

УДК 711.73

DOI <https://doi.org/10.32782/2415-8151.2024.33.10>

ОСОБЛИВОСТІ ТА ЗАКОНОМІРНОСТІ ПІШОХІДНОГО РУХУ НА МІСЬКИХ ВУЛИЦЯХ

Степанчук Олександр Васильович¹, Чернишова Оксана Сергіївна²,
Омельяненко Максим Вікторович³

¹ доктор технічних наук, професор,
Національний авіаційний університет,
Київ, Україна,

e-mail: oleksandr.stepanchuk@npp.nau.edu.ua, orcid: 0000-0002-2822-3471

² кандидат технічних наук, доцент,
Національний авіаційний університет,
Київ, Україна,

e-mail: oksana.chernyshova@npp.nau.edu.ua, orcid: 0000-0002-8132-2153

³ доктор технічних наук, професор,
Національний авіаційний університет,
Київ, Україна,

e-mail: maksym.omelianenko@npp.nau.edu.ua, orcid: 0000-0002-5692-8890

Анотація. У статті розглянуто питання щодо розвитку пішохідної інфраструктури в містах за умов збільшення транспортних проблем. Обґрунтовано необхідність удосконалення міської інфраструктури з урахуванням потреб пішоходів для створення комфортного та безпечного середовища.

Мета роботи полягає у дослідженні особливостей та закономірностей пішохідного руху на магістральних вулицях міст та в транспортно-пересадочних вузлах із метою розуміння важливості транспортних інфраструктурних рішень та безпекових аспектів для пішоходів у міському середовищі.

Методологія. Методи дослідження: аналіз літературних джерел, матеріалів, що стосуються питань вивчення особливостей та закономірностей пішохідного руху на міських вулицях та транспортно-пересадочних вузлах.

Результати. Запропоновано шляхи поліпшення умов руху для пішоходів, що сприяють зменшенню транспортних заторів на вулицях та в транспортно-пересадочних вузлах, підвищують екологічну ситуацію в міському середовищі. Розглянуто чинники, які впливають на пішохідний рух у місті, та важливість урахування психофізіологічних особливостей і фізичних можливостей людей, вікових можливостей під час розроблення технічних рішень для міської пішохідної інфраструктури.

Наукова новизна. У статті вперше комплексно досліджено взаємозв'язок між особливостями пішохідного руху на магістральних вулицях і в транспортно-пересадочних вузлах та загальною ефективністю міської інфраструктури в умовах зростання транспортних проблем. Ці результати мають велике значення для розроблення стратегій та планів розвитку міської інфраструктури, спрямованих на забезпечення зручності та безпеки пішоходів у міських умовах.

Практична значущість. Проведена оцінка основних параметрів, які впливають на пішохідний рух, а саме: щільність пішоходів, швидкість пішохідного потоку, інтенсивність пішоходів, безпеку, доступність інфраструктури, комфорт, зв'язність маршрутів та соціальну взаємодію, що є основним складником,

необхідним для створення ефективної та комфортної міської інфраструктури, яка сприяє підвищенню фізичної активності населення, привабливості пішохідного руху та зниженню транспортного навантаження на міське середовище.

Ключові слова: міське середовище, міська інфраструктура, транспортний потік, пішохідний потік, пішохідний рух, транспортно-пересадочний вузол, вулиця, місто.

ВСТУП

Міський простір є середовищем, де пішоходи взаємодіють з міською і транспортною інфраструктурою та іншими учасниками дорожнього руху. Управління та організація міського простору для пішоходів вимагають ретельного аналізу особливостей та закономірностей цього процесу.

Проблеми руху людських потоків на вулицях міст та в транспортно-пересадочних вузлах можуть виникати з різних причин і варіюватися залежно від конкретного контексту та інфраструктури. Сьогодні можна виділити найбільш поширені проблеми, а саме:

- переповненість вулиць та міських площ, що може призвести до втрат часу і затримок у русі, особливо в години пік або під час різноманітних масових заходів;

- вузькі тротуари, які ускладнюють рух пішоходів, особливо в місцях із концентрацією великої кількості людей;

- недостатність безпечних та зручних пішохідних переходів через проїзну частину магістральних вулиць, що призводить до утворення небезпечних ситуацій для пішоходів та ускладнює їхній рух;

- нераціональне планування території міст, що призвело до прокладання нелогічних або неефективних маршрутів для пішоходів, збільшення часу, необхідного для переміщення людей;

- відсутність інфраструктури, призначеної для людей з обмеженими можливостями, що обмежує їхню можливість переміщення та створює перешкоди;

- відсутність зон відпочинку або місць для відпочинку на вулицях, що також може ускладнювати переміщення та знижувати комфорт пішоходів.

Вирішення цих проблем полягає у поліпшенні міської інфраструктури, оптимізації вуличної мережі, упровадженні нових технологій для управління рухом та плануванні міста з урахуванням потреб пішоходів. Тому необхідно виділити ключові аспекти використання міського простору для пішохідного руху та методи його оптимізації.

Постановка проблеми. Аналіз потоків людей у просторі є ключовим аспектом для

розуміння та управління рухом мас. Цей аналіз відіграє важливу роль у багатьох сферах – від проектування будівель до планування територій та організації громадських місць.

Організація міського простору для пішоходів є важливим завданням для покращення якості життя в містах. Розуміння особливостей та закономірностей пішохідного руху дає змогу ефективно використовувати доступний простір та поліпшувати умови для пішоходів. Використання інноваційних технологій допомагає створювати безпечне та зручне середовище для пішоходів у міському просторі.

У цій статті ми розглянемо важливість аналізу руху потоків людей та його застосування під час проектування міських вулиць та транспортно-пересадочних вузлів.

АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Пішохідний рух у містах є важливим аспектом міського життя, і його дослідження має значний потенціал для поліпшення якості життя в містах.

Питаннями вирішення проблем пішохідного руху в містах та завданнями з проектування міської пішохідної інфраструктури займалися багато вітчизняних учених та проєктувальників-практиків. Можна виділити праці науковців М. Осетріна [10], Є. Рейцена [13], І. Куциної [4–7], М. Христюка [1; 11] та ін. [2; 3; 8; 9; 12; 14–19].

Попередні дослідження у цій сфері виявили низку проблем і визначили ключові завдання для подальших досліджень та вдосконалення міського пішохідного руху.

Багато міст в Україні не мають достатньої кількості досліджень, спрямованих на вивчення пішохідного руху. Це ускладнює розуміння проблем та потреб пішоходів у міському середовищі. Під час розроблення транспортної міської інфраструктури пішохідний рух часто отримує менше уваги в дослідженнях, аніж різні види міського транспорту.

Деякі дослідницькі дані про пішохідний рух можуть бути недоступними або обмеженими, що ускладнює аналіз та порівняння результатів досліджень між різними містами та регіонами.

Аналіз попередніх досліджень пішохідного руху в містах дає можливість визначити ключові проблеми та завдання, які слід вирішувати в подальших дослідженнях та під час розроблення транспортної міської інфраструктури.

МЕТА

Мета роботи полягає у дослідженні особливостей та закономірностей пішохідного руху на магістральних вулицях міст та в транспортно-пересадочних вузлах із метою розуміння важливості транспортних інфраструктурних рішень та безпекових аспектів для пішоходів у міському середовищі.

Стаття спрямована на збільшення усвідомлення проблем, що виникають у зв'язку з пішохідним рухом на магістральних вулицях, та підвищення обізнаності щодо можливих рішень для поліпшення умов для руху пішоходів на вулицях у населених пунктах.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Протягом тривалого часу після появи автомобільного транспорту містобудівники зосереджували увагу на розбудові міської автотранспортної системи, тоді як пішохідна інфраструктура організовувалася за залишковим принципом і формально. Проте транспортні проблеми в багатьох великих містах світу, спричинені збільшенням кількості поїздок на особистих автомобілях, змусили владу деяких міст переглянути свої пріоритети і приділити більше уваги розвитку пішохідної інфраструктури.

Останні дослідження показують, що забезпечення якісної пішохідної інфраструктури може значно покращити мобільність і якість життя мешканців міст. Дослідження, проведені в різних країнах світу, включаючи США, Німеччину, Японію, показали, що наявність зручних пішохідних зон, широких тротуарів, безпечних пішохідних переходів і зон відпочинку сприяє зменшенню використання особистих автомобілів, зниженню рівня забруднення повітря та поліпшенню здоров'я населення.

У містах, де активно розвивається пішохідна інфраструктура, спостерігається збільшення кількості людей, які вибирають ходьбу як основний спосіб пересування. Це, своєю чергою, сприяє розвитку місцевого бізнесу, оскільки пішоходи частіше зупиняються біля магазинів, кафе та інших закладів.

Наприклад, у Нью-Йорку введення пішохідних зон на Таймс-сквер призвело до значного зростання кількості пішоходів. Аналогічно, у Токіо створення пішохідних зон

сприяло збільшенню кількості людей, які вибирають ходьбу або велосипед як основний вид транспорту.

Отже, результати досліджень підкреслюють важливість інтеграції пішохідної інфраструктури в міське планування. Розуміння потреб пішоходів та створення зручних умов для їх пересування є ключовими аспектами для поліпшення якості життя в містах.

За оцінками фахівців, скорочення використання особистих автомобілів може сягати 5–10% шляхом перерозподілу цих поїздок на користь інших видів транспорту. Дослідження показали, що в містах з інфраструктурою, орієнтованою на пішоходів і велосипедистів, приблизно 49% усіх робочих і 15% інших переміщень здійснюються пішки, на велосипеді або громадським транспортом [20].

Дослідження, проведені у європейських країнах, виявили прихильне ставлення жителів міст до пересувань без використання моторизованого транспорту. Більшість опитаних погодилася з тим, що пересування на відстань до 1 км можуть здійснюватися тільки пішки. Також більшість респондентів відзначила відсутність безпечних шляхів для таких пересувань. Будь-яке індивідуальне переміщення в населеному пункті включає пішохідний рух, оскільки або складається тільки з нього, або поєднує його з використанням автомобіля чи громадського транспорту.

Поліпшення умов пересування пішоходів і велосипедистів у населених пунктах потребує перетворення міських вулиць із метою адаптації їх до пішохідного руху. Зміни у плануванні та дизайні міського середовища, що враховують психофізіологічні особливості людини, збільшують кількість пішоходів і велосипедистів на вулицях міста. Цей процес, своєю чергою, потребує вивчення та аналізу особливостей та закономірностей пішохідного руху на вулицях міст.

Пішохідне переміщення людей – це функціональний процес, який характерний для будь-якого населеного пункту незалежно від його розмірів та значення. Для переміщення людей на території населених пунктів передбачено пішохідні вулиці та дороги, тротуари, підземні, наземні та надземні пішохідні переходи і т. д.

Складність створення пішохідних шляхів сполучення високої якості полягає у необхідності врахування багатьох чинників: планувальних, архітектурно-художніх, конструктивних, транспортних, кліматичних, гігієнічних, екологічних та соціальних, які визначають стан пішохідної системи переміщення людей.

І тому сьогодні організація комфортної пішохідної мережі має першочергове значення для центральної зони більшості міст, які характеризуються великими обсягами пішохідного руху та мають високу щільність забудови [13].

Пішохідний потік у міському середовищі є складним та динамічним процесом, який ураховує різноманітні чинники, такі як щільність населення, характер вуличної мережі, наявність міської інфраструктури для пішоходів та ін. Цей потік може значно змінюватися залежно від часу доби, дня тижня, сезону, а також від різних подій, що відбуваються в місті.

Щільність населення впливає на інтенсивність пішохідного руху. Висока щільність населення часто супроводжується більшою кількістю пішоходів на вулицях, що може призводити до заторів на тротуарах та інших пішохідних зонах.

Також важливу роль відіграє характер вуличної мережі. Міста з чітко організованою вуличною мережею, широкими тротуарами та пішохідними переходами зазвичай мають більш ефективний пішохідний потік.

Наявність міської інфраструктури для пішоходів, такої як пішохідні зони, підземні та надземні переходи, лавки для відпочинку, зелені насадження, освітлення та інші елементи, сприяє комфортному та безпечному пересуванню містом. Добре спланована інфраструктура може не лише покращити комфорт пішоходів, а й стимулювати більше людей віддавати перевагу пішій ході перед використанням транспорту, що позитивно впливає на загальне міське середовище та екологію.

Інші чинники, такі як погодні умови, культурні та соціальні аспекти, також можуть впливати на пішохідний потік. Наприклад, у сонячну погоду більше людей можуть вибирати прогулянки, тоді як у дощову погоду пішохідна активність може знижуватися. Культурні особливості та звички населення також грають роль: у деяких культурах прийнято більше ходити пішки, в інших – менше.

Наукове вивчення пішохідного потоку включає використання різноманітних методів та інструментів, таких як моделювання руху, аналіз відеозаписів, опитування пішоходів, а також використання датчиків та інших технічних засобів для збору даних. Ці дослідження допомагають міським планувальникам розуміти потреби пішоходів та створювати більш комфортне, безпечне та привабливе міське середовище.

Пішохідний потік є важливим елементом міського життя, який потребує уважного

вивчення та врахування під час планування міської інфраструктури. Ефективне управління пішохідним потоком може значно покращити якість життя в місті, сприяючи здоровому способу життя, зниженню транспортних заторів та поліпшенню екологічної ситуації.

Аналіз потоків людей у міському просторі є ключовим аспектом для розуміння та управління рухом мас. Цей аналіз відіграє важливу роль у багатьох сферах – від проектування будівель до планування та забудови територій, організації громадських місць. У цій статті потрібно розглянути важливість аналізу потоків людей та його застосування у різних контекстах.

Аналіз потоків людей допомагає розуміти, як люди взаємодіють із простором навколо них. Серед головних складників дослідження є способи, якими люди рухаються в приміщеннях, на вулицях, у транспорті та на громадських заходах. Основні аспекти аналізу потоків містять такі критерії:

- спостереження за кількістю та швидкістю руху людей у певному просторі;
- оцінка того, як люди використовують доступний простір та розміщення предметів у ньому;
- виявлення місць, де людський потік найбільш інтенсивний, таких як входи, виходи, перехрестя та інші ключові точки;
- аналіз чинників, які впливають на рух людей, таких як архітектурні особливості, розміщення об'єктів, погода тощо.

Аналіз потоків людей є важливим інструментом у багатьох аспектах нашого життя – від проектування будівель та навколишнього середовища до організації масових заходів. Розуміння та врахування руху мас допомагає створювати простори, які є не лише функціональними, а й зручними та безпечними для користувачів.

На жаль, неможливо подати модель закономірності пішохідних потоків у вигляді однієї універсальної математичної формули, оскільки вона буде занадто складною та не враховуватиме всі чинники, що впливають на цю систему.

Однак можна навести відомі окремі рівняння, які описують різні аспекти пішохідного руху [14]:

Щільність пішоходів (ρ) можна визначити як кількість пішоходів (N) на одиницю площі (A):

$$\rho = N / A \quad (1)$$

2. Швидкість пішоходів (v) залежить від щільності потоку (ρ) та інших чинників, таких як вік, стать, ситуація і т. п. Її можна описати

за допомогою емпіричних формул, таких як модель Кайдана:

$$v = v_0(1 - \exp(-\rho / \rho_0)), \quad (2)$$

де: v_0 – максимальна швидкість пішоходів;

ρ_0 – критична щільність пішоходів, за якої швидкість починає різко падати.

3. Пропускна здатність (Q) визначає максимальну кількість пішоходів, які можуть пройти через певний простір за одиницю часу. Її можна розрахувати за формулою:

$$Q = \rho v \quad (3)$$

4. Модель динаміки частинок описує рух пішоходів як рух окремих частинок, які взаємодіють одна з одною та з навколишнім середовищем. Цю модель можна реалізувати за допомогою чисельних методів.

5. Модель на основі теорії графів описує пішохідну мережу як граф, де вузли являють собою перехрестя та зупинки, а ребра – пішохідні шляхи. Алгоритм Дейкстри можна використовувати для знаходження найкоротшого шляху між двома вузлами в графі.

6. Об'єднання моделей. Для більш точного моделювання пішохідних потоків можна об'єднати декілька моделей, описаних вище. Наприклад, можна використовувати модель динаміки частинок для моделювання руху пішоходів на локальному рівні, а модель на основі теорії графів – для моделювання руху пішоходів на глобальному рівні.

Важливо зазначити, що всі ці моделі є спрощенням реальної системи і мають свої обмеження.

Вибір моделі для конкретного завдання залежить від декількох чинників, таких як точність, складність та наявність даних.

Поведінка пішоходів регламентується важче, ніж поведінка водіїв, а в розрахунках режимів регулювання важко врахувати психофізіологічні чинники з усіма відхиленнями, що притаманні окремим групам людей. Важливою умовою оптимальної організації пішохідного руху є врахування психофізіологічних особливостей і фізичних можливостей людей під час розроблення відповідних технічних рішень. Серед психофізіологічних чинників слід, перш за все, назвати природне прагнення людей рухатися найкоротшим шляхом, зберігаючи зусилля й час.

Імовірність користування транспортом залежить від дальності переміщення, а саме: відстань до 1 км долають пішки 75% людей, від 1 до 2 км – 45%, від 2 до 3 км – 25%, від 3 км до 4 км – 10%. Як правило, зона

пішохідної доступності знаходиться в межах 0,8–1 км [16].

Пішохідний рух у містах може бути досить різноманітним і динамічним. Ось деякі характеристики цього явища:

- у містах часто спостерігається велика кількість пішоходів, особливо у центральних районах, біля торгових центрів, туристичних атракцій та громадського транспорту;

- пішохідний рух складається з різних категорій учасників, таких як пішоходи різного віку, особи з обмеженими можливостями, біженці, туристи тощо;

- інфраструктура міст може суттєво впливати на пішохідний рух. Наявність тротуарів, пішохідних переходів, надземних або підземних пішохідних шляхопроводів, а також їхній стан та безпека впливають на комфорт і безпеку пішоходів;

- пішоходи повинні дотримуватися правил дорожнього руху включно з переходом вулиць лише по пішохідних переходах та використанні світлофорів;

- у містах пішоходи постійно взаємодіють із різними видами транспорту, такими як автомобілі, велосипеди, мотоцикли та громадський транспорт;

- пішохідний рух може впливати на якість повітря та загальний екологічний стан міста, оскільки за умови його застосування зменшується використання автомобілів;

- пішохідний рух може відображати культурні та соціальні особливості міста, його історію, традиції та специфіку життя мешканців.

Виходячи із вищесказаного, можна встановити основні чинники, які впливають на пішохідний рух у міському середовищі (рис. 1).

На основі відповідних характеристик робиться оцінка ефективності пішохідного руху. Ця схема допомагає зрозуміти, як різні чинники впливають на загальну якість пішохідного руху, та дає змогу ідентифікувати сфери для покращення.

Проведені дослідження показують, що міські простори, спроектовані з урахуванням потреб пішоходів, сприяють більшій соціальній взаємодії, зниженню рівня стресу та покращенню загального самопочуття мешканців. Наприклад, у містах, де створено зручні умови для піших прогулянок, мешканці частіше виходять на вулицю, спілкуються один з одним і відчують себе частиною громади.

Піша хода є одним із найпростіших та найбільш доступних видів фізичної активності, який може значно покращити здоров'я людей. Регулярні піші прогулянки знижують ризик



Рис. 1. Чинники, які впливають на пішохідний рух у містах

розвитку серцево-судинних захворювань, діабету, ожиріння та інших хвороб, пов'язаних із малорухливим способом життя. Міста, що забезпечують безпечні та привабливі умови для пішоходів, стимулюють мешканців більше ходити пішки, що позитивно впливає на їхнє здоров'я.

Пішохідний рух може значно знизити навантаження на транспортну систему міста. Коли більше людей вибирають піші прогулянки або використання громадського транспорту замість особистих автомобілів, це призводить до зменшення кількості автомобілів на дорогах та, відповідно, до зниження транспортних заторів. Це не лише покращує рух транспорту, а й зменшує час, що витрачається на дорогу, підвищуючи ефективність пересування в межах міста.

Пішохідний потік є важливим елементом міського життя, який потребує уважного вивчення та врахування під час планування міської інфраструктури. Пішохідний рух у міському середовищі характеризується низкою параметрів, які впливають на його ефективність, комфорт та безпеку. До цих основних параметрів можна віднести:

Щільність пішоходів. Щільність пішоходів визначає кількість людей, що рухаються певною ділянкою протягом певного часу. Висока щільність може призводити до скупчень, заторів та дискомфорту для пішоходів. Занадто низька щільність може свідчити про недостатню привабливість маршруту або невідповідність наявної пішохідної інфраструктури потребам руху. Оптимальна щільність забезпечує комфортний рух без перешкод.

Швидкість пішохідного потоку. Середня швидкість пересування пішоходів є важливим показником зручності маршруту. Швидкість може змінюватися залежно від часу доби, погодних умов та щільності потоку. Вища швидкість свідчить про ефективність маршруту, але занадто висока швидкість може означати, що пішоходи поспішають через дискомфорт чи небезпеку.

Інтенсивність пішоходів. Інтенсивність пішоходів визначає кількість людей, що проходять певною ділянкою за одиницю часу. Цей показник важливий для оцінки навантаження на інфраструктуру. Велика інтенсивність потребує ширших тротуарів та кращої організації пішохідних переходів.

Безпеку пішоходів. Безпека є критично важливим аспектом пішохідного руху. До неї належать наявність адекватного освітлення, якісних пішохідних переходів, зон для зупинки та відпочинку, а також відсутність конфліктних точок із транспортним потоком. Безпечне середовище знижує ризик нещасних випадків та підвищує комфорт пішоходів.

Доступність інфраструктури. Доступність пішохідної інфраструктури містить можливість для всіх категорій населення користуватися тротуарами, переходами та іншими елементами. Це особливо важливо для людей з обмеженими можливостями, літніх людей та батьків із дитячими візочками. Безбар'єрне середовище підвищує загальну привабливість пішохідного руху.

Комфорт та зручності. Комфорт пересування пішоходів залежить від якості тротуарів, наявності тінювих зон, лавок, зелених насаджень та захисту від негоди. Додаткові зручності, такі як інформаційні таблички, вказівники та публічні туалети, також підвищують привабливість пішохідного маршруту.

Зв'язність маршрутів. Зв'язність пішохідних маршрутів означає, що всі ключові точки міста (житлові райони, офісні зони, парки, торгові центри) з'єднані між собою зручними та безпечними пішохідними шляхами. Висока зв'язність дає змогу пішоходам легко та швидко досягати своїх пунктів призначення.

Соціальну взаємодію. Міські простори, що сприяють соціальній взаємодії, підвищують якість життя та сприяють створенню згуртованих громад. Площі, парки та інші громадські місця, де люди можуть зустрічатися, спілкуватися та брати участь у спільних заходах,

є важливими компонентами пішохідної інфраструктури.

Оцінка основних характеристик пішохідного руху є необхідною для створення ефективної та комфортної міської інфраструктури. Урахування щільності, швидкості, інтенсивності, безпеки, доступності, комфорту, зв'язності маршрутів та соціальної взаємодії допомагає забезпечити оптимальні умови для пересування пішоходів. Це, зокрема, сприяє поліпшенню якості життя в місті, підвищенню фізичної активності населення та зниженню екологічного навантаження.

На основі проаналізованих характеристик пішохідного руху можна створити комплексну математичну модель.

Основні параметри, які будемо використовувати в моделі:

q – щільність пішоходів (людей/м²);

v – середня швидкість пішоходів (м/с);

i – інтенсивність пішоходів (людей/с);

S – показник безпеки (від 0 до 1, де 0 – найнижчий рівень безпеки, а 1 – найвищий);

A – показник доступності (від 0 до 1, де 0 – найнижчий рівень доступності, а 1 – найвищий);

C – показник комфорту (від 0 до 1, де 0 – найнижчий рівень комфорту, а 1 – найвищий);

Z – показник зв'язності маршрутів (від 0 до 1, де 0 – найнижчий рівень зв'язності, а 1 – найвищий);

D – показник соціальної взаємодії (від 0 до 1, де 0 – найнижчий рівень соціальної взаємодії, а 1 – найвищий).

Запропонована модель може бути подана так:

$$O_h = w_1 \times q + w_2 \times v + w_3 \times i + w_4 \times S + w_5 \times A + w_6 \times C + w_7 \times Z + w_8 \times D, \quad (4)$$

де w_1, w_2, \dots, w_8 – вагові коефіцієнти, які відображають важливість кожного параметра в оцінці.

Ці вагові коефіцієнти можуть бути визначені експертно або шляхом опитування людей, які мають стосунок до пішохідного руху (наприклад, пішоходи, міські планувальники, інженери тощо).

Отже, результуюча оцінка враховує всі важливі характеристики пішохідного руху і може служити основою для прийняття рішень щодо поліпшення умов руху пішоходів у міському середовищі, а саме:

– використання моделі для визначення найважливіших параметрів, що потребують

поліпшення, та їх упровадження у нові проекти;

– оцінка поточного стану пішохідних шляхів за допомогою моделі та впровадження заходів для покращення показників безпеки, комфорту і зв'язності маршрутів;

– використання моделі для аналізу інтенсивності та щільності пішохідного руху з метою оптимізації руху в місцях із високою концентрацією пішоходів.

– Одним із напрямів вирішення цього питання є вдосконалення підходів до проектування, будівництва та реконструкції пішохідних шляхів у центральних зонах крупних та найкрупніших міст України. Для цього необхідно:

– використовувати модель для оцінки існуючих умов та визначення пріоритетних напрямів поліпшення;

– залучати експертів та громадськість для визначення вагових коефіцієнтів, що враховують специфіку кожного міста;

– забезпечувати інтеграцію отриманих результатів у міські плани розвитку та транспортні стратегії.

Таким чином, застосування комплексної математичної моделі дасть змогу створювати більш комфортні, безпечні та доступні умови для пішоходів у міських середовищах, підвищуючи загальну якість життя та екологічний стан міст.

ВИСНОВКИ

Ефективне функціонування пішохідної інфраструктури залежить від багатьох чинників включно з планування міського середовища, архітектурними рішеннями, наявністю безпечних та комфортних пішохідних шляхів. Дуже важливо враховувати особливості пішохідного потоку, що змінюється залежно від часу, місця та інших умов. Створення комфортної та безпечної пішохідної мережі є пріоритетним завданням для міст із високою щільністю забудови та великим обсягом пішохідного руху. Дослідження пішохідного руху є важливим інструментом для оптимального планування міської інфраструктури. Це допомагає визначати місця найбільш інтенсивного руху, оцінювати використання простору та розробляти ефективні технічні рішення, враховуючи психофізіологічні особливості людей.

Вивчення пішохідного руху дає змогу міським планувальникам краще розуміти потреби пішоходів і створювати комфортні та безпечні умови для пересування. Використання різних методів та інструментів для збору й аналізу даних допомагає оцінювати ефективність

пішохідного руху на вулицях міст та визначати шляхи для його покращення.

ЛІТЕРАТУРА

[1] Вулиці і дороги населених пунктів: ДБН В.2.3-5:2018. [Чинний від 2018-09-01]. Київ : Мінрегіон України, 2018. 56 с. (Державні будівельні норми).

[2] Першаков В.М., Белятинський А.О., Степанчук О.В., Кротов Р.В. Дослідження транспортних потоків в аспекті заторових станів дорожнього руху : монографія. Київ : НАУ, 2015. 176 с.

[3] Дьомін М.М. Управління розвитком містобудівних систем. Київ : Будівельник, 1991. – 184 с.

[4] Куцина І.А. Класифікація елементів пішохідної інфраструктури. *Містобудування та територіальне планування*. 2017. № 65. С. 291–297.

[5] Куцина І.А. Методика визначення рівня обслуговування пішоходів. *Сучасні проблеми архітектури та містобудування*. 2016. № 44. С. 154–161.

[6] Куцина І.А. Модуль організації пішохідного руху в загальноміському центрі на прикладі м. Ужгорода. *Містобудування та територіальне планування*. 2016. № 62. С. 327–332.

[7] Куцина І.А. Структурно-методична схема дослідження пішохідного руху з урахуванням етапів містобудівної документації. *Сучасні проблеми архітектури та містобудування*. 2017. № 49. С. 326–329.

[8] Лапенко О.І., Степанчук О.В., Буравченко С.Г. Містобудівні та фізичні параметри міських просторів. *Містобудування та територіальне планування*. 2023. № 83. С. 156–171.

[9] Організація та регулювання дорожнього руху : підручник / В.П. Поліщук та ін. Київ : Знання України, 2014. 467 с.

[10] Осетрін М.М., Беспалов Д.О. Дослідження транспортних і пішохідних потоків на перетинах міських магістралей в різних рівнях. *Містобудування та територіальне планування*. 2010. № 36. С. 333–336.

[11] Планування і забудова територій: ДБН Б.2.2-12:2019. [Чинний від 2019-11-01]. Київ : Мінрегіон України, 2019. 179 с. (Державні будівельні норми).

[12] Пустовойт Р.О., Степанчук О.В. Визначення оптимальної ширини пішохідної зони на території аеровокзальних комплексів. *Airport Planning, Construction and Maintenance Journal*. 2024. № 1(3). С. 40–46.

[13] Рейцен Є.О. Організація і безпека міського руху : навчальний посібник. Київ : СІК ГРУП Україна, 2014. 454 с.

[14] Систематологія на транспорті. Організація дорожнього руху / Е.В. Гаврилов та ін. Київ : Знання України, 2007. 452 с

[15] Степанчук О.В. Ефективні методи розподілення транспортних потоків на вулично-дорожній мережі в сучасних умовах. *Вісник Інженерної академії України*. 2013. № 3–4. С. 171–174.

[16] Степанчук О.В. Обстеження пішохідних потоків на вулично-дорожній мережі міст. *Проблеми*

розвитку міського середовища. 2020. № 2(25). С. 171–181.

[17] Степанчук О.В. Проектування тротуарів на магістральних вулицях крупних і найкрупніших міст. *Матеріали VI міжнар. наук.-прак. конф. «Прикладні науково-технічні дослідження»*, 14–16 травня 2024 р. Івано-Франківськ, 2024. С. 171–173.

[18] Степанчук О.В. Сутність ефективності функціонування вулично-дорожньої мережі міст. *Проблеми розвитку міського середовища*. 2016. № 1(15). С. 133–143.

[19] Тімкіна С.Ю., Степанчук О.В. Принципи організації руху пішохідних потоків у контактній зоні розміщення зупинок маршрутного транспорту. *Авіа-2021 : Міжнародна науково-технічна конференція*, 20–22 квітня 2021 р. Київ : НАУ, 2021. С. 20.23–20.27.

[20] Roger MacKett. How to Reduce the Number of Short Trips by Car. European Transport Conference, Centre for Transport Studies, University College London, 2000. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/330554508_Reducing_the_Number_of_Short_Trips_by_Car

REFERENCES

[1] Ministry of Regional Development of Ukraine. (2018). Vulytsi i dorohy naselennykh punktiv: DBN V.2.3-5:2018 [Streets and Roads of Settlements: DBN V.2.3-5:2018]. Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine [in Ukrainian].

[2] Pershakov, V.M., Belyatynskyi, A.O., Stepanchuk, O.V., & Krotov, R.V. (2015). *Doslidzhennia transportnykh potokiv v aspekti zatorovykh staniv dorozhnoho rukhu [Study of Traffic Flows in the Aspect of Traffic Congestion States]*. Kyiv: NAU [in Ukrainian].

[3] D'omin, M.M. (1991). *Upravlinnia rozvytkom mistobudivnykh system [Management of Urban Development Systems]*. Kyiv: Budivel'nyk [in Ukrainian].

[4] Kutsyna, I.A. (2017). *Klasyfikatsiia elementiv pishokhidnoi infrastruktury [Classification of Pedestrian Infrastructure Elements]*. *Mistobuduvannia ta terytorial'ne planuvannia*, 65, 291–297 [in Ukrainian].

[5] Kutsyna, I.A. (2016). *Metodyka vyznachennia rivnia obsluhovuvannia pishokhodiv [Methodology for Determining the Level of Pedestrian Service]*. *Suchasni problemy arkhitektury ta mistobuduvannia*, 44, 154–161 [in Ukrainian].

[6] Kutsyna, I.A. (2016). *Modul' orhanizatsii pishokhidnoho rukhu v zahal'nomis'komu tsentri na prykladi m. Uzhhoroda [Module for Organizing Pedestrian Traffic in the City Center Based on Uzhhorod]*. *Mistobuduvannia ta terytorial'ne planuvannia*, 62, 327–332 [in Ukrainian].

[7] Kutsyna, I.A. (2017). *Strukturno-metodychna skhema doslidzhennia pishokhidnoho rukhu z vrakhuvanniam etapiv mistobudivnoi dokumentatsii [Structural and Methodological Scheme for Studying Pedestrian Traffic Considering Urban Planning Documentation Stages]*. *Suchasni problemy arkhitektury ta mistobuduvannia*, 49, 326–329 [in Ukrainian].

[8] Lapenko, O.I., Stepanchuk, O.V., & Buravchenko, S.H. (2023). *Mistobudivni ta fizychni parametry miskykh prostoriv [Urban and Physical*

Parameters of Urban Spaces]. *Mistobuduvannia ta terytorial'ne planuvannia*, 83, 156–171.

[9] Polishchuk, V.P., Bakulich, O.O., Dziuba, O.P., et al. (2014). *Orhanizatsiia ta rehuliuivannia dorozhnoho rukhu: pidruchnyk [Organization and Regulation of Traffic: Textbook]*. Kyiv: Znannia Ukrainy [in Ukrainian].

[10] Osetrin, M.M., & Bepalov, D.O. (2010). Doslidzhennia transportnykh i pishokhidnykh potokiv na peretynakh miskykh mahistralei v riznykh rivniakh [Study of Traffic and Pedestrian Flows at Intersections of Urban Highways at Different Levels]. *Mistobuduvannia ta terytorial'ne planuvannia*, 36, 333–336 [in Ukrainian].

[11] Ministry of Regional Development of Ukraine. (2019). Planuvannia i zabudova terytorii: DBN B.2.2-12:2019 [Planning and Development of Territories: DBN B.2.2-12:2019]. Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine [in Ukrainian].

[12] Pustovoyt, R.O., & Stepanchuk, O.V. (2024). Vyznachennia optymal'noi shyryny pishokhidnoi zony na terytorii aerovokzal'nykh kompleksiv [Determination of the Optimal Width of the Pedestrian Zone in the Area of Airport Complexes]. *Airport Planning, Construction and Maintenance Journal*, 1(3), 40–46 [in Ukrainian].

[13] Reitsen, Ye.O. (2014). *Orhanizatsiia i bezpeka mis'koho rukhu: navchal'nyi posibnyk [Organization and Safety of Urban Traffic: Textbook]*. Kyiv: TOV «SIK HRUP Ukraina» [in Ukrainian].

[14] Havrylov, Ye.V., Dmytrychenko, M.F., & Dolia, V.K., et al. (2007). *Systematohiia na transporti. Orhanizatsiia dorozhnoho rukhu [Systematology in Transport. Organization of Traffic]*. Kyiv: Znannia Ukrainy [in Ukrainian].

[15] Stepanchuk, O.V. (2013). Efektyvni metody rozpodilennia transportnykh potokiv na vulychno-

dorozhnii merezhi v suchasnykh umovakh [Effective Methods of Distributing Traffic Flows on the Street-Road Network in Modern Conditions]. *Visnyk Inzhenerskoi akademii Ukrainy*, (3–4), 171–174 [in Ukrainian].

[16] Stepanchuk, O.V. (2020). Obstezhennia pishokhidnykh potokiv na vulychno-dorozhnii merezhi mist [Survey of Pedestrian Flows on the Street-Road Network of Cities]. *Problemy rozvytku miskoho seredovyscha*, 2(25), 171–181 [in Ukrainian].

[17] Stepanchuk, O.V. (2024). Proektuvannia trotuariv na mahistralnykh vulytsiakh krupnykh i naikripnishykh mist [Design of Sidewalks on Major Streets of Large and Largest Cities]. In *Materialy VI mizhnar. nauk.-prak. konf. «Prykladni naukovo-tekhnichni doslidzhennia»*, 14–16 May 2024 (pp. 171–173). Ivano-Frankivsk [in Ukrainian].

[18] Stepanchuk, O.V. (2016). Sutnist efektyvnosti funktsionuvannia vulychno-dorozhnoi merezhi mist [The Essence of the Efficiency of the Functioning of the Street-Road Network of Cities]. *Problemy rozvytku miskoho seredovyscha*, 1(15), 133–143 [in Ukrainian].

[19] Timkina, S.Yu., & Stepanchuk, O.V. (2021). Pryntsypy orhanizatsii rukhu pishokhidnykh potokiv v kontaktzii zoni rozmishchennia zupynok marshrutnoho transportu [Principles of Organizing Pedestrian Traffic in the Contact Zone of Bus Stops]. In *Avia-2021: Mizhnarodna naukovo-tekhnichna konferentsiia*, 20–22 April 2021 (pp. 20.23–20.27). Kyiv: NAU [in Ukrainian].

[20] MacKett, R. (2000). How to reduce the number of short trips by car. In European Transport Conference. Centre for Transport Studies, University College London. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/330554508_Reducing_the_Number_of_Short_Trips_by_Car [in English].

ABSTRACT

Stepanchuk O., Chernyshova O., Omelianenko M. Characteristics and Regularities of Pedestrian Movement on Urban Streets.

The article discusses the development of pedestrian infrastructure in cities amid increasing transportation problems. The necessity of improving urban infrastructure to accommodate pedestrians' needs for creating a comfortable and safe environment is justified.

Purpose. *The purpose of the work is to study the features and patterns of pedestrian movement on the main streets of cities and at transport interchange nodes to understand the importance of transport infrastructure solutions and safety aspects for pedestrians in an urban environment.*

Methodology. *Research methods: analysis of literary sources and materials related to the study of the features and patterns of pedestrian movement on city streets and at transport interchange nodes.*

Results. *Ways to enhance pedestrian mobility conditions, which contribute to reducing traffic congestion on streets and at transportation hubs, and improve the ecological situation in urban areas, are proposed. Factors influencing pedestrian movement in the city are considered, emphasizing the importance of considering psychophysiological characteristics and physical abilities of people, as well as age-related factors when developing technical solutions for urban pedestrian infrastructure.*

Scientific novelty. *For the first time, this article comprehensively examines the relationship between pedestrian movement characteristics on main streets and*

at transportation interchange hubs and the overall efficiency of urban infrastructure amid growing transportation problems. These results are crucial for developing strategies and plans for urban infrastructure development aimed at ensuring convenience and safety for pedestrians in urban settings.

Practical relevance. An assessment of the main parameters affecting pedestrian movement is conducted, namely: pedestrian density, pedestrian flow speed, pedestrian intensity, safety, infrastructure accessibility, comfort, route connectivity, and social interaction, which are essential components necessary for creating effective and comfortable urban infrastructure. This infrastructure helps increase the physical activity of the population, attractiveness of pedestrian movement, and reduce the transportation burden on the urban environment.

Keywords: urban environment, urban infrastructure, traffic flow, pedestrian flow, pedestrian movement, transportation hub, street, city.

AUTHOR'S NOTE:

Stepanchuk Oleksandr, Doctor of Technical Sciences, Professor, National Aviation University, Kyiv, Ukraine, e-mail: oleksandr.stepanchuk@npp.nau.edu.ua, orcid: 0000-0002-2822-3471.

Chernyshova Oksana, Doctor of philosophy (PhD), Associate Professor, National Aviation University, Kyiv, Ukraine, e-mail: oksana.chernyshova@npp.nau.edu.ua, orcid: 0000-0002-8132-2153.

Omelianenko Maksym, Doctor of Technical Sciences, Professor, National Aviation University, Kyiv, Ukraine, e-mail: maksym.omelianenko@npp.nau.edu.ua, orcid: 0000-0002-5692-8890.

Стаття подана до редакції 15.06.2024.