

УДК 711.73

DOI <https://doi.org/10.32782/2415-8151.2025.35.7>

ВПЛИВ ПІШОХІДНИХ І ПАСАЖИРСЬКИХ ПОТОКІВ НА ІНЖЕНЕРНО-ПЛАНУВАЛЬНІ РІШЕННЯ ЗУПИНОК МАРШРУТНОГО ТРАНСПОРТУ

Степанчук Олександр Васильович¹, Тімкіна Світлана Юріївна²,
Чернишова Оксана Сергіївна³

¹доктор технічних наук, професор,
професор кафедри комп'ютерних технологій будівництва,
Державний університет «Київський авіаційний інститут», Київ, Україна,
e-mail: oleksandr.stepanchuk@npp.nau.edu.ua, orcid: 0000-0002-2822-3471

² кандидат технічних наук,
доцент кафедри інфраструктури авіаційного транспорту,
Державний університет «Київський авіаційний інститут», Київ, Україна,
e-mail: svitlana.timkina@npp.nau.edu.ua, orcid: 0000-0003-2418-2032

³ кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри інфраструктури авіаційного транспорту,
Державний університет «Київський авіаційний інститут», Київ, Україна,
e-mail: oksana.chernyshova@npp.nau.edu.ua, orcid: 0000-0002-8132-2153

Анотація. У статті розглянуто питання щодо взаємодії пішохідних і пасажирських потоків у зоні зупинок маршрутного транспорту на магістральних вулицях міст, унаслідок чого виникають конфліктні ситуації, які впливають на комфорт, безпеку та ефективність роботи транспорту. Обґрунтовано сучасні підходи до аналізу й моделювання взаємодії потоків для забезпечення безпеки й зручності функціонування елементів міської транспортної інфраструктури з урахуванням потреб пішоходів.

Метою є дослідження впливу пішохідних і пасажирських потоків на інженерно-планувальні рішення зупинок маршрутного транспорту. Автори аналізують часові витрати на посадку, висадку та очікування, а також пропонують рекомендації щодо вдосконалення організації зупинок для підвищення ефективності роботи міського транспорту.

Методологія базується на огляді сучасних наукових досліджень, аналізі взаємодії пішохідних і пасажирських потоків, моделюванні конфліктних ситуацій та оцінці впливу потоків на транспортну інфраструктуру. У роботі застосовано математичне моделювання для визначення ймовірності виникнення конфліктів у різних умовах, а також експериментальні дані для аналізу часових втрат у зоні зупинок.

Результати. Установлено, що неефективне планування зупинок громадського транспорту є однією з основних причин затримок і зниження якості транспортного обслуговування. Запропонована модель конфліктів дає змогу ідентифікувати найбільш критичні зони та оптимізувати їх організацію, зокрема завдяки розширенню посадкових майданчиків, розподілу потоків і створення окремих зон для очікування. Використання сучасних технологій моніторингу потоків сприяє точнішому прогнозуванню пікових навантажень й адаптації інфраструктури до змінних умов.

Наукова новизна дослідження полягає у створенні універсальної моделі аналізу та прогнозування взаємодії між пішохідними й пасажирськими потоками

в зоні зупинок маршрутного транспорту. Ця модель дає змогу враховувати щільність, швидкість і типи потоків для розробки інженерно-планувальних рішень, які мінімізують конфлікти та зменшують часові втрати.

Практична значущість полягає в можливості впровадження розроблених рекомендацій під час проєктування й реконструкції зупинок маршрутного транспорту. Це сприятиме зменшенню затримок, підвищенню безпеки пішоходів і комфорту пасажирів, а також покращенню загальної ефективності міської транспортної системи.

Ключові слова: пішохідні потоки, пасажирські потоки, зупинки маршрутного транспорту, конфліктність, транспортна інфраструктура, міський пасажирський транспорт.

ВСТУП

На сучасних міських вулицях функціонування маршрутного транспорту відіграє ключову роль у забезпеченні мобільності населення. Зупинки громадського транспорту стають точками інтенсивної взаємодії пасажирських і пішохідних потоків, що вимагає ретельного інженерно-планувального підходу до їх організації. Неефективне розміщення зупинок часто призводить до затримок транспорту, підвищення аварійності та зниження якості транспортного обслуговування. Окрім цього, надмірне скупчення пасажирів та хаотичний рух пішоходів створюють дискомфорт і небезпеку як для користувачів транспорту, так і для інших учасників дорожнього руху.

Проблема ускладнюється нерівномірним розподілом потоків у пікові години, що викликає збільшення часу посадки й висадки пасажирів. Часові втрати на зупинках впливають на ефективність транспортних маршрутів і збільшують загальну тривалість переміщення людей як на міському транспорті, так і пішки. Неналежно організовані пішохідні зони біля зупинок можуть спричиняти додаткові затримки транспорту через перетини пішохідних потоків з рухомими транспортними засобами. Водночас важливо враховувати, що оптимізація зупинок повинна забезпечувати зручний доступ для пасажирів і сприяти безперервному та безпечному руху пішоходів.

Ці виклики вимагають комплексного аналізу й наукового підходу до проєктування зупинок маршрутного транспорту. У статті розглянуто вплив пішохідних і пасажирських потоків на планувальні рішення, а також обґрунтовано значення зменшення часових втрат на посадку, висадку та очікування транспорту.

Розвиток міських транспортних систем супроводжується збільшенням інтенсивності пішохідних і пасажирських потоків, що створює значний тиск на інфраструктуру зупинок

маршрутного транспорту. Неефективне планування цих зупинок часто спричиняє затори, небезпеку для пішоходів та незручності для пасажирів. Основною проблемою є відсутність комплексного підходу до врахування часових витрат на посадку, висадку й очікування транспорту в умовах різної інтенсивності руху. Наявні інженерно-планувальні рішення часто не відповідають сучасним вимогам безпеки, комфорту та швидкості транспортного обслуговування. Неврахування взаємодії пішохідних і транспортних потоків призводить до підвищення аварійності та зниження пропускної здатності вулиць. У результаті пасажирів стикаються із затримками, а міська інфраструктура стає менш ефективною. Ця ситуація вимагає розробки нових методів планування, які враховуватимуть вплив обох видів потоків на функціонування зупинок маршрутного транспорту.

У статті ми розглянемо важливість аналізу руху потоків людей та його застосування під час проєктування міських вулиць і транспортно-пересадочних вузлів. Аналіз пішохідних і пасажирських потоків є основою для оптимізації інженерно-планувальних рішень, що сприяють зменшенню часу очікування, посадки та висадки пасажирів на зупинках. Коректне планування з урахуванням інтенсивності руху дає змогу знизити затори, покращити безпеку на вулицях та створити комфортні умови для пішоходів і пасажирів. Це особливо важливо для великих міст, де зупинки громадського транспорту є точками концентрації великої кількості людей, що потребує ефективного управління потоками.

Правильне проєктування транспортно-пересадочних вузлів дає змогу забезпечити зручний і безпечний доступ до транспорту для різних категорій населення, зокрема для людей з інвалідністю. Крім того, врахування особливостей пішохідних потоків допомагає знизити небезпеку виникнення

ДТП та сприяє покращенню екологічної ситуації в місті завдяки зменшенню кількості транспортних заторів. Урахування цих факторів у процесі проектування дасть змогу не лише покращити ефективність роботи транспорту, а й підвищити загальний комфорт міського середовища для його мешканців.

АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Останні дослідження в галузі міського транспорту та пішохідних потоків свідчать про дедалі більшу важливість інтеграції цих потоків при проектуванні зупинок маршрутного транспорту та транспортно-пересадочних вузлів. Виявлено, що ефективність транспорту залежить не лише від пропускну здатності транспортних засобів, а й від зручності та безпеки пішохідних маршрутів. За даними останніх публікацій, оптимізація пішохідних і пасажирських потоків дає змогу зменшити час затримок на зупинках та покращити загальну ефективність міської транспортної системи.

Дослідження закордонних фахівців, зокрема роботи [22–25], демонструють, що ефективне управління пішохідними потоками може значно покращити транспортну ситуацію на зупинках і перехрестях. Ці дослідження зосереджуються на впливі різних типів міських вулиць на поведінку пішоходів й оптимізації часового інтервалу на посадку залежно від інтенсивності потоків.

Вітчизняні дослідники у своїх роботах [4–8; 13; 16; 17] звертають увагу на специфіку пішохідних потоків у містах України та методи розрахунку їх впливу на транспортні вузли. Деякі роботи, зокрема [1–3; 9–11; 14–15; 18–21], пропонують рекомендації щодо моделювання та проектування міської транспортної інфраструктури з урахуванням локальних особливостей.

Попередні дослідження у сфері аналізу пішохідних і пасажирських потоків на зупинках маршрутного транспорту виявили низку проблем, пов'язаних із неефективним розподілом інфраструктури та недостатнім урахуванням взаємодії різних типів потоків. Зокрема, одним з основних питань є відсутність єдиних методик для оцінки впливу пішоходів на час очікування та процес посадки / висадки пасажирів на зупинках. Дослідження, проведені як вітчизняними, так і закордонними фахівцями, указують на необхідність більш глибокого аналізу впливу пішохідних потоків на ефективність роботи транспортної системи, зокрема в умовах великих міст із високою щільністю населення.

Ключовими завданнями для подальших досліджень є розробка ефективних методів

моделювання взаємодії пішохідних і пасажирських потоків, удосконалення планування зупинок з урахуванням цих потоків, а також розробка нових інженерно-планувальних рішень для забезпечення безпеки та зручності для користувачів транспорту.

МЕТА

Мета роботи – дослідити вплив пішохідних і пасажирських потоків на інженерно-планувальні рішення зупинок маршрутного транспорту. Автори аналізують часові витрати на посадку, висадку та очікування, а також пропонують рекомендації щодо вдосконалення організації зупинок для підвищення ефективності роботи міського транспорту.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Огляд сучасних досліджень показує, що багато інженерно-планувальних рішень не враховують високого рівня взаємодії між різними видами потоків, що призводить до нерационального використання міського простору. Одним із важливих напрямів є дослідження взаємодії пасажирських потоків із пішоходами, що дає змогу значно зменшити кількість заторів і підвищити безпеку саме на зупинках маршрутного транспорту.

Проведені нами дослідження також виявили, що застосування сучасних технологій для моніторингу й управління потоками дає змогу підвищити точність прогнозування й забезпечити реальнішу картину навантаження на транспортну інфраструктуру. У публікаціях за останні кілька років акцентується увага на важливості врахування різних типів потоків на зупинках маршрутного транспорту, зокрема в умовах міських районів з високою щільністю населення. Аналіз публікацій підтверджує, що інженерно-планувальні рішення повинні бути гнучкими та адаптивними до змінних умов, як-от сезонні коливання пасажиропотоку чи неочікувані події.

Під час проектування міських вулиць значно акцентується на транспортних потоках, зокрема на автомобільному транспорті, тоді як пішохідний рух часто залишається поза увагою. Такий підхід стає причиною недостатньо продуманого планування тротуарів, що, зокрема, погіршує умови безпеки та знижує комфорт пішохідного руху. Особливо гострою ця проблема стає в місцях розташування зупинок громадського транспорту та в їхніх зонах впливу, які є одними з найконфліктніших ділянок міського пішохідного середовища.

На сьогодні однією з головних проблем пішохідного руху на вулицях міст є складність

інтеграції міської пішохідної інфраструктури з транспортними вузлами та зупинками маршрутного транспорту. Це призводить до виникнення заторів, підвищення часу перебування пасажирів на зупинках і виведення транспорту з оптимального графіка. Також виявлено, що недостатня увага до детального планування зупинок маршрутного транспорту може погіршити безпеку пішоходів і пасажирів, що критично важливо для міст з високим рівнем населення [18].

Ефективне планування зупинок маршрутного транспорту з урахуванням пішохідних і пасажирських потоків значно покращує функціонування транспортної системи в умовах високої щільності міського населення. Оцінка часових витрат на посадку, висадку та очікування транспорту на зупинках, а також взаємодія між потоками пішоходів і пасажирів дає змогу визначити найбільш вразливі місця, що потребують оптимізації. Виявлено, що в умовах пікових навантажень найбільше часу витрачається на пересування пішоходів, які потрапляють у потоки пасажирів, що призводить до заторів на зупинках й уповільнення руху транспорту. Це підвищує загальний час поїздки та знижує ефективність функціонування усієї транспортної системи міста.

Проведені дослідження також показали, що без належного планування зупинок, яке враховує взаємодію пішоходів і пасажирів, виникають проблеми з безпекою, зокрема, збільшується ймовірність дорожньо-транспортних пригод, особливо в зонах інтенсивного пішохідного руху [12]. Оптимізація планування та розміщення зупинок потребує врахування інтенсивності пішохідних потоків та їх впливу на час посадки та висадки.

Порівняння отриманих результатів [18] з попередніми дослідженнями [1; 4–8] вказує на важливість інтеграції пішохідної інфраструктури в загальну транспортну систему. Як показали результати, використання адаптивних методів управління потоками, як-от застосування сучасних технологій для моніторингу та управління рухом, що дає змогу не лише зменшити час затримок, а й підвищити безпеку учасників дорожнього руху, може призвести до значного поліпшення якості транспортних послуг і зменшення екологічного навантаження на міські території.

Важливо зазначити, що для досягнення максимального ефекту необхідно враховувати локальні особливості кожного міста, зокрема рівень урбанізації, транспортну інфраструктуру та специфіку пішохідних потоків. Розробка нових інженерно-планувальних рішень, що містять гнучкі підходи до організації

зупинок, дасть змогу значно підвищити ефективність функціонування міських транспортних систем.

Як зазначено в роботі [18], крім пасажирів, які перебувають на зупинці громадського транспорту та виконують дії, пов'язані з очікуванням, посадкою чи висадкою, через такі зупинки зазвичай проходять транзитні пішоходи, що рухаються вздовж вулиці. Вивчаючи особливості функціонування зупинок громадського транспорту на магістральних міських вулицях, варто зазначити, що на ці процеси суттєво впливає як пасажирообіг, так і пішохідні потоки.

Переважаюча частина посадкових майданчиків на зупинках громадського транспорту в українських містах облаштована на пішохідних тротуарах. Так, пасажирів чекають на транспорт, здійснюють посадку або висадку безпосередньо з тротуару. Це спричиняє конфліктні ситуації між основним потоком пішоходів і людьми, які чекають на транспорт чи користуються ним [16].

Дослідження та аналіз особливостей пішохідного руху в місцях розташування зупинок громадського транспорту є важливим інструментом для вдосконалення інженерно-планувальних рішень посадкових майданчиків. Завдяки такому підходу можна визначити характерні риси руху пішоходів через зупинки та скоротити витрати часу не лише для пішоходів, а й для пасажирів громадського транспорту.

Пішохідний рух є одним із ключових функціональних процесів, характерних для вуличного простору кожного населеного пункту. Для забезпечення пересування пішоходів на вулицях передбачені тротуари, доріжки, а також різні види пішохідних переходів – наземні, підземні й надземні. У загальній структурі міських переміщень частка пішохідного руху становить приблизно 26–30 %, водночас саме пішоходи є найбільш чисельною групою серед учасників дорожнього руху [13].

Одним із ключових показників, що визначає якість умов для пішохідного руху на міських вулицях, є швидкість пересування пішоходів. Цей параметр залежить від низки факторів, серед яких можна виокремити такі: інтенсивність пішохідного потоку, ширина пішохідних комунікацій, нахил траси та наявність перешкод. Крім цього, на швидкість руху впливають зовнішні умови, як-от температура повітря, час доби, а також індивідуальні фактори – вік, стан здоров'я, мета пересування та якість дорожніх умов.

Щільність пішохідного потоку та особливості маршруту переміщення також значною

мірою визначають швидкість пересування. Тип шляху, незалежно від зовнішніх факторів, відіграє важливу роль у формуванні параметрів пішохідного руху.

Аналізуючи взаємодію між пішохідними потоками, що рухаються вздовж вулиці тротуаром, і людьми, які чекають на громадський транспорт або здійснюють посадку та висадку, варто звернути увагу на закономірності, що визначають формування таких потоків.

До основних закономірностей формування пішохідного руху [6; 7; 13; 16; 18] належать:

- більшість пішоходів пересувається цілеспрямовано, прямуючи до конкретних об'єктів, як-от зупинки громадського транспорту, станції метро, торговельні центри, підприємства, стадіони тощо;

- пішоходи зазвичай обирають найкоротший можливий маршрут;

- швидкість руху пішоходів залежить від індивідуальних особливостей, включно з віком, статтю та поточною ситуацією;

- люди дотримуються певної дистанції, яка визначається щільністю потоку та швидкістю пересування.

Рух пішоходів на тротуарах у зонах зупинок громадського транспорту можна класифікувати за такими видами [16; 18]:

- одиночний – пішоходи рухаються зі значними інтервалами вздовж тротуару;

- масовий – характеризується високою інтенсивністю руху в одному чи декількох напрямках;

- неупорядкований – рух на невеликій території здійснюється в різних напрямках без системності;

- хаотичний – траєкторії руху пішоходів не мають визначеного порядку;

- потоковий – інтенсивний масовий рух пішоходів в одному напрямку протягом тривалого часу;

- вільний – кожен учасник руху може змінювати напрямок і швидкість у будь-який момент;

- щільний – свобода дій пішоходів обмежена іншими учасниками потоку;

- довготривалий – потік пішоходів рухається в одному напрямку протягом тривалого часу;

- короточасний – основна маса людей починає та завершує рух у короткий проміжок часу, наприклад, під час посадки або висадки з транспорту.

Серед цих типів руху найбільше уповільнення пішоходів у зоні зупинки громадського транспорту спричиняють масовий, неупорядкований, потоковий та щільний рух.

У місцях розташування зупинок громадського транспорту рух пішоходів можна поділити на дві ключові зони: зону руху та контактну зону.

Зона руху – це простір, відведений для цілеспрямованого пересування пішоходів до конкретної мети. Для забезпечення комфортного пересування щільність пішохідного потоку в цій зоні не повинна перевищувати $0,8 \text{ осіб/м}^2$, а швидкість руху має становити $1,1\text{--}1,2 \text{ м/с}$ [18].

Контактна зона – територія, що прилягає до зупинки транспорту, де переважає хаотичний, спрямований у різні боки, циклічний рух людей.

Однією з ключових умов для ефективного управління пішохідним рухом у зоні зупинки громадського транспорту є врахування взаємодії між потоками пішоходів, що переміщуються тротуаром, та рухом, пов'язаним із посадкою і висадкою пасажирів із транспортного засобу. Практика демонструє, що лише ретельне врахування цих взаємозв'язків дає змогу забезпечити максимальну ефективність заходів, спрямованих на організацію пішохідного руху в таких зонах.

Для належної організації руху пішоходів у межах посадкової платформи важливо враховувати психологічні аспекти поведінки людей. Поведінка пішоходів навіть у щільному потоці є складною для прогнозування й управління. Відомо, що процес руху людських потоків значно залежить від психологічного стану й фізичних можливостей учасників.

У межах проведених натурних досліджень аналізувався двосторонній рух пішоходів на тротуарі, що перетинає посадковий майданчик зупинки громадського транспорту [16; 18]. Результати цих досліджень дали змогу виокремити основні принципи організації пішохідного руху в зоні зупинок:

- створення окремих маршрутів для пішоходів, що пересуваються вздовж вулиці, уникаючи зупинок;

- облаштування зупинок та пересадочних вузлів так, щоб вони мінімізували конфлікти між учасниками руху;

- комплексний підхід до організації руху як на підходах до зупинки, так і на посадковому майданчику.

Ефективна організація пішохідного руху в містах є важливим складником забезпечення комфортних умов пересування не лише для пішоходів, а й для пасажирів громадського транспорту та всіх учасників міського руху. У випадках, коли інженерно-планувальні рішення для зупинок маршрутного транспорту

не відповідають потребам учасників руху, зростає ризик виникнення конфліктних ситуацій. Тому під час проектування зупинок важливо застосовувати моделювання пішохідного руху, зокрема, урахувуючи поведінкові особливості людей у контактній зоні.

На основі проведених теоретичних й експериментальних досліджень розроблено модель взаємодії та впливу між учасниками руху в зоні зупинки громадського транспорту. До основних груп учасників руху, які перебувають у зоні впливу зупинки, належать водії, пасажирів та пішоходи.

Взаємодія між цими учасниками дуже часто створює конфліктні ситуації, які призводять до погіршення умов руху пішоходів, пасажирів та транспорту на вулицях міст.

Конфлікти між учасниками руху на посадковому майданчику зупинки маршрутного транспорту виникають унаслідок взаємодії пішоходів, пасажирів, які чекають на транспортний засіб, і тих, хто здійснює посадку або висадку. Конфліктність може бути спричинена обмеженням простором, недосконаліми інженерно-планувальними рішеннями та непередбачуваністю поведінки учасників руху.

Розробка математичної моделі, яка враховує ймовірність виникнення конфліктів, дає змогу оцінити вплив щільності потоків та просторових обмежень на ефективність функціонування посадкового майданчика й запропонувати інженерні рішення для їх зменшення.

Для оцінки конфліктності між пішоходами та пасажирями на зупинці можна використати ймовірнісну модель. Нехай $P_{conflict}$ – це загальна ймовірність виникнення конфлікту між учасниками руху на посадковому майданчику. Вона залежить від ймовірностей конфліктів між окремими парами учасників (p_i).

Формула для розрахунку ймовірності конфліктів має такий вигляд:

$$P_{conflict} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - p_i),$$

де n – кількість пар учасників, які можуть вступити в конфлікт; p_i – ймовірність конфлікту між конкретною парою учасників i .

Ймовірності p_i можна визначити експериментально, залежно від щільності потоків та типу взаємодій.

Ця формула базується на принципі доповнення, де загальна ймовірність конфлікту – це доповнення до ймовірності, що конфлікт не виникне між жодною парою.

Розглянемо фактори, які впливають на ймовірність конфлікту на вулиці міста в зоні впливу зупинки маршрутного транспорту. Для розрахунку p_i потрібно врахувати такі фактори:

– *щільність потоків*. Зрозуміло: що більше людей перебуває на посадковому майданчику, то більша ймовірність їхньої взаємодії та виникнення конфліктів. Для моделювання щільності можна використати співвідношення $\rho = N/A$, де N – кількість людей на майданчику, а A – площа майданчика;

– *швидкість руху*. Вища швидкість учасників зменшує час взаємодії, що може знизити ймовірність конфліктів;

– *інфраструктурні обмеження*. Наявність вузьких проходів, відсутність зон для очікування або недостатня ширина майданчика збільшує кількість конфліктів;

– *типи учасників*. Пасажирів, які чекають на транспорт, можуть перешкоджати руху пішоходів, що проходять через майданчик. Пасажирів, які виходять, можуть створювати конфлікти з тими, хто входить у транспортний засіб.

Ймовірності p_i для різних пар учасників визначаються експериментально для кожного локального місця вуличного простору, прийнявши:

p_1 – конфлікт між пішоходами, які рухаються по тротуару через зупинку, і пасажирями, які чекають на транспортний засіб;

p_2 – конфлікт між пасажирями, які здійснюють посадку і висадку з пасажирського транспортного засобу;

p_3 – конфлікт між пішоходами, які проходять через зупинку, і пасажирями, які висаджуються.

Тоді така модель дає змогу оцінити загальну ймовірність виникнення конфлікту $P_{conflict}$.

Модель конфліктів на посадковому майданчику маршрутного транспорту є важливим інструментом для оцінки та оптимізації взаємодії пішохідних і пасажирських потоків. Її використання дає змогу аналізувати причини конфліктів, прогнозувати їх ймовірність у різних умовах та пропонувати ефективні планувальні рішення. Використання цієї моделі сприяє покращенню організації руху, підвищенню рівня безпеки та комфорту для всіх учасників транспортного й пішохідного потоків. Це дає змогу визначити основні напрями практичного використання моделі та її вплив на проектування й експлуатацію зупинок маршрутного транспорту.

Практичне застосування запропонованої моделі допомагає визначити пріоритетність упровадження заходів, спрямованих на покращення умов руху пішоходів й обслуговування пасажирів на зупинках маршрутного транспорту.

Серед ключових запропонованих заходів варто виокремити:

- удосконалення планувальних рішень зупинок маршрутного транспорту, зокрема розширення посадкового майданчика або збільшення його довжини;

- розподіл пішохідних і пасажирських потоків шляхом створення окремих смуг для пішоходів, які проходять транзитом через зупинку, і тих, хто очікує посадки або висадки з транспортного засобу. Це дає змогу мінімізувати взаємодії між потоками, що часто стають причиною конфліктів;

- оптимізація зон очікування, зокрема облаштування зон очікування на певній відстані від основного потоку пішоходів, а також забезпечення достатньої кількості місць для сидіння в павільйоні зупинки.

Запропонована модель також дає змогу визначити періоди доби або дні тижня, коли конфліктність на посадковому майданчику досягає найвищого рівня. Для цього використовують дані про пасажиропотоки в пікові години. Крім того, модель дає змогу оцінити вплив змін у пасажиропотоці на рівень конфліктності, що важливо для прогнозування наслідків інфраструктурних змін.

Модель конфліктів на посадковому майданчику є універсальним інструментом для аналізу та прогнозування взаємодії між різними групами учасників руху. Вона дає змогу виявляти найбільш конфліктні пари учасників, оцінювати загальний рівень конфліктності в зоні та розробляти ефективні інженерно-планувальні рішення для її зменшення.

ВИСНОВКИ

У роботі розглянуто проблему взаємодії пішохідних і пасажирських потоків на посадкових майданчиках зупинок громадського транспорту. Виявлено, що конфлікти між цими потоками часто спричиняють невідповідні інженерно-планувальні рішення, які не враховують високої щільності й варіативності пішохідних та пасажирських потоків. Запропонована модель конфліктів дає змогу ідентифікувати найбільш критичні зони, аналізувати їхню конфліктність і прогнозувати зміни за умови розвитку різних сценаріїв. Використання цієї моделі сприяє підвищенню рівня безпеки, комфорту та ефективності функціонування транспортної системи міст. Практичні рішення, як-от розширення посадкових майданчиків, розподіл потоків і оптимізація зон очікування, мають потенціал значно знизити рівень конфліктності. Особливо важливо враховувати локальні умови та особливості поведінки учасників руху під час

проектування зупинок. Модель також допомагає адаптувати інфраструктуру до пікових навантажень, зменшуючи затримки й підвищуючи її загальну ефективність. Так, застосування описаних рішень є важливим кроком у розвитку міської транспортної інфраструктури.

ЛІТЕРАТУРА

[1] Горбачов П. Ф., Чижик В.М. Дослідження часу очікування пасажирів на зупиночних пунктах міського пасажирського транспорту. Автомобільний транспорт, 2012. № 20. С. 134–138.

[2] Єрмак О. М. Розташування зупиночних пунктів міського пасажирського транспорту : автореф. ... дис. канд. техн. наук : 05.22.01 / Харківська нац. акад. міськ. господарства. Харків, 2010. 14 с.

[3] Колій О. С. Рациональне розташування зупиночних пунктів автобусних та тролейбусних маршрутів відносно регульованих перехресть : дис. .канд. техн. наук : 05.22.01 / Харківський нац. автомобільно-дорожній університет. Харків, 2017. 247 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 врахуванням етапів містобудівної документації. Сучасні проблеми архітектури та містобудування, 2017. № 49. С. 326–329.

[8] 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.

[9] Осетрін М. М., Луценко О. В. Фактори, які визначають вибір інженерно- планувальних рішень перетинів міських магістральних вулиць з кільцевим рухом. Містобудування та територіальне планування. 2015. Вип. 58. С. 354–364.

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

[11] Пустовойт Р. О., Тімкіна С.Ю., Степанчук О. В. Інженерно-планувальні рішення зупинок маршрутного транспорту на прикладі Києва. Теорія та практика дизайну, 2022. № 26. С. 87–96.

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

[13] Степанчук О. В. Обстеження пішохідних потоків на вулично-дорожній мережі міст. Проблеми розвитку міського середовища, 2020. № 2(25). С. 171–181.

[14] 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.

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

[16] Степанчук О. В., Тімкіна С. Ю. Принципи організації руху пішохідних потоків в контактній зоні розміщення зупинок маршрутного транспорту. АВІА-2021 : матеріали міжнар. наук.-техн. конф. (м. Київ, 20–22 квіт. 2021 р.). Київ, 2021. С. 20.23–20.27.

[17] Степанчук О. В., Чернишова О. С., Омеляненко М. В. Особливості та закономірності пішохідного руху на міських вулицях. Теорія та практика дизайну. Архітектура та будівництво. Київ : НАУ, 2024. Вип. 3(33). С. 95–104.

[18] Тімкіна С. Ю. Інженерно-планувальна організація зупинок маршрутного транспорту на магістральних вулицях крупних міст : дис. канд. техн. наук : 05.23.20. Київ, 2024. 182 с.

[19] Тімкіна С. Ю., Степанчук О. В., Белятинський А. Проектування довжини посадкового майданчика зупинок маршрутного транспорту на міських вулицях. Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті : матеріали міжнар. наук.-техн. конф., м. Харків, 20–22 лист. 2019 р. Харків, 2019. С. 89–90.

[20] Чернишова О. С., Степанчук О. В., Дубик О. М. Сучасні вимоги до пішохідних зон аеропортів та залізничних вокзалів з урахуванням потреб маломобільних груп населення. *Airport Planning, Construction and Maintenance Journal*. 2024. № 2(4). С. 141–149.

[21] Timkina S., Stepanchuk O. V., Bieliatynskiy A. A. The design of the length of the route transport stops' landing pad on streets of the city. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2019. № 708. 012032.

[22] Aashtiani, H.Z., Iravani, H., 2002. Application of dwell time functions in transit assignment model. *Transp. Res. Rec.: J. Transp. Res. Board* 1817, 88–92.

[23] Fernandez, R., 2001. A new approach to bus stop modeling. *Traffic Engineering and Control* 42(7), 240–246.

[24] Fernandez R. Питання проектування високоякісних автобусних зупинок. URL: <http://www.ite.org/membersonly/itejournal/pdf/2004/JB04BA77.pdf>

[25] Zedgenizov A. V. Verification of the transit stops capacity model / A. G. Levashev, A. Y. Mikhailov, A. V. Zedgenizov // *Networks for mobility 2008: Proceedings of the 4th International Symposium* / Martin, U. et al. (Eds.). Stuttgart, FOVUS, 2008. P. 23–25.

REFERENCES

[1] Horbachov, P. F., & Chyzyk, V. M. (2012). Doslidzhennia chasu ochikuvannia pasazhyriv na zupynochnoiakh punktakh miskogo pasazhyrs'kogo transportu [Study of passenger waiting time at urban

public transport stops]. *Avtomobilnyi transport*, (20), 134–138. [in Ukrainian].

[2] Yermak, O. M. (2010). Rozmishchennia zupynochnoiakh punktiv miskogo pasazhyrs'kogo transportu [Location of urban public transport stops] (Abstract of PhD thesis). Kharkiv National Academy of Municipal Economy, Kharkiv, Ukraine. [in Ukrainian].

[3] Koli, O. S. (2017). Ratsionalne rozmishchennia zupynochnoiakh punktiv avtobusnykh ta troleibusnykh marshrutiv vidnosno rehuliovanykh perekhrest [Rational location of bus and trolleybus stops near signalized intersections] (PhD dissertation). Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, Ukraine. [in Ukrainian].

[4] Kutsyna, I. A. (2017). Klasyfikatsiia elementiv pishokhidnoi infrastruktury [Classification of pedestrian infrastructure elements]. *Mistobuduvannia ta terytorialne 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 pishokhidnogo rukhu v zahalnomiskomu tsentri na prykladi m. Uzhhoroda [Module for pedestrian traffic organization in the city center using Uzhhorod as a case study]. *Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia*, (62), 327–332 [in Ukrainian].

[7] Kutsyna, I. A. (2017). Strukturno-metodychna skhema doslidzhennia pishokhidnogo rukhu z vrakhuvanniam etapiv mistobudivnoi dokumentatsii [Structural-methodical scheme for studying pedestrian traffic considering stages of urban planning documentation]. *Suchasni problemy arkhitektury ta mistobuduvannia*, (49), 326–329 [in Ukrainian].

[8] Osietrin, M. M., & Bepalov, D. O. (2010). Doslidzhennia transportnykh i pishokhidnykh potokiv na peretynakh miskykh magistralei v riznykh rivniakh [Study of traffic and pedestrian flows at urban arterial intersections at different levels]. *Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia*, (36), 333–336 [in Ukrainian].

[9] Osietrin, M. M., & Lutsenko, O. V. (2015). Faktory, yaki vyznachaiut vybir inzhenerno-planuvalnykh rishen peretyniv miskykh magistralnykh vulyts z kiltsovym rukhom [Factors determining the choice of engineering-planning solutions for urban arterial street intersections with roundabouts]. *Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia*, (58), 354–364 [in Ukrainian].

[10] Pustovoi, R. O., & Stepanchuk, O. V. (2024). Vyznachennia optymalnoi shyryny pishokhidnoi zony na terytorii aerovokzalnykh kompleksiv [Determining the optimal width of pedestrian zones in airport complexes]. *Airport Planning, Construction and Maintenance Journal*, 1(3), 40–46 [in Ukrainian].

[11] Pustovoi, R. O., Timkina, S.Yu., & Stepanchuk, O. V. (2022). Inzhenerno-planuvalni rishennia zupynok marshrutnogo transportu na prykladi Kyieva [Engineering and planning solutions for route transport stops using Kyiv as a case study]. *Teoriia ta praktyka dyzainu*, (26), 87–96 [in Ukrainian].

[12] Reitsen, E. O. (2014). Orhanizatsiia i bezpeka miskoho rukhu [Organization and safety of urban traffic]. Kyiv: TOV "SIK GROUP Ukraina". [in Ukrainian].

[13] 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 mis'kogo seredovyscha*, 2(25), 171–181. [in Ukrainian].

[14] Stepanchuk, O. V. (2024). Proektuvannia trotuariv na magistralnykh vulytsiakh krupnykh i naikrupnykh mist [Design of sidewalks on arterial streets in large and major cities]. In Materials of the VI International Scientific and Practical Conference "Applied Scientific and Technical Research", Ivano-Frankivsk, Ukraine, May 14–16, 2024 (pp. 171–173). [in Ukrainian].

[15] Stepanchuk, O. V. (2016). Sutnist efektyvnosti funktsionuvannia vulychno-dorozhnoi merezhi mist [The essence of the efficiency of the urban street-road network functioning]. *Problemy rozvytku mis'kogo seredovyscha*, 1(15), 133–143. [in Ukrainian].

[16] Stepanchuk, O. V., & Tymkina, S. Y. (2021). Pryntsypy orhanizatsii rukhu pishokhidnykh potokiv v kontaktnii zoni rozmishchennia zupynok marshrutnoho transportu [Principles of organizing pedestrian traffic flows in the contact zone of route transport stops]. In Proceedings of the International Scientific and Technical Conference AVIA-2021, Kyiv, Ukraine, April 20–22, 2021 (pp. 20.23–20.27). [in Ukrainian].

[17] Stepanchuk, O. V., Chernyshova, O. S., & Omelyanenko, M. V. (2024). Osoblyvosti ta zakonomirnosti pishokhidnogo rukhu na miskykh vulytsiakh [Peculiarities and patterns of pedestrian traffic on urban streets]. *Teoriia ta praktyka dyzainu. Arkhitektura ta budivnytstvo*, 3(33), 95–104. [in Ukrainian].

[18] Tymkina, S. Y. (2024). Inzhenerno-planuvanna orhanizatsiia zupynok marshrutnoho transportu na magistralnykh vulytsiakh krupnykh mist [Engineering and planning organization of route transport stops on arterial streets in large cities] (PhD dissertation). Kyiv, Ukraine. [in Ukrainian].

[19] Tymkina, S. Y., Stepanchuk, O. V., & Bieliatynskyi, A. (2019). Proektuvannia dovzhyny posadkovoho maidanchyka zupynok marshrutnoho transportu na miskykh vulytsiakh [Design of the length of landing platforms at urban route transport stops]. In Proceedings of the International Scientific and Technical Conference "Problems of Reliability and Durability of Engineering Structures and Buildings in Railway Transport", Kharkiv, Ukraine, November 20–22, 2019 (pp. 89–90). [in Ukrainian].

[20] Chernyshova, O. S., Stepanchuk, O. V., & Dubyk, O. M. (2024). Suchasni vymohy do pishokhidnykh zon aeroportiv ta zaliznychnykh vokzaliv z urakhuvanniam potreb malomobilnykh hrup naselennia [Modern requirements for pedestrian zones in airports and railway stations considering the needs of people with reduced mobility]. *Airport Planning, Construction and Maintenance Journal*, 2(4), 141–149. [in Ukrainian].

[21] Tymkina, S., Stepanchuk, O. V., & Bieliatynskyi, A. A. (2019). The design of the length of the route transport stops' landing pad on streets of the city. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 708, 012032 [in English].

[22] Aashtiani, H. Z., & Iravani, H. (2002). Application of dwell time functions in transit assignment model. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1817, 88–92 [in English].

[23] Fernandez, R. (2001). A new approach to bus stop modeling. *Traffic Engineering and Control*, 42(7), 240–246 [in English].

[24] Fernandez, R. (2004). Questions on designing high-quality bus stops. Retrieved from: <http://www.ite.org/membersonly/itejournal/pdf/2004/JB04BA77.pdf> [in English].

[25] Zedgenizov, A. V., Levashev, A. G., & Mikhailov, A. Y. (2008). Verification of the transit stops capacity model. In Proceedings of the 4th International Symposium Networks for Mobility (pp. 23–25). Stuttgart, Germany: FOVUS [in English].

ABSTRACT

Stepanchuk O., Tymkina S., Chernyshova O. The impact of pedestrian and passenger flows on the engineering and planning solutions for transit stops

The article addresses the interaction of pedestrian and passenger flows in the area of transit stops on urban arterial streets, which leads to conflicts affecting the comfort, safety, and efficiency of transport operations. Modern approaches to analyzing and modeling flow interactions are substantiated to ensure the safety and convenience of urban transport infrastructure elements, considering the needs of pedestrians.

Purpose. *The study aims to investigate the impact of pedestrian and passenger flows on the engineering and planning solutions of transit stops. The authors analyze time costs for boarding, alighting, and waiting, and propose recommendations for improving the organization of transit stops to enhance the efficiency of urban transport operations.*

The methodology *is based on a review of current scientific research, an analysis of the interaction between pedestrian and passenger flows, modeling of conflict situations, and assessing the impact of flows on transport infrastructure. Mathematical modeling is employed to determine the probability of conflicts under*

various conditions, and experimental data is used to analyze time losses in the stop zones.

Results. It has been established that inefficient transit stop planning is one of the main causes of delays and reduced quality of transport services. The proposed conflict model identifies the most critical zones and optimizes their organization by expanding boarding platforms, separating flows, and creating dedicated waiting areas. The use of modern monitoring technologies for flow analysis enables more accurate forecasting of peak loads and adaptation of infrastructure to changing conditions.

Scientific novelty lies in the development of a universal model for analyzing and predicting the interaction between pedestrian and passenger flows in transit stop areas. This model accounts for flow density, speed, and types, aiding in the development of engineering and planning solutions that minimize conflicts and reduce time losses.

Practical relevance lies in the potential implementation of the proposed recommendations during the design and reconstruction of transit stops. This will help reduce delays, improve pedestrian safety and passenger comfort, and enhance the overall efficiency of the urban transport system.

Keywords: pedestrian flows, passenger flows, transit stops, conflict, transport infrastructure, urban passenger transport.

AUTHOR'S NOTE:

Stepanchuk Oleksandr, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor at the Department of Computer Technologies in Construction, State University "Kyiv Aviation Institute", Kyiv, Ukraine, e-mail: oleksandr.stepanchuk@npp.nau.edu.ua, orcid: 0000-0002-2822-3471.

Timkina Svitlana, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Air Transport Infrastructure, State University "Kyiv Aviation Institute", Kyiv, Ukraine, e-mail: svitlana.timkina@npp.nau.edu.ua, orcid: 0000-0003-2418-2032.

Chernyshova Oksana, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Air Transport Infrastructure, State University "Kyiv Aviation Institute", Kyiv, Ukraine, e-mail: oksa-na.chernyshova@npp.nau.edu.ua, orcid: 0000-0002-8132-2153.

Стаття подана до редакції 30.01.2025р.