

УДК 614.841

УДОСКОНАЛЕННЯ КЛАСИФІКАЦІЇ ГРУП МОБІЛЬНОСТІ НАСЕЛЕННЯ НА ОСНОВІ ПАРАМЕТРИЧНО-ОРІЄНТОВАНОГО ПІДХОДУ

DOI: 10.52363/2518-1777-2026-21-10

Хлевной О. В.^{1*}, ORCID iD 0000-0003-2846-3480

Жезло-Хлевна Н. В.¹, ORCID iD 0009-0005-3768-2863

Борисова А. С.², ORCID iD 0000-0002-8700-0761

*E-mail: olexandr.khlevnoy@gmail.com

¹Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Україна

²Інститут наукових досліджень з цивільного захисту НУЦЗ України, Україна

ІНФОРМАЦІЯ ПРО СТАТТЮ	АНОТАЦІЯ
Надійшла до редакції: 20.04.2026	У статті розглянуто актуальну науково-прикладну проблему вдосконалення підходів до класифікації мобільності населення. Показано, що традиційні методи, засновані на дискретному поділі людей на групи мобільності (М1-М4), не забезпечують необхідної точності в умовах сучасних евакуаційних процесів, які характеризуються високим рівнем неоднорідності та наявністю значної частки осіб із різними функціональними обмеженнями. Обґрунтовано, що існуючі підходи не враховують повною мірою вплив використання допоміжних засобів пересування, протезів нижніх кінцівок, а також сценаріїв асистованого переміщення, що особливо актуально в сучасних умовах. Запропоновано параметрично-орієнтований підхід до класифікації мобільності, який поєднує узагальнений поділ на три групи за кінематикою руху з детальним описом індивідуальних характеристик через систему кількісних коефіцієнтів. У межах підходу введено параметри, що враховують фізичну працездатність, вікові особливості, використання допоміжних засобів, протезів, поведінкові характеристики та рівень організованості евакуаційного потоку. Додатково запропоновано коефіцієнт асистованості, який дозволяє кількісно описати ефективність колективного переміщення осіб, що не здатні до самостійного руху, залежно від способу транспортування та умов середовища. Обґрунтовано, що застосування параметричного підходу дозволяє підвищити адекватність математичного моделювання евакуаційних процесів, зокрема при аналізі змішаних потоків та різних сценаріїв поведінки людей. Показано можливість інтеграції запропонованої моделі у розрахунки часу евакуації, а також у сучасні імітаційні системи, що враховують вплив щільності потоку на швидкість руху та формування заторів. Визначено перспективні напрями подальших досліджень, пов'язані з експериментальним визначенням параметрів моделі, їх валідацією та адаптацією до різних типів об'єктів і умов евакуації.
Прийнято: 05.05.2026	
Опубліковано: 30.05.2026	
КЛЮЧОВІ СЛОВА:	
евакуація при пожежі, мобільність населення, маломобільні групи, параметрична модель, евакуаційні потоки, коефіцієнт асистованості, опори, колісні крісла, протези, моделювання евакуації.	

Постановка проблеми. Ефективна евакуація людей під час пожежі є ключовим елементом забезпечення пожежної безпеки будівель і споруд. У сучасних умовах зростання складності надзвичайних ситуацій особливої актуальності набуває точне врахування особливостей руху

маломобільних груп населення. Чинні нормативні документи України [1, 2] встановлюють чотири групи мобільності (М1-М4) із фіксованими відсотками у змішаному потоці та узагальненими розрахунковими швидкостями. Такий підхід, сформований ще в радянський

період, на сьогодні не відповідає реаліям воєнного часу.

Повномасштабне вторгнення російської федерації спричинило безпрецедентне збільшення кількості осіб з обмеженою мобільністю. За даними Національної служби здоров'я України та Міністерства соціальної політики, з 2022 по 2025 рік зафіксовано понад 90 тисяч ампутацій, із яких близько 60 % припадає на нижні кінцівки, а частка двосторонніх ампутацій сягає 10 % [3]. Поряд із цим внаслідок несприятливої демографічної ситуації спостерігається збільшення чисельності осіб похилого віку в загальній структурі населення, а також осіб з тимчасовими порушеннями здоров'я внаслідок бойових дій і психоемоційного стресу. У багатьох регіонах частка маломобільних груп у загальному потоці перевищує 15-25 %, що суттєво вищий за нормативні показники.

Проведений аналіз чинної класифікації груп мобільності населення М1-М4 дозволяє виявити низку суттєвих обмежень, які знижують її ефективність при використанні у розрахунках евакуації та моделюванні поведінки людських потоків у разі пожежі.

Перш за все, слід відзначити недостатній рівень деталізації класифікації. Існуючий поділ передбачає лише чотири узагальнені групи, у межах яких об'єднуються особи з різними функціональними можливостями. Такий підхід не дозволяє адекватно відобразити реальну неоднорідність населення, оскільки в межах однієї групи можуть перебувати як особи з незначним зниженням швидкості руху, так і ті, що мають суттєві обмеження мобільності. Зокрема, група М2 об'єднує осіб похилого віку, вагітних жінок, батьків з візками та осіб із тимчасовими порушеннями, біомеханічні параметри яких можуть суттєво відрізнятися.

Другим важливим недоліком є відсутність у класифікації окремих категорій населення, характерних для сучасних умов. Зокрема, не виділено осіб, які використовують протези нижніх кінцівок, хоча їх кількість суттєво зросла, а

особливості їх пересування істотно відрізняються від інших груп. Аналогічно, не враховано осіб із тимчасовими порушеннями мобільності, такими як травми або післяопераційні стани, що можуть істотно впливати на швидкість та спосіб евакуації.

Третім суттєвим обмеженням є відсутність диференціації за типом допоміжних засобів пересування. У межах наявних груп не розрізняються особи, які використовують одну опору (палицю), дві опори (милиці), ходунки або інші засоби підтримки. Також відсутній поділ колісних крісел на моторизовані та немоторизовані. Водночас відомо, що зазначені фактори мають принциповий вплив на швидкість руху, стійкість, маневреність та здатність долати перешкоди, зокрема сходові марші.

Четвертим недоліком є ігнорування вікових особливостей мобільності. Діти, особливо молодшого віку, мають специфічні характеристики поведінки та руху під час евакуації, які відрізняються як від дорослих, так і від осіб похилого віку. Однак у межах класифікації М1-М4 вони не виділені в окрему категорію, що ускладнює врахування їх впливу на формування та динаміку людських потоків.

Крім того, існуючий підхід базується на дискретному поділі населення, який не враховує безперервного характеру зміни мобільності. У реальних умовах мобільність людини може змінюватися залежно від фізичного стану, рівня втоми (особливо це стосується осіб похилого віку та осіб з протезами нижніх кінцівок), психологічних факторів та умов середовища. Жорстке віднесення до однієї з чотирьох груп не дозволяє відобразити ці зміни та призводить до спрощення моделей евакуації.

Слід також відзначити, що класифікація не враховує комбіновані порушення мобільності, коли особа одночасно має кілька обмежень (наприклад, використання протеза та допоміжних засобів пересування). Такі випадки є досить поширеними, однак не мають адекватного відображення в існуючій системі.

Зазначені недоліки наявної класифікації груп мобільності M1-M4, яка використовується у вітчизняній практиці, обмежує її застосовність у сучасних умовах та обґрунтовує необхідність розроблення удосконаленої класифікації, яка б більш повно відображала реальні характеристики населення та забезпечувала підвищення точності розрахунків евакуації.

Таким чином, актуальність проблеми зумовлена необхідністю переходу від застарілих узагальнених підходів до сучасної, динамічної та параметрично-орієнтованої системи груп мобільності, яка відповідає принципам ефективнісно-орієнтованих показників пожежної безпеки та реальним викликам воєнного часу в Україні.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Проблематика класифікації груп мобільності населення в контексті забезпечення пожежної безпеки та евакуації розглядається у двох основних площинах: нормативно-регуляторній та науково-модельній.

У нормативних документах різних країн класифікація мобільності, як правило, має дискретний характер. Зокрема, у документах National Fire Protection Association (NFPA 101) та рекомендаціях International Organization for Standardization (ISO 21542) виділяються категорії осіб із обмеженою мобільністю (persons with limited mobility), що включають людей похилого віку, осіб з інвалідністю, тимчасово травмованих тощо [1], [2]. Аналогічні підходи використовуються у європейських нормах, зокрема в EN 81-70 та пов'язаних документах, де також застосовується узагальнене групування без детальної параметризації [3].

У вітчизняній нормативній базі традиційно використовується класифікація населення за групами мобільності (M1-M4), яка широко застосовується при розрахунках евакуації. Однак зазначений підхід базується на жорсткому поділі на групи з фіксованими характеристиками, що не дозволяє враховувати різноманітність індивідуальних особливостей, наприклад,

молоді особи з протезами та особи з протезами похилого віку мають кардинально різні параметри руху, але при цьому входять до групи M2, а тому наділені однаковими параметрами [4].

Наукові дослідження останніх років демонструють перехід від таких спрощених класифікацій до більш гнучких підходів. У фундаментальних роботах з динаміки евакуації підкреслюється необхідність врахування індивідуальних характеристик людини, що впливають на швидкість та спосіб руху [5]. Емпіричні дослідження показують, що швидкість евакуації суттєво залежить від віку, фізичного стану та функціональних обмежень, причому розкид значень у межах однієї групи може бути співставним із різницею між групами [6].

Окремий напрям становлять дослідження евакуації маломобільних груп населення. Зокрема, встановлено, що наявність осіб з обмеженими можливостями суттєво впливає на загальну динаміку потоку, змінюючи як швидкісні характеристики, так і просторову структуру руху [7]. При цьому традиційні класифікації не забезпечують адекватного опису таких процесів через відсутність механізмів урахування асистованого руху та використання технічних засобів.

Сучасні підходи до моделювання евакуації (зокрема, агентно-орієнтовані моделі) передбачають опис кожного індивіда через набір параметрів, що визначають його мобільність і поведінку [8]. Це фактично відповідає переходу від групових до параметричних моделей, однак у більшості випадків такі параметри не інтегровані в узагальнену класифікаційну систему.

Таким чином, аналіз нормативних та наукових джерел свідчить про доцільність переходу до параметрично-орієнтованих підходів, що обумовлює необхідність розроблення удосконаленої класифікації, яка поєднувала б узагальнення та гнучкий опис мобільності.

Методи дослідження. Дослідження базується на комплексному аналітичному підході, який поєднує систематичний

аналіз наукової літератури, нормативних документів та практичних рекомендацій у сфері евакуації населення та пожежної безпеки. Проведено критичний огляд існуючих класифікацій груп мобільності, із виділенням їхніх переваг та обмежень у контексті воєнних реалій України.

На основі цього аналізу сформовано концепцію параметрично-орієнтованої класифікації, яка враховує ключові індивідуальні та групові характеристики: біомеханічні особливості, вікові та фізіологічні фактори, типи допоміжних засобів. Окрему увагу приділено диференціації тимчасових і постійних обмежень мобільності, що дозволяє підвищити адаптивність системи класифікації до реальних умов.

Робота передбачає структурне узагальнення та формалізацію параметрів мобільності у вигляді груп та підгруп, що забезпечує основу для подальшого формалізованого опису евакуаційних процесів. Аналітичний підхід супроводжується порівнянням можливих варіантів групування, що гарантує зручність застосування запропонованої класифікації в різних типах об'єктів та сценаріях евакуації.

Формулювання цілей дослідження полягає у розробці концептуальної параметрично-орієнтованої класифікації груп мобільності населення, адаптованої до сучасних воєнних умов України, яка забезпечує врахування індивідуальних біомеханічних особливостей та демографічних характеристик, а також створює основу для підвищення точності планування евакуаційних заходів і інклюзивності будівель.

Задля досягнення мети необхідно вирішити низку завдань дослідження:

- виконати аналіз та узагальнення існуючих класифікацій груп мобільності та їхніх параметрів, з ідентифікацією обмежень для застосування у сучасних реаліях;

- розробити параметрично-орієнтовану концепцію класифікації, що

включає виділення груп та підгруп мобільності на основі біомеханічних, вікових, фізіологічних характеристик;

- сформувати науково обґрунтовані рекомендації щодо застосування оновленої класифікації у практичній діяльності з планування евакуації, зокрема для різних типів об'єктів та сценаріїв руху населення, як підґрунтя підвищення ефективності евакуаційних заходів.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Як вже було зазначено вище, основною проблемою наявного поділу на групи мобільності є їх дискретність, тобто віднесення людини до однієї з наперед визначених груп без урахування конкретних факторів, що визначають її рух. Тобто, не враховуються відмінності між особами, які використовують різну кількість опор, не виділяються особи з протезами [9, 10], а також не враховується специфіка руху осіб, що пересуваються на колісних кріслах. Водночас з точки зору евакуації визначальним є не медичний стан людини чи причина обмеження, а її функціональна здатність до переміщення в потоці, що проявляється через швидкість руху, маневреність та займаний простір.

У зв'язку з цим доцільно перейти від виключно дискретної класифікації до комбінованого підходу, який поєднує узагальнені групи з параметричним описом мобільності.

У результаті проведеного аналізу встановлено, що доцільним є розділення факторів, які визначають процес евакуації, на декілька незалежних складових, кожна з яких відображає окремий аспект формування евакуаційного потоку. Запропонований підхід базується на принципі декомпозиції, відповідно до якого мобільність людини розглядається як інтегральна характеристика, що формується під впливом механічних, фізіологічних та поведінкових чинників.

Для деталізації характеристик руху вводиться параметричний опис, у межах якого кожна особа характеризується набором коефіцієнтів, що відображають її

функціональні можливості. Структуру параметричної моделі наведено на рисунку 1.

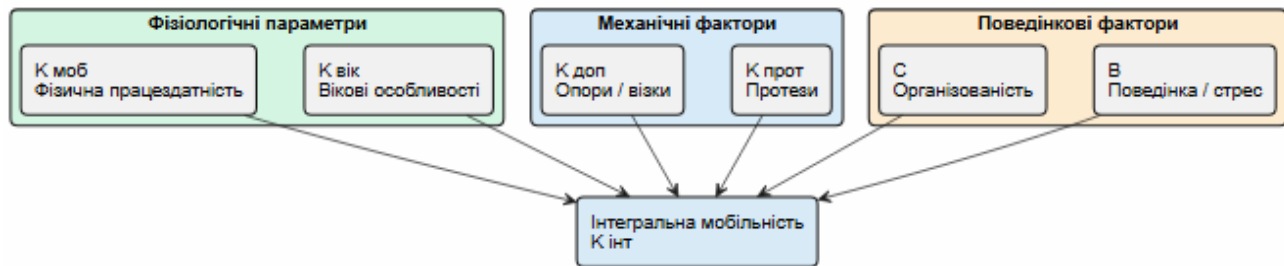


Рисунок 1 – Структура параметричної моделі мобільності учасників евакуації

Перш за все, запропонований підхід передбачає виділення трьох базових груп за кінематикою мобільності:

- КМ1 – особи, що здійснюють рух без використання допоміжних засобів;
- КМ2 – особи, що використовують технічні засоби для самостійного переміщення;
- КМ3 – особи, які не здатні до самостійного руху.

Такий поділ дозволяє формалізувати кінематичні особливості руху та їх вплив на формування евакуаційного потоку.

Кожна особа в межах груп КМ1-КМ3 додатково характеризується системою параметрів.

У запропонованій моделі **фізіологічні параметри** характеризують індивідуальні можливості людини до пересування та задаються за допомогою системи параметрів, представлених у вигляді поправочних коефіцієнтів. Кожен із таких коефіцієнтів відображає вплив окремого фактору, зокрема фізичної підготовленості чи вікових особливостей на швидкість та ефективність руху. Важливою перевагою такого підходу є можливість незалежного дослідження кожного параметра та його подальшого уточнення без необхідності перегляду всієї класифікаційної структури.

Механічні параметри відображають спосіб реалізації руху за допомогою механічних допоміжних засобів, зокрема, опор, протезів, колісних крісел тощо.

Окрім механічних та фізіологічних чинників, істотний вплив на процес евакуації мають **поведінкові параметри**, пов'язані з

рівнем організованості руху. У зв'язку з цим до моделі доцільно включити окремі коефіцієнти, які дають змогу врахувати ступінь впорядкованості евакуаційного потоку. Ці параметри відображають наявність або відсутність керування рухом людей, що суттєво впливає на ефективність евакуації, а також індивідуальні особливості поведінки. Зокрема, для об'єктів із високим рівнем організації (заклади освіти, військові об'єкти) характерні більш впорядковані потоки з меншими втратами часу, тоді як для об'єктів із вільною поведінкою людей (торговельні центри, громадські простори) притаманна підвищена хаотичність руху, що призводить до збільшення часу евакуації.

Запропонована вище концепція передбачає розділення опису евакуаційного процесу на три взаємопов'язані рівні: механічний, фізіологічний та поведінковий. Узагальнено мобільність людини може бути представлена у вигляді функції:

$$K_{\text{інт}} = K_{\text{моб}} \cdot K_{\text{вік}} \cdot K_{\text{доп}} \cdot K_{\text{прот}} \cdot K_{\text{асист}} \cdot C \cdot B \cdot M \quad (1)$$

де $K_{\text{інт}}$ – інтегральний коефіцієнт мобільності; $K_{\text{моб}}$ – коефіцієнт базової індивідуальної мобільності; $K_{\text{вік}}$ – віковий коефіцієнт; $K_{\text{доп}}$ – коефіцієнт допоміжних засобів; $K_{\text{прот}}$ – коефіцієнт впливу протезів; $K_{\text{асист}}$ – коефіцієнт асистованості; C – коефіцієнт організованості потоку; B – поведінковий коефіцієнт; M – коефіцієнт маневреності.

З метою уникнення дублювання впливу факторів у параметричній моделі мобільності доцільним є чітке розмежування змісту окремих коефіцієнтів.

Зокрема, коефіцієнт базової мобільності $K_{\text{моб}}$ слід інтерпретувати як характеристику індивідуальної фізичної працездатності людини, що визначається рівнем її функціонального стану, зокрема силою, витривалістю та координаційними здібностями. При цьому важливо, що $K_{\text{моб}}$ не враховує вплив вікових факторів, які враховуються окремо за допомогою коефіцієнта $K_{\text{вік}}$. Такий підхід дозволяє розділити вплив біологічного віку та індивідуальної фізичної підготовленості, що є принципово важливим для адекватного опису реальних умов, оскільки фізичний стан осіб однієї вікової групи може суттєво відрізнятись.

Для врахування сценаріїв евакуації, у яких особи не здійснюють самостійного руху, до параметричної моделі введено коефіцієнт асистованості $K_{\text{асист}}$. Даний параметр відображає вплив зовнішньої допомоги на процес переміщення та застосовується виключно для осіб, віднесених до групи КМЗ, тобто таких, що не здатні до самостійного пересування. На відміну від інших коефіцієнтів, що характеризують індивідуальні властивості людини, $K_{\text{асист}}$ описує ефективність колективного переміщення, яке реалізується за участю інших осіб або із застосуванням транспортних засобів. Значення коефіцієнта визначається способом транспортування та рівнем організації процесу. Зокрема, ручне перенесення (наприклад, дітей або

постраждалих) характеризується найнижчими значеннями через значні фізичні витрати та обмежену швидкість руху. Транспортування на каталках або ношах забезпечує більш стабільний рух, однак залишається обмеженим умовами середовища. Найвищі значення коефіцієнта можуть спостерігатися при переміщенні у колісних кріслах за участю асистента, особливо в умовах достатньої ширини проходів та відсутності перешкод. Разом з тим цей коефіцієнт тісно пов'язаний із параметром організованості потоку C , оскільки ефективність асистованого переміщення суттєво залежить від координації дій персоналу та загальної впорядкованості евакуаційного процесу.

Включення коефіцієнта асистованості до моделі дозволяє врахувати широкий спектр практичних сценаріїв евакуації, характерних, зокрема, для медичних закладів, закладів соціального захисту та інших об'єктів із високою часткою маломобільних осіб, що істотно підвищує адекватність моделювання та точність розрахунків часу евакуації.

Запропоноване розмежування параметрів (таблиця 1) забезпечує їх відносну незалежність та запобігає дублюванню впливів, що підвищує коректність математичної моделі та створює передумови для подальшої ідентифікації параметрів на основі експериментальних даних.

Таблиця 1 – Параметри моделі

Позначення	Назва параметра	Фізичний зміст	Діапазон значень	Орієнтовні значення	Коментар
$K_{\text{доп}}$	Коефіцієнт допоміжних засобів	Враховує вплив опор, ходунків, колісних крісел	0,4...1,0	1,0 – без засобів; ~0,8 – 1 опора; 0,5...0,7 – 2 опори/ ходунки; 0,4...0,8 – колісні крісла	Об'єднує всі типи допоміжних засобів пересування в єдиному параметрі
$K_{\text{прот}}$	Коефіцієнт впливу протезів	Враховує вплив протезів на ефективність руху	0,6...1,0	0,8...0,9 – протез гомілки; 0,6...0,8 – протез стегна 0,4...0,7 – двосторонні протези	Особливо актуальний для сучасних умов України
$K_{\text{вік}}$	Віковий коефіцієнт	Відображає вплив віку на швидкість і стабільність руху	0,6...1,0	1,0 – дорослі; 0,7...0,9 – діти; 0,6...0,8 – літні	Дозволяє врахувати присутність дітей та осіб похилого віку

Позначення	Назва параметра	Фізичний зміст	Діапазон значень	Орієнтовні значення	Коментар
$K_{асист}$	Коефіцієнт асистованості	Враховує допомогу інших учасників	0,3...1,0	~0,3...0,8 – ручне перенесення (дітей); 0,5...0,8 – транспортування на каталці; 0,7...1,0 – асистоване переміщення у колісному кріслі	Актуальний для осіб, що не можуть пересуватися самостійно
C	Коефіцієнт організованості	Характеризує ступінь впорядкованості евакуаційного потоку	0,5...1,0	1,0 – керований потік; 0,7...0,9 – частково організований; 0,5...0,7 – хаотичний	Враховує управління евакуацією, яке може бути різним в залежності від типу закладу
B	Поведінковий коефіцієнт	Відображає вплив стресу, паніки, дезорієнтації	0,6...1,0	0,9...1,0 – спокійна поведінка; 0,7...0,9 – помірний стрес; 0,6...0,8 – паніка	Залежить від сценарію та обставин пожежі
M	Маневреність	Здатність змінювати напрямок руху	0,5...1,0	1,0 – вільний рух; 0,7...0,9 – опори, протези; 0,5...0,8 – колісні крісла, каталки	Важливий для вузьких проходів

Використання інтегрального коефіцієнта мобільності дозволяє пов'язати індивідуальні характеристики людини зі швидкістю її руху:

$$v = K_{\text{інт}} \cdot v_0, \quad (2)$$

де v_0 – базова швидкість руху для повністю мобільних осіб. Такий підхід дозволяє враховувати широкий спектр станів без введення додаткових груп.

Запропонована модель має низку суттєвих переваг порівняно з традиційними

підходами (таблиця 2). По-перше, вона дозволяє врахувати реальну різноманітність станів людей без збільшення кількості груп. По-друге, забезпечується гнучкість моделі, оскільки зміна параметрів дозволяє адаптувати її до різних умов. По-третє, модель є придатною для подальшого використання у математичних та імітаційних моделях евакуації.

Таблиця 2 – Порівняльна характеристика традиційної та параметрично-орієнтованої класифікацій груп мобільності населення у задачах евакуації

Критерій	Традиційна класифікація (M1–M4)	Запропонована класифікація
Принцип побудови	Дискретний поділ на групи	Комбінований: поділ на групи із врахуванням параметрів
Опис мобільності	Узагальнений	Індивідуалізований
Охоплення маломобільних груп населення	Обмежене	Розширене (деталізовано протези, допоміжні засоби, асистування)
Поведінкові та організаційні фактори	Не враховуються	Враховуються
Гнучкість застосування	Низька	Висока
Придатність до моделювання	Обмежена	Висока

Особливо важливо, що у межах запропонованого підходу такі фактори, як використання опор, протезів або колісних крісел, не потребують введення окремих

категорій, а природним чином інтегруються в модель через параметри.

Запропонована параметрично-орієнтована модель мобільності створює узагальнену рамку для опису евакуаційних

процесів, однак її практичне застосування потребує подальшого розвитку, насамперед у частині кількісного визначення та валідації параметрів. У цьому контексті ключовим напрямом подальших досліджень є побудова емпірично обґрунтованих залежностей для всіх введених коефіцієнтів, зокрема

Виведення значень зазначених коефіцієнтів доцільно здійснювати на основі поєднання аналізу вже наявних експериментальних даних (у тому числі результатів досліджень евакуації, відеоспостережень, статистики поведінки людей у надзвичайних ситуаціях) та проведення спеціалізованих експериментів. Останні можуть включати натурні та напівнатурні дослідження руху людей із різними характеристиками мобільності, зокрема осіб із протезами нижніх кінцівок, користувачів допоміжних засобів пересування, а також сценаріїв асистованої евакуації. Важливим завданням є також калібрування параметрів моделі на основі імітаційного моделювання з подальшим порівнянням отриманих результатів із реальними або експериментальними даними.

Окрему увагу доцільно приділити дослідженню взаємозв'язків між параметрами, зокрема впливу організованості потоку на ефективність асистованого переміщення, а також залежності поведінкових характеристик від типу об'єкта, рівня інформованості та стадії розвитку пожежі. Це дозволить уточнити модель і забезпечити її більшу адекватність реальним умовам.

Разом із тим запропонована модель має певні обмеження. По-перше, вона базується на припущенні відносної незалежності параметрів, що в реальних умовах може не повністю виконуватися через складні кореляційні зв'язки між фізіологічними та поведінковими характеристиками людей. По-друге, модель є макроскопічною за своєю природою та не враховує детальні мікродинамічні взаємодії між окремими індивідами, такі як локальні конфлікти або утворення кластерів. По-третє, точність моделі суттєво залежить від коректності

оцінювання коефіцієнтів, що на початковому етапі може мати апроксимаційний характер.

Незважаючи на зазначені обмеження, модель має значний потенціал для застосування при аналізі змішаних евакуаційних потоків. Використання інтегрального коефіцієнта мобільності дозволяє описати кожного учасника потоку як елемент із індивідуальними характеристиками, що, у свою чергу, дає змогу формувати узагальнені показники для всього потоку. Зокрема, середня швидкість руху може визначатися як функція розподілу у групі, а структура потоку – як композиція осіб із різними параметрами.

Крім того, введення параметрів, що характеризують займаний простір та маневреність, створює передумови для врахування щільності потоку та її впливу на швидкість руху. У межах подальшого розвитку моделі доцільно інтегрувати її з відомими залежностями типу “швидкість-щільність”, що дозволить описувати процеси утворення заторів, зниження пропускної здатності та виникнення критичних режимів руху. Особливо перспективним є використання моделі в імітаційних системах, де параметричний опис мобільності може бути безпосередньо інтегрований у поведінкові алгоритми агентів.

Висновки та напрями подальших досліджень. За результатами аналізу наявних класифікацій груп мобільності встановлено, що традиційні підходи не дають змоги якісно враховувати параметри осіб, які використовують допоміжні засоби пересування, протези нижніх кінцівок, а також сценарії асистованого переміщення. Обґрунтовано, що основним недоліком є дискретний характер класифікацій, який не дозволяє адекватно врахувати різноманіття функціональних станів людини та їх вплив на швидкість і структуру потоку.

Розроблено параметрично-орієнтовану концепцію класифікації мобільності, у межах якої запропоновано поєднання трьох узагальнених груп за кінематикою руху та систему кількісних

параметрів. Показано, що детальний опис мобільності забезпечується через систему коефіцієнтів, які відображають фізичну працездатність, вікові особливості, використання допоміжних засобів і протезів, а також поведінкові характеристики. Додатково введено коефіцієнт асистованості, який дозволяє кількісно врахувати ефективність колективного переміщення осіб, що не здатні до самостійного руху.

Обґрунтовано можливість практичного застосування запропонованої моделі для аналізу змішаних евакуаційних потоків та різних сценаріїв руху населення.

Показано, що використання інтегрального коефіцієнта мобільності дозволяє формувати узагальнені характеристики потоку на основі індивідуальних параметрів його учасників, а також враховувати вплив організованості руху.

Запропонована модель виступає як базова концептуальна платформа, що поєднує простоту класифікації з гнучкістю параметричного опису, та створює підґрунтя для подальших досліджень, спрямованих на підвищення точності та практичної придатності методів розрахунку евакуації при пожежі.

Конфлікт інтересів. Борисова А.С. є випусковим редактором журналу «Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека», тому розгляд рукопису та рішення про його публікацію забезпечувалися іншими членами редакційної колегії повністю незалежно.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. NFPA 101: Life Safety Code. 2021 edition. Quincy, MA : National Fire Protection Association, 2021. 556 p.
2. ISO 21542:2021. Building construction — Accessibility and usability of the built environment. Second edition. Geneva : ISO, 2021. 237 p.
3. EN 81-70:2018. Safety rules for the construction and installation of lifts — Particular applications for passenger and goods passenger lifts. Part 70: Accessibility to lifts for persons including persons with disability. Brussels : CEN, 2018. 48 p.
4. ДСТУ 8828:2019. Пожежна безпека. Загальні положення. [Чинний від 2020-01-01]. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2019. 163 с.
5. Kuligowski E. D., Peacock R. D., Averill J. D. Pedestrian and evacuation dynamics. New York: Springer, 2011. DOI: 10.1007/978-1-4419-9725-8
6. Seyfried A., Steffen B., Klingsch W., Boltes M. The fundamental diagram of pedestrian movement revisited // Journal of Statistical Mechanics. 2005. DOI: 10.1088/1742-5468/2005/10/P10002
7. Stair evacuation of older adults and people with mobility impairments / E. Kuligowski, R. Peacock, E. Wiess, B. Hoskins. Fire Safety Journal. 2013. Vol. 62. P. 230–237. DOI: 10.1016/j.firesaf.2013.09.027.
8. Modelling total evacuation strategies for high-rise buildings / E. Ronchi, D. Nilsson. Building Simulation. 2013. Vol. 7, № 1. P. 73–87. DOI: 10.1007/s12273-013-0132-0.
9. Жезло-Хлевна Н., Хлевной О., Назар Ю., Борзов Ю., Довбняк В. Евакуація осіб із модульними протезами нижніх кінцівок при пожежі: сучасний стан, проблеми та перспективи досліджень. Пожежна безпека. Львів, 2025. № 46. С. 53–64. <https://doi.org/10.32447/20786662.46.2025.05>
10. Хлевной О., Жезло-Хлевна Н., Доценко О., Борисова А., Калиновський А. Біомеханічні особливості руху осіб із двосторонніми протезами нижніх кінцівок під час евакуації в умовах пожежі. Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека. Київ, 2025. № 1(19). С. 120–128. <https://doi.org/10.52363/nvcs.2025>.

REFERENCES

1. National Fire Protection Association. (2021). NFPA 101: Life Safety Code.
2. International Organization for Standardization. (2021). Building construction — Accessibility and usability of the built environment (ISO Standard No. 21542:2021). iso.org.
3. European Committee for Standardization. (2018). Safety rules for the construction and installation of lifts — Particular applications for passenger and goods passenger lifts — Part 70: Accessibility to lifts for persons including persons with disability (Standard No. EN 81-70:2018).
4. State Standard of Ukraine 8828:2019. (2019). Fire safety. General provisions. Kyiv: UkrNDNC.
5. Kuligowski, E. D., Peacock, R. D., & Averill, J. D. (2011). Pedestrian and evacuation dynamics. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-9725-8>.
6. Seyfried, A., Steffen, B., Klingsch, W., & Boltes, M. (2005). The fundamental diagram of pedestrian movement revisited. Journal of Statistical Mechanics. <https://doi.org/10.1088/1742-5468/2005/10/P10002>.
7. Kuligowski, E. D., & Hoskins, B. (2012). Analysis of evacuation of people with mobility impairments. Fire Technology. <https://doi.org/10.1007/s10694-011-0214-6>.
8. Ronchi, Enrico & Nilsson, Daniel. (2013). Modelling total evacuation strategies for high-rise buildings. Building Simulation. 7. 1-15. 10.1007/s12273-013-0132-9.
9. Zhezlo-Khlevna, N., Khlevnoi, O., Nazar, Y., Borzov, Y., & Dovbniak, V. (2025). Evacuation of persons with modular lower limb prostheses in case of fire: current state, problems and research prospects. Fire Safety, (46), 53–64. <https://doi.org/10.32447/20786662.46.2025.05>.

10. Khlevnoi, O., Zhezlo-Khlevna, N., Dotsenko, O., Borysova, A., & Kalynovskyi, A. (2025). Biomechanical features of movement of persons with bilateral lower limb prostheses during evacuation in fire conditions. *Scientific Bulletin: Civil Protection and Fire Safety*, 1(19), 120–128. <https://doi.org/10.52363/nvcz.2025>.

IMPROVING THE CLASSIFICATION OF POPULATION MOBILITY GROUPS USING A PARAMETER-ORIENTED APPROACH

O. Khlevnoi¹, N. Zhezlo-Khlevna¹, A. Borysova²

¹*Lviv State University of Life Safety, Ukraine*

²*Institute of Scientific Research on Civil Protection of the National University of Civil Protection of Ukraine
Ukraine*

KEYWORDS:

fire evacuation,
population mobility,
mobility-impaired
groups, parametric
model, evacuation
flow, wheelchairs,
lower limb
prostheses,
assistance
coefficient,
evacuation modeling.

ABSTRACT

The paper addresses a relevant scientific and applied problem of improving approaches to the classification of population mobility in the context of fire evacuation analysis. It is demonstrated that traditional methods based on discrete mobility groups (M1-M4) do not provide sufficient accuracy under modern evacuation conditions, which are characterized by high heterogeneity and a significant proportion of individuals with various functional limitations. It is substantiated that existing approaches do not adequately account for the use of assistive mobility devices, lower-limb prostheses, as well as assisted evacuation scenarios, which have become increasingly important in recent years. A parameter-oriented approach to mobility classification is proposed, combining a generalized division into three groups based on the mode of movement with a detailed description of individual characteristics through a system of quantitative coefficients. The model incorporates parameters reflecting physical capacity, age-related features, the use of assistive devices and prostheses, behavioral factors, and the level of evacuation flow organization. In addition, an assistance coefficient is introduced to quantify the effectiveness of assisted movement for individuals who are unable to move independently, depending on the mode of transportation and environmental conditions. It is shown that the proposed approach improves the adequacy of evacuation process modeling, particularly in the analysis of mixed flows and various behavioral scenarios. The model can be integrated into evacuation time calculations as well as into modern simulation systems that consider the influence of flow density on movement speed and congestion formation. Prospects for further research are associated with the experimental identification of model parameters, their validation, and adaptation to different types of buildings and evacuation conditions.