

ДОСЛІДЖЕННЯ ШВИДКОСТІ РУХУ МАЛОМОБІЛЬНИХ ГРУП НАСЕЛЕННЯ У ЗАХИСНИХ СПОРУДАХ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ

Мета. З метою визначення часу входу та виходу із захисної споруди цивільного захисту було враховано, що існуючі споруди не були пристосовані до потреб з потреб осіб з інвалідністю та інших маломобільних груп населення. Було проведено комп'ютерне моделювання спуску та підйому за різних умов та складу груп. Для цього створено приміщення складної будови, щоб врахувати всі особливості руху людей в потоці.

Методика. Для розрахунку часу спуску до захисної споруди цивільного захисту та виходу назовні було обрано метод розрахунку індивідуально-потокового руху людського потоку, що в порівнянні із спрощеною аналітичною моделлю руху людського потоку, враховує неоднорідність потоку із різними групами мобільності та площею проекції людини.

Результати. З метою отримання опорних величин було проведено базові обчислювальні експерименти. Габаритні розміри та граничні умови шляхів евакуації приймаємо для базового обчислювального експерименту було обрано відповідно до вимог норм.

Наукова новизна. Під час моделювання спуску та підйому за максимально-допустимих відхилень від норм проектування для шляхів евакуації час руху маломобільної групи населення збільшився і склав на 15 та 22 с більше від базового експерименту відповідно. Під час моделювання використання розумних пристосувань час руху зріс майже вдвічі. Це свідчить про те, що використання розумних пристосувань та додаткового обладнання хоча і підвищує зручність пересування маломобільної групи населення, але суттєво збільшує час спуску та підйому.

Практична цінність. Дослідження підкреслює необхідність інтеграції принципів адаптивного проектування в укриття цивільного захисту, щоб збалансувати доступність та ефективність евакуації для вразливих груп населення.

Ключові слова: обчислювальний експеримент, маломобільні групи населення, безпека, евакуація, швидкість, безбар'єрність, захисна споруда цивільного захисту.

Вступ.

В умовах сьогодення усі громадські, державні та інші організації України мають забезпечувати виконання рішень Ради безбар'єрності при Президентіві України [1].

У більшості випадків вимоги норм для громадських, виробничих та житлових будівлях та спорудах в період проектування та будівництва в ХХ столітті не відповідають чинним вимогам норм та вимогам для доступності маломобільної групи населення (далі – МГН). Евакуація осіб з інвалідністю різних груп мобільності часто обмежені жорсткими вимогами для шляхів евакуації у захисних спорудах цивільного захисту та спорудах подвійного призначення (далі – споруди ЦЗ) у разі виникнення надзвичайної ситуації їх залишення. Невиконання вимог ширини шляхів евакуації або відсутності зовнішніх та внутрішніх пандусів наражає на небезпеку осіб з інвалідністю та унеможливує їх захист у разі ракетного обстрілу. Тому слід в повному обсязі прогнозувати забезпечення доступності та відповідності шляхів евакуації вимогам норм [2, 3].

У основному приміщенні для укриття сховищ та СПП із захисними властивостями сховищ громадських будівель (крім закладів освіти) та житлових будинків необхідно передбачати відокремлену зону для осіб з інвалідністю (за необхідністю із супроводжуючими) із розрахунку 10% від загальної місткості захисної споруди або СПП. У залежності від призначення будівель та споруд, які знаходяться поряд із захисною спорудою та СПП, перебувають внаслідок ракетного обстрілу наступні особи з інвалідністю в залежності від групи мобільності. Таким чином, існує проблема щодо швидкої та безпечної евакуації МГН з даних споруд у залежності від конфігурації та пристосованості приміщень.

Аналіз останніх досягнень та публікацій.

Об'єкти фонду захисних споруд ЦЗ повинні забезпечувати доступність та безпеку МГН відповідно до вимог [1-3], у тому числі з урахуванням мобільності осіб з інвалідністю різних категорій та їхньої чисельності. У більшості випадків пристосування приміщень будівель під споруди подвійного призначення (далі –

СПП) обираються паркінги, підвальні приміщення будівель освітніх закладів та інших будівель та споруд. Внаслідок чого висота приміщень існуючих споруд ЦЗ може вварюватися від 2,3 до 4,8 м. Проте, нормативні документи не можуть врахувати особливості руху маломобільної групи населення з об'єктів складної конфігурації.

В роботі [4] розглянуто сучасний стан питання евакуації маломобільних груп населення з висотних житлових будинків при пожежі. Обґрунтована можливість безпечної самостійної евакуації при пожежі маломобільних груп населення з використанням пожежних ліфтів. Проведений математичний та графічний розрахунок часу евакуації людей за допомогою програмного комплексу Pathfinder з використанням (без використання) пожежних ліфтів. Надані пропозиції щодо евакуації маломобільних груп населення з висотних житлових будинків, але не розглянуто особливості споруд ЦЗ.

У дослідженні [5] розглянуто проблеми евакуації маломобільних груп населення з громадських будівель у разі виникнення пожежі. Зазначено, що у разі пожежі при спрацювання систем пожежної сигналізації ліфти, у тому числі пожежі, ескалатори, травіатори, повинні працювати в режимі «пожежа». Це означає, що ліфти автоматично при спрацюванні пожежної сигналізації опускаються на перший поверх, двері відкриваються, а управління з кабіни ліфта блокуються. Ескалатори та травіатори при цьому зупиняються. Але не враховано використання розумних пристосувань.

Відповідно до аналізу, проведеного в роботі [6], існуючі стандарти [2-3] не містять достатніх вказівок для розрахунків евакуації з врахуванням різних сценаріїв потоків людей за участю осіб різних груп мобільності. У реальних обставинах ми стикаємося з різним відсотковим співвідношенням людей різних груп мобільності або немобільних осіб, які не можуть рухатися без допомоги. Ці нормативні документи не містять достатньо необхідних рекомендацій для подібних сценаріїв, особливо для об'єктів з масовим перебуванням людей, де присутні немобільні особи. Але дана у даній роботі недостатня увага приділена спорудам ЦЗ та

використанню спеціальних допоміжних пристроїв.

В роботі [7] проаналізовано сучасний стан щодо дослідження евакуації змішаного потоку людей з наявністю в ньому осіб різних груп мобільності. Розроблено проект методики та проведено експериментальні дослідження евакуації змішаного потоку людей різних груп мобільності. Розглянуто варіанти формувань людських потоків з наявністю в них маломобільних груп населення М3 та М4 з різними відсотковими співвідношеннями. Але враховано було лише умови, коли виконано всі вимоги чинних нормативів.

Щодо доступності та безпеки маломобільних груп населення на станціях метрополітенів, як споруди подвійного призначення, доцільно дотриманням вимог [8-10]. А загалом детальні рекомендації щодо пристосування споруд ЦЗ представлені у роботі [11].

Мета статті (постановка завдання).

Метою роботи є оцінювання часу, руху маломобільної групи населення при виконанні та відхиленнях від норм стандартів, а також застосуванні допоміжних засобів. Задачі:

1. Провести оцінювання часу входу та виходу зі споруди ЦЗ, що повністю відповідає вимогам норм безбар'єрності.
2. Провести оцінювання часу входу та виходу зі споруди ЦЗ за максимально-допустимих відхилень від норм проектування для шляхів евакуації.
3. Провести оцінювання часу входу та виходу зі споруди ЦЗ при використанні розумних пристосувань або додаткового обладнання (ліфти або підйомники).

Виклад основного матеріалу.

Перед початком моделювання процесу евакуації задають схему евакуаційних шляхів у будівлі. Всі шляхи поділяються на евакуаційні ділянки довжиною a та шириною b . Довжина та ширина кожної ділянки шляху евакуації для будівель, які проектує, приймають згідно з проектом, а для побудованих – за фактичним значенням. Довжина шляху сходовими маршами вимірюють за довжиною маршруту. Довжина шляху в дверному прорізі приймається рівній нулю. Евакуаційні ділянки можуть бути горизонтальні та похилі (сходи вниз, сходи вверх і пандус).

Під час розрахунку за габарити людини в плані визначають площу її горизонтальної проекції згідно з [2]. Задаються координати кожної людини хід – відстань від центра проекції до кінця евакуаційної ділянки, на якій вона знаходиться [2].

Координати кожної людини x_i у початковий момент часу задаються відповідно до схеми розміщення людей у приміщеннях (робочі місця, місця для глядачів, спальні місця тощо). У випадку відсутності таких даних, наприклад для магазинів, виставкових залів тощо, допустимо розміщувати людей рівномірно по всій площі приміщення з урахуванням розміщення технологічного обладнання.

Для визначення часу входу та виходу зі споруди ЦЗ необхідно врахувати, що існуючі споруди цивільного ЦЗ не були пристосовані до потреб з потреб осіб з інвалідністю та інших маломобільних груп населення було проведено комп'ютерне моделювання спуску та підйому за різних умов та складу груп.

Було створено приміщення складної будови для врахування всіх особливостей руху людей в потоці. На рисунку 1. представлено схематичне зображення приміщення, що створено на основі реальної споруди ЦЗ.

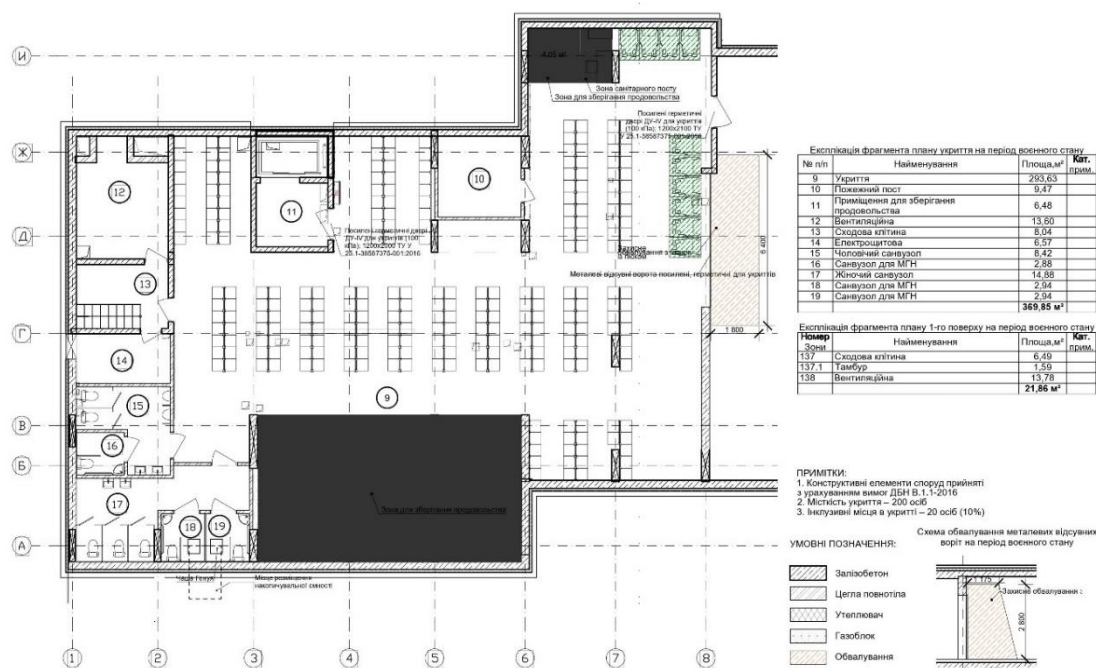


Рис. 1. Схема приміщення споруди ЦЗ.

Вихідні дані для розрахунків:

Кількість місць захисної споруди або СПП – до 200 осіб.

Кількість місць для МГН з загальною кількості – 1 – 20 осіб.

Було прийнято умови від максимально важких до полегшених для розрахунку виходу (евакуації) та спуску, а саме: кількість осіб з інвалідністю групи мобільності М4 – 1 – 10 осіб та 1 – 10 осіб з інвалідністю груп мобільності М1-М4.

Для розрахунку часу спуску до захисної споруди цивільного захисту та

евакуації назовні необхідно обрати метод розрахунку індивідуально-потокowego руху людського потоку, в порівнянні із спрощеною аналітичною моделі руху людського потоку, він враховує неоднорідність людського потоку із різними групами мобільності та площею проекції людини. Спрощена аналітична модель руху людського потоку розраховує час евакуації тільки з однією групою мобільності. У спрощеній аналітичній моделі руху людського потоку не враховано поєднання різних груп мобільності із різними характеристиками,

яке унеможливилює в умовах сьогодення розрахунок часу евакуації з поєднанням різних груп мобільності за спрощеною аналітичною моделлю руху.

В даному випадку передбачено знаходження осіб групи мобільності М1, осіб з інвалідністю груп мобільності М1-М4.

Спрощена аналітична модель руху людського потоку. Розрахункова тривалість евакуації людей (t_p) із приміщень і будівель встановлюється за розрахунком тривалості руху одного чи декількох людських потоків через евакуаційні виходи від найвіддаленіших місць розташування людей.

Під час розрахунку весь шлях руху людського потоку поділяється на ділянки (прохід, коридор, дверний проріз, сходовий марш, тамбур) завдовжки l_i і завширшки b_i .

Початковими ділянками є проходи між робочими місцями, обладнанням, рядами крісел тощо. Під час визначення розрахункового часу евакуації людей довжину і ширину кожної ділянки шляху евакуації для будівель, які проектується, приймають згідно з проектом, а для побудованих - за фактичним значенням. Довжину шляху сходовими маршами, а також по пандусах вимірюють по довжині маршру. Довжину шляху в дверному прорізі приймають рівній нулю. Проріз, розташований у стіні завтовшки більше ніж 0,7 м, а також тамбур слід вважати самостійними ділянками горизонтального шляху, що мають кінцеву довжину l_i .

Розрахункову тривалість евакуації людей (t_p) визначають як суму тривалість руху людського потоку по окремих ділянках шляху (t_i) за формулою:

$$t_p = t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_i \quad (1)$$

де: t_1 – тривалість руху людського потоку на першій (початковій) ділянці, що найбільш віддалена від евакуаційного виходу, хв;

$t_2 + t_3 + \dots + t_i$ – тривалість руху людського потоку на кожній із наступних після першої ділянки шляху, хв.

Швидкість руху людського потоку на ділянках шляху, наступних після першого, приймають за [2] залежно від інтенсивності руху людського потоку кожною із цих ділянок шляху, яку обчислюють для всіх ділянок шляху, і для дверних прорізів включно, за формулою:

$$q_i = \frac{q_{i-1} \cdot b_{i-1}}{b_i}, \quad (2)$$

де: b_i, b_{i-1} – ширина розглянутої i -ї та попередньої їй ділянки шляху, м;

q_i, q_{i-1} – інтенсивність руху людського потоку розглянутою i -ою і попередньою ділянками шляху, м/хв (інтенсивність руху людського потоку першою ділянкою шляху визначається за [2]).

При цьому значення q_{max} , м/хв слід приймати рівними:

для М1:

$q_{max} = 16.5$ – для горизонтальних шляхів;

$q_{max} = 19.6$ – для дверних прорізів;

$q_{max} = 16.0$ – для сходів вниз;

$q_{max} = 11.0$ – для сходів вгору.

для М2:

$q_{max} = 9.84$ – для горизонтальних шляхів;

$q_{max} = 9.7$ – для дверних прорізів;

$q_{max} = 9.55$ – для сходів вниз;

$q_{max} = 5.71$ – для сходів вгору;

$q_{max} = 12.16$ – для пандусів вниз;

$q_{max} = 6.97$ – для пандусів вгору.

для М3:

$q_{max} = 15.97$ – для горизонтальних шляхів;

$q_{max} = 17.6$ – для дверних прорізів;

$q_{max} = 6.29$ – для сходів вниз;

$q_{max} = 6.83$ – для сходів вгору;

$q_{max} = 21.69$ – для пандусів вниз;

$q_{max} = 11.53$ – для пандусів вгору.

для М4:

$q_{max} = 14.52$ – для горизонтальних шляхів;

$q_{max} = 16.4$ – для дверних прорізів;

$q_{max} = 27.65$ – для пандусів вниз;

$q_{max} = 10.03$ – для пандусів вгору.

Якщо значення q_i , визначене за формулою (2), більше q_{max} , то ширину b_i даної ділянки шляху слід збільшувати на таке значення, за якого дотримується умова:

$$q_i \leq q_{max}, \quad (3)$$

За неможливості виконання умови (3) інтенсивність і швидкість руху людського потоку ділянкою i визначають за [2] за значення щільності потоку – 0,9 і більше. При цьому слід враховувати час затримки руху людей через їх скупчення, відповідно до [2].

З метою отримання опорних величин було проведено базові обчислювальні експерименти.

Габаритні розміри та граничні умови шляхів евакуації приймаємо для базового обчислювального експерименту відповідно до нормативних вимог [2, 3].

Вихідні дані для базового експерименту:

Кількість місць захисної споруди або СПП – 200 осіб.

Кількість місць для МГН з загальної кількості – 20 осіб.

Приймаємо умови від максимально важких до полегшених для розрахунку виходу (евакуації) та спуску, а саме: кількість осіб з інвалідністю групи мобільності М4 – 10 осіб та 10 осіб з інвалідністю груп мобільності М1–М4.

На рисунку 2. відображено скріншоти моделювання підйому.

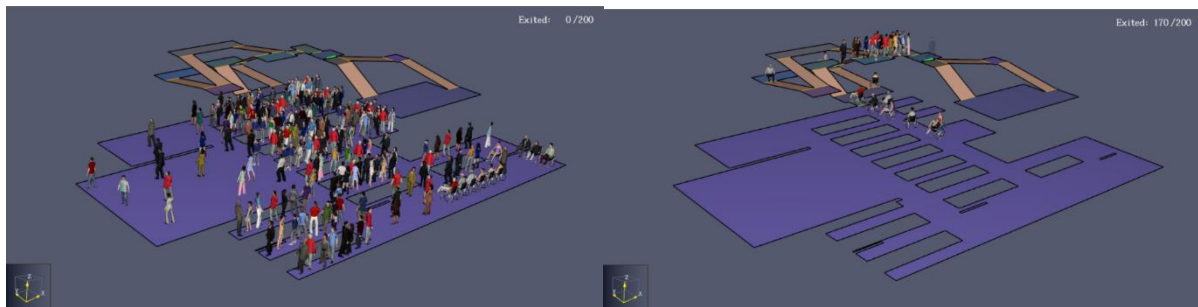


Рис. 2. Базовий експеримент: підйом.

Відповідно до розрахунку, час евакуації назовні склав – 345,8 с.

На рисунку 3. відображено скріншоти моделювання спуску.

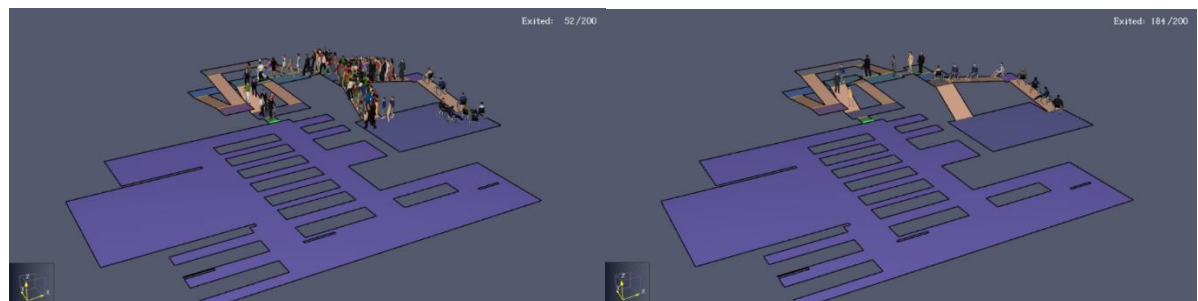


Рис. 3. Базовий експеримент: спуск.

Відповідно до розрахунку, час спуску склав – 267,3 с.

Наступний обчислювальний експеримент враховував максимально-допустимі відхилення шляхів евакуації [2].

Габаритні розміри та граничні умови шляхів евакуації приймаємо для обчислювального експерименту із ухилом пандусу в 30% або розумне пристосування із залученням додаткового обладнання для пересування осіб з інвалідністю групи

мобільності М4 із ухилом сходової клітини не більше 30%.

Вихідні дані для експерименту:

Кількість місць захисної споруди або СПП – 200 осіб.

Кількість місць для МГН з загальної кількості – 20 осіб.

Було прийнято умови від максимально важких до полегшених для розрахунку виходу (евакуації) та спуску, а саме: кількість осіб з інвалідністю групи мобільності М4 – 10 осіб та 10 осіб з інвалідністю груп

мобільності М1-М4. Відповідно до розрахунку, час підйому – 360,5 с.

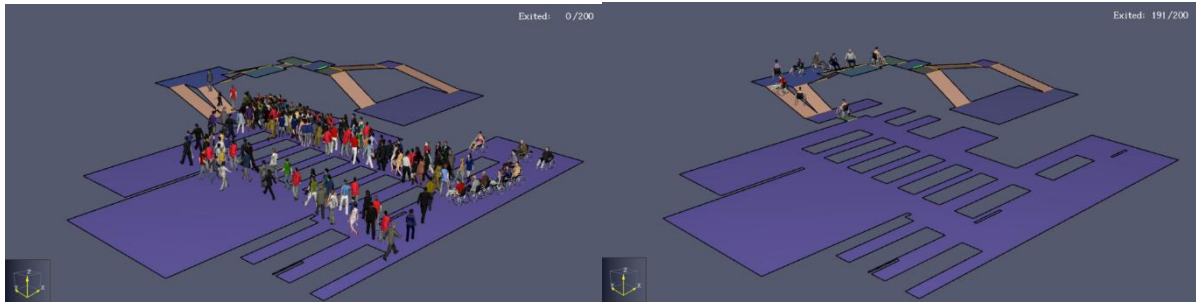


Рис. 4. Експеримент з максимальними відхиленнями: підйом.

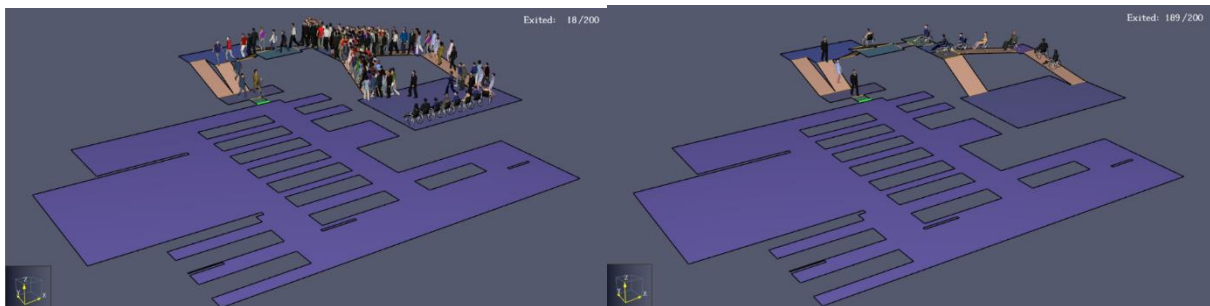


Рис. 5. Експеримент з максимальними відхиленнями: спуск.

Відповідно до розрахунку, час спуску склав – 289,3 с.

Наступний обчислювальний експеримент враховував розумне пристосування шляхів евакуації [2].

Відповідне розумне пристосування наявним гусеничним підйомником забезпечує надання допомоги особам з інвалідністю групи мобільності М4, яка надається однією особою для забезпечення пересування по маршах сходової клітини або по внутрішнім пандусам уклоном більше ніж 30%. По характеру відноситься як допоміжний засіб для вищесказаного способу пересування за допомогою двох осіб, які зможуть транспортувати крісло-коляску із особою до захисної споруди або СПП. Для наступного способу пересування також встановлюється швидкість 0,1 м/с. Але даний пристрій забезпечує мінімальні навантаження та труднощі які можуть виникнути в порівнянні з транспортуванні за допомогою двох осіб.

Габаритні розміри та граничні умови шляхів евакуації приймаємо для обчислювального експерименту із розумним

пристосуванням (встановлення похилого механічного пристрою для внутрішньої сходової клітини з уклоном 50%).

Вихідні дані для експерименту:

Кількість місць захисної споруди або СПП – 200 осіб.

Кількість місць для МГН з загальної кількості – 20 осіб.

Приймаємо умови від максимально важких до полегшених для розрахунку виходу (евакуації) та спуску, а саме: кількість осіб з інвалідністю групи мобільності М4 – 10 осіб та 10 осіб з інвалідністю груп мобільності М1-М4. Відповідно до розрахунку, час підйому склав – 631,8 с.

Відповідно до розрахунку, час спуску склав – 784,3 с.

Наступний обчислювальний експеримент враховував розумне пристосування сходової клітини із встановленням додаткового обладнання [2, 3].

Габаритні розміри та граничні умови шляхів евакуації приймаємо для обчислювального експерименту із розумним

пристосуванням (встановлення ліфта або механічного підйомника).

Вихідні дані для експерименту:

Кількість місць захисної споруди або СПП – 200 осіб.

Кількість місць для МГН з загальної кількості – 20 осіб.

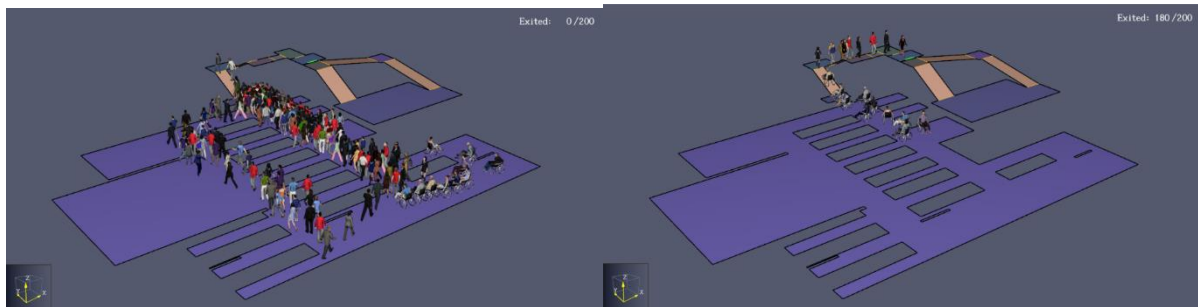


Рис. 6. Експеримент з розумними пристосуваннями: підйом.



Рис. 7. Експеримент з розумними пристосуваннями: спуск.

Приймаємо умови від максимально важких до полегшених для розрахунку виходу (евакуації) та спуску, а саме: кількість осіб з інвалідністю групи мобільності М4 – 10

осіб та 10 осіб з інвалідністю груп мобільності М1-М4. Відповідно до розрахунку, час підйому склав – 609,0 с.

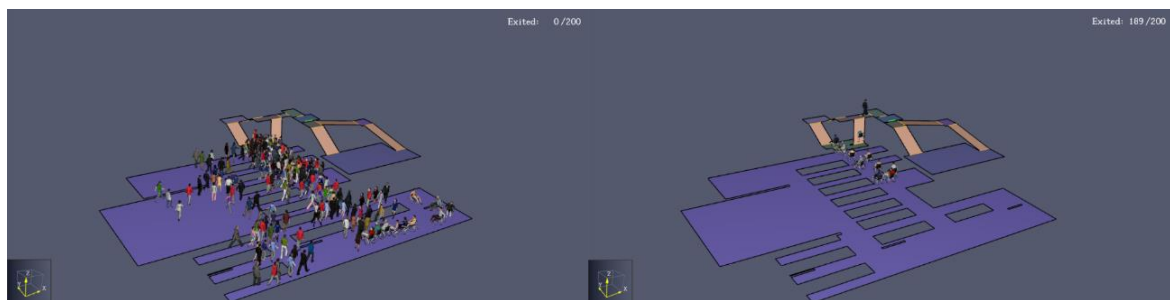


Рис. 8. Експеримент з додатковим обладнанням: підйом.

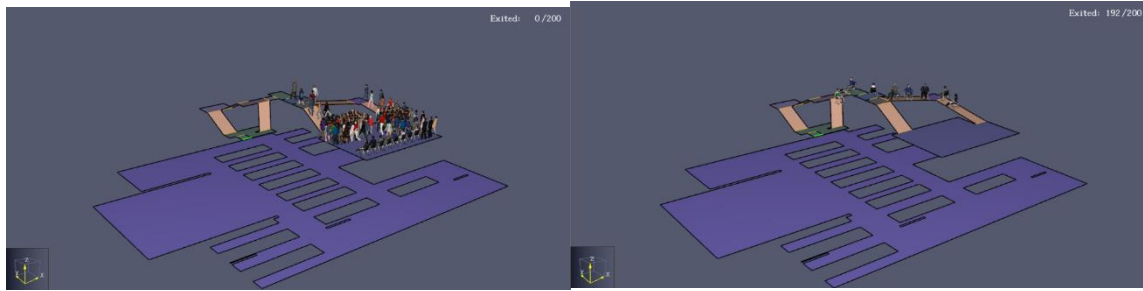


Рис. 9. Експеримент з додатковим обладнанням: спуск.

Відповідно до розрахунку, час спуску склав – 575,5 с.

Таким чином, провівши моделювання спуску та підйому людей, включаючи маломобільну групу населення, всередину споруди ЦЗ та назовні, стало можливим оцінити час за різних умов та сформулювати висновки.

Висновок.

У даній роботі проаналізовано результати обчислювальних експериментів для оцінювання швидкості руху маломобільної групи населення під час підйому та спуску в споруду ЦЗ. Було створено приміщення складної будови, на основі реально існуючого об'єкту, для врахування всіх особливостей руху людей в потоці. Це дозволило оцінити час, потрапляння людей при відхиленнях від норм стандартів або застосуванні розумних пристосувань:

1. Відповідно до розрахунку, час руху зі споруди ЦЗ, що повністю відповідає вимогам норм безбар'єрності, та всередину

склав: назовні – 345,8 с, а час спуску – 267,3 с. Ці величини стали базовими для подальших розрахунків.

2. Під час моделювання спуску та підйому за максимально-допустимих відхилень від норм проєктування для шляхів евакуації час руху маломобільної групи населення збільшився і склав: назовні – 360,5 с, спуску – 289,3 с, що на 15 та 22 с більше від базового експерименту відповідно.

3. Під час моделювання використання розумних пристосувань час руху склав: назовні – 631,8 с, спуску – 784,3 с, а застосування додаткового обладнання (ліфти або підйомники) час руху склав: назовні – 609 с, спуску – 575,5 с. Це свідчить про те, що використання розумних пристосувань та додаткового обладнання хоча і підвищує зручність пересування маломобільної групи населення, але суттєво збільшує час спуску та підйому.

Список літератури

1. Про схвалення Національної стратегії із створення безбар'єрного простору в Україні на період до 2030 року: Розпорядження Кабінету Міністрів України; Стратегія від 14.04.2021 № 366-р.

2. ДБН В.2.2-5:2023 «Захисні споруди цивільного захисту»

3. ДБН В.2.2-40:2018 «Інклюзивність будівель і споруд. Основні положення»

4. Майборода Р. І., Отрош Ю. А., Рашкевич Н. В., Мележик Р. С. Дослідження евакуації маломобільних груп населення з житлових висотних будинків при пожежі. Комунальне господарство міст, т. 4, № 178. Харків, 2023. С. 219-231.

5. Ганусевич Д. Л., Ренкас А. А. Проблеми евакуації маломобільних груп населення з

громадських будівель у разі виникнення пожежі. Проблеми та перспективи розвитку системи безпеки життєдіяльності: Зб. наук. праць XVII Міжнар. наук.-практ. конф. молодих вчених, курсантів та студентів. – Львів: ЛДУ БЖД, 2022. с. 22-23.

6. Доценко О., Крикун О., Цимбалістий С. Дослідження евакуації маломобільних груп населення в умовах змішаних потоків //Collection of scientific papers «АЛОГОС». – 2024. – №. February 2, 2024; Oxford, UK. – С. 149-152.

7. Доценко О. Г. Методика експериментальних досліджень евакуації змішаних потоків людей різних груп мобільності. Комунальне господарство міст. Науково-технічний збірник. Серія : технічні науки та архітектура. 2023. Том 6, № 180. С. 154–160.

8. Пожежна безпека. Загальні положення: ДСТУ 8828:2019 [Чинний з 2020-01-01]. Київ: УкрНДНЦ, 2019. 87 с.

9. ДБН В.2.3-7:2018 «Метрополітени».

10. Кодекс 3-1:2022 «Метрополітени. Частина 1. Проектування».

11. Рекомендації щодо пристосування об'єктів фонду захисних споруд цивільного захисту до потреб осіб з інвалідністю та інших маломобільних груп населення. Черкаси: ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2024. 32 с. https://dsns.gov.ua/upload/2/2/0/1/3/5/5/rekomenda_ciyi.pdf.

References

1. Pro skhvalennya Natsional'noyi stratehiyi iz stvorenniya bezbar'yernoho prostoru v Ukrayini na period do 2030 roku: Rozporyadzhennya Kabinetu Ministriv Ukrayiny; Stratehiya vid 14.04.2021 № 366-r.

2. DBN V.2.2-5:2023 «Zakhysni sporudy tsyvil'noho zakhystu»

3. DBN V.2.2-40:2018 «Inklyuzyvnist' budivel' i sporud. Osnovni polozhennya»

4. Mayboroda R. I., Otrosh YU. A., Rashkevych N. V., Melezhyk R. S. Doslidzhennya evakuatsiyi malomobil'nykh hrup naselennya z zhytlovykh vysotnykh budynkiv pry pozhezhhi. Komunal'ne hospodarstvo mist, t. 4, № 178. Kharkiv, 2023. S. 219-231.

5. Hanusevych D. L., Renkas A. A. Problemy evakuatsiyi malomobil'nykh hrup naselennya z

hromads'kykh budivel' u razi vynykennya pozhezhi. Problemy ta perspektyvy rozvytku systemy bezpeky zhyttyediyal'nosti: Zb. nauk. prats' KHVII Mizhnar. nauk.-prakt. konf. molodykh vchenykh, kursantiv ta studentiv. – L'viv: LDU BZHD, 2022. s. 22-23.

6. Dotsenko O., Krykun O., Tsymbalistyy S. Doslidzhennya evakuatsiyi malomobil'nykh hrup naselennya v umovakh zmishanykh potokiv //Collection of scientific papers «LÓHOS». – 2024. – №. February 2, 2024; Oxford, UK. – S. 149-152.

7. Dotsenko O. H. Metodyka eksperymental'nykh doslidzen' evakuatsiyi zmishanykh potokiv lyudey riznykh hrup mobil'nosti. Komunal'ne hospodarstvo mist. Naukovo-tekhnichnyy zbirnyk. Seriya : tekhnichni nauky ta arkhitektura. 2023. Tom 6, № 180. S. 154–160.

8. Pozhezhna bezpeka. Zahal'ni polozhennya: DSTU 8828:2019 [Chynnyy z 2020-01-01]. Kyiv: UkrNDNTS, 2019. 87 s.

9. DBN V.2.3-7:2018 «Metropoliteny».

10. Kodeks 3-1:2022 «Metropoliteny. Chastyna 1. Proyektuvannya».

11. Rekomendatsiyi shchodo prystosuvannya ob'yektiv fondu zakhysnykh sporud tsyvil'noho zakhystu do potreb osib z invalidnistyu ta inshykh malomobil'nykh hrup naselennya. Cherkasy: CHIPB im. Heroyiv Chornobylya NUTSZ Ukrayiny, 2024. 32 s. https://dsns.gov.ua/upload/2/2/0/1/3/5/5/rekomenda_ciyi.pdf

Нуянзін Олександр Михайлович – д-р техн. наук, професор, начальник науково-дослідної лабораторії пожежної та техногенної безпеки навчально-наукового інституту пожежної безпеки Національного університету цивільного захисту України (вул. Онопрієнка, 8, Черкаси, 18034, Україна).

ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2527-6073> E-mail: nuianzin_oleksandr@nuczu.edu.ua

RESEARCH ON THE MOVEMENT SPEED OF LOW-MOBILITY POPULATION GROUPS IN CIVIL PROTECTION SHELTERS

Purpose. To accurately assess the entry and exit time of civil protection shelters, it was considered that the existing facilities were not adapted to the needs of persons with disabilities and other low-mobility population groups. A series of computer simulations were conducted to model descent and ascent under various conditions and group compositions. The simulations utilized a complex architectural layout to account for all distinctive features of human movement within a crowd.

Methods. The individual-flow movement calculation method was selected to estimate the descent and exit times. This method, in contrast to simplified analytical models, incorporates the heterogeneity of the human flow, considering varying mobility capacities and the projected human body area.

Results. Baseline computational experiments were performed to obtain reference values. The geometric parameters and boundary conditions of the evacuation routes were set in accordance with regulatory requirements.

Novelty. Simulations of descent and ascent under maximum permissible deviations from evacuation route design standards indicated that the movement time of low-mobility population groups increased by 15 and 22 seconds, respectively, compared to the baseline experiment. Furthermore, the introduction of smart assistive devices resulted in an almost twofold increase in movement time. These findings demonstrate that while smart assistive devices and additional equipment improve comfort and accessibility for low-mobility population groups, they considerably prolong the descent and ascent duration.

Practical significance. *The study underscores the necessity of integrating adaptive design principles in civil protection shelters to balance accessibility with evacuation efficiency for vulnerable population groups.*

Key words: *computational experiment, low-mobility population groups, safety, evacuation, speed, barrier-free accessibility, civil protection shelter.*

Oleksandr Nuianzin – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Research Laboratory of Fire and Technogenic Safety of Educational and Scientific Institute of Fire Safety of National University of Civil Protection of Ukraine (8 Onopriienko St., Cherkasy, 18034, Ukraine)

ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2527-6073> E-mail: nuianzin_oleksandr@nuczu.edu.ua