

УДК 625.745.1:711.7

DOI <https://doi.org/10.32782/2415-8151.2025.38.2.27>

ОЦІНКА КОМФОРТНОСТІ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ЗОН БУДІВЕЛЬ ВОКЗАЛІВ НА ОСНОВІ МОДЕЛЮВАННЯ ПІШОХІДНИХ ПОТОКІВ

**Чернишова Оксана Сергіївна¹, Степанчук Олександр Васильович²,
Дубик Олександр Миколайович³**

¹ кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри інфраструктури авіаційного транспорту,
Державний університет «Київський авіаційний інститут», Київ, Україна,
e-mail: oksana.chernyshova@npp.kai.edu.ua, orcid: 0000-0002-8132-2153

² доктор технічних наук, професор,
професор кафедри комп'ютерних технологій будівництва,
Державний університет «Київський авіаційний інститут», Київ, Україна,
e-mail: oleksandr.stepanchuk@npp.kai.edu.ua, orcid: 0000-0002-2822-3471

³ кандидат технічних наук, доцент,
завідувач кафедри інфраструктури авіаційного транспорту,
Державний університет «Київський авіаційний інститут», Київ, Україна,
e-mail: oleksandr.dubyk@npp.kai.edu.ua, orcid: 0000-0001-8082-7603

Анотація. У статті розглядається питання забезпечення рівня комфорту пішоходів у будівлях на прикладі вокзалів. Авторами розглянуто взаємозв'язок між геометричними параметрами простору, характеристиками пішохідних потоків та індивідуальним сприйняттям середовища. Особливу увагу приділено оцінці умов руху в місцях скупчення людей, коли на рівень комфорту впливають не лише параметри приміщень, а й психофізіологічні фактори безпеки та зручності.

Аналіз вітчизняних та закордонних досліджень учених дозволив підсумувати сучасні підходи до оцінки рівня комфортності шляхом введення поняття індексу комфорту. А отримані результати дозволять забезпечити більш комфортне, безпечне та безбар'єрне середовище у вокзальних комплексах для пасажирів усіх категорій.

Мета роботи полягає у створенні кількісної моделі оцінки комфортності пішоходів з урахуванням взаємозв'язку між фізичними параметрами середовища та сприйняттям комфорту користувачами.

Методологія. Методи дослідження ґрунтуються на системному підході до аналізу умов руху пішоходів у будівлях на прикладі вокзальних комплексів. Для оцінки комфортності застосовано комплексне поєднання кількісних та якісних показників. Запропонований індекс комфортності базується на критеріях, які враховують просторові параметри, характеристики потоків та індивідуальні поведінкові особливості пішоходів.

Результати. Під час проведення досліджень встановлено, що рівень комфортності характеризується комплексом параметрів: геометричними розмірами приміщень, інтенсивністю та швидкістю пішохідних потоків, візуальним сприйняттям простору та психофізіологічним станом відвідувачів. На основі аналізу запропоновано застосування індексу комфортності, який дозволяє кількісно оцінити умови переміщення в будівлях. Застосування моделі ефективно під час оцінки планувальних рішень та виявлення зон перевантаження.

Наукова новизна. Наукова новизна полягає в удосконаленні наявних методик оцінки рівня комфортності будівель транспортного призначення для пішоходів за рахунок введення поняття індексу комфорту, який включає геометричні параметри приміщень, характеристики потоку та поведінкові особливості пішоходів різних категорій.

Практична значущість. Практичне значення роботи полягає в можливості застосування отриманих результатів під час реконструкції, нового будівництва вокзалів, покращення організації руху пішоходів у будівлях вокзалів з урахуванням показників комфорту.

Ключові слова: пішохідні потоки, рівень комфорту, геометричні параметри, характеристики потоку, психофізіологічні критерії, індекс комфорту.

ВСТУП

У сучасних умовах люди проводять тривалий час у будівлях: адміністративних установах, навчальних закладах, торговельно-розважальних центрах, закладах охорони здоров'я, ділових центрах, вокзалах, транспортно-пересадочних вузлах та ін. Тому забезпечення комфорту пішоходів у громадському просторі має ключове значення для планування та організації функціонування будівель.

Саме в таких осередках формується індивідуальне суб'єктивне відчуття безпеки, зручності, рівень психологічного комфорту, що своєю чергою впливає на поведінку відвідувачів, орієнтування в просторі, тривалість перебування, формуючи комплексне відчуття задоволення/незадоволення наданими послугами. Відчуття комфорту пішохода є індивідуальним явищем, на яке впливає ціла низка факторів: зрозумілість навігації, достатнє освітлення, показники температури та вологості повітря, геометричні параметри та параметри вертикального планування простору, щільність та інтенсивність руху пішохідних потоків. Приміщення та пішохідні зони з достатніми геометричними параметрами дозволяють безперешкодно пересуватися відвідувачам, знижують ризик виникнення скупчення людей.

Зниження рівня комфорту зумовлює утворення черг, зниження пропускної спроможності комунікаційних шляхів, підвищення втоми, тривожності та стресу у відвідувачів. Раціональні просторові та організаційні рішення дозволяють підвищити рівень безпеки та комфорту для відвідувачів та сформуванню позитивний досвід користування певним громадським простором. Зважаючи на це, в роботі приділена увага формуванню комфортної зони для пішоходів та дослідженню факторів, які впливають на рух людей.

АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

З огляду на те, що комфорт перебування у громадському просторі впливає не лише на

зручність комунікації, але й на рівень безпеки та психологічний стан відвідувачів і, як наслідок, на загальну ефективність функціонування об'єкта, насамперед доцільно було проаналізувати наукові результати вітчизняних та закордонних фахівців галузі. В розглянутих роботах здебільшого увага приділена визначенню рівнів обслуговування та раціональній організації пішохідних потоків.

Так, у роботі [1] авторкою розроблено методiku визначення рівнів обслуговування пішоходів на підставі щільності потоку, середньої швидкості та інтенсивності, що дозволило представити класифікацію комфортності пішохідних зон за ступенем вільного пересування, але при цьому психофізіологія сприйняття простору не була врахована.

Своєю чергою автори роботи [2] підкреслюють потребу врахування різних типів поведінкових реакцій людей під час прийняття просторово-планувальних рішень, ґрунтуючись на дослідженні впливу психофізіологічних особливостей пішоходів та їх впливі на безпечне та комфортне перебування у середовищі.

Серед закордонних досліджень базовою була і залишається робота [14], в якій автором вперше систематизовано залежності між щільністю, швидкістю та інтенсивністю руху, трансформувавши ці взаємозв'язки у фундаментальні рівні обслуговування пішоходів у різних просторах. Подальшого розвитку та вдосконалення згадане дослідження набуло в роботах [8–11; 13; 15–21]. Дослідження [16; 20] присвячені уточненню залежностей [14] на підставі експериментів у різних типах потоків: лінійних, перехресних, з розгалуженням або злиттям. Результати дослідження [18] звертають увагу на те, що не завжди відчуття комфорту зумовлюється параметрами щільності та швидкості, що особливо актуально може бути в закритих просторах. Водночас автори роботи [10] підсумовують, що показники комфорту ґрунтуються здебільшого на показниках швидкості, аніж локальної щільності.

Важливою є робота [17], в якій авторка узагальнює методи моделювання пішохідних потоків у будівлях з урахуванням поведінкових реакцій людей та залежності від часу очікування. Дослідження [11] присвячені аналізу комфорту залежно від наявності перешкод та цілей руху. Схожі підходи наведено також у роботі [19], де авторами досліджено вплив наявності «вузьких» місць на рівень просторового дискомфорту.

Автори цього дослідження також вивчали питання встановлення раціональної ширини пішохідних зон у будівлях вокзалів з урахуванням структури пішохідного потоку, а результати викладено в роботах [3–7].

Таким чином, на підставі аналізу досліджень [1; 2; 8–11; 13–21], власних напрацювань [3–7] авторами у цій роботі зроблено спробу систематизувати та узагальнити досвід для отримання показників комфортності пішохідних зон з урахуванням геометричних параметрів та психофізіологічних факторів.

МЕТА

Метою цієї статті є аналіз закономірностей формування відчуття комфорту пішоходом та розробка методики щодо оцінки комфортності пішохідних зон на прикладі вокзалів з урахуванням геометричних параметрів, динамічних та психофізіологічних факторів.

Методика досліджень

Методика цього дослідження ґрунтується на багатофакторному підході до оцінювання рівня комфортності пішоходів та здебільшого орієнтована на відвідувачів будівель вокзалів. Під час дослідження комплексно враховано аналітичні, експертні та моделювальні методи. Аналіз наукових праць [1; 2; 8–11; 13–21] та попередні власні дослідження [3–7] дозволили встановити параметри, які впливають на сприйняття комфорту пішоходами в будівлях. Наступним кроком стало моделювання пішохідних потоків у різних функціональних зонах вокзалів з різними параметрами на підставі фундаментальних діаграм руху пішоходів [16] та за допомогою програми Vadere [12]. Надалі на підставі отриманих результатів було запропоновано модель оцінки рівня комфортності пішохода у вокзальному просторі з розрахунком часткових показників комфортності за різними категоріями критеріїв на підставі результатів експерименту на залізничних вокзалах Придніпровської, Львівської та Південно-Західної залізниці з урахуванням результатів опитування користувачів.

Респондентам було показано створені за допомогою ШІ варіанти візуалізації пішохідної

зони та залу очікування з різним рівнем освітлення і кількістю відвідувачів (рис. 1 і рис. 2). 93,8% опитаних користувачів відзначили, що варіанти а (див. рис. 1 і рис. 2) викликають тривожність, дискомфорт та інші негативні емоції, тоді як варіант б (див. рис. 1 і рис. 2) сприймається більш спокійно та безпечно, і лише 6,2% респондентів висловили байдужість до обстановки і відсутність відповідних негативних реакцій. Результати опитування яскраво демонструють, що не лише геометричні параметри простору впливають на відчуття безпеки та комфорту, а й освітлення, чистота приміщень, рівень шуму та інші фактори. Також проведені опитування пасажирів з дітьми у соціальних мережах і додатках для батьків підкреслили важливість зручності та доступності простору вокзалів, особливо за умови тривалого очікування на кінцевих станціях або у пересадочних пунктах.

Зважаючи на вищевикладене в роботі, всі критерії, що можуть впливати на рівень комфорту відвідувача вокзального комплексу, було систематизовано в три категорії, як показано на рис. 3.

Як видно з рис. 3, окрім просторових критеріїв, що частіше за все розглядаються під час планувальних рішень, окрема увага приділена кінематичним та психофізіологічним показникам.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Відповідно до описаної методики дослідження в роботі було введено поняття індексу комфортності функціональної зони, визначення якого дозволяє під час моделювання пішохідних потоків у вокзалах враховувати не лише фізичні параметри, але і суб'єктивне сприйняття комфорту пасажирями.

Індекс комфортності пішохідного руху – синтетичний показник, який оцінює ступінь зручності та безпеки пересування людей у певному просторі. Індекс комфортності показує, наскільки пішоходам легко і зручно пересуватися, чи немає заторів, тісняви або тривалих очікувань.

Модель індексу комфортності представлена таким виразом:

$$I_{\text{комф}} = \sum_{i=1}^n K_i \cdot \omega_i, \quad (1)$$

де K_i – розраховане значення i -го критерію комфорту; n – кількість врахованих критеріїв; ω_i – ваговий коефіцієнт, який показує важливість i -го критерію (у сумі має дорівнювати 1). Вагові коефіцієнти визначені із застосуванням регресійного аналізу окремо для кожної функціональної зони та представлені на рис. 4.



Рис. 1. Візуалізація пішохідної зони в будівлі вокзалу: а) некомфортна, б) комфортна



Рис. 2. Візуалізація залу очікування в будівлі вокзалу: а) некомфортний, б) комфортний

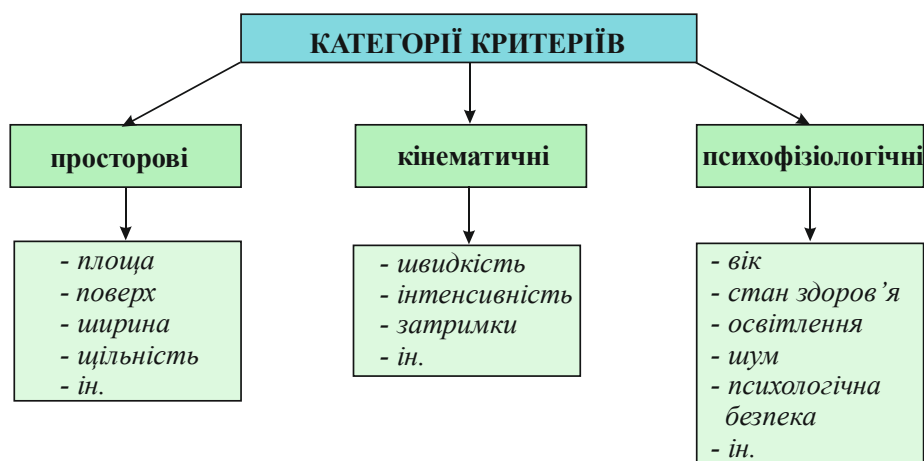


Рис. 3. Класифікація критеріїв, що можуть впливати на рівень комфорту

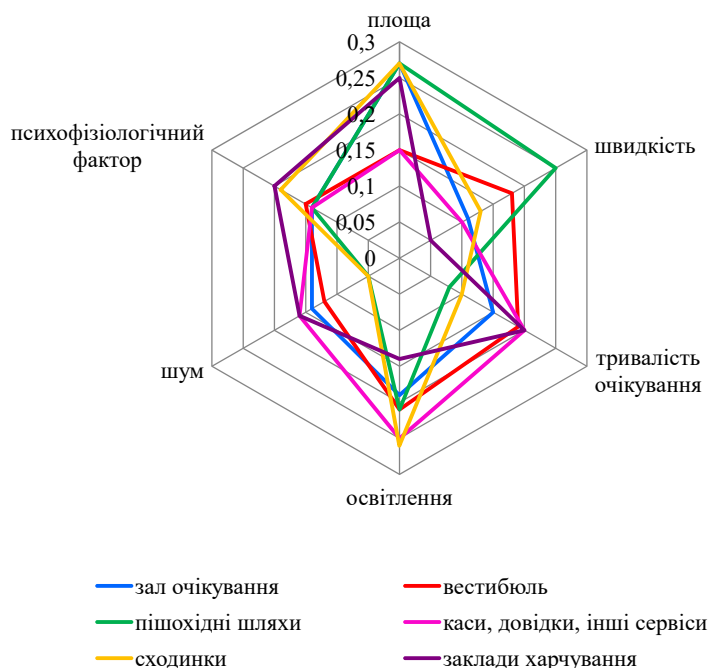


Рис. 4. Коефіцієнти урахування важливості дослідних факторів

Розрахунок перелічених критеріїв пропонується проводити за наведеними нижче виразами. Критерій щільності (залежно від площі):

$$K_1 = 1 - \frac{q}{q_{\max}}, \quad (2)$$

де q – фактична щільність потоку, м²/піш.; $q_{\max}$ – максимальна допустима щільність, м²/піш.

Динамічний критерій:

$$K_2 = \frac{V}{V_0}, \quad (3)$$

де V – фактична середня швидкість потоку, км/год; V_0 – очікувана (оптимальна) швидкість руху, км/год;

Критерій очікування:

$$K_3 = 1 - \frac{t}{t_{\max}}, \quad (4)$$

де t – середній час перебування у черзі/очікування, хв.; $t_{\max}$ – максимально допустимий час очікування, хв.

Критерій світлового комфорту:

$$K_4 = \frac{E}{E_0}, \quad (5)$$

де E – фактичний рівень освітленості, лк; E_0 – нормативне значення рівня освітленості для приміщень різного призначення, регламентується нормативними документами, лк.

Критерій акустичного комфорту:

$$K_5 = 1 - \frac{L - L_{\min}}{L_{\max} - L_{\min}}, \quad (6)$$

де L – фактичний рівень шуму, дБ; $L_{\min}$ – комфортний рівень шуму, нижня межа, дБ; $L_{\max}$ – максимально допустимий рівень шуму, дБ.

Психофізіологічний критерій:

$$K_6 = \frac{P_{\text{пф}}}{5}, \quad (7)$$

де $P_{\text{пф}}$ – суб'єктивна оцінка комфортності, яка ґрунтується на приналежності пішохода до певної вікової групи, стану здоров'я, самопочуття та ін.

Визначення рівня комфорту користувачів вокзалу за розрахованим індексом комфортності виконується за допомогою розробленої шкали рівнів комфорту, яка наведена на рис. 5.

Таким чином, застосування розробленої моделі дозволяє оцінити рівень комфорту користувачів вокзальних комплексів залежно

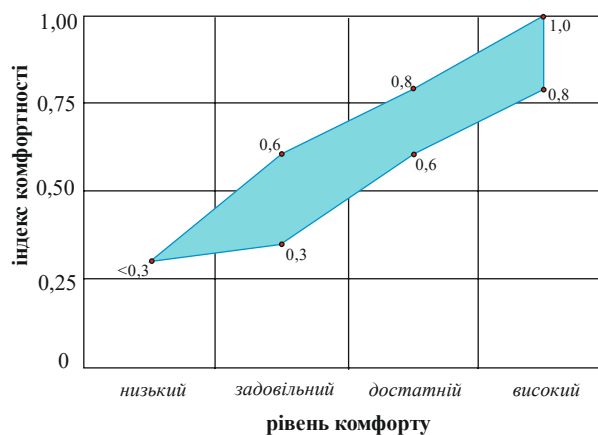


Рис. 5. Шкала рівнів комфорту

від просторових кінематичних та психофізіологічних критеріїв.

ВИСНОВКИ

У результаті проведеного дослідження встановлено, що відчуття комфорту пішоходів у вокзалах формується під впливом комплексу показників – просторових, акустичних, візуальних, психофізіологічних та ін. Запропонована методика оцінювання на основі індексу комфортності дає змогу об'єктивно враховувати як кількісні, так і якісні параметри середовища. Застосування запропонованих авторами моделей дозволить приймати раціональні планувальні рішення, а також дозволить більш якісно організовувати простір відповідно до запитів користувачів з огляду на вимоги безбар'єрності. Відчуття безпеки та комфорту у відвідувачів буде формувати позитивне враження та спонукати користуватися і надалі вибраним видом транспорту. Запропонований підхід може бути корисним під час проектування та реконструкції вокзалів для забезпечення безпечного, ергономічного та психологічно сприятливого середовища для відвідувача.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] Куцина І.А. Методика визначення рівня обслуговування пішоходів. *Сучасні проблеми архітектури та містобудування*. 2016. № 44. С. 154–161.
- [2] Мигаль Г.В., Протасенко О.Ф. Психофізіологічна індивідуальність: проблема управління безпекою пішохода. *Відкриті інформаційні та комп'ютерні інтегровані технології*. 2016. № 71. С. 220–228.
- [3] 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. <https://doi.org/10.32782/apcmj.2024.3.6>
- [4] Степанчук О.В., Чернишова О.С. Методи оптимізації форм і розмірів аеровокзальних просторів з урахуванням особливостей руху людських потоків. *Авіа-2025 : XVII Міжнародна науково-технічна конференція, 22–24 квітня 2025 р. Київ : KAI, 2025*. С. 20.7–20.10.
- [5] Чернишова О.С., Степанчук О.В. Аналіз особливостей формування людських потоків у сучасних транспортних будівлях. *Авіа-2025 : XVII Міжнародна науково-технічна конференція, 22–24 квітня 2025 р. Київ : KAI, 2025*. С. 23.1–23.3.
- [6] Чернишова О.С., Степанчук О.В. Раціональні параметри пішохідних зон на території аеропортів та залізничних вокзалів з урахуванням вимог безбар'єрності. *Авіація в XXI столітті «Безпека в авіації та космічні технології» : матеріали XI Всесвіт. конгресу. м. Київ, 25–27 верес. 2024 р. Київ, 2024*. С. 8.10–8.12.
- [7] 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. DOI: <https://doi.org/10.32782/apcmj.2024.4.14>.

[8] Banerjee A., Maurya A.K., Lämmel G. A review of pedestrian flow characteristics and level of service over different pedestrian facilities. *Collective Dynamics 3*. 2018. A17. P. 1–52.

[9] Fujiyama T. and Tyler N. Predicting the walking speed of pedestrians on stairs. *Trans Plann Technol*. 2010. 33(2). P. 177–202. DOI: <https://doi.org/10.1080/03081061003643770>.

[10] Jia X., Feliciani C., Murakami H., Nagahama A., Yanagisawa D., Nishinari K. Revisiting the level-of-service framework for pedestrian comfortability: Velocity depicts more accurate perceived congestion than local density. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*. 2022. 87. P. 403–425. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trf.2022.04.007>.

[11] Kitazawa K. and Batty M. Pedestrian Behaviour Modelling. / Van Leeuwen, J.P. and H.J.P. Timmermans (eds.). *Developments in Design & Decision Support Systems in Architecture and Urban Planning*. Eindhoven : Eindhoven University of Technology. 2004. P. 111–126.

[12] Kleinmeier B., Zönnchen B., Gödel M., & Köster G. Vadere: An Open-Source Simulation Framework to Promote Interdisciplinary Understanding. *Collective Dynamics*. 2019. 4. P. 1–34. DOI: <https://doi.org/10.17815/CD.2019.21>.

[13] Kvasnii R., Zhytenko O. Methods of Evaluating Pedestrian Level of Comfort Timmermans. *Developments in Design & Decision Support Systems in Architecture and Urban Planning*. Eindhoven : Eindhoven University of Technology. 2017. P. 111–126.

[14] Fruin J.J. Pedestrian Planning And Design. *Metropolitan Association of Urban Designers and Environmental Planners*. 1971. 206 p.

[15] Prykhodko V., Vikovych I. Analysis of calculating level of service for pedestrians. *Transport technologies*. 2021. Vol. 2, № 1. P. 50–59.

[16] Seyfried A., Steffen B., Klingsch W., Boltes M. The Fundamental Diagram of Pedestrian Movement Revisited. *Journal of Statistical Mechanics*. 2005. P. 10002.

[17] Siikonen, Marja-Liisa. *People Flow in Buildings*. UK : Wiley, 2021. 427 p.

[18] Vanumu L.D., Ramachandra Rao K. & Tiwari G. Fundamental diagrams of pedestrian flow characteristics : A review. *Eur. Transp. Res. Rev.* 2017. Vol. 9. P. 49. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12544-017-0264-6>.

[19] Yanagisawa D., Kimura A., Tomoeda A., Nishi R., Suma Y., Ohtsuka K. & Nishinari K. Introduction of Frictional and Turning Function for Pedestrian Outflow with an Obstacle. *Physical review. E, Statistical, nonlinear, and soft matter physics*, E 80. 2009. P. 036110. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.0906.0224>.

[20] Zhang J., Seyfried A. Comparison of Intersecting Pedestrian Flows Based on Experiments. *Phys A Stat Mech Appl*. 2014. Vol. 405. P. 316–325. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.physa.2014.03.004>.

[21] Zhang J., Seyfried A. Empirical Characteristics of Different Types of Pedestrian Streams. *Procedia Engineering*. 2013. Vol. 62. P. 655–662.

REFERENCES

- [1] 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].
- [2] Myhal, H.V., Protasenko, O.F. (2016). Psykhofiziologichna indyvidualnist: problema upravlinnia bezpekoiu pishokhoda [Psychophysiological individuality: the problem of pedestrian safety management]. *Vidkryti informatsiini ta kompiuterni intehrovani tekhnologii*, 71, 220–228 [in Ukrainian].
- [3] Pustovoi, R.O., Stepanchuk, O.V. (2024). Vyznachennia optymalnoi shyryny pishokhidnoi zony na terytorii aerovokzalnykh kompleksiv [Determining the optimal width of pedestrian zones within airport complexes]. *Airport Planning, Construction and Maintenance Journal*, 1(3), 40–46. <https://doi.org/10.32782/apcmj.2024.3.6> [in Ukrainian].
- [4] Stepanchuk, O.V., Chernyshova, O.S. (2025). Metody optymizatsii form i rozmiriv aerovokzalnykh prostoriv z urakhuvanniam osoblyvostei rukhu liudskykh potokiv [Methods for optimizing the shapes and sizes of airport spaces, taking into account the characteristics of human traffic flows]. *Avia-2025: XVII Mizhnarodna naukovo-tekhnichna konferentsiia*, 22–24 kvitnia 2025 r. Kyiv: KAI, 20.7–20.10 [in Ukrainian].
- [5] Chernyshova, O.S., Stepanchuk, O.V. (2025). Analiz osoblyvostei formuvannia liudskykh potokiv u suchasnykh transportnykh budivliakh [Analysis of the peculiarities of human flow formation in modern transport buildings]. *Avia-2025: XVII Mizhnarodna naukovo-tekhnichna konferentsiia*, 22–24 kvitnia 2025 r. Kyiv: KAI, 23.1–23.3 [in Ukrainian].
- [6] Chernyshova, O.S., Stepanchuk, O.V. (2024). Ratsionalni parametry pishokhidnykh zon na terytorii aeroportiv ta zaliznychnykh vokzaliv z urakhuvanniam vymoh bezbariarnosti [Rational parameters of pedestrian zones at airports and railway stations, taking into account accessibility requirements]. *Aviatsiia v XXI stolitti «Bezpeka v aviatsii ta kosmichni tekhnologii»*: materialy XI Vsesvit. konhresu. m. Kyiv, 25–27 veres. 2024 r. Kyiv, 8.10–8.12 [in Ukrainian].
- [7] Chernyshova, O.S., Stepanchuk, O.V., Dubyk, O.M. (2024). Suchasni vymohy do pishokhidnykh zon aeroportiv ta zaliznychnykh vokzaliv z urakhuvanniam potreb malomobilnykh hrup naseleння [Modern requirements for pedestrian areas at airports and railway stations, taking into account the needs of people with reduced mobility]. *Airport Planning, Construction and Maintenance Journal*, 2(4), 141–149. <https://doi.org/10.32782/apcmj.2024.4.14> [in Ukrainian].
- [8] Banerjee, A., Maurya, A.K., Lämmel, G. (2018). A review of pedestrian flow characteristics and level of service over different pedestrian facilities. *Collective Dynamics*, 3, A17. P. 1–52 [in English].
- [9] Fujiyama, T. and Tyler, N. (2010). Predicting the walking speed of pedestrians on stairs. *Trans Plann Technol.*, 33(2). P. 177–202. <https://doi.org/10.1080/03081061003643770> [in English].
- [10] Jia, X., Feliciani, C., Murakami, H., Nagahama, A., Yanagisawa, D., Nishinari, K. (2022). Revisiting the level-of-service framework for pedestrian comfortability: Velocity depicts more accurate perceived congestion than local density. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 87, P. 403–425. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2022.04.007> [in English].
- [11] Kitazawa, K., & Batty, M. (2004). Pedestrian Behaviour Modelling. / Van Leeuwen, J.P. and H.J.P. Timmermans (eds.). *Developments in Design & Decision Support Systems in Architecture and Urban Planning*. Eindhoven: Eindhoven University of Technology, P. 111–126 [in English].
- [12] Kleinmeier, B., Zönnchen, B., Gödel, M., & Köster, G. (2019). Vadere: An Open-Source Simulation Framework to Promote Interdisciplinary Understanding. *Collective Dynamics*, 4, P. 1–34. <https://doi.org/10.17815/CD.2019.21> [in English].
- [13] Kvasnii, R., Zhytenko, O. (2017). Methods of Evaluating Pedestrian Level of Comfort Timmermans. *Developments in Design & Decision Support Systems in Architecture and Urban Planning*. Eindhoven: Eindhoven University of Technology, P. 111–126 [in English].
- [14] Fruin, J.J. (1971). Pedestrian Planning And Design. *Metropolitan Association of Urban Designers and Environmental Planners*, 206 p. [in English].
- [15] Prykhodko, V., Vikovych, I. (2021). Analysis of calculating level of service for pedestrians. *Transport technologies*, Vol. 2, 1. P. 50–59 [in English].
- [16] Seyfried, A., Steffen, B., Klingsch, W., Boltes, M. (2005). The Fundamental Diagram of Pedestrian Movement Revisited. *Journal of Statistical Mechanics*. P. 10002 [in English].
- [17] Siikonen, Marja-Liisa. (2021). People Flow in Buildings. UK: Wiley, 427 p. [in English].
- [18] Vanumu, L.D., Ramachandra Rao, K. & Tiwari, G. (2017). Fundamental diagrams of pedestrian flow characteristics: A review. *Eur. Transp. Res. Rev.* 9, 49. <https://doi.org/10.1007/s12544-017-0264-6> [in English].
- [19] Yanagisawa, D., Kimura, A., Tomoeda, A., Nishi, R., Suma, Y., Ohtsuka, K. & Nishinari, K. (2009). Introduction of Frictional and Turning Function for Pedestrian Outflow with an Obstacle. *Physical review. E, Statistical, nonlinear, and soft matter physics*, E 80. P. 036110. <https://doi.org/10.48550/arXiv.0906.0224> [in English].
- [20] Zhang, J., Seyfried, A. (2014). Comparison of Intersecting Pedestrian Flows Based on Experiments. *Phys A Stat Mech Appl*, 405. P. 316–325. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2014.03.004> [in English].
- [21] Zhang, J., Seyfried, A. (2013) Empirical Characteristics of Different Types of Pedestrian Streams. *Procedia Engineering*, 62. P. 655–662 [in English].

ABSTRACT

Chernyshova O., Stepanchuk O., Dubyk O. Modeling pedestrian flows taking into account human comfort levels

The article discusses the issue of ensuring the comfort level of pedestrians in buildings using the example of railway stations. The authors examine the relationship

between the geometric parameters of space, the characteristics of pedestrian flows, and individual perception of the environment. Particular attention is paid to assessing traffic conditions in crowded places, where comfort is influenced not only by the parameters of the premises, but also by psychophysiological factors of safety and convenience.

An analysis of domestic and foreign research by scientists has made it possible to summarize modern approaches to assessing the level of comfort by introducing the concept of a comfort index. The results obtained will make it possible to ensure a more comfortable, safe, and barrier-free environment in station complexes for passengers of all categories.

The purpose of the work is to create a quantitative model for assessing pedestrian comfort, taking into account the relationship between the physical parameters of the environment and users' perception of comfort.

Methodology. The research methods are based on a systematic approach to analyzing pedestrian traffic conditions in buildings, using railway station complexes as an example. A comprehensive combination of quantitative and qualitative indicators is used to assess comfort. The proposed comfort index is based on criteria that take into account spatial parameters, flow characteristics, and individual behavioral characteristics of pedestrians.

Results. During the research, it was established that the level of comfort is characterized by a set of parameters: geometric dimensions of premises, intensity and speed of pedestrian flows, visual perception of space, and psychophysiological state of visitors. Based on the analysis, the use of a comfort index is proposed, which allows for a quantitative assessment of the conditions for movement in buildings. The model is effective in evaluating planning decisions and identifying areas of congestion.

Scientific novelty. The scientific novelty lies in the improvement of existing methods for assessing the comfort level of transport buildings for pedestrians by introducing the concept of a comfort index, which includes the geometric parameters of premises, flow characteristics, and behavioral features of pedestrians of different categories.

Practical relevance. The practical significance of the work lies in the possibility of applying the results obtained during the reconstruction and new construction of stations, improving the organization of pedestrian traffic in station buildings, taking into account comfort indicators.

Keywords: pedestrian flows, comfort level, geometric parameters, flow characteristics, psychophysiological criteria, comfort index.

AUTHOR'S NOTE:

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

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

Dubyk Oleksandr, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Aviation Transport Infrastructure, State University, "Kyiv Aviation Institute", Kyiv, Ukraine, e-mail: oleksandr.dubyk@npp.kai.edu.ua, orcid: 0000-0001-8082-7603.

Стаття подана до редакції: 15.10.2025.

Стаття прийнята до опублікування: 07.11.2025.

Стаття опублікована: 20.11.2025.