

© Г. Г. Птиця, канд. техн. наук, доцент кафедри організації та безпеки дорожнього руху,

ORCID: 0000-0002-5061-0144,  
e-mail: gennadij.ptitsa@gmail.com;

© Л. С. Абрамова, докт. техн. наук,  
професор кафедри організації та безпеки дорожнього руху,

ORCID: 0000-0003-1182-9618,  
e-mail: abramova\_ls@ukr.net;

© Н. В. Птиця, канд. техн. наук,  
доцент кафедри транспортних систем і логістики,

ORCID: 0000-0002-4559-7651,  
e-mail: nataliya.ptitsa@gmail.com;

(Харківський національний автомобільно-дорожній університет)

© Hennadii Ptytsia, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Traffic Management and Safety,

ORCID: 0000-0002-5061-014,  
e-mail: gennadij.ptitsa@ukr.net;

© Ludmila Abramova, Doctor of Technical Sciences, Professor, Associate Professor at the Department of Traffic Management and Safety,

ORCID: 0000-0003-1182-9618,  
e-mail: abramova\_ls@ukr.net;

© Nataliya Ptytsia, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Transport Systems and Logistics Department,

ORCID: 0000-0002-4559-7651,  
e-mail: nataliya.ptitsa@gmail.com;

(Kharkiv National Automobile and Highway University)

## ДО ПИТАННЯ РОЗВИТКУ ВЕЛОІНФРАСТРУКТУРИ І ПЛАНУВАННЯ МОБІЛЬНОСТІ У МІСТАХ

### TO THE ISSUE OF THE DEVELOPMENT OF CYCLING INFRASTRUCTURE AND THE PLANNING OF MOBILITY IN CITIES

**Анотація.** Розглядається стан сучасної велоінфраструктури в Україні на підставі визначення екологічної та соціальної складової ефективності дорожнього руху. Виявлено напрями розвитку та запропоновано заходи планування велодоріжок з урахуванням існуючої транспортної мережі міст. Доведено доцільність впровадження заходів індивідуальної мобільності населення на підставі визначення комплексного показника оцінки якості дорожнього руху.

**Ключові слова:** велоінфраструктура, безпека руху, показники мобільності населення, планувальні рішення, транспортна мережа.

**Abstract.** The current state of the bicycle infrastructure in Ukraine is being examined based on the definition of ecological and social component of road traffic efficiency. Identified directions of development and proposed measures for planning bike paths, taking into account the existing transport network of cities. The paper provides fundamental principles of individual mobility for the population, which must align with the basic principles of general urban mobility, namely: safety, directness, continuity, connectivity, attractiveness, and convenience. A thorough analysis of the bicycle movement in the city Kharkiv has been conducted, including the determination of respondents' attitudes towards the creation bike lanes. Based on statistical data on the fluctuation of respondents' travel distances within the city, a description of this process was provided according to the normal distribution law. This approach allows determining the main parameters of the city's modern bike structure. Using specialized software STREETMIX, the modeling of technical solutions for the development of infrastructure for active individual mobility at a main street in Kharkiv was carried out. Five possible solutions for changing the transverse profile of the street were simulated, taking into account the paths of connection for active individual mobility. The obtained average daily increase in street capacity by 12,000 passengers per hour allows asserting the effectiveness of the proposed options for the development of infrastructure for active individual mobility on the respective routes of the city of Kharkiv. The expediency of implementing measures for individual mobility of the population is substantiated based on determining a comprehensive indicator for assessing the quality of road traffic.

**Keywords:** cycling infrastructure, traffic safety, population mobility indicators, planning solutions, transport network.

#### Вступ

Мінімальні викиди від транспорту – актуальна мета України та всієї Європи. Сьогодні світова зацікавленість в активній мобільності (рух пішки, на велосипеді, самокаті, електропристроях індивідуального пересування) стрімко зростає. Такі прагнення абсолютно обґрунтовані, адже активна індивіду-

альна мобільність – екологічний, комфортний, корисний для здоров'я вид пересування, який має певні переваги перед рештою способів.

Порівняння соціоекономічного ефекту (аналіз витрат і вигод) автомобіля та велосипеда в ЄС показує, що автомобіль є витратним для суспільства через витратне будівництво необхідної інфраструктури, місць для

паркування та згубний вплив на клімат. Вигоди, які приносить велосипедний транспорт, полягають у загальному оздоровленні суспільства та мінімальному впливі на навколишнє середовище, навіть враховуючи збільшення витрат часу на поїздки [1]. Різниця індивідуальних витрат користувача від вибору автомобіля або велосипеда становить 0,738 євро на 1 км на користь велосипеда. Витрати на забезпечення автомобільного транспорту становлять близько 500 мільярдів євро на рік для суспільства, тоді як велосипедний транспорт приносить вигоду у 24 мільярди євро за рахунок оздоровлення суспільства та поліпшення екологічної складової [1].

Велосипедний рух у Європі розвивається вже не одне десятиліття і перебуває на тій стадії, коли в деяких містах, таких як Копенгаген, приміром, відсоток людей, які здійснюють поїздки на велосипеді перевищує відсоток тих, що пересуваються автомобілем. Одна з перших теоретичних праць про велосипедні дороги в містобудуванні та у плануванні руху з'явилася у 1952 р. [2]. Основний сплеск будівництва велодоріжок у Європі був обумовлений розвитком екологічного руху на 70-ті роки ХХ століття. У Швеції, передовій країні у цьому напрямі, вивченню велосипеда як транспортного засобу у міському плануванні вже у 1971 р. була присвячена робота автора Н. Розен [3]. У Англії планування веломереж було описано М. Худсоном в 1978 році [4], а датські пропозиції були розроблені Н. Йогансеном у 1979 р. [5]. У Німеччині та Австрії, починаючи з 1970-х років, дослідження велосипедизації проводяться в університетах Берліна, Франкфурта-на-Майні, Бремена [6].

Внаслідок зміни транспортної політики декількох країн з'явилися міста з розвинутою велоінфраструктурою. При цьому сформована база технічних рішень із розвитку відповідної інфраструктури, яка відображається в методичних документах: довідник європейської програми з розвитку велосипедної інфраструктури PRESTO (Dirk Dufour) [7], довідник американської транспортної асоціації NACTO [8].

В Україні останнє десятиліття також приділяється значна увага вивченню ролі суспільних просторів та гуманізації міського середовища, в якій важлива роль відведена

велосипедному руху. Теоретичні та практичні результати досліджень щодо розвитку велоінфраструктури представлені в працях Чернишової О., Тацій М., Клименко С., Гасенко Л., Мирошниченко О. [9-11].

В Україні велосипед використовується багатьма людьми, але інфраструктура майже відсутня, що створює труднощі у використанні велосипеда як основного виду транспорту. В Національній транспортній стратегії України на період до 2030 року встановлено завдання, які стосуються розвитку велосипедного руху, а саме:

- забезпечення інституційної підтримки розвитку велосипедного руху, прийняття відповідних нормативно-правових актів щодо його участі у дорожньому русі;

- розроблення стратегії розвитку велосипедного руху, посилення велосипедної безпеки, яка б ґрунтувалася на прогресивному іноземному досвіді, та забезпечення розвитку інфраструктури для велосипедного руху;

- будівництво в містах та інших населених пунктах на дорогах позаміських і відокремлених велосипедних доріжок, популяризація використання велосипедистами світлоповертальних елементів, забезпечення розвитку велосипедної інфраструктури [12].

Останнім часом в Україні з'явилися нові види транспорту для персонального користування, які не належать до жодних інших груп, їхній розвиток не підпорядковується ніякій структурі, а саме: самокати, електросамокати, сегвеї, гіроборди, самобалансуючі одноколісні пристрої (моноколеса), гіроскутери, електроскейти, гіроролики тощо. Кількість поїздок, що здійснюються новими транспортними засобами, збільшується щоденно. Це також підкреслює необхідність розробки підходів щодо ефективної організації руху на вулично-дорожній мережі в містах з урахуванням всіх учасників руху. Тож вплив параметрів інфраструктури активної індивідуальної мобільності на планування елементів вулично-дорожньої мережі міста і взагалі на параметри дорожнього руху є актуальною та людиноцентричною науково-технічною задачею.

*Метою дослідження є обґрунтування доцільності впровадження заходів індивідуальної мобільності населення на підставі розвитку велоінфраструктури у містах.*

## Основна частина

### *Особливості організації шляхів сполучення для реалізації активної індивідуальної мобільності в місті*

Швидкість велосипедиста варіюється залежно від факторів умов руху. Середня швидкість велосипедиста у міських умовах становить від 10 до 15 км/год. Якщо ж в місті є велодоріжки, вона збільшується до 15-17 км/год. На позаміських дорогах можна розігнатися до 28-32 км/год, але тримувати високу швидкість на великі відстані до снаги лише досвідченим велосипедистам із чудовою фізичною підготовкою [13]. Понад 80 % велосипедних поїздок здійснюються на відстані, що не перевищують 5 км [23].

Відносини суб'єктів середовища на дорозі можуть бути небезпечними, якщо велосипедист використовує для руху тротуар чи автомобільну дорогу. Насамперед тому необхідне створення велоінфраструктури. Велосипедисти – це окрема категорія учасників дорожнього руху зі своїми специфічними потребами. Це означає, що на дорозі для них необхідно виділяти окремий простір. При цьому вимоги до інфраструктури тісно пов'язані з потребами різних цільових груп та мети поїздки.

Інфраструктура активної індивідуальної мобільності повинна відповідати основним принципам мобільності: безпека, прямолінійність та безперервність, зв'язність, привабливість, зручність. Велосипедна інфраструктура створюється виключно заради безпеки учасників дорожнього руху. Повинні бути реалізовані безпечні відносини з пішоходами та автомобілістами: перехрестя, переходи тощо.

Прямолінійність важлива для зручності велосипедистів, а безперервність – це завдання, яке стоїть перед проєктувальником під час проєктування маршруту велодоріжки/велосмуги. Важливо, щоб шлях велосипедиста був прямим та коротким. Це робить велосипед досить конкурентоспроможним видом транспорту на маленьких дистанціях, оскільки час поїздки переважно буде меншим, ніж при використанні автомобіля.

Для злагодженого пересування велосипедом важлива зв'язність. Велосипедист має бути впевненим, що він дістанеться з пункту А пункт Б.

Якщо стоїть завдання розвинути велорух, привабливість – це важливий фактор для «запрошення» людей до використання велоінфраструктури.

Зручні велодоріжки – дають змогу пересуватися, не напружуючись, та отримувати задоволення від їзди. Варто уникати рішень, які потребують нерегулярних зусиль. Необхідність постійно зупинятися і починати рух стомлює та напружує. Неправильний вибір покриття або поганий стан доріг призводять до неприємної тряски, поштовхів і необхідності об'їзду ям, тріщин та інших нерівностей. Це робить рух на велосипеді складним завданням, які вимагають більшої концентрації та зусиль, щоб контролювати баланс і вчасно помічати перешкоди.

До велосипедної інфраструктури належать дві основні складові: велосмуга та велодоріжка. Велосипедна смуга – це виділена розміткою, знаками та матеріалом дорожнього покриття частина дороги, переважно або повністю призначена для велосипедного руху. Велосмуга відрізняється від велодоріжки відсутністю фізичного роздільника з іншими частинами дороги (стовпчиків, розділової смуги узбіччя). Виділяють традиційні велосипедні смуги – простір на проїзній частині, відділений розміткою. Інфраструктурно більш безпечною є виділена велосипедна смуга, що відокремлена від проїзної частини буферною зоною. Ще однією їх модифікацією є велосмуги зустрічного руху, які дають змогу рухатися назустріч автомобільному потоку на вулицях з одностороннім рухом транспорту. Це окремий тип традиційної велосмуги, що розташована на лівій частині односторонньої вулиці або двосторонньої вулиці з розділювальною смугою. Однак, такий тип велошляхів фактично перетворює сприйняття вулиці учасниками руху, як двосторонню.

Велосипедна доріжка – це окрема дорога, призначена лише для руху велосипедистів, але за своїм розташуванням у вуличній інфраструктурі відповідає традиційній велосмузі, яка фізично відокремлена від загальної проїзної частини чи тротуару. Виділяють односторонні захищені велодоріжки – велошляхи, розташовані на рівні проїзної частини та захищені від іншого вуличного руху різними фізичними перешкодами. Одностороння захищена велодоріжка може бути поєднана зі сму-

гою для паркування або іншою буферною зоною, що відокремлює велодоріжку від автомобільного потоку. Якщо велодоріжка підвищена над рівнем проїзної частини, до неї висуваються інші правила проектування. Піднятими називаються велодоріжки, прокладені вище рівня проїзної частини. Піднята велодоріжка часто поєднується із зоною вуличних пристроїв, які відокремлюють доріжку від смуги руху та/або пішохідної зони. Піднята велодоріжка може бути одно- або двосторонньою. Двосторонні велодорожки (захищені велосипедні смуги, відокремлені або вуличні велодоріжки) є фізично відокремленими зонами для велосипедного руху в обох напрямках, які розташовані з одного боку дороги (вулиці). Двосторонні велодоріжки мають такі ж характеристики, що й односторонні, але вимагають окремої уваги на перехрестях з другорядними вулицями. Двостороння велодоріжка може бути реалізована як захищена на рівні проїзної частини – відокремлена від смуги руху паркувальною смугою або іншим бар'єром, а також піднята над рівнем смуги для руху автотранспорту.

У нормативних документах висуваються вимоги до велосипедних шляхів на автомобільних дорогах та на вулицях населених пунктів залежно від умов руху [14, 15]. У нормативних документах передбачається облаштування велосипедних доріжок за напрямками найбільш інтенсивних транспортних і пішохідних потоків у малих, середніх і великих містах, сільських населених пунктах, а також функціональних зонах міст. Прокладати їх необхідно ізольовано від транспортних потоків [14]. Тобто нормами України прокладання велодоріжок передбачається там, де велосипедний рух вже розвинений. Але популярним видом транспорту велосипед може стати лише після створення відповідної інфраструктури.

Згідно з чинним ДБН [15] велосипедні доріжки та велосипедні смуги варто влаштовувати на територіях житлових і промислових районів, комунально-складських зон, на магістральних вулицях безперервного та регульованого руху, вулицях місцевого значення, селищних та сільських дорогах, що забезпечують під'їзд велосипедистів до житлових, громадських споруд, промислових підприємств, об'єктів масового відвідування, відкритих автостоянок і гаражів. Залежно від категорій вулиць і доріг визначаються відповідні форми

організації велосипедного руху в населених пунктах.

На основі аналізу науково-технічної літератури встановлено, що стан створення або розвитку мережі шляхів сполучення для руху транспортних засобів активної індивідуальної мобільності в містах різних країн, і навіть в межах однієї країни, суттєво різняться [16]. Тому під час розробки заходів із розвитку інфраструктури активної індивідуальної мобільності, однакові за суттю заходи або підходи будуть вимагати різних обсягів інвестицій та часу на їх реалізацію. Водночас також виявлено соціально-економічний потенціал розвитку інфраструктури, який враховує користь суспільства з напрямів підвищення здоров'я, зниження транспортного завантаження вулично-дорожньої мережі, зниження екологічного навантаження внаслідок роботи автотранспортних засобів, підвищення туристичної привабливості міста, розвиток різних сфер підприємницької діяльності в місті.

Отже, на основі розглянутих вимог та тенденцій застосування велоруку в сучасних містах, можна виділити основні чинники потенціалу велосипедної інфраструктури:

1. За наявності якісної велосипедної інфраструктури велосипедний рух є гарною альтернативою використанню автомобіля.

2. Велосипедний рух є особливою категорією туризму, вподобанною багатьма велосипедистами з усього світу і належить до екотуризму.

3. «Стійкий розвиток території» передбачає розвиток на ній велосипедної інфраструктури як невід'ємної частини міського та сільського комфортного середовища, показника високої якості життя мешканців.

4. Велосипедна інфраструктура – невід'ємна частина міського комфортного середовища, показник високої якості життя мешканців.

5. Економічний потенціал велоінфраструктури. Велосипедна інфраструктура є важливим фактором, що притягує людей, а відповідно, створює передумови розвитку середовища та бізнесу там, де його раніше не було, завдяки велосипедній інфраструктурі.

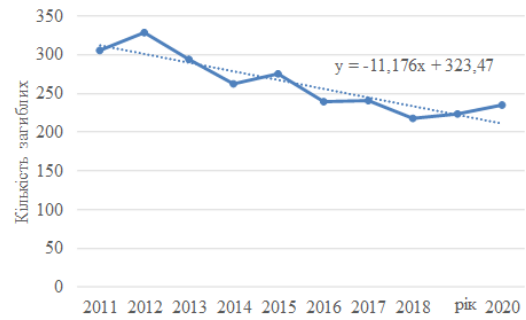
### Передумови розвитку VELOІНФРАСТРУКТУРИ В ХАРКОВІ

У Харкові розвиток велоінфраструктури поки ще не відповідає кращим Європейським нормам. Друге за величиною місто України має сформовану велоконцепцію, велосипедну доріжку по Білгородському шосе та проведені масштабні велодні. Харків сьогодні не входить до Топ-200 за кількістю населення, але при цьому посідає 13-тє місце у світі за заторами. Все це обумовлює актуальність та доцільність проведених у дослідженні заходів.

Перспективний напрям розвитку велосипедного транспорту у Харкові надається в Концепції розвитку велосипедного транспорту в місті [17], де вказані основні тези, для його розвитку незалежно від транспортних умов міста: невеликий розмір та мала вага велосипеда; відсутність потреби у пальному; позитивний вплив на здоров'я велосипедиста; пересування за принципом «від дверей до дверей»; контроль часу пересування; найкраща мобільність пересування; безпечне зниження швидкості транспортного потоку та зниження ризику виникнення ДТП.

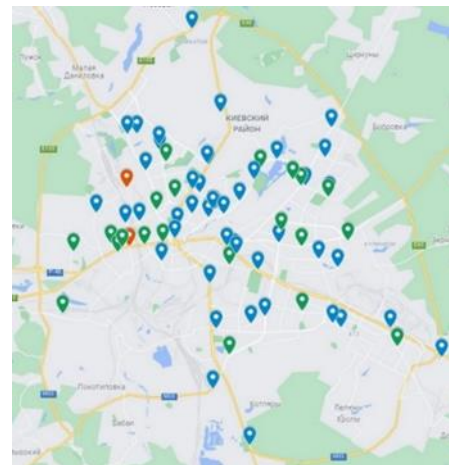
Наразі в Україні велосипедисти є одними з найвразливіших учасників дорожнього руху. За даними патрульної поліції, у 2023 році 11 % ДТП із велосипедистами закінчувалася загибеллю, а 73 % – травмами, що є одними з найвищих відсотків смертності та травматизму у різних типах ДТП. Із 2021 року кількість ДТП з тяжкими або смертельними наслідками зросла на 15 %, склавши у 2023 році (за 9 місяців) 1123 ДТП, у яких загинули 146 людей та ще 1030 були травмовані [18]. За останні десять років (2013-2023) на українських дорогах та вулицях українських міст загинуло 2620 велосипедистів і 14897 були травмовані. Загалом за цей час було зафіксовано близько 17000 ДТП з постраждалими, які потягнули за собою не тільки фізичні (людські) втрати, а й соціально-економічні збитки.

Статистика аварійності за участю велосипедистів в Харкові відповідає загальним тенденціям країни. Однак, варто зауважити, що кожне місто має свої особливості. У Харкові відбулося близько 3 % від загальної кількості ДТП з велосипедистами в Україні. Загальна тенденція зміни кількості загиблих відповідає зміні загиблих для країни загалом. Цю тенденцію зокрема можна описати лінійною функцією (рис. 1).



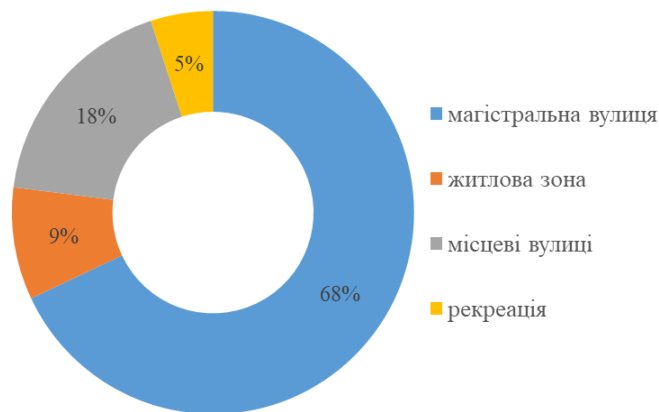
**Рис. 1.** Тенденція зміни кількості загиблих у ДТП з велосипедистами

У результаті обробки статистичних даних з аварійності в Харкові була створена карта аварійності на платформі GOOGLE MAPS (рис. 2), яку можна використовувати для інформування учасників руху про місця потенційної небезпеки, зокрема із застосуванням додатку до мобільного телефону.



**Рис. 2.** Карта аварійності в Харкові за участі велосипедистів

За результатами аналізу отриманої карти встановлено, що найнебезпечнішими для руху в Харкові є ділянки магістральної мережі (рис. 3), на яку необхідно спрямувати заходи щодо формування відповідних велошляхів. Саме реорганізація поперечного профілю магістральних вулиць вулично-дорожньої мережі Харкова з урахуванням велоінфраструктури спроможна не лише підвищити безпеку руху засобами активної індивідуальної мобільності, а й ефективність дорожнього руху на окремих вулицях міста загалом.



**Рис. 3.** Розподіл аварійності за основними зонами руху велосипедистів

Для отримання даних про зручність та безпеку пересування засобами активної індивідуальної мобільності було проведено анкетування. Для цього були обрані два місця на одній із магістральних вулиць. Респондентами були учасники руху, які пересувалися на засобах активної індивідуальної мобільності, пасажирів, що очікували на зупинках громадського транспорту, випадкові перехожі, водії припаркованих автотранспортних засобів.

На основі розглянутих вимог проведення анкетування було розроблено бланк анкети

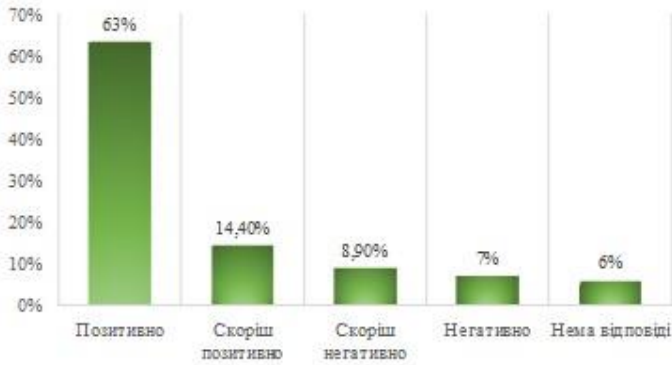
для опитування (рис. 4).

Оскільки дослідження були спрямовані на вивчення трудових магістральних переміщень населення, то генеральною сукупністю респондентів проведеного анкетування є кількість працездатного населення що проживає у відповідному районі міста, яка становить близько 70 000 чел. Рівень достовірності прийнято 90%. Межу похибки прийнято до 10%. Враховуючи розмір вибірки, рівень достовірності і похибку, розмір необхідної вибірки становить 270 респондентів. Опитування проводилося з 20 до 30 вересня 2021 року. Анкета передбачала достатньо велику кількість відкритих запитань, що охоплюють питання безпеки дорожнього руху, проектування і будівництва інфраструктури для активної індивідуальної мобільності населення.

За результатами опитування визначено ставлення респондентів до створення мережі велосипедних шляхів сполучення, яке є позитивним. Майже дві третини (63,2%) учасників опитування підтвердили необхідність велосипедних шляхів сполучення (рис. 5).

Питання та варіанти відповідей	Відповідь
1. Ваша стать:	
- Жіночка	
- Чоловічча	
2. Ваш вік:	
- 11-14	
- 15-17	
- 18-29	
- 31-44	
- 45-59	
- Більше 60-ти	
3. Зайнятість:	
- Навчаюсь	
- Прашую	
- Працюючий пенсіонер	
- Інше	
4. Чи користуєтесь Ви велосипедом (чи іншим засобом малої мобільності):	
- Користувався, маю власний	
- Користувався прокатним	
- Планую придбати власний найближчим часом	
- Планую придбати власний пізніше	
- Планую користуватись прокатним пізніше	
- Не користуюсь (не цікавить)	
5. З якою метою Ви використовуєте велосипед (чи інший засіб малої мобільності):	
- Прогулянки	
- За покупками	
- На роботу	
- На дачу	
- Відвозите дітей в заклад освіти	
6. Як часто Ви використовуєте велосипед (чи інший засіб малої мобільності):	
- щоденно	
- періодично	
- зрідка	
7. За відсутності безпечних та комфортних умов пересування велосипедом (чи іншим засобом малої мобільності), який вид транспорту є для Вас альтернативним:	
- громадський транспорт	
- власний автомобіль	
- таксі/шерінг	
- рух пішки	
- сумісні поїздки	
8. Як ви відноситесь до створення мережі велосипедних доріжок в м.Харків?:	
- Позитивно	
- Скоріш позитивно	
- Скоріш негативно	
- Негативно	
- Нема відповіді	
9. Чи є загрози від розвитку велоінфраструктури у сфері безпеки дорожнього руху:	
10. На ваш погляд, які основні перешкоди існують для розвитку малої мобільності?:	
- відсутність, недостатню кількість або ж погана якість інфраструктури	
- відсутність розуміння як це робити з боку влади	
- фінансові перешкоди	
- інше	
11. Що необхідно робити для збільшення інтенсивності використання велосипеда (чи іншого засобу малої мобільності):	
12. Вкажіть дальність поїздки (потенційної поїздки) за діловими цілями з використанням засобів малої мобільності:	

**Рис. 4.** Бланк анкети опитування користувачів засобами активної індивідуальної мобільності

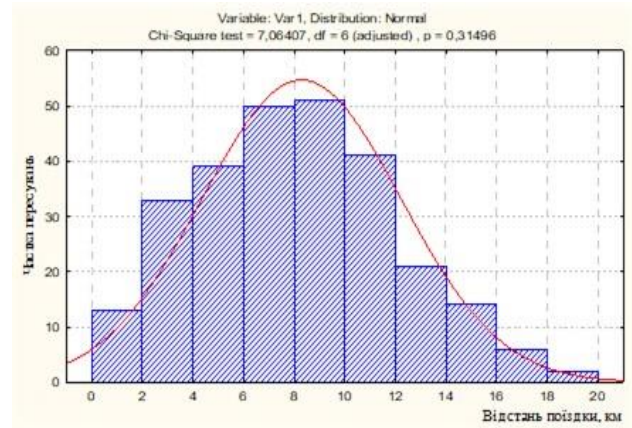


**Рис. 5.** Рівень соціальної підтримки створення системи велосипедних шляхів сполучення

У результаті анкетування встановлено достатньо високий потенціал використання інфраструктури активної індивідуальної мобільності, за умови її наявності. Зокрема 77 % (63 % позитивно та 14 % скоріш позитивно) опитаних позитивно ставляться до розвитку мережі велодоріжок та 50 % вже мають власні транспортні засоби активної індивідуальної мобільності. З огляду на отримані результати можна стверджувати, що Харків має високий потенціал впровадження та розвитку інфраструктури активної індивідуальної мобільності.

Аналіз статистичних даних дальності поїздки (потенційної поїздки) з використанням засобів активної індивідуальної мобільності, свідчать про випадковий характер даної величини. Тому було визначено стохастичні параметри випадкової величини, такі як середнє значення та середньоквадратичне відхилення дальності пересування із використанням велоінфраструктури. На основі статистичних даних встановлено вид закону розподілу дальності поїздки.

З урахуванням отриманих значень дальності пересування було визначено закон розподілу варіаційного ряду статистичними методами. Визначено, що коливання дальності поїздки, можливо описати нормальним законом розподілу. За допомогою програми Statistica 7 було отримано такі результати (рис. 6).



**Рис. 6.** Розподіл дальності пересувань засобами активної мобільності

Для перевірки гіпотези відповідності випадкової величини (дальність поїздки) одному із законів розподілу визначено критерій згоди. Серед критеріїв згоди (Пірсона, Колмогорова, Фішера та інших), обрано критерій Пірсона, табличне значення якого  $\chi^2_{0,05;7}$  складає 14,067, розрахункове значення 7,06. Порівнянням розрахункового та табличного значень даного критерія підтверджено гіпотезу про розподіл випадкової величини за нормальним законом розподілу. Отже, дальність поїздки або можливої поїздки, на яку опитані погоджуються з використанням засобів активної індивідуальної мобільності розподілена за нормальним законом з параметрами середнього значення 8,29, та середньоквадратичного відхилення 3,93.

#### *Оцінка ефективності впровадження та розвитку інфраструктури активної індивідуальної мобільності*

Під час проведення досліджень з оцінки ефективності заходів щодо розвитку активної мобільності потрібно чітко визначити суб'єкти таких досліджень. Для оцінки суспільної ефективності не варто орієнтуватися на пропускну спроможність вулиці. Замість пропускну спроможності треба приділяти увагу провізній здатності, яка відповідає кількості людей, а не транспортних засобів на проїзній частині. Це більш логічний показник, ніж кількість транспортних засобів. Якщо обирати провізну здатність, то треба виявляти не тільки ефективність особистих автомобілів, а особливо громадського транспорту та засобів активної індивідуальної мобільності [19]. Варто відмітити, що організація та розвиток активної індивідуальної мобільності сприяє

зниженню забруднення атмосфери відпрацьованими газами двигунів, зменшенню транспортного шуму. Водночас, велосипедний транспорт порівняно з особистими автомобілями забезпечує релевантні показники пропускної спроможності (рис. 7) під час використання однієї смуги руху, шириною 3,5 м [20, 21]. Відповідно до наведеного можна стверджувати, що саме розвиток громадського транспорту та активної індивідуальної мобільності, а не розширення доріг та збільшення пропускної спроможності, підвищує ефективність руху.

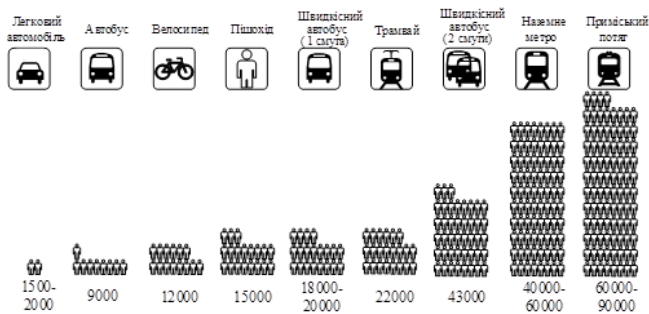


Рис. 7. Орієнтовні значення використання міської території за різних умов пересування (мобільності)

Тому як критерій оцінки ефективності функціонування усієї транспортної системи міст пропонуємо застосовування комплексного показника, який на відміну від існуючих, враховує показники якості руху засобами активної індивідуальної мобільності та провізну здатність замість пропускної, як характеристику ділянки вулично-дорожньої мережі.

На основі застосування спеціалізованого програмного забезпечення STREETMIX проведено моделювання технічних рішень розвитку інфраструктури активної індивідуальної мобільності на ділянці магістральної вулиці в Харкові. Було розглянуто декілька альтернативних можливих рішень зміни поперечного профілю вулиці з урахуванням шляхів сполучення активної індивідуальної мобільності. Тип велосипедної інфраструктури, технічні параметри кожної велосипедної доріжки (ширина, покриття, колір, розмітка) повинні визначатись індивідуально для кожної вулиці, враховуючи місцеві умови та вимоги державних стандартів [22]. Такий підхід може бути реалізований на велосипедних смугах, велодоріжках з одностороннім рухом, вело-

доріжках із двостороннім рухом, велопішохідних доріжках із одностороннім рухом, велопішохідних доріжках із двостороннім рухом. Приклад типового профілю з урахуванням наявності велошляхів наведено на рис. 8.



Умовні позначення: 1 – пішохідна доріжка; 2 – двостороння велосипедна доріжка; 3 – основна проїзна частина; 4 – лінії трамваю

Рис. 8. Поперечний профіль вулиці з відокремленою велодоріжкою (виділена кольором)

Відповідно до даних пасажиромісткості різних видів транспорту [21] для застосування запропонованого варіанту формування поперечного профілю магістральної вулиці, отримано підвищення провізної здатності (рис. 7) сукупного руху ділянкою (транспортного пішохідного та велосипедного) середньодобове значення якої становить 12000 учасників дорожнього руху за годину на добу (за умови облаштування велодоріжки в прямому та зворотному напрямку руху). Такі ж значення мають показники при інших проєктних рішеннях, зокрема, таких як велосмуга, облаштована на проїзній частині та відокремлена делініатором або розміткою (рис. 9). Це є перспективний напрям розвитку, особливо в умовах обмежених бюджетів та для швидкого впровадження відповідних шляхів сполучення на час реалізації більш масштабних проєктів.



Рис. 9. Поперечний профіль вулиці з відокремленою делініаторами велосмугою

Рішення про вибір принципового типу проектування велошляхів повинно ґрунтуватися на характеристиках транспортного потоку як джерела небезпеки – інтенсивності та швидкості транспортного потоку, а також на основі фінансових можливостей реалізації проекту. З огляду на виділені критерії вибору варіанту розвитку велошляхів на вул. Шевченка, та відповідного часу на реалізацію, пропонуємо застосувати варіант з делініаторами в короткочасному плануванні, та варіант з відокремленими велодоріжками у тривалому плануванні. На основі середньостатистичних даних пасажиромісткості різних видів транспорту та відповідно до застосування запропонованого варіанту формування поперечного профілю вулиці Шевченка, отримуємо середньодобове підвищення провізної здатності до 69000 пасажирів за годину.

Отримане середньодобове підвищення провізної здатності вулиці на 12000 пасажирів за годину за добу дозволяє стверджувати про ефективність запропонованих варіантів розвитку інфраструктури активної індивідуальної мобільності, зокрема конкретних шляхів сполучення на магістральних вулицях Харкова.

За результатами дослідження підходів до розвитку велоінфраструктури в Харкові виявлено напрями, які вимагають подальших наукових досліджень щодо розробки відповідних методик і заходів для створення ефективної інфраструктури для активної індивідуальної ділової мобільності в місті. Основними з них є:

- розробка наукових методів оцінки попиту на пересування засобами активної індивідуальної мобільності та перерозподілу користувачів індивідуального транспорту на міський транспорт загального користування та з міського транспорту загального користування на велосипедний, а також моніторингу цих процесів;

- розробка методичних підходів до розвитку логістики дрібного вантажу в містах з урахуванням переорієнтування частини вантажоперевезень на вантажні велосипеди та інші засоби активної індивідуальної мобільності;

- оцінка наслідків розвитку велосипедного руху для існуючої вулично-дорожньої мережі населених пунктів різного типу за рахунок звуження основної проїзної частини

через облаштування відокремлених велосипедних смуг.

## Висновки

На основі аналізу розвитку інфраструктури активної індивідуальної мобільності в світі нами встановлено, що Харків належить до групи міст, що розвиваються. Це, з одного боку, підсилює оптимізм транспортних інженерів щодо можливих підходів до розвитку мобільності населення в місті, з другого – встановлює високу відповідальність вибору підходів до реалізації суттєвих фінансових проектів.

У результаті аналізу нормативної документації та науково-технічної літератури встановлено, що транспорту активної індивідуальної мобільності потрібна розвинена інфраструктура, яка потребує землевідведення для розміщення шляхів сполучення, місць стоянки, зберігання, обслуговування та ремонту засобів переміщення. У сформованій транспортній системі та з урахуванням забудови територій міста виділення простору для шляхів сполучення транспортних засобів активної індивідуальної мобільності є проблематичним.

Аналіз аварійності на вулично-дорожній мережі Харкова за участі велосипедистів дав змогу встановити, що переважно ДТП з тяжкими наслідками відбуваються на мережі магістральних вулиць міста. Це обумовлено більшими швидкостями руху автотранспортних засобів на відповідних шляхах сполучення та повною відсутністю захищеності учасників руху, що рухаються на засобах активної індивідуальної мобільності. Також встановлено загальну тенденцію зниження смертності велосипедистів у наслідок ДТП, яка описується лінійною функцією. Це свідчить про підвищення самовідповідальності велосипедистів та звикання водіїв автотранспортних засобів до такої категорії учасників руху. З наведеного можна стверджувати, що всі учасники руху психологічно готові до взаємодії під час руху і необхідно розробляти та впроваджувати відповідні заходи удосконалення інженерного забезпечення вулично-дорожньої мережі міста.

Для визначення настроїв суспільства щодо розвитку інфраструктури активної індивідуальної мобільності проведено анкету-

вання різних учасників руху на одній із магістральних вулиць Харкова. Отримано 300 анкет, оброблено 270 з них, що є достатнім об'ємом вибірки для генеральної сукупності, з рівнем довірчої ймовірності 0,9 та межею похибки не вище 5 %. Опитування демонструє суспільну підтримку розвитку велосипедного руху (77 %).

На основі аналізу українських і світових джерел у нашому дослідженні запропоновано розробити та впровадити комплекс архітектурно-планувальних заходів для інтеграції об'єктів велосипедної інфраструктури у міське транспортне середовище на підставі проектного підходу та методології ризик-менеджменту. Для цього запропоновано організаційні та інженерно-технічні заходи щодо забезпечення безпеки та комфорту під час руху велосипедистів ділянками однієї з магістральних вулиць Харкова.

Як критерій оцінки ефективності функціонування не тільки велоруху, а й усієї транспортної системи, в роботі запропоновано застосовувати комплексний показник, який на відміну від існуючих, враховує показники рівня якості руху засобами активної індивідуальної мобільності та провізну здатність замість пропускну здатності, як характеристику ділянки вулично-дорожньої мережі.

На основі застосування спеціалізованого програмного забезпечення STREETMIX проведено моделювання технічних рішень розвитку інфраструктури активної індивідуальної мобільності на ділянці магістральної вулиці в Харкова. Промодельовано 5 можливих рішень зміни поперечного профілю вулиці з урахуванням шляхів сполучення активної індивідуальної мобільності. Отримане підвищення середньодобової провізної здатності вулиці дає змогу стверджувати про ефективність запропонованих варіантів розвитку інфраструктури активної індивідуальної мобільності на відповідних шляхах сполучення Харкова.

## References

- Gössling, S., Choi, A., Dekker, K. and Metzler, D. (2018). The social cost of automobility, cycling and walking in the European Union. *Ecological Economics* 158: 65-74. Retrieved from [https://www.researchgate.net/publication/330184791\\_The\\_Social\\_Cost\\_of\\_Automobility\\_Cycling\\_and\\_Walking\\_in\\_the\\_European\\_Union/](https://www.researchgate.net/publication/330184791_The_Social_Cost_of_Automobility_Cycling_and_Walking_in_the_European_Union/).
- Radicke E. (1952). *Radfahrwege y Stadtebau und Verkehrsplanung*. Schriftenreihe des Verlags – Technik, Band 47, Berlin.
- Yak hollandtsi buduvaly velodorizhky [How the Dutch built

- bike lanes]. Retrieved from <https://u-cycle.org.ua/news/yak-hollandtsi-buduvaly-velodorizhky/>
- Hudson M. (1978). *The Bicycle Planning Book*. Open Books. Friends of the Earth. 154.
- Jogensen (1979). *Traffic Engineering Measure*. Symposium on Safety of Pederstrians and Cyclists. Institut of Roads. Transport and Town Planning.
- Velo-city. Retrieved from <https://en.wikipedia.org/wiki/Velo-city>.
- PRESTO. (2010). *Cycling: a daily transport mode for everyone*. Cycling development. Cycling Infrastructure - General Management. Ligtermoet & Partners. The Netherlands. February. 52.
- Urban Bikeway Design Guide. (2011). National Association of City Transportation Officials. 302.
- Chernyshova O.S. (2019). *Development of cycling network in cities with low level of cycling*. Dissertation for obtaining a scientific degree of Ph.D. specialty 05.22.01. 207.
- Klymenko S., Nahornyi T. *Kontseptsiia rozvytku velosypednoi infrastruktury Irpinskiy miskoi terytorialnoi hromady* [Concept of bicycle infrastructure development of the Irpin urban territorial community]. Irpin, 2023. Retrieved from <https://irpinhelp.com/wp-content/uploads/2023/06/velokonczepczyia-irpinskiy-gromady-1.pdf>.
- Myroshnychenko O. *Prykhovanyi popyt na veloinfrastrukturu* [Hidden demand for cycling infrastructure]. Materials of the 10th international conference "Veloforum 2018", Ivano-Frankivsk. Retrieved from URL: <http://veloforum.org/виставка-плакатів-на-VELOFORUM2018/>.
- Cabinet of Ministers of Ukraine. (2018). *Natsional'na transportna stratehiya Ukrayiny na period do 2030 roku* [National transport strategy of Ukraine for the period until 2030]. Retrieved from URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-%D1%80#Text>.
- Shvydkist' velosypedu – srednya ta maksimal'na [The speed of the bicycle is average and maximum]. Retrieved from <https://cycles.com.ua/ua/skorost-velosipeda-srednjaja-maksimalnaja>.
- Ministry of Communities and Territories Development of Ukraine (MinRegion). (2019). *DBN B.2.2-12:2019. Planning and development of territories*. Kyiv. 183.
- Ministry of Regions of Ukraine. (2018). *DBN B.2.3-5:2018. Streets and roads of settlements*. Kyiv. 61.
- Hasenko L.V. (2015). *Principles of town planning organization of bicycle infrastructure in medium and large cities*. Dissertation for obtaining a scientific degree of Ph.D. specialty 05.23.20. 171.
- Kharkiv City Council. (2016). *The concept of the development of bicycle traffic and the arrangement of bicycle infrastructure in the city of Kharkiv*. № 397/16. Retrieved from <http://kharkiv.rocks/reestr/653772>.
- Cabinet of Ministers of Ukraine. (2020). *Strategy for the development of cycling in Ukraine for the period up to 2030*. Retrieved from [https://docs.google.com/document/d/1QieNVcgCxtmFM8Td\\_ujMkRIVve1X23HI/edit](https://docs.google.com/document/d/1QieNVcgCxtmFM8Td_ujMkRIVve1X23HI/edit).
- U-Cycle (public organization "Association of Cyclists of Kyiv"). Retrieved from <https://u-cycle.org.ua/articles/pidrakhunok-osin-2020/>.
- Botma, H. Papendrecht, H. (1991). *Traffic Operation of Bicycle Traffic*. Transportation Research Record. №1320. 65-72.
- Passenger capacity of different transport modes. Retrieved from <https://www.transformative-mobility.org/publications/passenger-capacity-of-different-transport-modes>.
- UkrNDNC. DSTU 8906:2019. (2019) *Planning and design of bicycle infrastructure. general requirements*. Kyiv. 86.
- OVG Flanders. (2001). *Travel behavior survey*.