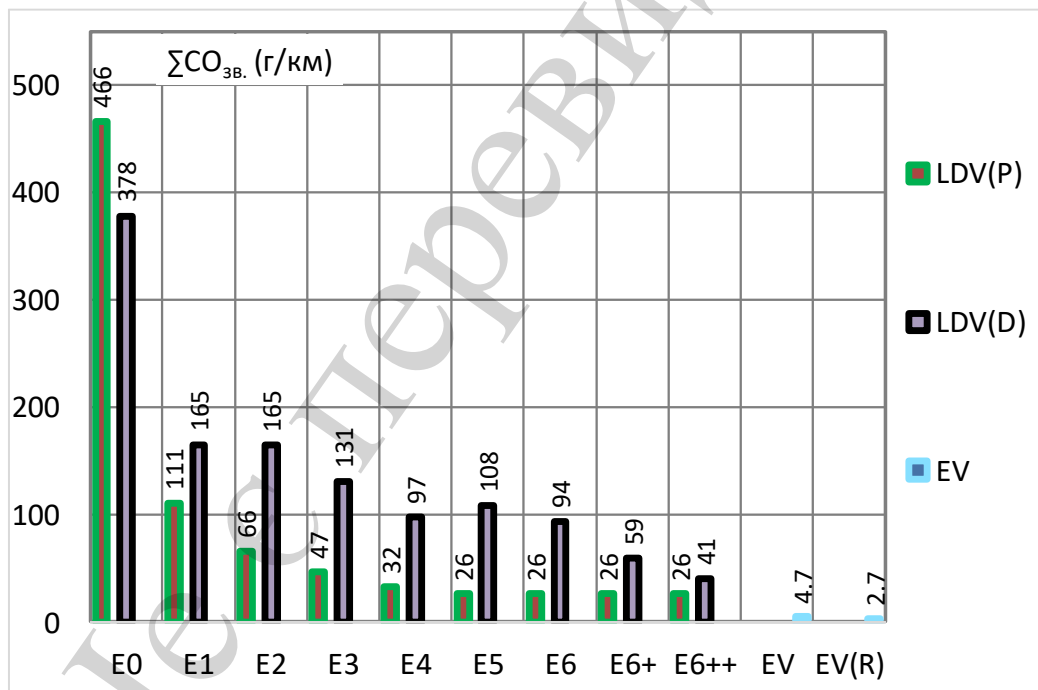


Рис. 3. Зведені до СО сумарні викиди легким комерційним транспортом (г/км)

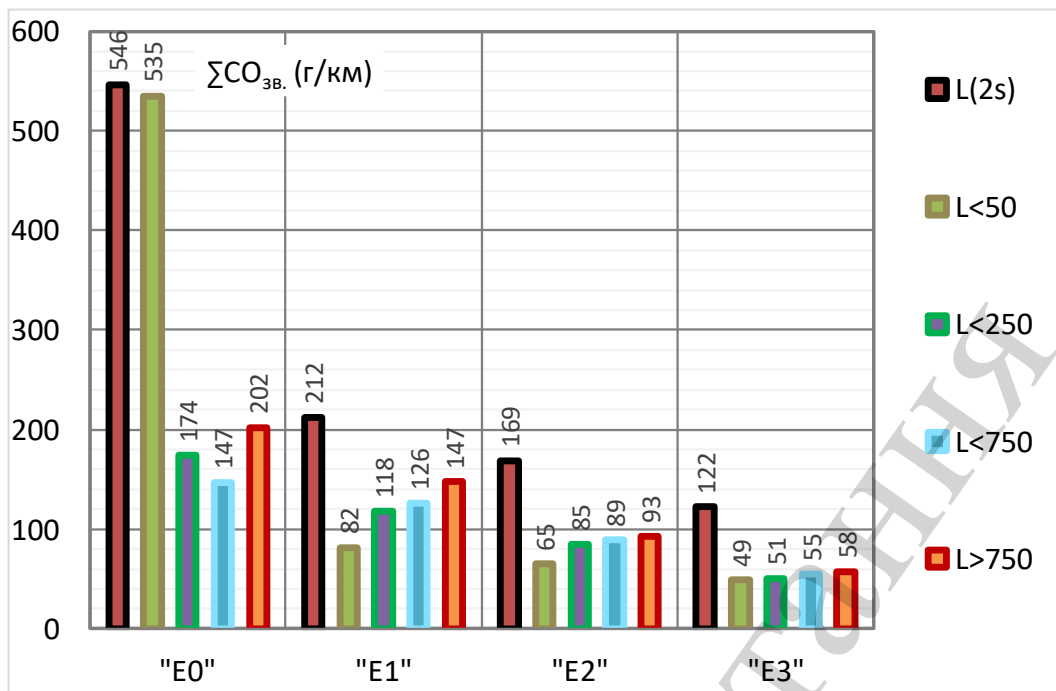


Рис. 4. Зведені до CO сумарні викиди ТЗ категорії L (мопеди та мотоцикли)

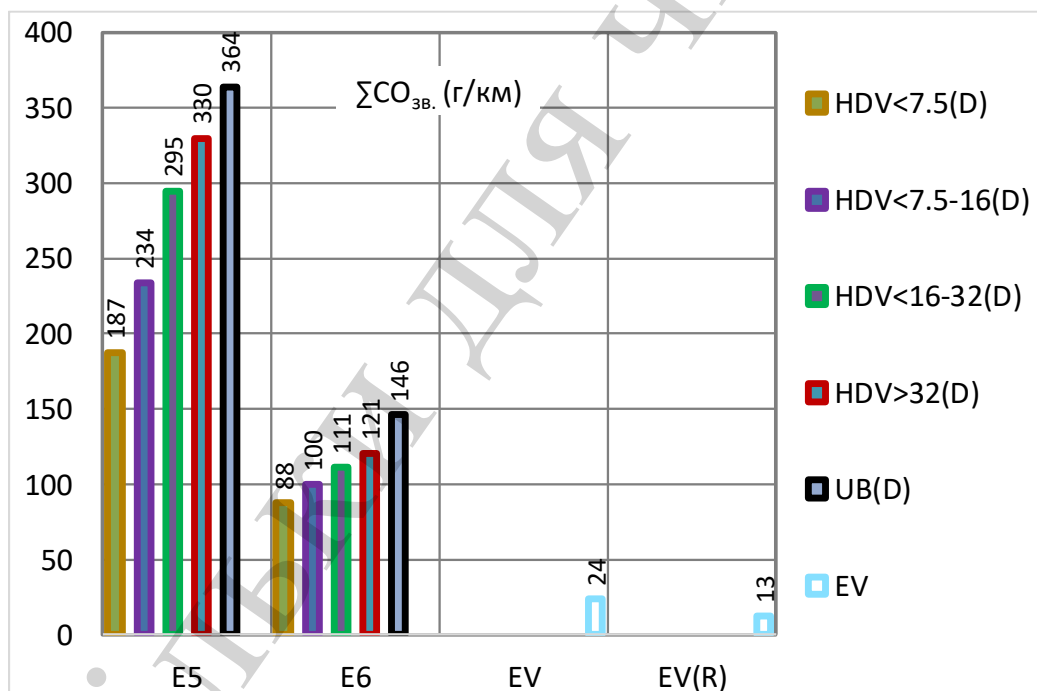


Рис. 5. Зведені до CO сумарні викиди вантажівками та міськими автобусами екологічних класів «Євро-5»–«Євроб» з дизелями у порівнянні з електромобілями (г/км)

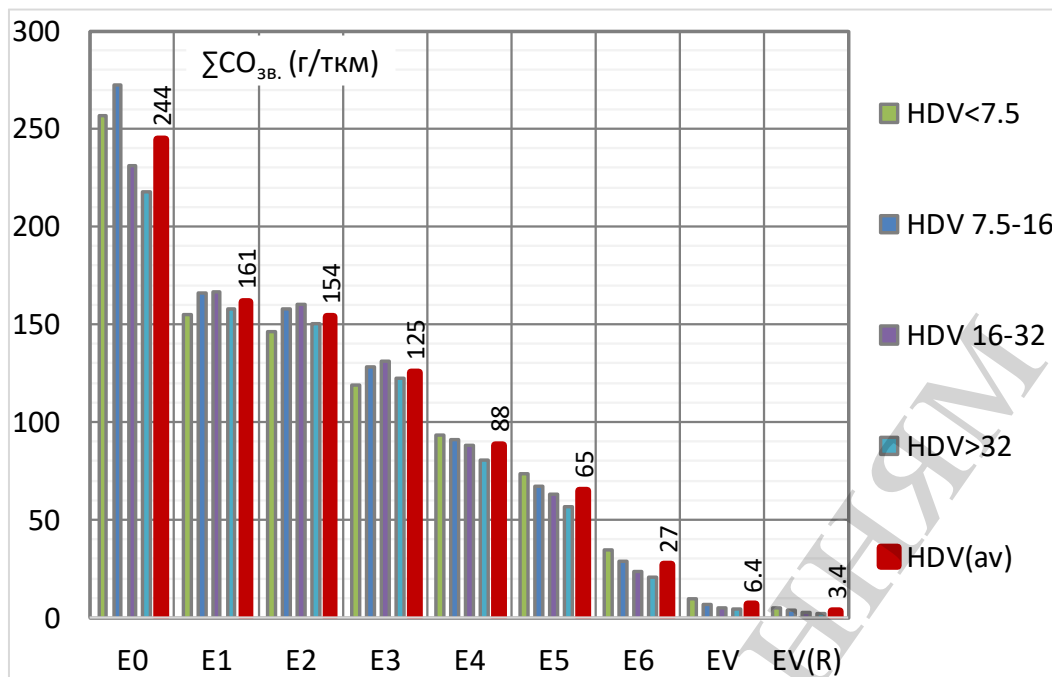


Рис. 6. Зведені до СО питомі сумарні викиди важким комерційним транспортом HDV різної повної маси в тонах (г/ткм) («av» – усереднений тренд)

## 7. Аналіз зведених викидів транспортних засобів різного технологічного рівня

Зведені сумарні викиди сучасними легковими автомобілями рівня «Євро-5»–«Євро-6» з бензиновими двигунами лише в 4 рази перевищують зведені викиди сучасних електромобілів (прийнято, що останні складаються з продуктів зносу шин, дорожнього покриття та гальм). Зведені викиди легкових автомобілів рівня «Євро-6++» з дизелями в два рази є більшими, ніж від легкових автомобілів рівня «Євро-5»–«Євро-6» з бензиновими двигунами (рис. 2).

Найбільший прогрес останніми роками в зниженні викидів токсичних речовин демонструє важкий комерційний транспорт. Сучасні вантажівки та міські автобуси рівня «Євро-6» викидають в середньому лише в 5 разів більше зведених викидів, ніж електричний транспорт (рис. 5). Викиди від електричного транспорту представлено в дещо спрощеному виді відповідно до даних [18] (мають також бути додатково диференційовані за масою транспортного засобу та кількістю формулю).

При цьому викиди транспортними засобами категорії L (рис. 3) можуть істотно перевищувати викиди легкових автомобілів та навіть автобусів та вантажівок.

## 8. Пропозиції щодо загальних принципів запровадження універсальної системи маркування рівня екологічної небезпеки ДТЗ

Отримані результати дозволяють запропонувати універсальну, зручну та ефективну систему класифікації базових рівнів екологічної небезпеки (РЕН) та відповідного маркування транспортних засобів різних категорій.

Фіскальні та інші заходи регулювання мають бути прив'язані до розміру збитку через забруднення атмосферного повітря транспортним засобом. З точки зору практичного впровадження (у тому числі – адміністрування) цих заходів,

уявляється доцільним використати дискретні базові рівні екологічної небезпеки з кроком збільшення сумарних зведених викидів, що дорівнює 1,259 рази.

Саме такий крок в 1,259 рази виявився оптимальним серед всіх інших варіантів з точки зору охоплення в одній системі як електромобілів, так і застарілих транспортних засобів. Це, з однієї точки зору, надає також мінімально можливу загальну кількість кроків для практичного її представлення. З іншої точки зору, це дозволяє в достатній для практики мірі диференціювати транспортні засоби різного технологічного рівня, у тому числі, надавши резервні рівні для диференціації та стимулювання впровадження наступних поколінь транспортних засобів. Маються на увазі транспортні засоби з перспективними двигунами внутрішнього згоряння, гібриди, водневі технології та інші, по мірі їх наближення за сумарними зведеними викидами до електромобілів. Є показовим, що оптимальний крок у 1,259 рази дорівнює збільшенню умовної енергетичної величини в  $10^{0.1}$  разів, тобто на 1 дБ. Таким чином, запропонована універсальна класифікація рівнів екологічної небезпеки є геометричною прогресією із знаменником, що дорівнює 1 дБ, який набув широкого використання в різних галузях науки і техніки (Бел виражає відношення двох значень енергетичної величини десятковим логарифмом цього відношення).

Разом з тим, саме значення зведених питомих викидів у г/км або у г/ткм може бути використано також і для позначення ступеня екологічної небезпеки, окрім розрахунків з її використанням фіскальних заходів державного регулювання, пропорційних екологічному збитку.

Під час розрахунку валових зведених викидів у г/км на основі значення у г/ткм для великовантажних автомобілів має використовуватися повна конструктивна маса транспортного засобу. Питоме значення зведених викидів у г/ткм множиться на повну конструктивну масу транспортного засобу в тонах, з отриманням, таким чином, умовних валових викидів у г/км, що приймають до розрахунків екологічного збитку).

Запропоновані базові рівні екологічної небезпеки також уявляється доцільним об'єднати у декілька (оптимально – до шести) груп (зон) за геометричною прогресією зі знаменником, що дорівнює 2. Таким чином, кожна така група (зона) містить 3 рівня екологічної небезпеки. Зведені викиди за кожним рівнем в суміжних групах відрізняються у 2 рази ( $1,259 \times 1,259 \times 1,259 \approx 2$ ). Це уявляється найбільш зручним в цілях їх подальшого практичного використання для запровадження місцевими громадами диференційованих екологічних зон з відповідним кольоровим маркуванням.

Місцеві громади, таким чином, отримують можливість диференційованого впровадження в центральних та інших районах міст наведених вище екологічних зон в уніфікований спосіб. Запропонована система, залежно від екологічної ситуації в конкретному районі міста, надає можливість впровадження різних зон обмеженого або платного доступу транспортних засобів, що не задовольняють встановленим вимогам.

Отже, кожному транспортному засобу має бути присвоєний поточний рівень екологічної небезпеки та відповідну йому групу з кольоровим позначенням. Порядковий номер та відповідний йому колір визначають зону, до якої (та, відповідно, більш «брудних» зон) ДТЗ надається необмежений доступ.

Запропонована система рівнів екологічної небезпеки поєднує в одній системі координат транспортні засоби з різних ринків, на яких діють практично несумісні системи екологічних стандартів, наприклад норми «Євро» та вимоги північноамериканського ринку (але це є предметом окремої публікації).

Іншою її перевагою є можливості врахування збільшення викидів з пробігом та терміном експлуатації транспортних засобів. Також є можливість стимулювання обладнання транспортних засобів (у тому числі таких, що перебувають в експлуатації тривалий час) додатковими засобами контролю викидів (так званий ретрофітінг). Наприклад, обладнання дизелів сажевими фільтрами, стиmulювання періодичної планової заміни змінних елементів систем нейтралізації відпрацьованих газів (каталітичних нейтралізаторів) тощо.

## **9. Обговорення результатів дослідження зведених викидів транспортних засобів різного технологічного рівня**

Встановлені для широкого переліку найбільш вагомих та досліджених на сьогоднішній час забруднювальних речовин коефіцієнти їх відносної шкідливості (табл. 1) дозволяють об'єктивно оцінювати сумарну токсичність транспортних засобів різного технологічного рівня.

Незважаючи на дуже низький (0,0022) коефіцієнт відносної шкідливості CO<sub>2</sub> (що у 454,5 разів є меншим CO), його високі валові викиди призводять до помітного токсичного ефекту у великих містах. «Внесок» CO<sub>2</sub> в зведені викиди складає 0,2–0,9 % для дизелів та 0,8–2,3 % для бензинових двигунів.

«Внесок» в зведену токсичність оксидів азоту (NO<sub>x</sub>) істотно зменшився з впровадженням більш жорстких екологічних норм «Євро», але все ще становить вагому складову. Для автомобілів рівня «Євро-6» «внесок» NO<sub>x</sub> становить 24 % для автомобілів з бензиновими двигунами та близько 30 % для автомобілів з дизелями.

Викиди альдегідів і кетонів разом з викидами ароматичних вуглеводнів вносять значний (2,9–4,8 % для дизелів та 19–26 % для бензинових двигунів) внесок в сумарну токсичність.

Особливо небезпечними є викиди поліциклічних ароматичних вуглеводнів та стійких органічних забруднювачів. Їх «внесок» навпаки збільшується з впровадженням більш жорстких екологічних норм «Євро» та становить до 18 % для автомобілів рівня «Євро-6» з бензиновими двигунами та до 42 % для автомобілів з дизелями.

Викиди забруднювачів з продуктами зношування пневматичних шин, дорожнього покриття та гальм за отриманими результатами дослідження надають важливий внесок (до 16–25 %) в сумарну токсичність автомобілів високих («Євро-5» та «Євро-6») екологічних класів. Також це враховує викиди від електромобілів, які насправді не є транспортними засобами з «нульовою емісією», як це вважалося раніше.

Зведені масових викидів забруднювальних речовин дорожніх транспортних засобів всіх основних категорій з двигунами різного технологічного рівня та електромобілів визначено в єдиній системі координат.

Аналіз отриманих в цьому дослідженні значень зведених викидів транспортних засобів різного технологічного рівня (рис. 1–6) дає вичерпне уявлення. Є важливим, що визначено як нижню межу теоретично можливого скорочення, так оцінки верхньої межі транспортних засобів застарілих технологічних рівнів (рис. 1–6).

Разом з тим, отримані результати відповідають значенням викидів [17, 18], отриманих для відносно нових транспортних засобів, тобто в межах початкового пробігу в 30...60 тис. км. Відповідно до результатів масштабного дослідження [14, 15], викиди транспортних засобів, що перебувають в експлуатації значний час, можуть значно перевищувати ці значення.

По мірі збільшення віку транспортного засобу та відпрацювання встановленого ресурсу систем контролю токсичності, його зведені викиди збільшуватимуться. Це є предметом додаткових досліджень та основним напрямом розвитку методики розрахунку зведених викидів забруднювальних речовин транспортних засобів, що перебувають в експлуатації.

Маркування рівня екологічної небезпеки транспортних засобів запропоновано впроваджувати пропорційно рівню екологічної шкоди, що транспортний засіб завдає через інгредієнти забруднення в місцях масового скупчення людей. Ця шкоду оцінюють на основі зведених масових експлуатаційних викидів забруднювальних речовин транспортними засобами різного технологічного рівня.

Дискретні базові рівні екологічної небезпеки запропоновано встановлювати з кроком збільшення сумарних зведених викидів в 1,259 рази, що дорівнює збільшенню умовної енергетичної величини в  $10^{0,1}$  разів, тобто на 1 дБ. Це є універсальним підходом, що набув широкого використання в різних галузях науки і техніки. Базові рівні екологічної небезпеки запропоновано об'єднати у декілька (оптимально – до шести) груп (зон) за геометричною прогресією зі знаменником, що дорівнює 2. Це уявляється найбільш зручним в цілях їх подальшого практичного використання для запровадження місцевими громадами диференційованих екологічних зон з відповідним кольоровим маркуванням.

Це надає основу для запровадження фіскальних та інших механізмів стимулювання використання екологічно більш сприятливих видів транспортних засобів відповідно до практики країн-членів ЄС з використанням принципу «забруднювач платить».

## **10. Висновки**

1. Встановлено коефіцієнти відносної шкідливості для 64-х видів найбільш вагомих та досліджених на сьогоднішній час забруднювальних речовин, джерелами викидів яких є дорожній транспорт. Перелік забруднювальних речовин, що враховано, дозволяє об'єктивно оцінювати сумарну токсичність транспортних засобів різного технологічного рівня, у тому числі порівнювати автомобілів з двигунами внутрішнього згоряння, що використовують різні види палива, та електромобілі.

2. Визначено в єдиній системі координат зведені масові викиди забруднювальних речовин як від традиційного транспорту з двигунами внутрішнього згоряння, так і від електромобілів, зносу пневматичних шин, дорожнього поло-



тна та елементів гальмівних систем. Зведені викиди відображають усереднений агрегований (зведений) ступінь шкоди, що транспортний засіб завдає навколишньому середовищу через інгредієнтне забруднення в місцях масового зосередження людей.

Встановлено доцільність врахування CO<sub>2</sub> не тільки як парникового газу, «внесок» якого в зведені викиди складає 0,2–0,9 % для дизелів та 0,8–2,3 % для бензинових двигунів. Вагомий «внесок» в зведену токсичність надають оксиди азоту (NO<sub>x</sub>), що, зі зміною екологічних стандартів з «Євро-2» до «Євро-6» зменшився з 35 % до 24 % для бензинових двигунів, та з 48 % до 30 % для дизелів легкових автомобілів. «Внесок» NO<sub>x</sub> від дизелів міських автобусів відповідно зменшився з 79 % до 31 %.

Викиди альдегідів і кетонів, разом з викидами ароматичних вуглеводнів, вносять значний (2,9–4,8 % для дизелів та 19–26 % для бензинових двигунів) внесок в сумарну токсичність. «Внесок» поліциклічних ароматичних вуглеводнів та стійких органічних забруднювачів для бензинових двигунів збільшується з 6 % для «Євро-2» до 18 % для «Євро-6», а для дизелів з 4–16 % для «Євро-2» до 27–42 % «Євро-6» (менші значення відповідають двигунам легкових автомобілів). Це свідчить про необхідність запровадження жорсткого контролю за якістю моторних палив.

Встановлено, що викиди забруднювачів з продуктами зношування пневматичних шин, дорожнього покриття та гальм надають важливий внесок в сумарну токсичність автомобілів високих («Євро-5» та «Євро-6») екологічних класів (до 16–25 %). Ще раз доведено, що електромобілі насправді не є транспортними засобами з «нульовою емісією», як це вважалося раніше.

Викиди наведених вище продуктів зношування, таким чином, визначають нижню межу (або потенціал) подальшого зменшення зведеної токсичності транспортних засобів з двигунами внутрішнього згоряння, що становить біля 3-5 г/км зведених до СО викидів для легкових автомобілів.

3. Виконаний аналіз зведених масових усереднених експлуатаційних викидів забруднювальних речовин дорожніми транспортними засобами різних технологічних рівнів. Встановлено, зокрема, що:

- зведені сумарні масові викиди легковими автомобілями рівня «Євро-5»–«Євро-6» з бензиновими двигунами лише в 4 рази перевищують зведені викиди електромобілів;

- зведені викиди легкових автомобілів рівня «Євро-6++» з дизелями в два рази є більшими, ніж від легкових автомобілів рівня «Євро-5»–«Євро-6» з бензиновими двигунами;

- зведені викиди вантажних автомобілів та міських автобусів рівня «Євро-6» в середньому лише в 5 разів більше зведених викидів електричного транспорту;

- зведені викиди транспортними засобами категорії L (мопедами та мотоциклами) можуть істотно перевищувати викиди легкових автомобілів та навіть автобусів та вантажівок.

4. Отримана система координат, що дозволяє пропонувати загальні принципи розроблення та наступного запровадження універсальної системи маркування рівня екологічної небезпеки автомобілів.

## Література

1. Hill, N., Windisch, E., Klimenko, A. (2016). Development of national policy on regulation of road transport CO<sub>2</sub> emissions and energy consumption in Ukraine. Clima East project report, 212. URL: <https://europa.eu/capacity4dev/climaeastpolicyproject/document/development-national-policy-regulation-road-transport-co2-emissions-and-energy-consumption->
2. Worldwide Emission Standards and Related Regulations. Passenger Cars/Light and Medium Duty Vehicles (2019). URL: [https://www.continental-automotive.com/getattachment/8f2dedad-b510-4672-a005-3156f77d1f85/EMISSIONBOOKLET\\_2019.pdf](https://www.continental-automotive.com/getattachment/8f2dedad-b510-4672-a005-3156f77d1f85/EMISSIONBOOKLET_2019.pdf)
3. ACEA. Tax Guide (2019). URL: [https://www.acea.be/uploads/news\\_documents/ACEA\\_Tax\\_Guide\\_2019.pdf](https://www.acea.be/uploads/news_documents/ACEA_Tax_Guide_2019.pdf)
4. Yang, Z. (2018). Overview of Global Fuel Economy Policies. 2018 AP-CAP Joint Forum and Clean Air Week. ICCT. URL: [https://theicct.org/sites/default/files/Global-Fuel-Economy-Policies-Overview\\_ICCT\\_ZYang\\_20032018.pdf](https://theicct.org/sites/default/files/Global-Fuel-Economy-Policies-Overview_ICCT_ZYang_20032018.pdf)
5. Posada, F. (2018). Fuel Economy Policy Options and Target Setting. Africa Clean Mobility Week 2018. ICCT. URL: [http://wedocs.unep.org/bitstream/id/5f1fedd9-79d0-4cab-bc32-7ccd9c48c030/FranciscoPosada\\_ICCT\\_Fuel%20Economy\\_20180312.pdf](http://wedocs.unep.org/bitstream/id/5f1fedd9-79d0-4cab-bc32-7ccd9c48c030/FranciscoPosada_ICCT_Fuel%20Economy_20180312.pdf)
6. Yang, Z. (2018). Vehicle Fuel Economy Standards and Feebate System. ACEEE International Symposium on Energy Efficiency. URL: <https://www.aceee.org/sites/default/files/pdf/conferences/intl/2018/Yang.pdf>
7. Редзюк, А. М., Клименко, О. А. (2018). Щодо стратегії підвищення ефективності використання енергії дорожнім транспортом. Автошляховик України, 4 (256), 2–11.
8. Low Emission Zones. ACEA Position Paper (2015). URL: [https://www.acea.be/uploads/publications/ACEA\\_LEZ\\_Position\\_May\\_2015.pdf](https://www.acea.be/uploads/publications/ACEA_LEZ_Position_May_2015.pdf)
9. Amundsen, A. H., Sundvor, I. (2018). Low Emission Zones in Europe. Requirements, enforcement and air quality. TØI report 1666/2018, 88. URL: <https://www.toi.no/getfile.php?mmfileid=49204>
10. Evaluation de la zone de basses emissions rapport 2018. URL: [https://lez.brussels/medias/rapp-2018-lez-fr-final.pdf?context=bWFzdGVyfGRvY3VtZW50c3wxNTYxOTQ1fGFwcGxpY2F0aW9uL3BkZnxkb2N1bWVudHMvaGU5L2hmNy84ODAxNjI2OTQ1fGFwcGxpY2F0aW9uL3BkZnxkb2N1bWVudHMvaGU5L2hmNy84ODAxNjI2OTg0YmYxZjYwNTdhODQyOTAyMWVmZWVhMTQyMWY4YjU1ODc1ZmVINzYwNTdmNWM2ZTYy](https://lez.brussels/medias/rapp-2018-lez-fr-final.pdf?context=bWFzdGVyfGRvY3VtZW50c3wxNTYxOTQ1fGFwcGxpY2F0aW9uL3BkZnxkb2N1bWVudHMvaGU5L2hmNy84ODAxNjI2OTgwMzgyLnBkZnw0ZjFkNmU3ZGY5ODdhNTg0YmYxZjYwNTdhODQyOTAyMWVmZWVhMTQyMWY4YjU1ODc1ZmVINzYwNTdmNWM2ZTYy)
11. Донченко, В. В., Кунин, Ю. И., Вайсблум, М. Е., Гусаров, А. П., Семенихин, А. Н., Сазонова, Г. М. (2016). Перспективы внедрения в Российской Федерации системы «Эко-маркировки» вновь регистрируемых и эксплуатируемых автотранспортных средств: Проект ПРООН/ГЭФ-Минтранс России 00080462 «Сокращение выбросов парниковых газов от автомобильного транспорта в городах России». М., 230.
12. Expected effects from the low emission zone on car fleet and air quality in the Brussels region (2019). URL: <https://lez.brussels/medias/lez-note-envdef.pdf?context=bWFzdGVyfGRvY3VtZW50c3w4NzEwNjI3fGFwcGxpY2F0aW9uL3BkZnxkb2N1bWVudHMvaGFjL2gzYy84ODAxNjI2Njg1NDcwLnBkZnxlNGN>

hYmZmYThmYjQ0MTczODE3MmU3MzYyYzc2ODdiOGZjYWfkOGYyNzNjZW  
M4OTA4MmJiYmU2NTgwMGVhOGFI

13. Klimenko, A., Hill, N., Windisch, E. (2019). Approaches to regulation of CO<sub>2</sub> emission and energy consumption indicators of new light duty vehicles in Ukraine. *The National Transport University Bulletin*, 1 (43), 66–75. doi: <https://doi.org/10.33744/2308-6645-2019-1-43-066-075>

14. Клименко, О. А., Устименко, В. С., Колобов, К. С., Ричок, С. О., Гора, М. Д., Науменко, Н. О. (2019). Аналіз результатів досліджень викидів забруднювальних речовин легковими автомобілями, що були в користуванні, та імпортовані в Україну з США. *Автошляховик України*, 1 (257), 2–11.

15. Klymenko, O., Ustymenko, V., Kolobov, K., Rychok, S., Hora, M., Naumenko, N. (2019). Analysis of Emissions in the European Driving Cycle of Used Light-Duty Vehicles Imported to Europe from North America. *SAE International Journal of Sustainable Transportation, Energy, Environment, & Policy*, 1 (1). doi: <https://doi.org/10.4271/13-01-01-0001>

16. Гутаревич, Ю. Ф., Зеркалов, Д. В., Говорун, А. Г., Корпач, А. О., Мержиєвська, Л. П. (2006). *Екологія та автомобільний транспорт*. К., 292.

17. ЕМЕР/ЕЕА air pollutant emission inventory guidebook 2016 – Update Jul. 2018. URL: <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2016/part-b-sectoral-guidance-chapters/1-energy/1-a-combustion/1-a-3-b-i>

18. ЕМЕР/ЕЕА air pollutant emission inventory guidebook 2016 – Road transport: Automobile type and brake wear, Automobile road abrasion. URL: <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2016/part-b-sectoral-guidance-chapters/1-energy/1-a-combustion/1-a-3-b-vi>

19. ГН 2.1.6.695-98. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест.

20. ГН 2.1.6.3492-17. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений.

21. ГН 2.2.5.3532-18. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны.

22. ГОСТ 12.1.005-88. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (с Изменением № 1).

23. Гранично допустимі концентрації хімічних і біологічних речовин в атмосферному повітрі населених місць. Затверджені в 2015 р. т.в.о. головного державного санітарного лікаря України С.В. Протасом.

24. ДСП-201-97. Державні санітарні правила охорони атмосферного повітря населених місць (від забруднення хімічними та біологічними речовинами)», затверджені наказом Міністерства охорони здоров'я України від 9 липня 1997 р. № 201.

25. Гранично допустимі концентрації (ГДК) та орієнтовні безпечні рівні діяння (ОБРД) забруднюючих речовин в атмосферному повітрі населених місць. URL: <https://www.mcl.kiev.ua/wp-content/uploads/2017/10/OBRV-2017.pdf>