



DOI <https://doi.org/10.32447/20786662.46.2025.05>

Н. В. Жезло-Хлевна, О. В. Хлевной, Ю. С. Назар, Ю. О. Борзов, В. Й. Довбняк
Львівський державний університет безпеки життєдіяльності,
м. Львів, Україна

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-3768-2863> – Жезло-Хлевна Н. В.

<https://orcid.org/0000-0003-2846-3480> – Хлевной О. В.

<https://orcid.org/0000-0003-0151-8285> – Назар Ю. С.

<https://orcid.org/0009-0008-7971-9873> – Довбняк В. Й.

✉ line.point82@gmail.com

ЕВАКУАЦІЯ ОСІБ ІЗ МОДУЛЬНИМИ ПРОТЕЗАМИ НИЖНІХ КІНЦІВОК ПРИ ПОЖЕЖІ: СУЧАСНИЙ СТАН, ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Проблема. Війна в Україні призвела до значного збільшення кількості осіб з ампутаціями нижніх кінцівок. Ця категорія населення стикається з додатковими труднощами під час евакуації з будівель під час пожеж чи інших надзвичайних ситуацій. Основними викликами є зниження швидкості руху, нестабільність через втрату рівноваги, а також обмеження функціональних можливостей, пов'язаних з різними типами протезів. Відсутність у науковій літературі та практичних підходах до організації евакуації релевантних досліджень, що враховують мобільність осіб з протезами в критичних умовах, є актуальною проблемою, що потребує оперативного вирішення.

Метою статті є аналіз досліджень щодо впливу протезів нижніх кінцівок на мобільність і швидкість евакуації в разі пожежі та виявлення ключових факторів, що впливають на її ефективність, а також визначення перспективних напрямів подальших наукових розвідок, спрямованих на покращення евакуаційних стратегій для маломобільних груп населення.

Методи досліджень. У роботі застосовано систематичний підхід до аналізу літератури, що охоплює наукові публікації, нормативні акти та звіти з реабілітаційної практики. Для уточнення практичних аспектів мобільності проведено консультації з реабілітологами та користувачами протезів. Виконано порівняння характеристик різних типів протезів та їх впливу на швидкість руху.

Результати. Визначено, що рівень ампутації та тип протеза є ключовими факторами, які впливають на швидкість евакуації в разі пожежі. Для осіб з ампутацією стопи швидкість руху не зазнає істотних змін (максимальне зменшення швидкості не перевищує 20 %), тоді як за ампутації стегна або вичленення в тазостегновому суглобі втрати швидкості під час руху сходами можуть досягати 50–70 %. Протези з біонічними компонентами демонструють значно кращі результати в умовах евакуації завдяки адаптивності до змін рельєфу й темпу руху. При цьому моделювання евакуації осіб з протезами суттєво ускладнено через відсутність адаптованих моделей мобільності в програмному забезпеченні.

Висновки. За результатами проведеного аналізу визначено три ключові напрями вдосконалення евакуаційних стратегій, а саме проведення експериментальних досліджень для оцінки швидкості та витривалості осіб з протезами залежно від типу протезу та евакуаційного шляху; деталізація індивідуальних і потокових моделей руху учасників евакуації з протезами для інтеграції в програмні комплекси моделювання; створення рекомендацій для проєктування евакуаційних маршрутів з урахуванням потреб осіб з протезами для забезпечення безбар'єрності.

Ключові слова: евакуація, протези нижніх кінцівок, реабілітація, мобільність, пожежна безпека, комп'ютерне моделювання.

EVACUATION OF PEOPLE WITH MODULAR LOWER LIMB PROSTHESES IN THE EVENT OF A FIRE: CURRENT STATUS, PROBLEMS AND RESEARCH PROSPECTS

Problem. The war in Ukraine has led to a significant increase in the number of people with lower limb amputations. This category of the population faces additional difficulties when evacuating buildings during fires or other emergencies. The main challenges are slower walking speed, instability due to loss of balance, and limited functional capabilities associated with different types of prostheses. The lack of relevant research in the scientific literature and practical approaches to the organization of evacuation that takes into account the mobility of people with prostheses in critical conditions is an urgent problem that needs to be addressed promptly.

The purpose of the article is to analyze studies on the impact of lower limb prostheses on the mobility and speed of evacuation in case of fire and to identify key factors affecting its effectiveness, as well as to identify promising areas for further research aimed at improving evacuation strategies for people with limited mobility.

Research methods. The paper uses a systematic approach to analyzing the literature, including scientific publications, regulations, and reports on rehabilitation practice. To clarify the practical aspects of mobility, consultations were held with rehabilitation specialists and prosthesis users. The characteristics of different types of prostheses and their impact on movement speed were compared.

Results. It has been determined that the level of amputation and the type of prosthesis are the key factors that affect the speed of evacuation in a fire. For people with foot amputation, the speed of movement does not undergo significant changes (the maximum speed reduction does not exceed 20 %), while in case of hip amputation or hip disarticulation, the loss of speed while moving up the stairs can reach 50–70 %. Prostheses with bionic components demonstrate significantly better results in evacuation conditions due to their adaptability to changes in terrain and pace of movement. At the same time, modeling the evacuation of persons with prostheses is significantly complicated due to the lack of adapted mobility models in the software.

Conclusions. Based on the results of the analysis, three key areas for improving evacuation strategies have been identified: conducting experimental studies to assess the speed and endurance of persons with prostheses depending on the type of prosthesis and evacuation route; developing individual and flow models of movement of evacuees with prostheses for integration into simulation software systems; creating recommendations for designing evacuation routes taking into account the needs of persons with prostheses to ensure barrier-free access.

Key words: evacuation, lower limb prostheses, rehabilitation, mobility, fire safety, computer modeling.

Постановка проблеми. Через повномасштабну війну десятки тисяч українців – не лише військових, але й цивільних, зокрема дітей, – втратили кінцівки. Їх точна кількість невідома, проте ще у липні 2023 року видання “The Wall Street Journal” писало про 50 тисяч українців з ампутацією рук чи ніг. За даними Мінсоцполітики, лише до червня 2023 року по допоміжні засоби реабілітації звернулися 58 852 людини, з них протезували 20 737 осіб [1]. У січні-травні 2024 року протезами верхніх та нижніх кінцівок було забезпечено 5 248 осіб. Частка протезів нижніх кінцівок становить близько 55 % від загальної кількості [2]. Таким чином, в умовах повномасштабної війни кількість людей, що користується протезами, щороку зростає в середньому на 10 тисяч. І цей процес не припиниться одразу після завершення бойових дій, адже від моменту втрати кінцівки до протезування минає кілька місяців.

Сьогодні число осіб з протезами нижніх кінцівок як серед військових, так і серед цивільного населення, продовжує зростати. Статистика

свідчить про те, що більшість – люди віком від 25 до 35 років, які, попри важкі травми, продовжують вести активне життя. Цьому сприяють інноваційні досягнення в галузі протезування, що дають змогу відновлювати функціональну мобільність. Перед державою постає чимало викликів, кінцевою метою яких є перебудова інфраструктури та її максимальна доступність для людей з інвалідністю.

Одним з таких викликів є забезпечення безпеки цієї категорії населення під час евакуації в умовах надзвичайних ситуацій та пожеж. Евакуація є важливою складовою частиною заходів безпеки, а її успішність залежить від низки факторів, серед яких особливу роль відіграють фізичні можливості учасників евакуації. Люди з протезами нижніх кінцівок часто стикаються з додатковими труднощами, а саме зменшенням швидкості руху, труднощами пересування сходами, потребою в опорі чи допомозі, а також підвищеним ризиком втрати рівноваги чи травматизації. Крім того, стресові фактори та особливості конструкції

протезів можуть впливати на здатність швидко та ефективно реагувати на екстремальні ситуації.

Незважаючи на зростаючу актуальність цієї проблеми, сучасні дослідження евакуаційних процесів здебільшого зосереджені на аналізі загальної динаміки натовпу або окремих категорій маломобільних груп населення (пересування з використанням опор або крісел колісних). При цьому вплив використання протезів нижніх кінцівок на швидкість евакуації та загальну ефективність евакуаційних заходів досліджено недостатньо. Це створює значні прогалини у розробленні евакуаційних стратегій, які б враховували потреби цієї категорії населення.

Водночас сучасні системи моделювання евакуації, зокрема PyroSim, Pathfinder, здебільшого базуються на універсальних параметрах руху, що не враховують особливості мобільності людей з протезами. Відсутність реалістичних даних і сценаріїв для моделювання може призводити до недооцінки ризиків і, відповідно, недостатньо ефективного проектування шляхів евакуації.

Таким чином, виникає необхідність комплексного вивчення цієї проблеми, що включає аналіз фізичних, психологічних та технічних аспектів, які впливають на процес евакуації людей з протезами нижніх кінцівок. Проведення таких досліджень не лише допоможе краще зрозуміти потреби цієї групи населення, але й дасть змогу розробити ефективні рекомендації для вдосконалення евакуаційних стратегій і стандартів безпеки.

Аналіз досліджень і публікацій. У сфері евакуаційних досліджень усі роботи умовно можна розділити на три основні напрями.

1) Дослідження параметрів руху представників маломобільних груп населення. Вони спрямовані на вивчення швидкості та інтенсивності руху учасників евакуації на різних видах евакуаційних шляхів. Зокрема, найчастіше розглядають пересування горизонтальними ділянками, рух сходами вгору або вниз та проходження дверних прорізів. Більшість досліджень, присвячених мобільності людей з протезами нижніх кінцівок і спрямованих на вивчення їхньої здатності до пересування в різних умовах, має переважно медичне або спортивне спрямування. Так, у роботі [3] запропоновано метод оцінки швидкості пересування людей з трансфеморальною ампутацією за допомогою інерційного вимірювального пристрою (IMU), вбудованого у протез. Попри високу точність експериментальних результатів, варто відзначити обмеженість застосування методу в реальних умовах евакуації, оскільки дослідження проводилося на біговій доріжці, що не враховує складності руху в натовпі, на нерівних поверхнях або

за умов стресу під час пожежі. Крім того, метод орієнтований на оцінку рівномірної ходи, а не на специфічні аспекти евакуації, такі як маневрування або взаємодія з перешкодами. У джерелі [4] проаналізовано вплив жорсткості та висоти протезів та швидкості бігу на біомеханіку спортсменів з двосторонніми ампутаціями нижніх кінцівок. В експериментальних дослідженнях було задіяно 5 учасників.

2) Моделювання процесів евакуації змішаних потоків. Дослідження за цим напрямом дають змогу врахувати особливості евакуації під час пожежі з будівель і споруд різного призначення, зокрема присутність у складі евакуаційних потоків учасників евакуації зі зниженою мобільністю. Так, у джерелах [5; 6] проаналізовано загальні особливості евакуації маломобільних груп населення в разі пожежі. Зокрема, згадано одно- та двонаправлений рух з використанням опор та колісних крісел. При цьому в умовах експерименту поведінку учасників зі зниженою мобільністю було імітовано. Рух на протезах нижніх кінцівок не розглядався у зв'язку з технічною складністю (неможливістю) імітації. У джерелах [7–8] розглянуто часткові випадки організованого руху змішаних потоків з різним відсотковим складом учасників евакуації груп мобільності М2, М3 та М4. У цих роботах також відбувалась імітація руху маломобільних груп населення учасниками експериментів з числа добровольців. Учасники евакуації з протезами нижніх кінцівок при цьому також не розглядалися.

3) Нормування евакуаційних шляхів і виходів з урахуванням особливостей евакуації та розроблення ефективних стратегій безпеки. Цей напрям передбачає обґрунтування вимог до об'ємно-планувальних та технічних рішень у будівлях різного призначення, спрямованих на оптимізацію фізичної безбар'єрності. У джерелі [9] представлено обґрунтування параметрів використання ліфтів для евакуації маломобільних груп населення. У роботі [10] подібні дослідження проведені для евакуаційних крісел. Дослідження, представлені у праці [11], демонструють переваги і недоліки стратегій евакуації осіб з вадами опорно-рухового апарату з висотних будівель. Робота [12] присвячена питанням евакуації маломобільних груп населення із закладів освіти з інклюзивним навчанням. Попри те, що за результатами аналізу в більшості робіт учасники евакуації з протезами нижніх та верхніх кінцівок не були задіяні в експериментальних дослідженнях, специфічні пропозиції для осіб з протезами у контексті евакуації та безбар'єрного доступу часто не виділяються як окремі вимоги у нормативних документах.

Загалом за результатами аналізу літературних джерел можна дійти висновку, що сучасні дослідження істотно розширили розуміння евакуаційних процесів, проте під час урахування специфічних потреб людей з протезами нижніх кінцівок залишається **низка не вирішених проблем**, перелік яких наведено нижче.

1) Недостатньо вивчений вплив протезів на швидкість евакуації. Сучасні дослідження здебільшого орієнтовані на загальні аспекти мобільності людей з протезами у стандартних умовах. Однак динаміка руху таких осіб в умовах впливу небезпечних факторів пожежі (задимлення, обмежена видимість тощо) та перепон (сходи, вузькі проходи, скупчення людей) залишається недостатньо вивченою. Не існує систематизованих даних про те, як тип протезу (механічний, біонічний), рівень ампутації чи досвід використання впливає на швидкість і безпеку евакуації.

2) Відсутність реалістичних моделей поведінки людей з протезами у програмних комплексах. Чинні стандарти та програмні засоби моделювання наразі не враховують специфічних параметрів руху людей з протезами нижніх кінцівок. У програмних комплексах відсутні стандартні налаштування для таких користувачів, тому для симуляції необхідно самостійно налаштовувати персоналізовані характеристики їхніх профілів, зокрема швидкість та можливості маневрування. Це може призводити до значних похибок у прогнозуванні евакуаційних сценаріїв та плануванні безпечних шляхів евакуації.

3) Недосліджені взаємодії у натовпі. Люди з протезами нижніх кінцівок не можуть не тільки рухатися повільніше, але й потребувати більше простору для маневрів. Взаємодія між людьми з протезами нижніх кінцівок та іншими учасниками евакуації досліджена поверхово або недосліджена взагалі.

4) Нестача рекомендацій для проєктування евакуаційних маршрутів і заходів безпеки. Хоча існують загальні рекомендації щодо доступності будівель, вони здебільшого спрямовані на людей, які користуються колісними кріслами, опорами або іншими допоміжними засобами. Відсутні спеціалізовані норми й стандарти, які б враховували потреби осіб з протезами в умовах евакуації.

Метою роботи є аналіз сучасного стану досліджень впливу параметрів протезів нижніх кінцівок на швидкість та особливості евакуації під час пожеж чи інших надзвичайних ситуацій для виявлення прогалин у знаннях і визначення напрямів подальших досліджень.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

– провести огляд наукових публікацій, присвячених мобільності осіб з протезами та їх впливу на евакуаційні процеси;

– дослідити основні види та параметри протезів нижніх кінцівок та їх вплив на швидкість руху в процесі евакуації;

– запропонувати перспективні напрями досліджень і рекомендації для вдосконалення евакуаційних стратегій та стандартів безпеки.

Методи дослідження. У рамках підготовки оглядової статті було застосовано систематичний підхід до аналізу наукової літератури, що охоплює питання мобільності людей, які використовують протези нижніх кінцівок, моделювання евакуаційних процесів та особливостей евакуації осіб з протезами нижніх кінцівок. Пошук джерел здійснювався в базах даних “Scopus”, “Web of Science” та “Google Scholar” із застосуванням ключових слів, пов’язаних з темою дослідження. Задля забезпечення актуальності даних аналіз охоплював роботи, опубліковані переважно з 2010 до 2025 року.

Публікації відбиралися за релевантністю до тематики, зокрема щодо фізичних і психологічних аспектів мобільності осіб з протезами в умовах евакуації, а також впливу цих факторів на динаміку руху в натовпі. Особлива увага приділялася дослідженням, які використовували імітаційне моделювання. Зібрані дані були проаналізовані для визначення ключових тенденцій, виявлення прогалин у знаннях і формулювання рекомендацій для майбутніх досліджень.

Як доповнення аналізу наукових публікацій у дослідженні було використано емпіричний підхід, що передбачав спілкування з реабілітологами та особами, які використовують протези нижніх кінцівок. У ході консультацій з фахівцями були отримані оціночні дані про тривалість реабілітаційного періоду для користувачів різних типів протезів, зокрема трансфеморальних і трансгомількових. Крім того, обговорення з особами, які мають досвід використання протезів нижніх кінцівок, дало змогу оцінити їхню середню швидкість руху в умовах евакуації та можливі труднощі під час руху.

Ці дані були використані для порівняння з параметрами, які використовуються для моделювання процесів евакуації та наведені у чинних нормативних документах [13; 14], а також для формулювання практичних рекомендацій щодо вдосконалення евакуаційних стратегій і забезпечення безпеки осіб з протезами під час надзвичайних ситуацій.

Результати дослідження. Існують різні рівні ампутації нижніх кінцівок, і кожен з них вимагає

різного часу для реабілітації та відновлення. Розглянемо поширені випадки рівнів ампутації нижніх кінцівок, зокрема:

- ампутація стопи;
- ампутація гомілки;
- ампутація стегна;
- вичленення в гомілковостопному суглобі;
- вичленення в колінному суглобі;
- вичленення в тазостегновому суглобі.

Мобільність людини значно змінюється залежно від рівня ампутації. З юридичної точки зору це поняття у протезуванні визначено відповідно до джерела [15]. Цей документ затверджує порядок оцінки функціональних можливостей осіб з порушеннями функцій нижніх кінцівок, у тому числі дітей та осіб з інвалідністю. У ньому встановлено п'ять ступенів функціональних можливостей, які спрощено називають мобільністю. Вони поділяються на рівні від 0 до 4. Нульовий ступінь мобільності не передбачає можливості протезування, яке можливе лише починаючи з першого ступеня. **Перший ступінь (значні обмеження)** відповідає ситуації, коли людина може пересуватися в приміщенні за допомогою протеза та додаткової опори. **Другий ступінь (помірні обмеження)** передбачає необмежену мобільність у приміщенні та обмежену – поза ним. **Третій ступінь (легкі обмеження)** означає необмежену здатність до пересування як у приміщенні, так і у відкритому просторі. **Четвертий ступінь мобільності (відсутність обмежень)** характеризується здатністю до пересування без додаткової опори поза приміщенням, навіть за підвищених вимог до фізичної активності. Ступінь мобільності безпосередньо впливає на функціональність протезно-ортопедичних виробів, що використовуються. Чим вищий ступінь мобільності, тим



Рис. 1. Модульні протези нижніх кінцівок [16]: а) стопи; б) гомілки; в) стегна; г) стегна з 4-ланковим вузлом; д) стегна з корсетом

складніші та функціональніші комплектуючі, такі як колінні вузли або штучні стопи, можуть бути встановлені на протез.

Як вже було сказано, кожен з видів ампутації потребує різних протезів нижніх кінцівок (рис. 1). Загалом модульні протези умовно можна поділити на три основних типи: ті, які мають колінний шарнір та гомілковостопний шарнір (для ампутацій на рівні стегна або вичленення в тазостегновому суглобі), ті, які мають лише гомілковостопний шарнір (найчастіше – для ампутацій гомілки чи стопи), а також ті, які не мають шарнірних суглобів (переважно – для ампутацій частин стопи).

Шарнірні суглоби повинні витримувати значні навантаження та забезпечувати достатню свободу рухів для різних активностей, тому їх наявність дуже важлива і впливає на тривалість реабілітації та післяреабілітаційну швидкість руху.

Колінні шарнірні вузли, залежно від функціоналу та можливостей пацієнта, поділяють на моноцентричні (одновісні) та поліцентричні

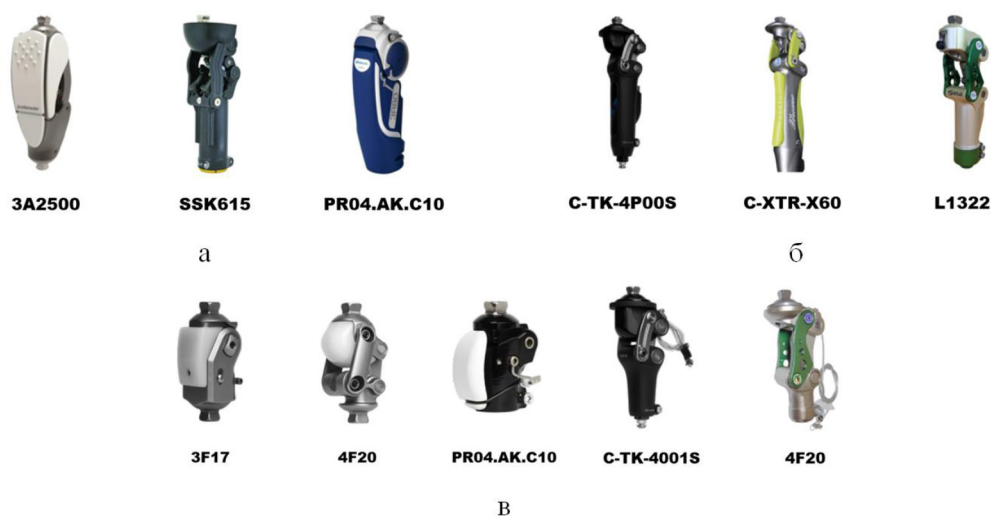


Рис. 2. Шарніри колінних вузлів [16]: а) 4 рівень мобільності; б) 3 рівень мобільності; в) 2 рівень мобільності

(багатовісні), з замком або без нього. Вид колінного вузла (рис. 2) дає змогу налаштувати кут і силу згинання, а також інші параметри, залежно від потреб користувача.

Штучні стопи застосовуються для створення модульних протезів стопи, гомілки та стегна. Основними факторами, що враховуються під час вибору штучної стопи, є вага пацієнта, рівень його мобільності, тип ампутації та спосіб життя. Конструктивно штучні стопи поділяються на три основні типи (рис. 3): шарнірні, безшарнірні та енергозберігаючі (виготовлені з карбону).

Окрім шарнірів, на швидкість руху можуть впливати такі фактори, як дизайн приймальної гільзи, який дає змогу компенсувати тиск на дистальну частину кульг, а також наявність або відсутність амортизаційних систем чи механізмів (рис. 5), що адаптуються до швидкості руху.

Гільзи для протезів нижніх кінцівок відрізняються за матеріалами, формою, способом фіксації та рівнем ампутації, для якого вони призначені. Силіконові гільзи виготовляються з м'яких, еластичних матеріалів, що забезпечують щільне прилягання до кульг, зменшують тертя та підвищують комфорт, тому їх використання сприяє стабільній ході й швидшій евакуації. Шкіряні гільзи є жорсткішими, забезпечують нижчий рівень комфорту і можуть обмежувати швидкість руху через подразнення або складність фіксації, особливо в разі тривалої активності. Термопластичні гільзи

завдяки індивідуальному формуванню забезпечують точну посадку, що покращує стабільність і сприяє більш природному руху під час евакуації. Комбіновані гільзи поєднують легкість і міцність, що позитивно впливає на мобільність і швидкість пересування в умовах надзвичайної ситуації.

Способи фіксації також мають значний вплив на швидкість евакуації. Ремінцеві гільзи, хоча прості у використанні, через свою менш надійну фіксацію можуть уповільнювати рух. Вакуумні гільзи створюють надійну посадку кульг, що забезпечує стабільність і дає змогу підтримувати постійну швидкість навіть на нерівних поверхнях. Лайнерні гільзи завдяки м'яким чохлам знижують ризик травмування кульг під час евакуації, забезпечуючи комфорт і впевненість у русі. Замкові гільзи, які фіксують кульгу найбільш надійно, дають змогу уникнути ковзання протеза, що особливо важливо за швидкого пересування чи на сходах. Загалом вибір гільзи має безпосередній вплив на мобільність користувача і його здатність до швидкої евакуації в умовах небезпеки [18].

Розглядаючи протези нижніх кінцівок, неможливо не згадати біонічні протези – це високотехнологічні пристрої, оснащені мікропроцесорами, сенсорами та двигунами, які автоматично адаптуються до рухів користувача і типу поверхні. Вони забезпечують природніший рух, покращують баланс і знижують енерговитрати під час ходьби. Перевагами таких протезів є висока



Рис. 3. Штучні стопи [16]: а) безшарнірні для 1 і 2 рівнів мобільності; б) шарнірні для 2 і 3 рівнів мобільності; в) енергозберігаючі для 3 і 4 рівнів мобільності

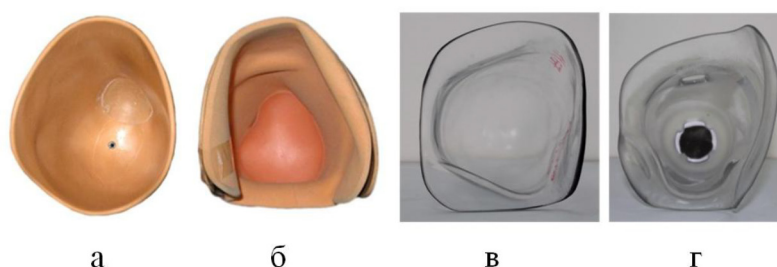


Рис. 4. Види гільз протезів нижніх кінцівок [17]: а) вакуумна приймальна гільза протезу стегна з тотальним контактом всією поверхнею; б) приймальна гільза протезу стегна з глибокою посадкою та опорою на власну зв'язку надколінка; в) поперечно-овальна приймальна гільза протезу стегна; г) гільза протезу стегна із захватом сідничної кістки



Рис. 5. Приклади амортизаційних механізмів протезів нижніх кінцівок: а) карбонова стопа з вертикальними амортизаторами; б) колінний вузол з гідравлічним амортизатором

функціональність, комфорт і можливість використання у складних умовах. Недоліки – висока вартість, залежність від джерел живлення та потреба у тривалому налаштуванні.

Не меншої уваги заслуговують спортивні протези. Вони створені для активної фізичної діяльності, такої як біг, стрибки чи заняття спортом. Їх зазвичай виготовляють з легких матеріалів, найчастіше карбону, і вони мають спеціальну форму (наприклад, леза) для підвищення амортизації та ефективності руху. Особливостями є мала вага, висока міцність і можливість досягнення високих швидкостей. Однак їхні недоліки – вузька спеціалізація і висока вартість – дуже обмежують їх повсякденне використання.

І біонічні, і спортивні протези забезпечують кращі рухові активності порівняно з іншими видами, однак під час дослідження процесів евакуації варто зазначити, що з огляду на високу ціну в умовах функціонування об'єктів різного призначення частка людей з такими процесами буде дуже низькою.

На основі аналізу літературних джерел [19–21] та консультацій реабілітологів розглянемо

найбільш поширені варіанти ампутацій нижніх кінцівок та проаналізуємо потенційну втрату швидкості руху для учасників, які користуються модульними протезами, що є важливим показником під час евакуації.

Рівень ампутації суттєво впливає на швидкість руху як на горизонтальних ділянках, так і на сходах. Для людей без ампутації базова швидкість становить 100 метрів на хвилину, тоді як для різних рівнів ампутації, залежно від виду протезу, зниження швидкості після реабілітації становитиме:

- ампутація стопи – 0–10 %;
- ампутація гомілки – 0–20 %;
- ампутація стегна – 10–35 %;
- вичленення гомілковостопного суглоба – 0–20 %;
- вичленення колінного суглоба – 10–30 %;
- вичленення тазостегнового суглоба – 25–50 %.

Як бачимо, найменше зниження швидкості спостерігається під час ампутації стопи завдяки ефективним протезам, таким як силіконові накладки, а найбільше – за вичленення тазостегнового суглоба через складність компенсації втрати великих суглобів і м'язів, необхідних для стабільності та руху.

Таким чином, можна приблизно спрогнозувати час, необхідний для подолання 100 м особами з різними видами модульних протезів нижніх кінцівок (рис. 6).

За спуску сходами показники швидкості, ймовірно, будуть гіршими через підвищені вимоги до координації, балансу та сили, які ускладнені для осіб з протезами. Спуск сходами вимагає активного контролю над згинанням суглобів і амортизацією, що особливо проблематично під час вичленення суглобів (наприклад, колінного чи

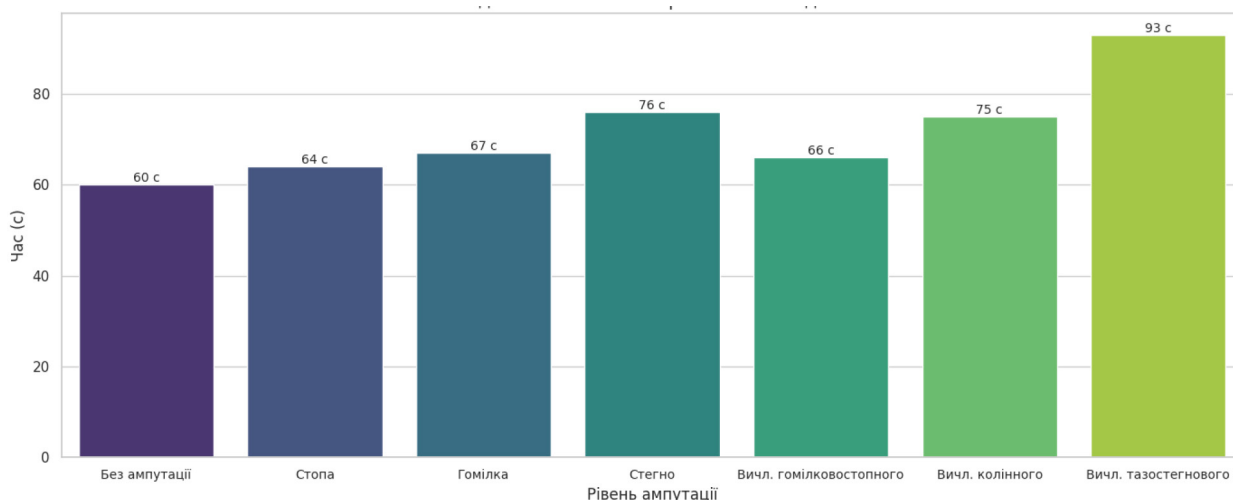


Рис. 6. Прогнозований час подолання 100 м для учасників евакуації з різними рівнями ампутації на модульних протезах

тазостегнового), де протези менш ефективно імітують природну біомеханіку.

Аналіз додаткових факторів, що впливають на рух осіб із протезами нижніх кінцівок. Окрім зменшення швидкості руху, особи з протезами нижніх кінцівок стикаються з низкою додаткових факторів, які ускладнюють їхню мобільність, як-от погана маневреність, вразливість до поштовхів, небезпека мокрих поверхонь та швидка втома. Ці аспекти впливають на безпеку, ефективність та комфорт під час пересування, особливо в складних умовах, таких як спуск сходами чи пересування нерівними поверхнями. Кожен з цих факторів залежить від рівня ампутації, типу протеза та індивідуальних особливостей користувача.

Погана маневреність є значною проблемою, особливо для осіб з ампутаціями на рівні стегна чи вичленення суглобів. Протези, особливо модульні одновісні чи з корсетом, обмежують бічні рухи та швидко зміню напрямку через недостатню гнучкість або відсутність активного контролю над суглобами. Наприклад, в разі ампутації стопи силіконові накладки забезпечують мінімальну маневреність, тоді як біонічні протези на рівні гомілки чи стегна можуть частково компенсувати це завдяки адаптивним механізмам. Однак навіть біонічні протези не повністю відтворюють природну координацію, що ускладнює повороти чи маневри на нерівних поверхнях.

Вразливість до поштовхів посилює ризик падіння, особливо за вичленення колінного чи тазостегнового суглобів. Протези на цих рівнях часто мають обмежену амортизацію та стабільність, що робить користувачів вразливими до нерівностей або зовнішніх впливів (наприклад, поштовхів у натовпі). Для ампутації стопи чи гомілки протези з амортизаторами чи регульованою стопою зменшують цю вразливість, але

не усувають її повністю. Спуск сходами донизу ускладнює ситуацію, оскільки поштовхи можуть порушити баланс, особливо на мокрих чи слизьких поверхнях.

Небезпека мокрих поверхонь становить серйозну загрозу для всіх рівнів ампутації, оскільки більшість протезів не має достатнього зчеплення з поверхнею. Наприклад, протези стопи зі спеціальним взуттям чи модульні протези гомілки можуть ковзати на вологих сходах, що підвищує ризик падіння. Біонічні протези з адаптивними стопами дещо краще справляються з такими умовами, але їхня ефективність залежить від технології та якості матеріалів. За вичленення тазостегнового суглоба небезпека зростає через обмежену здатність швидко реагувати на втрату рівноваги.

Швидка втома є ще одним критичним фактором, який залежить від рівня ампутації та типу протеза. Використання протезів, особливо на вищих рівнях (стегно, вичленення суглобів), вимагає значно більше енергії через необхідність компенсувати втрату м'язів і суглобів. Наприклад, протез із корсетом за вичленення тазостегнового суглоба може викликати втому швидше, ніж силіконові накладки в разі ампутації стопи, через більшу вагу та складність керування. Спуск сходами ще більше посилює втому, оскільки потребує додаткових зусиль для збереження балансу та контролю над протезом.

Ці фактори разом створюють комплексні виклики для осіб з ампутаціями, особливо в динамічних або непередбачуваних умовах, та може додатково зменшувати швидкість руху осіб з ампутаціями нижніх кінцівок (рис. 7).

Для вирішення описаних проблем під час планування будівель і споруд варто вживати заходів, орієнтовний перелік яких наведено у табл. 1.

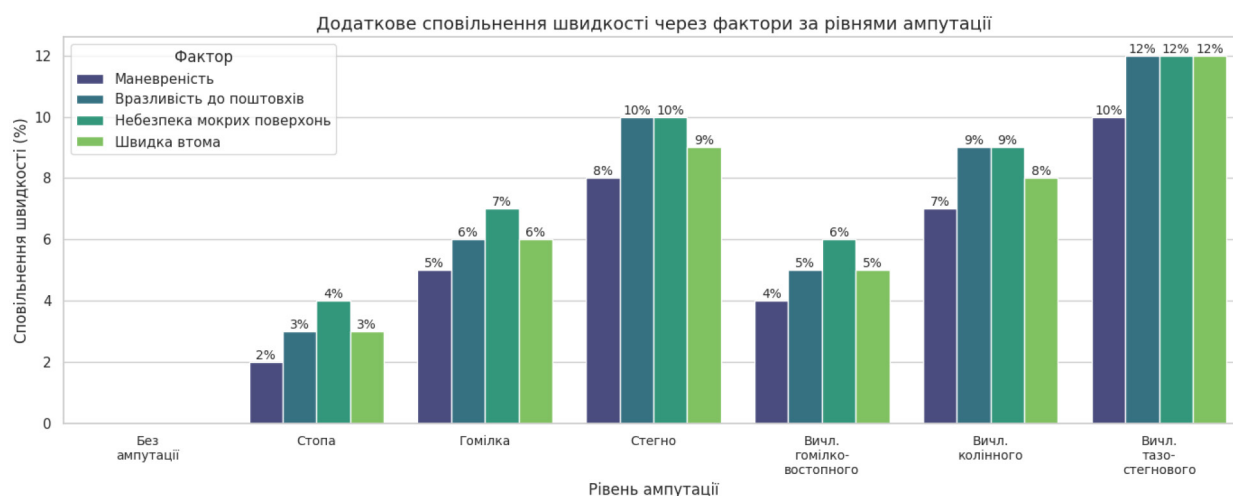


Рис. 7. Додаткове зниження швидкості через особливі умови евакуації

Взаємозв'язок проблем евакуації осіб з протезами нижніх кінцівок та запропонованих рішень

Проблема	Рішення	Очікуваний ефект
Зниження швидкості на сходах	Ліфти з резервним живленням або пандуси (нахил 1:12, ширина 1.2 м)	Підвищення швидкості; зменшення затримок у натовпі, скорочення відстані, яку потрібно подолати
Втома через високі енерговитрати та вагу протезів	Зони безпеки (2 м ² на особу, вогнестійкість EI 60)	Зниження енерговитрат під час руху пандусами, можливість відпочинку після кожних 100 м
Ризик падіння від поштовху в натовпі	Широкі евакуаційні шляхи (понад 1,2 м) та навчання персоналу для супроводу	Зменшення затримок, зниження ризику та кількості поштовхів
Ризик падіння через послизнення	Неслизькі поверхні	Знижує ризик падінь, підвищує швидкість у вологих умовах

Запропоновані рішення спрямовані на підвищення безпеки та комфорту осіб з протезами нижніх кінцівок, однак для визначення числових показників їхньої ефективності, таких як відсоток зменшення часу пересування чи зниження ризику падінь, необхідні подальші експериментальні дослідження. Вони мають включати тестування в реальних умовах із залученням користувачів протезів, щоб кількісно оцінити вплив заходів на маневреність, стабільність та енерговитрати.

Висновки. У роботі було проведено детальний аналіз нормативних документів та наукових публікацій, присвячених мобільності осіб з протезами та їхньому впливу на евакуаційні процеси. Встановлено, що відсутність інтегрованого підходу до вивчення впливу протезів на евакуаційні процеси обмежує можливості ефективного планування та підвищення рівня безпеки цієї категорії населення. Вирішення цих питань потребує міждисциплінарного підходу, що включає експериментальні дослідження, розроблення нових моделей та алгоритмів для програмного моделювання, а також удосконалення нормативної бази.

Визначено, що бойові дії, які тривають на території України понад 10 років, спричинили істотне зростання частки населення, яка використовує протези нижніх кінцівок, а також суттєві відмінності у вікових, гендерних та фізіологічних особливостях цієї групи осіб. Так, наприклад, у країнах Європи переважна частка ампутацій зумовлена природними причинами. За даними медичної статистики, ампутації нижніх кінцівок через діабет, судинні захворювання й травми зустрічаються у 0,1–0,2 % загального населення. В Україні станом на початок 2025 року за оціночними даними ця частка становить приблизно 0,35–0,45 %. У країнах Європи середній вік особи, яка використовує протез нижньої кінцівки, коливається у діапазоні 55–65 років, а частка осіб чоловічої статі становить трохи більше 60 %. В Україні ж ці показники суттєво відрізняються:

середній вік становить близько 40 років, а частка чоловіків перебуває у діапазоні 80–90 %. При цьому в Україні у значно більшого відсотка серед загальної кількості осіб з протезами спостерігаються ампутації високого рівня – від колінного суглобу і вище, тоді як переважна кількість ампутацій в країнах Європи – це ампутації стопи. З цієї причини більшість методів і моделей, які застосовуються для дослідження проблем евакуації під час пожежі осіб з протезами нижніх кінцівок, не може забезпечити адекватних результатів в наших реаліях.

У роботі також було досліджено основні види та параметри протезів нижніх кінцівок, а також їх вплив на швидкість руху в процесі евакуації. Встановлено, що, залежно від рівня ампутації та виду протезу, після завершення реабілітаційного періоду зменшення швидкості руху може становити від 0 % (ампутація частини стопи, рух на рівних горизонтальних ділянках) до 70 % (вичленення тазостегнового суглобу, рух сходами), тобто швидкість вільного руху (за відсутності зовнішніх перешкод) може коливатися в межах 50–100 м/с на рівних ділянках, 40–90 м/с під час руху сходами вниз і 20–50 м/с під час руху сходами вгору. Ці дані не збігаються з показниками, наведеними у чинних нормативних документах, що регламентують методики розрахунку тривалості евакуації. Так, наприклад, згідно з джерелом [16], усі особи, що використовують протези нижніх кінцівок, входять до групи мобільності M2. До цієї групи також входять немінні люди, мобільність яких знижена через старіння організму, особи з інвалідністю з порушеннями зору, які користуються білою тростиною, та люди з психічними відхиленнями. Для цієї групи швидкість руху за відсутності зовнішніх перешкод рекомендується приймати такою: 30 м/с – для руху горизонтальними ділянками, 30 м/с – для руху сходами вниз, 20 м/с – для руху сходами вгору відповідно. Очевидно, що ці дані далекі від

реальності і не дають змоги виконати розрахунки з належною точністю.

Виходячи з проведеного аналізу, сформуvalи перспективні напрями досліджень і рекомендації для вдосконалення евакуаційних стратегій та стандартів безпеки.

Першим з цих напрямів є експериментальне дослідження з оцінювання граничної швидкості руху та витривалості осіб з різними типами протезів у різних умовах. Очевидно, що з моменту встановлення протезу впродовж адаптаційного та реабілітаційного періодів швидкість ходи зростатиме, прямуючи до певного сталого значення. Отже, доцільно дослідити такі показники, як тривалість цього періоду та її залежність від виду протезу й типу евакуаційного шляху (горизонтальна ділянка, сходи, пандус тощо), а також відхилення кінцевої швидкості від швидкості учасників евакуації, які не користуються протезами.

Наступним кроком є деталізація індивідуальних та поточкових моделей руху учасників евакуації з протезами для використання у програмних комплексах моделювання. Загалом ці моделі повинні дозволяти враховувати залежність швидкості руху змішаних потоків, до складу яких входять учасники евакуації на протезах нижніх кінцівок, від щільності потоку та від частки учасників евакуації на протезах у потоці. Такі дані дадуть змогу виконувати розрахунки тривалості евакуації під час пожежі для різних об'єктів, що є необхідною умовою визначення індивідуальних пожежних ризиків.

Результати розрахунків тривалості евакуації під час пожежі для різних об'єктів дадуть змогу забезпечити створення рекомендацій для проектування евакуаційних маршрутів з урахуванням потреб людей з протезами, що, як вже було зазначено на початку цієї роботи, є одним з важливих завдань держави на шляху до забезпечення безбар'єрності.

Таким чином, результати оглядового дослідження висвітлюють ключові виклики та можливості для подальшого розвитку у сфері забезпечення безпеки евакуації осіб з фізичними обмеженнями.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Черг для військових на протезування сьогодні немає. Як працює система допомоги тим, хто втратив кінцівки. URL: <https://glavcom.ua/interviews/cherhi-dlja-vijskovikh-na-protezuvannja-sohodni-nemaje-jak-pratsjuje-sistema-dopomohi-tim-khto-vtrativ-kintsivki-1010816.html> (дата звернення: 15.03.2025).
2. Суполова К., Баркасі Д. Значення реабілітації у пацієнтів з двосторонньою трансфеморальною ампутацією. *Україна. Здоров'я нації*. 2022. № 3. С. 93–96. DOI: <https://doi.org/10.24144/2077-6594.3.1.2022.266038>
3. Dauriac, B., Bonnet, X., Pillet, H., & Lavaste, F. (2019). Estimation of the walking speed of individuals with transfemoral amputation from a single prosthetic shank-mounted IMU. *Journal of Engineering in Medicine*, 233(9), 931–937. DOI: <https://doi.org/10.1177/0954411919858468>
4. Beck, O. N., Taboga, P., & Grabowski, A. M. (2017). How do prosthetic stiffness, height and running speed affect the biomechanics of athletes with bilateral transtibial amputations? *Journal of the Royal Society Interface*, 14(131), 20170230. DOI: <https://doi.org/10.1098/rsif.2017.0230>
5. Fu, L., Qin, H., Shi, Q., Zhang, Y., & Shi, Y. (2022). An experimental study on evacuation dynamics including individuals with simulated disabilities. *Safety Science*, 155, 105878. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2022.105878>
6. Hostetter, H., & Naser, M.Z. (2022). Characterizing Disability in Fire Evacuation: A Progressive Review. *Journal of Safety Science and Resilience*. DOI: 10.1016/j.ssci.2022.06.004
7. Burak, N., Khlevnoi, O., Zhezlo-Khlevna, N., Raita, D., Dotsenko, O. (2025). Determination of Fire Evacuation Parameters in Higher Education Institutions with Inclusive Groups Using Machine Learning Methods. In: Babichev, S., Lytvynenko, V. (eds) *Lecture Notes in Data Engineering, Computational Intelligence, and Decision-Making*. Vol. 2. Springer, Cham. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-88483-2_14
8. Khlevnoi, O., Dotsenko, O., Kovalyshyn, V., Parkhomenko, V.-P., Dyven, V., Borysova, A., Vovk, S. (2024). Improvement of the methodology for determining the movement parameters of individuals with visual impairments during evacuation from higher education institutions with inclusive education using a simplified analytical model. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2(3(128)), 60–69. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.302950>
9. Szénay, M., & Lopusniak, M. (2018). Movement parameters of persons with disabilities on evacuation by lifts. *Proceedings of the 9th International Conference on Pedestrian and Evacuation Dynamics (PED2018)*, Lund, Sweden, August 21–23, 2018, 181–188.
10. Szulc, Karolina & Cisek, Marcin & Król, Małgorzata. (2022). Evaluation of the Evacuation of People with Disabilities, Using an Evacuation Chair. Research Report. *Safety & Fire Technology*. 60. 42–59. DOI: 10.12845/sft.60.2.2022.2
11. Koo, Jeongin & Kim, Yong Seog & Kim, Byung-In & Christensen, Keith. (2013). A comparative study of evacuation strategies for people with disabilities in high-rise building evacuation. *Expert Systems with Applications*. 40. 408–417. DOI: 10.1016/j.eswa.2012.07.017
12. Хлевной О., Харишин Д., Назаровець О. Проблемні питання розрахунку часу евакуації при пожежах у закладах дошкільної та середньої освіти

з інклюзивними групами. *Пожежна безпека*. 2020. № 29. С. 72–76. DOI: 10.32447/20784643.26.2022.05

13. ДСТУ 8828:2019. Пожежна безпека. Загальні положення [чинний від 2020-01-01]. Вид. офіц. Київ, 2018. 163 с.

14. ДБН В.2.2-40:2018. Інклюзивність будівель і споруд [чинний від 2019-04-01]. Вид. офіц. Київ, 2017. 70 с.

15. Про затвердження Порядків визначення функціональних можливостей особи з інвалідністю, дитини з інвалідністю, іншої особи: Наказ Міністерства соціальної політики України від 20 січня 2015 року № 37.

16. ДСТУ EN ISO 9999:2024 Засоби допоміжні. Класифікація та термінологія (EN ISO 9999:2022, IDT; ISO 9999:2022, IDT).

17. Гільзи та системи кріплення протезів нижніх кінцівок. URL: <https://langs.physio-pedia.com/uk/lower-limb-prosthetic-sockets-and-suspension-systems-uk> (дата звернення: 15.03.2025).

18. Семінська Н., Мусієнко О., Слободянюк І., Белевець К., Степанова А., Шитікова Н. Виготовлення протезів нижніх кінцівок: виклики, аналіз та можливі рішення. *Біомедична інженерія і технологія*. 2024. Т. 14. С. 8–17. DOI: 10.20535/2617-8974.2024.14.303997

19. De Pauw, K., Serrien, B., Baeyens, J.-P., Chelle, P., De Bock, S., Ghillebert, J., Bailey, S.P., Lefebvre, D., Roelands, B., Vanderborcht, B., & Meeusen, R. (2020). Prosthetic gait of unilateral lower-limb amputees with current and novel prostheses: A pilot study. *Clinical Biomechanics*, 71, 59–67. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2019.10.028>

20. Prost, V., Johnson, W. B., Kent, J. A., & others. (2022). Biomechanical evaluation over level ground walking of user-specific prosthetic feet designed using the lower leg trajectory error framework. *Scientific Reports*, 12, 5306. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-09114-y>

21. Toderita, Diana & Favier, Clément & Henson, David & Vardakastani, Vasiliki & Sherman, Kate & Bennett, Alexander & Bull, Anthony. (2023). Hip joint and muscle loading for persons with bilateral transfemoral/through-knee amputations: biomechanical differences between full-length articulated and foreshortened non-articulated prostheses. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*. 20. 10.1186/s12984-023-01296-4

REFERENCES

1. Glavcom. (2024, December 21). *There are no queues for military prosthetics. How the state is helping those who have lost limbs*. <https://glavcom.ua/interviews/cherhi-dlja-vijskovikh-na-protezu-vannja-sohodni-nemaje-jak-pratsjuje-sistema-dopomohi-tim-khto-vtrativ-kintsivki-1010816.html>

2. Supolova, K., & Barkasi, D. (2022). Vazhlyvist reabilitatsii u patsientiv z dvobichnoiu transfemoralnoiu amputatsieiu [The importance of rehabilitation in patients with bilateral transfemoral amputation].

Ukraina. *Zdorovia natsii*, (3), 93–96. <https://doi.org/10.24144/2077-6594.3.1.2022.266038>

3. Dauriac, B., Bonnet, X., Pillet, H., & Lavaste, F. (2019). Estimation of the walking speed of individuals with transfemoral amputation from a single prosthetic shank-mounted IMU. *Journal of Engineering in Medicine*, 233(9), 931–937. <https://doi.org/10.1177/0954411919858468>

4. Beck, O. N., Taboga, P., & Grabowski, A. M. (2017). How do prosthetic stiffness, height and running speed affect the biomechanics of athletes with bilateral transtibial amputations? *Journal of the Royal Society Interface*, 14(131), 20170230. <https://doi.org/10.1098/rsif.2017.0230>

5. Fu, L., Qin, H., Shi, Q., Zhang, Y., & Shi, Y. (2022). An experimental study on evacuation dynamics including individuals with simulated disabilities. *Safety Science*, 155, 105878. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2022.105878>

6. Hostetter, H., & Naser, M. Z. (2022). Characterizing Disability in Fire Evacuation: A Progressive Review. *Journal of Safety Science and Resilience*. DOI: 10.1016/j.ssci.2022.06.004

7. Burak, N., Khlevnoi, O., Zhezlo-Khlevna, N., Raita, D., Dotsenko, O. (2025). Determination of Fire Evacuation Parameters in Higher Education Institutions with Inclusive Groups Using Machine Learning Methods. In: Babichev, S., Lytvynenko, V. (eds) *Lecture Notes in Data Engineering, Computational Intelligence, and Decision-Making*, Volume 2. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-88483-2_14

8. Khlevnoi, O., Dotsenko, O., Kovalyshyn, V., Parkhomenko, V.-P., Dyven, V., Borysova, A., Vovk, S. (2024). Improvement of the methodology for determining the movement parameters of individuals with visual impairments during evacuation from higher education institutions with inclusive education using a simplified analytical model. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2(3(128)), 60–69. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.302950>

9. Szénay, M., & Lopusniak, M. (2018). Movement parameters of persons with disabilities on evacuation by lifts. *Proceedings of the 9th International Conference on Pedestrian and Evacuation Dynamics (PED2018)*, Lund, Sweden, August 21–23, 2018, 181–188.

10. Szulc, Karolina & Cisek, Marcin & Król, Małgorzata. (2022). Evaluation of the Evacuation of People with Disabilities, Using an Evacuation Chair. Research Report. *Safety & Fire Technology*. 60. 42–59. 10.12845/sft.60.2.2022.2

11. Koo, Jeongin & Kim, Yong Seog & Kim, Byung-In & Christensen, Keith. (2013). A comparative study of evacuation strategies for people with disabilities in high-rise building evacuation. *Expert Systems with Applications*. 40. 408 DOI: 417. 10.1016/j.eswa.2012.07.017

12. Khlevnoi, O., Kharyshyn, D., & Nazarovets, O. (2020). Problemni pytannia rozrakhunku chasu evakuatsii pry pozhezhakh u zakladakh doshkilnoi ta serednoi osvity z inkliuzyvnyimi hrupamy [Problems

of calculating the time of evacuation in case of fires in preschool and secondary education institutions with inclusive groups]. *Fire Safety*, 29, 136–141. <https://doi.org/10.32447/20786662.37.2020.11>

13. Derzhavnyi standart Ukrainy. (2018). *Pozhezhna bezpeka. Zahalni polozhennia [Fire Safety. General Provisions]*. (Chynnyi vid 2020-01-01) [Valid from 2020-01-01]. Kyiv: Ofitsiine vydannia. 163 s. [in Ukrainian].

14. Derzhavni budivelni normy V.2.2-40:2018. (2017). *Inklyuzyvnist budiveli i sporud [Inclusiveness of Buildings and Structures]*. (Chynnyi vid 2019-04-01) [Valid from 2019-04-01]. Kyiv : Ofitsiine vydannia. 70 s. [in Ukrainian].

15. Ministerstvo sotsialnoi polityky Ukrainy. (2015, sichen 20). *Nakaz № 37 “Pro zatverdzhennia Poriadkiv vyznachennia funktsionalnykh mozhlyvostei osoby z invalidnistiu, dytyny z invalidnistiu, inshoi osoby” [Order No. 37 “On Approval of the Procedures for Determining the Functional Capabilities of a Person with a Disability, a Child with a Disability, or Another Person”]*. [in Ukrainian].

16. DSTU EN ISO 9999:2024. (2024). *Zasoby dopomizhni. Klasyfikatsiia ta terminolohiia (EN ISO 9999:2022, IDT; ISO 9999:2022, IDT) [Assistive Products. Classification and Terminology]*. [in Ukrainian].

17. Hilzy ta systemy kriplennia proteziv nyzhnikh kintsivok [Lower Limb Prosthetic Sockets and Suspension Systems]. Retrieved from <https://langs.physio-pedia.com/uk/lower-limb-prosthetic-sockets-and-suspension-systems-uk> (accessed: 15.03.2025). [in Ukrainian].

18. Seminska, N., Musiienko, O., Slobodianiuk, I., Belevets, K., Stepanova, A., & Shytikova, N. (2024). Vyhotovlennia proteziv nyzhnikh kintsivok: vyklyky, analiz ta mozhlyvi rishennia [Manufacturing of Lower Limb Prostheses: Challenges, Analysis and Possible Solutions]. *Biomedychna inzheneriia i tekhnolohiia – Biomedical Engineering and Technology*, 14, 8–17. <https://doi.org/10.20535/2617-8974.2024.14.303997>. [in Ukrainian].

19. De Pauw, K., Serrien, B., Baeyens, J.-P., Cherelle, P., De Bock, S., Ghillebert, J., Bailey, S. P., Lefeber, D., Roelands, B., Vanderborght, B., & Meeusen, R. (2020). Prosthetic gait of unilateral lower-limb amputees with current and novel prostheses: A pilot study. *Clinical Biomechanics*, 71, 59–67. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2019.10.028>

20. Prost, V., Johnson, W. B., Kent, J. A., & others. (2022). Biomechanical evaluation over level ground walking of user-specific prosthetic feet designed using the lower leg trajectory error framework. *Scientific Reports*, 12, 5306. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-09114-y>

21. Toderita, Diana & Favier, Clément & Henson, David & Vardakastani, Vasiliki & Sherman, Kate & Bennett, Alexander & Bull, Anthony. (2023). Hip joint and muscle loading for persons with bilateral transfemoral/through-knee amputations: biomechanical differences between full-length articulated and foreshortened non-articulated prostheses. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*. 20. 10.1186/s12984-023-01296-4

© Н. В. Жезло-Хлевна, О. В. Хлевой, Ю. С. Назар, Ю. О. Борзов, В. Й. Довбняк

Оглядова стаття

Надійшла до редакції 30.04.2025

Прийнято до публікації 04.06.2025