

**УПРАВЛІННЯ ЕКОЛОГІЧНОЮ БЕЗПЕКОЮ ПРИ ФУНКЦІОНУВАННІ ТА РОЗБУДОВІ  
ТРАНСПОРТНИХ МЕРЕЖ УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ У КОНТЕКСТІ СТАЛОГО РОЗВИТКУ****Г. М. Желновач, Н. В. Прокопенко**

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

**ORCID: 0000-0001-5788-7843; 0000-0002-2783-2777**

Наукова стаття присвячена вивченню проблеми забезпечення екологічної безпеки при функціонуванні та розбудові транспортних мереж урбанізованих територій шляхом забезпечення ефективного управління у контексті сталого розвитку. У дослідженні встановлено, що законодавчо-правові регламенти та критерії ефективності щодо розвитку велотранспортної мережі міст України, як основи щодо екологічного збалансованого та сталого розвитку транспортних мереж урбанізованих територій, не надають єдиного системного підходу щодо реалізації такої діяльності. Критерії щодо заміни автотранспортної роботи на велотранспортну, скорочення викидів забруднюючих речовин та споживання палива, зменшення акустичного забруднення були запропоновані для оцінки екологічної ефективності оптимізації щодо функціонування та розбудови транспортної мережі міст. За результатами проведення розрахунків щодо екологічної ефективності та доцільності розвитку велотранспортної мережі міст на прикладі модельних районів міста Харкова було встановлено, що ефективність розвитку велотранспортної мережі у центральному районі міста Харків (Київський район) більше ніж у 20 раз, ніж у «спальному» районі (Московський район), що не може бути у незмінному вигляді застосовано на практиці через відсутність фізичної можливості щодо розбудови велотранспортної мережі центральної частини міста та сформовану забудову місцевості. Ґрунтуючись на отриманих результатах, встановлено, доцільне врахування не тільки параметрів експлуатації автомобільного транспорту, але і розвитку безпосередньо вулично-дорожньої мережі міста у контексті сталого розвитку.

**Ключові слова:** екологічна безпека, сталий розвиток, урбанізована територія, атмосферне повітря, хімічне забруднення, параметричне забруднення, велотранспортна мережа.

**АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ.** Серед глобальних викликів, що наразі стоять перед всім людством, одним з найбільш актуальних є забезпечення сталого розвитку суспільства згідно Цілей сталого розвитку [1], які є своєрідним заклик до дій, спрямованих на поліпшення добробуту населення з одночасним захистом планети від екодеструктивних впливів. Проведений у дослідженні аналіз глобальних екологічних проблем показав, що для світової спільноти проблема урбанізації стоїть дуже гостро [2, 3]. Згідно прогнозів вчених до 2030 року більше 60 % населення планети будуть проживати в містах [4], що максимально актуалізує необхідність розробки ефективних заходів для реалізації Цілі 11 «Стійкі міста і населені пункти», зокрема у контексті розробки підходів щодо управління екологічною безпекою при розбудові та функціонуванні транспортного комплексу урбанізованих територій. Дана проблема є актуальною для більшості міст України, оскільки автомобільний транспорт є суттєвим джерелом хімічного та параметричного забруднення всіх компонентів довкілля та атмосферного повітря, зокрема [5].

Отже, метою даної роботи є розробка сталих підходів щодо забезпечення еколого-ефективного управління транспортною мережею урбанізованих територій шляхом оцінки екологічної ефективності розвитку велотранспортних мереж (ВТМ).

Для досягнення поставленої мети було сформульовано наступні завдання:

– проаналізувати законодавчо-правові регламенти та критерії ефективності щодо розвитку велотранспортної мережі міст України;

– розробити критерії оцінки екологічної ефективності оптимізації транспортної мережі у контексті сталого розвитку велотранспортної мережі;

– провести оцінку екологічної ефективності та доцільності розвитку велотранспортної мережі міст на прикладі модельних районів.

**МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.** Сучасний екологічний стан урбанізованих територій формується переважно під впливом забруднень, що продукуються при функціонуванні всіх складових автотранспортного комплексу та обумовлюється взаємозв'язком у системі «автомобілі – транспортна мережа». Саме тому завдання скорочення екодеструктивних впливів реалізації такої діяльності повинно стати ключовим критерієм оцінки екологічної ефективності управління екологічною безпекою транспортних мереж урбанізованих територій для забезпечення їх сталого розвитку.

З огляду на сучасну вимогу щодо комплексного сталого розвитку транспортної мережі урбанізованих територій важливим фактором є розвиток велосипедного руху як фактору, що сприяє перерозподілу пасажирських і автотранспортних потоків, зменшенню експлуатаційних витрат, скороченню викидів відпрацьованих газів, у тому числі парникових, поліпшенню акустичного клімату, зміцненню здоров'я населення тощо [6].

Загальноприйнятим ключовим критерієм ефективності та можливості масового розвитку велоруку в містах є формування оптимальної велотранспортної мережі, яка забезпечує використання велотранспорту в якості альтернативи поїздок на автомобілі [7].

Законодавство України встановлює ряд критеріїв і вимог щодо розвитку велотранспортної мережі міст [8–10], основні з яких наведені нижче:

1) Велосипедні доріжки та велосипедні смуги необхідно влаштовувати на територіях житлових і промислових районів, комунально-складських зон, вздовж магістральних доріг та вулиць з безперерв-

ним та регульованим рухом, вулиць і доріг місцевого значення, що забезпечують під'їзд велосипедистів до житлових та громадських будівель, промислових підприємств, об'єктів масового відвідування, відкритих автостоянок і гаражів тощо.

2) В умовах історично сформованої забудови міст, поздовжній ухил велосипедних доріжок може бути збільшений до 60 %, а в умовах горбистої і гірської місцевості – до 100 %. На ділянках з поздовжнім ухилом понад 60 % слід уникати двосторонніх велосипедних доріжок і передбачати розширення односторонніх велосипедних смуг і доріжок на 0,5 м, якщо спусків з поздовжнім ухилом понад 60 %, то рекомендується використовувати велосипедні смуги на ділянках підйомів.

3) Велосипедні смуги проектується тільки для одностороннього руху, а велосипедні доріжки слід влаштовувати переважно односторонніми по обидва боки вулиці. За наявності забудови з одного боку вулиці доцільно влаштовувати велосипедну доріжку двостороннього руху на забудованому боці, якщо на вулиці є односторонній рух, то його слід передбачати в обох напрямках, в тому числі з використанням зустрічній велосипедної смуги.

4) Значення показників і основні розрахункові параметри велосипедних доріжок для населених пунктів України слід визначати відповідно до табл. 1.

Таблиця 1 – Нормативні параметри велосипедних доріжок

Розрахункова швидкість, км/год.	Мінімальні радіуси кривої у плані, м		Мінімальний радіус вогнутої кривої, м	Мінімальний радіус вогнутої кривої, м	Максимальний поздовжній похил, ‰	Гальмівний шлях на мокрій поверхні, м
	асфальт/бетон	щебеневі/грунтові покриття				
20	10	15	40	25	40	15
30	20	35	80	50		25
40	30	70	150	100		40

5) Вибір форми організації велосипедного руху в залежності від категорії вулиці слід здійснювати відповідно до вимог табл. 2.

6) В рамках ландшафтно-рекреаційних зон урбанізованих територій, а також вздовж водних об'єктів

і залізниць велосипедні і велосипедно-пішохідні доріжки слід передбачати переважно з двостороннім рухом, запроваджуючи заходи з розділення потоків велосипедистів і пішоходів відповідно до нормативних вимог (табл. 3).

Таблиця 2 – Форми організації велосипедного руху

Категорія вулиці		Форма організації велосипедного руху			
		Вело-доріжка	Вело-полоса	Вело-пішохідна доріжка	Змішаний рух по проїжджій частині
Магістральні дороги		×			
Магістральні вулиці загальноміського значення	Безперервного руху	×		×	
	Регульованого руху	×	×	×	
Магістральні вулиці районного значення	Регульованого руху	×	×		
Вулиці та дороги місцевого значення	Житлові вулиці	×	×		×
	Відомчі вулиці і дороги	×	×		×
	Пішохідні вулиці	×		×	
	Проїзди				×

Таблиця 3 – Мінімальна ширина велосипедних смуг і доріжок

Форма організації велосипедного руху	Мінімальна ширина, м	
	При новому будівництві	В умовах реконструкції
Велосипедна смуга	1,85	1,5
Велосипедна доріжка з одностороннім рухом	1,85	1,5
Велосипедна доріжка з двостороннім рухом по обидва боки вулиці	2,5	2,0
Велосипедна доріжка з двостороннім рухом з одного боку вулиці	3,0	2,5
Спільна велосипедно-пішохідна доріжка	3,0	2,5

Головним критерієм ефективності розвитку велотранспортної мережі, згідно нормативно-правової

бази України, є її ефективність, що заснована на принципах безпеки, послідовності, прямолінійності і

рівномірності руху, комфорту та привабливості (табл. 4.) [10].

Таблиця 4 – Принципи реалізації критерію ефективності розвитку велотранспортної мережі

Безпека	Послідовність	Прямолінійність і рівномірність руху	Комфорт	Привабливість
велотранспортна інфраструктура повинна забезпечувати мінімальний ризик поранення або травми, а також почуття безпеки у велосипедистів.	велотранспортна інфраструктура повинна являти собою єдину систему, яка б пов'язала основні місця початку поїздки і місця призначення, бути безперервною, однорідною за умовами пересування, мати інформаційні показники та дозволяти вибрати варіанти маршруту руху.	– велотранспортний маршрут повинен мати мінімальну кількість ділянок зі зміною напрямку руху; – велосипедисти не повинні затримуватися на перехрестях з потоками автомобільного транспорту; – велосипедисти повинні мати можливість рухатися з дозволеною максимальною швидкістю.	велотранспортна інфраструктура повинна забезпечувати якість покриття, мінімальні ухили, виключення складних маневрів, мінімізацію потреби спішуватися, мінімальні перешкоди з боку транспортних засобів і пішоходів.	велотранспортна інфраструктура повинна забезпечувати освітлення, естетику, інтеграцію з навколишнім простором, доступ до об'єктів сервісу, торгівлі.

Проведений в роботі аналіз вищенаведених критеріїв щодо підвищення ефективності управління екологічною безпекою транспортних мереж урбанізованих територій для забезпечення їх сталого розвитку шляхом розвитку велотранспортної мережі вказує на неможливість їх системного обліку для комплексної реалізації такої діяльності. Тому вважаємо, що для комплексної оцінки потенційної ефективності розвитку велотранспортної мережі доцільно використовувати метод згортки в інтегральний критерій одиничних показників, що різнобічно характеризують таку діяльність. Інтегральний критерій ефективності ( $P$ ) визначається за формулою:

$$P = \frac{S_1 \cdot \alpha_1 + S_2 \cdot \alpha_2 + \dots + S_n \cdot \alpha_n}{\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_n} \rightarrow \max \quad (1)$$

де  $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$  – коефіцієнти вагомості  $i$ -го показника ефективності;  $S_1, S_2, \dots, S_n$  – відносні значення показників ефективності певного сценарію розвитку ВТМ в порівнянні з базовим, бал [11].

В якості ключового критерію ефективності проведення такої комплексної оцінки доцільно розглядати показник зниження автотранспортної роботи, що виконується всіма видами міського транспорту, в першу чергу особистого автомобільного, за рахунок велотранспортної роботи, що визначається за формулою:

$$\Delta Z = \frac{\sigma \cdot K_e \cdot W(T)}{K_c} = N \cdot \Delta L \quad (2)$$

де  $\delta$  – частка велосипедистів, що раніше використовували особистий автомобіль;  $K_b$  – регіональний коефіцієнт пасажиромісткості автотранспортних засобів, пас/вело;  $K_c$  – коефіцієнт наповнення салону автотранспортного засобу, пас./авт.;  $N$  – загальна кількість особистих автотранспортних засобів, авт.;  $\Delta L$  – зміна середньорічного пробігу одного автотранспортного засобу, пов'язаного із заміною частини автомобільних поїздок велосипедними поїздками, км;  $W(T)$  – обсяг велотранспортної роботи, що вико-

нується на час  $T$ , вело/км, розраховується за формулою:

$$W(T) = k_u \cdot \sum_{i=1}^n L_i \cdot \int_{t=0}^T S_i(t) \cdot dt \quad (3)$$

де  $L$  – довжина  $i$ -ї ділянки велотранспортної мережі, км;  $S_i(t)$  – залежність інтенсивності руху на  $i$ -ій ділянці велотранспортної мережі від часу на даному часовому інтервалі, вел./хв.;  $T$  – інтервал часу, за який розраховується транспортна робота, час;  $k_u$  – коефіцієнт невизначеності, що враховує частку переміщень велосипедистів за межами розглянутої велотранспортної мережі;  $n$  – кількість ділянок велотранспортної мережі [11].

Недоліком вище зазначеного критерію є відсутність показників, щодо оцінки саме екологічної ефективності розвитку велотранспортної мережі, тому, на основі аналізу літературних джерел та досвіду щодо реалізації подібної діяльності, в якості базових показників оцінки очікуваної екологічної ефективності від реалізації комплексу заходів з розвитку велотранспортної мережі було запропоновано наступні:

- зниження викидів забруднюючих речовин автотранспортом при його заміненні велосипедним рухом ( $S_1$ , т/рік);
- зниження споживання палива автотранспортом при його заміненні велосипедним рухом ( $S_2$ , т/рік);
- зниження рівня транспортного шуму на сельбищній території за рахунок розвитку велосипедного руху ( $S_3$ , дБА) [11–12].

Для оцінки зниження викидів забруднюючих речовин автотранспортом при його заміненні велосипедним рухом доцільно використовувати методику [13], що дозволяє розрахувати викиди забруднюючих речовин при пуску та прогріванні двигуна автотранспортного засобу, а також пробігові викиди, величина яких зворотньопропорційна виконуваний велотранспортній роботі  $\Delta Z$ . Виражаючи величину зниження валових викидів забруднюючих речовин

від автотранспорту через показник зниження автотранспортної роботи, ми отримуємо формулу:

$$\Delta m_i = \sum_i \cdot \sum_j \cdot \sum_k \cdot \sum_l \cdot \sum_n \frac{\delta \cdot W(T) \cdot K_{евт}}{K_c \cdot 1000} \cdot (m_{ijk} \cdot l_{kl} \cdot m_{2ijn} \cdot t_{np} \cdot P_j \cdot \alpha_i \cdot N_{ikl}) \quad (4)$$

де  $m_{ijk}$  – пробіговий викид  $i$ -ї забруднюючої речовини автотранспортного засобу  $j$ -го розрахункового типу при русі по вулицях і дорогах  $k$ -ї категорії, г/км;  $l_{kl}$  – протяжність  $l$ -ї ділянки вулиць і доріг  $k$ -ї категорії, км;  $N_{ikl}$  – інтенсивність руху автотранспортного засобу  $j$ -го розрахункового типу на  $l$ -й ділянці вулиць і доріг  $k$ -ї категорії протягом доби, тис. авт./добу;  $m_{2ijn}$  – викид  $i$ -ї забруднюючої речовини при пуску й прогріванні двигуна автотранспортного засобу  $j$ -го розрахункового типу для П-го періоду року, г/хв.;  $t_{np}$  – час прогріву двигуна, хв.;  $n_j$  – кількість холодних пусків в день автотранспортного засобу  $j$ -го розрахункового типу;  $\alpha_j$  – коефіцієнт виїзду автотранспортного засобу  $j$ -го розрахункового типу [10].

Зниження валової витрати палива, споживаного автотранспортними засобами, слід розраховувати згідно Постанови КМУ від 10.02.1998 №43 «Про затвердження Норм витрат палива і мастильних матеріалів на автомобільному транспорті» [14].

Показники  $S_1$  та  $S_2$  характеризують не тільки загальний рівень зменшення викидів відпрацьованих газів від автотранспортних засобів при його заміні на велосипедний транспорт, але й зменшення викидів парникових газів та теплових викидів у атмосферу урбанізованих територій.

Значення показника зменшення транспортного шуму на сельбищній території за рахунок розвитку велосипедного руху слід визначати за величиною шумової характеристики транспортних потоків (ШХТП) за формулою [15]:

$$L_{7,5} = 9,5 \cdot \lg(N_0) + 12,64 \cdot \lg(v) + 7,98 \cdot \lg(1 + P_e) + 11,39 \quad (5)$$

де  $N_0$  – розрахункова максимальна інтенсивність руху, авт./год;  $P_e$  – доля вантажних автотранспортних засобів і автобусів, %;  $v$  – швидкість руху, км/год.

З формули (5) випливає, що на величину ШХТП впливає інтенсивність, швидкість руху і склад автотранспортного потоку, які залежать від прийнятих архітектурно-планувальних рішень і умов організації дорожнього руху. Типовими для урбанізованих територій є наступні заходи щодо обмеження використання автотранспортних засобів в місті:

– перепланування типової міської вулиці в велопішохідну зону – автотранспортний шум в даному випадку відсутній, а велотранспортний шум сприймається рівним фоновому;

– обмеження швидкості руху автотранспорту до 30 км/год. з організацією спільного автомобільно-велосипедного руху, при цьому величина ШХТП може бути розрахована за формулою:

$$L_{7,5} = 9,5 \cdot \lg(N_0 - N_1) + 12,64 \cdot \lg(v - v_1) + 7,98 \cdot \lg(1 + P_e) + 11,39 \quad (6)$$

де  $N_1$  – розрахункова максимальна інтенсивність руху після створення велотранспортної мережі, авт./год;  $v_1$  – швидкість руху після прийняття обмежувальних заходів, км/год;

– улаштування велосипедної доріжки або велосмуги замість крайньої правої смуги проїжджої частини на вулицях з різною кількістю смуг, при цьому величина ШХТП може бути розрахована за формулою:

$$L_{7,5} = 9,5 \cdot \lg(N_0 - N_1) + 12,64 \cdot \lg(v - v_1) + 7,98 \cdot \lg(1 + P_e) + 11,39 - \Delta L_{від} \quad (7)$$

де  $\Delta L_{від}$  – поправка, що враховує загасання транспортного шуму з відстанню (величина циліндричної дивергенції), дБА, яка має найбільше значення при реалізації заходу і розраховується за формулою:

$$\Delta L_{від} = 10 \cdot \lg \left( \frac{R_0 + L_e}{R_0} \right) \quad (8)$$

де  $L_e$  – ширина створеної велосмуги, м;  $R_0 = 7,5$  м.

Для оцінки екологічної ефективності та доцільності розвитку велотранспортної мережі міст на прикладі модельних районів було обрано індустріально-промислове місто Харків, якість атмосферного повітря якого формується переважно за рахунок функціонування автомобільного транспорту. Окрім цього, комплексна велотранспортна мережа міста ще досі не є сформованою, тому проблематика розробки та застосування критеріїв щодо її оптимального розвитку, у тому числі з урахуванням критерію екологічної безпеки, є актуальною. Для безпосередніх оцінок та розрахунків ефективності розвитку велотранспортної мережі у екологічному контексті було обрано два функціонально протилежні райони міста Харків:

– Київський район – центральний або діловий район міста, який характеризується щільною забудовою, значною питомою протяжністю вулиць та максимальним транспортним навантаженням;

– Московський район – так званий «спальний» район міста, вулично-дорожня мережа (ВДМ) якого характеризуються достатньою шириною, потік автотранспортних засобів формується за рахунок переміщення до центрів тяжіння у системі «ділова частина міста – місця проживання» (табл. 5).

Таблиця 5 – Сумарна протяжність ділянок ВДМ та ВТС за районами дослідження

Найменування району	Протяжність ВДМ, км	Протяжність, км	Відношення протяжності ВДМ до ВТС
Київський	542	29,21	0,053
Московський	784	50,58	0,065

Значення коефіцієнтів вагомості для вище зазначених критеріїв були визначені методом експертних

оцінок шляхом проведення прямого анкетування учасників процесу дорожнього руху міста Харків,

експертів у сфері екологічної безпеки автотранспортного комплексу та формування вулично-дорожньої

мережі урбанізованих територій. Результати а наведено в табл. 6 [11].

Таблиця 6 – Коефіцієнти вагомості показників

Показник вагомості	Найменування	Коефіцієнти значущості, варіанти						Усереднений показник
		1	2	3	4	5	6	
Зниження викидів забруднюючих речовин	$\alpha_1$	0,05	0,025	0,075	0,025	0,5	0,05	0,12
Економія палива	$\alpha_2$	0,1	0,15	0,5	0,025	0,125	0,2	0,18
Зниження рівня шуму	$\alpha_3$	0,05	0,025	0,025	0,5	0,075	0,05	0,12

Отже, за результатами експертного оцінювання встановлено, що для респондентів у контексті забезпечення сталого розвитку вулично-транспортної мережі шляхом розширення можливостей щодо застосування велотранспорту пріоритетним фактором є економія палива, зниження інтегрального впливу на довкілля через скорочення викидів відпрацюва

них газів та рівня акустичного забруднення мають рівне, але суттєво менше значення для опитаних.

У роботі за формулами (2–8) на основі статистичної звітності та власних досліджень було проведено розрахунки складових показників екологічної ефективності розвитку ВДМ, результати яких наведено у табл. 7–9.

Таблиця 7 – Зниження витрати палива

Район	Паливо, тис. т/рік		
	бензин	дизельне паливо	газове паливо
Київський	21,135	2,851	0,041
Московський	3,385	0,547	0,157

Таблиця 8 – Результати розрахунку кількості викидів ЗВ від автотранспорту

Район	Сумарний викид, т/рік								
	CO	VOC	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	NO <sub>x</sub>	NH <sub>3</sub>	PM <sub>2,5</sub>	PM <sub>10</sub>	CO <sub>2</sub>
Київський	999,11	84,30	6,27	1,09	91,51	7,69	5,49	8,57	74882,04
Московський	56,66	8,43	1,09	0,15	8,56	0,95	0,83	1,39	12715,1

Таблиця 9 – Результати розрахунку усереднених показників щодо акустичного забруднення, створюваного автотранспортом

Район	Рівень акустичного навантаження, дБА			
	вдень		вночі	
	еквівалентний	максимальний	еквівалентний	максимальний
Київський	77,6	88,9	55,4	61,3
Московський	72,8	81,8	51,5	58,7

За результатами розрахунку інтегрального критерію ефективності розвитку велотранспортної мережі (формула 1) встановлено, що з екологічної точки зору ефективність розвитку велотранспортної мережі у центральному районі міста Харків (Київський район) більше ніж у 20 раз, ніж у «спальному» районі (Московський район) (табл. 10). Однак, слід зазначити, що фізичні можливості щодо розвитку ВТМ у розрахунках не були враховані, саме тому постає питання необхідності врахування не тільки параметрів експлуатації автомобільного транспорту, але і сталого розвитку дорожньо-транспортної інфраструктури.

Таблиця 10 – Результати розрахунку інтегрального критерію ефективності розвитку велотранспортної мережі

Район міста	Інтегральний критерій ефективності (P)
Київський	66145,43
Московський	3110,10

Отже, всі три вищезазначених заходи сприяють поліпшенню екологічної обстановки в великих міс-

тах, потенційно сформованої розвитком велотранспортної мережі і заміною автотранспортної роботи на велотранспортною. Запропонований інтегральний показник екологічної ефективності розвитку велотранспортної мережі міста допомагає об'єднати вищезазначені критерії для об'єктивного прийняття управлінських рішень щодо забезпечення сталого розвитку урбанізованих територій, але потребує доопрацювання з урахуванням фактичних умов сформованої вулично-дорожньої мережі міста.

**ВИСНОВКИ.** Таким чином, проведений у дослідженні наліз законодавчо-правових регламентів та критеріїв ефективності щодо розвитку велотранспортної мережі міст України дозволив встановити відсутність єдиного системного підходу щодо реалізації такої діяльності з урахуванням вимоги щодо забезпечення екологічної безпеки при розбудові та функціонування вулично-дорожньої мережі урбанізованих територій. Запропоновані у роботі критерії оцінки екологічної ефективності оптимізації транспортної мережі у контексті сталого розвитку велотранспортної мережі стосуються переважно зменшення хімічного та параметричного забруднення атмосферного повітря, джерелом якого є автомобільний

транспорт. За результатами проведення оцінки екологічної ефективності та доцільності розвитку велотранспортної мережі міст на прикладі модельних районів міста Харкова було встановлено недосконалість врахування лише екологічно орієнтованих критеріїв оптимізації вулично-дорожньої мережі міста шляхом розбудови велотранспортної мережі.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Kroll C., Warchold A., Pradhan P. Sustainable Development Goals (SDGs) : Are we successful in turning trade-offs into synergies? *Palgrave Commun.* 2019. №5(140). DOI: <https://doi.org/10.1057/s41599-019-0335-5>.
2. Lu Y., Nakicenovic N., Visbeck M., Stevance A. Policy : Five priorities for the UN Sustainable Development Goals. *Nature.* 2015. №520. P. 432–433. DOI: <https://doi.org/10.1038/520432a>.
3. Корцова О. Л., Солошич І. О., Бахарев В. С. До питання практичної реалізації вимог до визначення місць розташування автоматизованих постів в системі моніторингу атмосферного повітря техногенно навантажених урбосистем. *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського.* 2021. Вип.3(128). С. 36–44. DOI: <https://doi.org/10.30929/1995-0519.2021.3.36-44>.
4. Leeson G. W. The Growth, Ageing and Urbanisation of our World. *Population Ageing.* 2018. Vol. 11. P. 107–115. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12062-018-9225-7>.
5. Васютинська К. А., Барбашев С. В. Оцінка впливу чинників урбанізації на забруднення атмосферного середовища в регіонах України. *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського.* 2021. Вип. 4(129). С. 83–89. DOI: <https://doi.org/10.30929/1995-0519.2021.4.83-89>.
6. Желновач Г. М. Ієрархічно керована динамічна система забезпечення екологічної безпеки дорожньої галузі України. *Вісник ХНАДУ.* 2020. Вип. 90. С. 95–102. DOI: <https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2020.90.0.95>.
7. Angela Hull & Craig O'Holleran. Bicycle infrastructure : can good design encourage cycling? *Urban, Planning and Transport Research: An Open Access Journal.* 2014 Vol. 2. No. 1, P. 369–406. DOI: <https://doi.org/10.1080/21650020.2014.955210>.
8. ДБН В.2.3-5:2018. Вулиці та дороги населених пунктів. [Чинний від 2018-09-01]. Вид. офіц. Київ : ДП «Укранхбудінформ», 2018. 55 с.
9. ДБН Б.2.2-12:2019. Планування та забудова територій. [Чинний від 2019-10-01]. Вид. офіц. Київ : ДП «Укранхбудінформ», 2019. 177 с.
10. ДСТУ 8906:2019. Планування та проектування велосипедної інфраструктури. [Чинний від 2020-10-01]. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2020. 49 с.
11. Vnukova N. V., Zhelnovach G. M., Kozlovskyi O.V. «Green» principles of sustainable development of road and transport infrastructure of the cities of Ukraine. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering.* 2020. Vol. 907. 012068. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/907/1/012068>.
12. Розпорядження КМУ від 07.04.2021 р. № 321-р Про затвердження плану заходів з реалізації Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року. URL: <https://www.kmu.gov.ua/npas/prozatverdzhennya-planu-zahodiv-z-realizaciyi-nacionalnoyi-transportnoyi-strategiyi-ukrayini-na-period-do-2030-roku-321-070421> (дата звернення: 17.11.2021).
13. Наказ Мінекобезпеки України від 10.02.1995 р. №7 Про затвердження Інструкції про зміст та порядок складання звіту проведення інвентаризації викидів забруднюючих речовин на підприємстві. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0061-95#Text> (дата звернення: 17.11.2021).
14. Наказ Міністерства транспорту України від 10.02.1998 р. № 43 Про затвердження Норм витрат палива і мастильних матеріалів на автомобільному транспорті. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0043361-98#Text> (дата звернення: 25.11.2021).
15. ДСТУ-Н Б В.1.1-33:2013. Настанова з розрахунку та проектування захисту від шуму сельбищних територій. [Чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2014. 42 с.

## ENVIRONMENTAL SAFETY MANAGEMENT IN THE OPERATION AND DEVELOPMENT OF TRANSPORT NETWORKS OF URBANIZED AREAS IN THE CONTEXT OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT

G. Zhelnovach, N. Prokopenko

Kharkiv National Automobile and Highway University

ORCID: 0000-0001-5788-7843; 0000-0002-2783-2777

**Purpose.** The purpose of this study is to develop sustainable approaches to ensuring environmentally efficient management of the transport network of urbanized areas by assessing the environmental efficiency of the development of bicycle transport networks. **Methodology.** The development of approaches to ensure environmental safety in the operation and development of transport networks of urbanized areas is based on the methods of analytical analysis of the existing experience in the implementation of such activities and mathematical calculations of the effectiveness of the application of the proposed methods. **Results.** To assess the environmental efficiency of optimizing the functioning and development of the transport network of cities, criteria were proposed for replacing road transport work with bicycle transport, reducing pollutant emissions and fuel consumption, and reducing acoustic pollution. Based on the results of calculations on the environmental efficiency and the feasibility of developing the cycling transport network of cities on the example of model districts of Kharkov, it was found that the efficiency of developing the cycling transport network in the central region of the city of Kharkov is more than 20 times than in a residential area. It was found that the proposed eco-oriented approach cannot be applied in an unchanged form in practice due to the lack of physical ability to build a bicycle transport network in the central part of the city and the formed area development. Based on the

results obtained, it has been established that it is advisable to take into account not only the parameters of road transport operation, but also the development of the city's road network itself in the context of sustainable development. **Originality.** In this study, for the first time, it was proposed to consider improving the efficiency of environmental safety management of city transport networks through the development of a bicycle transport network based on environmental criteria. **Practical value.** The approach proposed and tested in the study in the future can become the basis for the development of an environmentally sustainable urban transport system due to the optimal inclusion of the cycling transport network in it.

**Key words:** environmental safety, sustainable development, urbanized area, atmospheric air, chemical pollution, parametric pollution, bicycle transport network.

#### REFERENCES

1. Kroll, C., Warchold, A., Pradhan, P. (2019). Sustainable Development Goals (SDGs): Are we successful in turning trade-offs into synergies? *Palgrave Commun.* 5. 140. DOI: <https://doi.org/10.1057/s41599-019-0335-5>.
2. Lu, Y., Nakicenovic, N., Visbeck, M., Stevance, A. (2015). Policy: Five priorities for the UN Sustainable Development Goals. *Nature.* 520, pp. 432–433. DOI: <https://doi.org/10.1038/520432a>.
3. Kortsova, O., Soloshych, I., Bakharev, V. (2021). Do pytannia praktychnoi realizatsii vymoh do vyznachennia mist roztashuvannia avtomatyzovanykh postiv v systemi monitorynhu atmosferneho povitria tekhnohenno navantazhenykh urbosystem [To the issue of practical implementation of the requirements for determining the locations of automated posts in the atmospheric air monitoring system of technogenically installed urban systems]. *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy National University.* Vol. 3(128), pp. 36–44. DOI: <https://doi.org/10.30929/1995-0519.2021.3.36-44>. [in Ukrainian]
4. Leeson, G.W. (2018). The Growth, Ageing and Urbanisation of our World. *Population Ageing* 11, 107–115. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12062-018-9225-7>.
5. Vasiutynska, K., Barbashev, S. (2021). Otsinka vplyvu chynnykh urbanizatsii na zabrudnennia atmosferneho seredovyscha v rehionakh Ukrainy [Impact assessment of the urbanization factors on the atmosphere pollution in the Ukraine regions]. *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy National University.* Vol. 4(129), pp. 83–89. DOI: <https://doi.org/10.30929/1995-0519.2021.4.83-89>. [in Ukrainian]
6. Zhelnovach, G. (2020). Hierarkichno kerovana dynamichna systema zabezpechennia ekolohichnoi bezpeky dorozhnoi haluzi Ukrainy [Hierarchically managed dynamic system for ensuring environmental safety of the road industry in Ukraine]. *Visnik KhNA-HU.* Vol. 90, pp. 95–102. DOI: <https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2020.90.0.95>. [in Ukrainian]
7. Angela Hull & Craig O'Holleran (2014). Bicycle infrastructure: can good design encourage cycling? *Urban, Planning and Transport Research: An Open Access Journal.* Vol. 2. No. 1, pp. 369–406. DOI: <https://doi.org/10.1080/21650020.2014.955210>.
8. State Standard of Ukraine B.2.3-5:2018 Vulytsi ta dorohy naselenykh punktiv [Streets and roads of settlements]. Kyiv, 55 p. [in Ukrainian]
9. State building codes B.2.2-12:2019 Planuvannia ta zabudova terytorii [Planning and development of territories]. Kyiv, 177 p. [in Ukrainian]
10. State Standard of Ukraine 8906:2019 Planuvannia ta proektuvannia velosypednoi infrastruktury [Cycling infrastructure planning and design]. Kyiv, 49 p. [in Ukrainian]
11. Vnukova, N. V., Zhelnovach, G. M., Kozlovskiy O.V. (2020). «Green» principles of sustainable development of road and transport infrastructure of the cities of Ukraine. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering.* 907, 012068. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/907/1/012068>.
12. Rozporiadzhennia KMU vid 07.04.2021 r. № 321-r Pro zatverdzhennia planu zakhodiv z realizatsii Natsionalnoi transportnoi stratehii Ukrainy na period do 2030 roku [Order of the Cabinet of Ministers of 07.04.2021 № 321-r On approval of the action plan for the implementation of the National Transport Strategy of Ukraine for the period up to 2030]. URL: <https://www.kmu.gov.ua/npas/pro-zatverdzhennya-planu-zahodiv-z-realizatsiyi-natsionalnoyi-transportnoyi-strategiyi-ukrayini-na-period-do-2030-roku-321-070421> [in Ukrainian]
13. Nakaz Minekobebezpeky Ukrainy vid 10.02.1995 r. №7 Pro zatverdzhennia Instruksii pro zmist ta poriadok skladannia zvituv provedennia inventaryzatsii vykydiv zabrudniuiuchykh rehovyn na pidprijemstvi [Order of the Ministry of Ecology and Safety of Ukraine dated February 10, 1995 №7 On approval of the Instruction on the content and procedure for compiling a report on the inventory of pollutant emissions at the enterprise]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0061-95#Text> [in Ukrainian]
14. Nakaz Ministerstva transportu Ukrainy vid 10.02.1998 r. № 43 Pro zatverdzhennia Norm vytrat palyva i mastylnykh materialiv na avtomobilnomu transporti [Order of the Ministry of Transport of Ukraine dated 10.02.1998 № 43 On approval of the Standards of fuel and lubricant consumption in road transport]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0043361-98#Text> [in Ukrainian]
15. State Standard of Ukraine B.1.1-33:2013. Nastanova z rozrakhunku ta proektuvannia zakhystu vid shumu selbyshchnykh terytorii [Guidelines for the calculation and design of noise protection of residential areas]. Kyiv, 42 p. [in Ukrainian]

Стаття надійшла 25.11.2021