

Р.І. Майборода, Ю.А. Отрош, Н.В. Рашкевич, Р.С. Мележик

Національний університет цивільного захисту України, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕВАКУАЦІЇ МАЛОМОБІЛЬНИХ ГРУП НАСЕЛЕННЯ З ЖИТЛОВИХ ВИСОТНИХ БУДИНКІВ ПРИ ПОЖЕЖІ

В роботі 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.

Ключові слова: шляхи евакуації, евакуаційні виходи, висотні житлові будинки, пожежні ліфти, час евакуації.

Постановка проблеми

З початку ХХІ століття кількість зведених висотних житлових будинків як за кордоном, так і в Україні, збільшилась в десятки разів. Дана тенденція зберігається і на сьогоднішній день. В силу своєї специфіки, висотні житлові будинки характеризуються великою пожежною небезпекою, яка, перш за все, пов'язана з потребами евакуації людей. Потрібно враховувати, що вогонь та продукти горіння заповнюють евакуаційні шляхи зі швидкістю, яка може сягати кількох десятків метрів за хвилину.

Важливим параметром, що впливає на швидкість руху людського потоку при евакуації, є віковий склад, тип і кількість людей. Особливо гостро постає питання евакуації людей, які відчувають труднощі при самостійному пересуванні або при орієнтуванні в просторі. Це маломобільні групи населення (МГН).

Сучасні норми пожежної безпеки повинні враховувати питання ефективної евакуації МГН з урахуванням їх фізичних особливостей (низької швидкості руху, порушення опорно-рухливого апарату, розсіювання уваги, недостатньої витривалості). Крім того, динамічні габарити (зона, яку людина займає при русі з урахуванням допоміжних засобів пересування) людей з порушенням опорно-рухливого апарату можуть перевищувати в 2 рази габарити звичайної людини. Це зумовлює певні труднощі для людей, які рухаються в щільному потоці, особливо в місцях локальних звужень.

У [1] наголошується, що евакуація людей у разі пожежі з будь-якої за призначенням будівлі, будинку та споруди передбачається по шляхах евакуації через евакуаційні виходи, евакуаційні сходи та сходові

клітки. Для людей похилого віку і МГН даний спосіб евакуації стає особливо важким, небезпечним і, часом, фізично неможливим [2]. Згідно діючого законодавства, ліфти, у тому числі пожежні, не враховуються під час проектування шляхів евакуації.

У зв'язку з цим в роботі поставлене завдання розглянути можливість використання пожежних ліфтів у висотних житлових будинках, як основного шляху евакуації, та перейти до комбінованої системи евакуації людей, у тому числі маломобільних груп населення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Відсутність надійного та доступного шляхів евакуації з висотних будівель, особливо для МГН, призвело до необхідності проведення низки наукових досліджень. Альтернативні шляхи вирішення цього питання частково розкриті та описані у ряді закордонних та вітчизняних наукових праць.

З технічної точки зору сучасні висотні будинки є складними багатофункціональними архітектурно-інженерними комплексами, і вимоги повинні бути сформульовані, виходячи з можливості безпечної експлуатації та евакуації людей у виникнення та поширення пожежі [3, 4].

Встановлено [5], що при евакуації досить часто на сходових клітинах утворюються потоки великої щільності (7-8 осіб/м²), які призводять до виникнення скупчень (заторів), що, в свою чергу, призводить до збільшення часу виходу із будинку.

Застосування наявної техніки, яка при максимальних характеристиках досягає лише 10-го поверху, має ряд недоліків: обмеженість маневреності при розгортанні й зміні положення, обмеженість кількості людей, що рухаються нею, тривалий час розгортання (встановлення – до 120 с,

підйом та висунення колін – до 100 с), залежність від сторонніх чинників (швидкість вітру, обмеженість під'їзду та розмірів майданчику для розгортання, його покриття та кут ухилу до 6° тощо) [6, 7].

Виконана оцінка динаміки розвитку пожежі висотної будівлі шляхом визначення часу надходження небезпечних чинників пожежі у відсіку висотної будівлі шляхом використання програмного комплексу FDS (Fire dynamics Simulator) [8], за допомогою прикладного програмного забезпечення PYROSIM [9, 10], Pathfinder [11, 12]. Pathfinder дає візуалізоване тривимірне зображення процесу евакуації з можливим з'ясуванням причин затримки під час евакуації. Для продуктів горіння характерні свої особливості розповсюдження [13].

Розглянута можливість використання додаткового шляху евакуації людей при пожежі з висотних будівель за допомогою обладнання даних об'єктів рятувальними вежами, які зводяться сумісно з будівлею, відгороджуються від загального об'єму протипожежними перешкодами [14, 15].

Авторами [16] встановлено, що ефективність використання сходів, ліфтів, а також альтернативних засобів евакуації залежить від призначення будівлі (офісні будівлі, житлові будинки, заклади охорони здоров'я тощо) та задіяного населення. Для проведення ефективної евакуації наголошено на використанні більше однієї моделі.

В [17] встановлено, що двома найважливішими факторами, які впливають на час евакуації, є оптимальне розташування сходів у будівлі та поверхи, на яких починається пожежа. Коли пожежа починається на нижніх рівнях будівлі, час евакуації з верхніх поверхів є найбільшим.

В [15] представлена конструкція пожежобезпечної ліфтової системи, яка поєднує місце укриття з пожежобезпечним ліфтом. Пожежобезпечний ліфт оточений місцями укриття з конструкцій межею вогнестійкості не менше 120 хвилин. Під час пожежі ліфти зупиняються лише на поверхах з місцями укриття. Схеми димовидалення з системами підвищення тиску забезпечують розсіювання диму та розподіл тиску в цій пожежобезпечній ліфтовій системі.

Дослідником [18] запропонована система безпеки висотних будівель, в якій кожен поверх висотної будівлі розділяється на протипожежні ділянки протипожежними перегородками з протипожежними дверима та розміщенням усередині кожної протипожежної ділянки розрахункової кількості індивідуальних тросових технічних засобів рятування.

Аналіз розглянутих джерел дозволив сформулювати низку причин, що перешкоджають ефективній евакуації людей із висотних житлових будинків, такі як: утворення скупчення людей на

вході в сходову клітку через її обмежену пропускну здатність і неможливість забезпечити безперервний рух людей через високу щільність потоку; неможливість ефективного використання пожежобезпечних місць та висотної техніки; складність евакуації людей із фізичними обмеженнями категорії маломобільних груп населення.

Можна зазначити, що існуючі норми в сфері пожежної безпеки є не досконалими і як правило, орієнтовані на звичайні категорії громадян, не враховують потреби в евакуації маломобільних груп населення.

Аналіз публікацій за даною темою досліджень свідчить, що забезпечення безпеки людей при пожежах у висотних будівлях здійснюється з використанням декількох окремих підходів.

По-перше, це інженерні рішення, які передбачаються на стадії проектування.

По-друге, забезпечення будівель/будинків засобами для рятування людей, які можуть бути використані без участі рятувальників.

По-третє, це засоби рятування, що доставляються до палаючої будівлі пожежними підрозділами.

Всі підходи, які розглядаються в публікаціях, мають за мету скорочення часу проведення евакуації мешканців висотної будівлі/будинку при пожежі. Проте, кожен з наведених підходів має окремі переваги та недоліки.

Формулювання мети статті

Метою роботи є дослідити та обґрунтувати можливість евакуації при пожежі маломобільних груп населення з висотних житлових будинків з використанням пожежних ліфтів за допомогою програмного комплексу Pathfinder.

Для досягнення поставленої мети були визначені та вирішені наступні завдання:

1. Проаналізувати сучасний стан питань за обраним напрямом дослідження.
2. Обґрунтувати можливість безпечної евакуації маломобільних груп населення при пожежі пожежними ліфтами.
3. Провести моделювання часу евакуації людей за допомогою програмного комплексу Pathfinder.
4. Розробити пропозиції щодо евакуації маломобільних груп населення з висотних житлових будинків.

Виклад основного матеріалу

Для підтвердження ефективності використання пожежних ліфтів для евакуації людей, які відносяться до маломобільних груп населення М4 (інваліди, що пересуваються на кріслах-колясках, які приводяться у рух вручну), виконана розрахункова частина на

прикладі прийнятого в експлуатацію закінчених будівництвом об'єктів відповідно до чинного законодавства у 2022 року висотного житлового будинку по вул. Байди Вишневецького, 68 в м. Черкаси.

Розрахункова частина виконувалася за наступними етапами:

1. Проведені на підставі проєктної документації [19] розрахунки часу евакуації людей та часу досягнення небезпечними чинниками пожежі критичних значень для життя людини під час пожежі в житловому будинку по вул. Байди Вишневецького, 68 в м. Черкаси, без використання ліфтів.

2. За допомогою програмного комплексу Pathfinder проведені розрахунки евакуації людей із змодельованої будівлі. Час евакуації розраховувався для випадків евакуації, як виключно сходовою кліткою, так і при частковому використанні ліфтових вузлів з урахуванням наявності МНГ.

При цьому вирішувалися такі питання:

1) визначення залежності часу евакуації від параметрів руху людей різних груп мобільності;

2) порівняння розрахункового часу евакуації по сходовій клітині та з використанням пожежних ліфтів.

Відповідно до проєкту [19], житловий будинок має I ступінь вогнестійкості, за умовною висотою кваліфікується як висотний будинок.

З першого по сімнадцятий поверхи розміщуються одно та двокімнатні квартири.

Висота поверхів – 2,7 м. Ширина загальних коридорів – 1,6-1,8 м.

Евакуація людей з кожного поверху будинку передбачена через незадимляему сходову клітку типу Н1. Ширина маршів та площадок складає 1,35 м.

В якості другого евакуаційного виходу з поверхів в кожній квартирі передбачено влаштування зон «відстою» на балконах розміром не менше 1500 мм x 1200 мм біля глухого простінку та не менше ніж 1600 мм між вікнами.

Приміщення житлової частини будинку та загальні коридори підпадає під обладнання системою пожежної сигналізації і системою оповіщення про пожежу та управління евакуацією людей типу СО1, системою димовидалення з загальних поповерхових коридорів та системами підпору повітря в ліфти та ліфтові холи [20, 21].

Розрахунок часу евакуації людей та часу блокування небезпечними чинниками пожежі евакуаційних шляхів під час пожежі проводився відповідно до методики [22].

Отримані значення часу евакуації порівнювалися:

– із часом блокування евакуаційних виходів небезпечними чинниками пожежі, який визначали

згідно із методикою (розділ А.8 [22]) для одиночного приміщення, в якому виникла пожежа;

– із вогнестійкістю стін сходової клітки для будинку в цілому.

Для розрахунку прийнято сценарій виникнення пожежі, за якого реалізуються найгірші умови для евакуації людей та (або) найбільш висока динаміка наростання небезпечних чинників пожежі. Під час вибору сценарію виникнення пожежі виходимо із наступного: пожежа виникає біля одного із евакуаційних виходів будинку, небезпечні чинники пожежі блокують цей евакуаційний вихід, пожежа виникає в приміщенні із найбільш пожежонебезпечним навантаженням та найменшим за об'ємом.

Виходячи із вищезазначеного було розглянуто наступний сценарій виникнення пожежі:

– пожежа виникає на першому поверсі в квартирі що має площу 43,06 м² та розташована поблизу сходової клітки. Небезпечні чинники пожежі вільно поширюються по всьому поверху та об'єму сходової клітки та блокують евакуаційний вихід через вказану сходову клітку.

Під час визначення кількості людей, які евакууються із приміщень, у разі відсутності даних в проєктній документації користуємося такими показниками:

– для приміщення квартири - норма площі 21 м²/людину +10,5 м² на сім'ю [23].

Кількість людей, які перебувають у приміщеннях та приймаються для розрахунків наведені у таблиці 1.

Таблиця 1
Розрахункова кількість людей

Назва приміщення	№ приміщення за специфікацією	Норма тив для визначення	Площа приміщення, м ²	Кількість людей, осіб
Типовий поверх				
Квартири	1	[17]	43,06	2
	2	[17]	71,85	3
	3	[17]	45,48	2
	4	[17]	46,55	2
	5	[17]	46,55	2
	6	[17]	45,48	2
	7	[17]	71,85	3
	8	[17]	43,06	2

Під час розрахунку часу евакуації приймаємо, що пожежа виникла у час, коли будинок максимально заповнений мешканцями житлової частини будинку та персоналом офісних приміщень. Місце початку евакуації обираємо найбільш

віддалену від евакуаційного виходу точку приміщення.

В розрахунку не враховувалися технічні приміщення підвалу, в яких не передбачено перебування людей та обслуговуючого персоналу, оскільки при дотриманні вимог [1] в частині улаштування евакуаційних шляхів та виходів вважається достатнім для забезпечення безпечної евакуації людей із таких приміщень.

Час від початку пожежі до блокування евакуаційних шляхів в результаті поширення на них небезпечних чинників пожежі визначається шляхом вибору з отриманих в результаті розрахунків значень критичної тривалості пожежі мінімального часу.

Критична тривалість пожежі по кожному з небезпечних чинників визначається, як час досягнення цим чинником критичного значення на шляхах евакуації на висоті 1,7 м від підлоги.

Критичні значення по кожному з небезпечних чинників становлять:

- по підвищеній температурі – + 60⁰ С;
- по тепловому потоку – 2500 Вт/м²;
- по втраті видимості – 20 м;
- по пониженому вмісту кисню – 0,226 кг·м⁻³;
- по кожному з токсичних газоподібних продуктів горіння: CO₂ – 0,11 кг·м⁻³, CO – 1,16·10⁻³ кг·м⁻³, ХСЛ – 23·10⁻⁶ кг·м⁻³ [22].

Приймався варіант, що пожежа виникає внаслідок короткого замкнення у з'єднувальній коробці електричної мережі, а подальший розвиток пожежі відбувається у круговій формі.

Для розрахунку часу блокування небезпечними чинниками пожежі евакуаційних шляхів приймалися вихідні дані, що наведені в таблиці 2, як для житлових та офісних приміщень відповідно.

Таблиця 2

Вихідні дані для розрахунку часу блокування небезпечними чинниками пожежі евакуаційних шляхів

№ п/п	Параметр	Значення параметра квартира
1	2	3
1	Висота приміщення, м	2,7
2	Розрахункова площа, м ²	43,06
3	Найнижча теплота згорання, МДж/кг	13,8
4	Лінійна швидкість поширення пожежі м/с	0,0045
5	Питома швидкість вигорання кг/м ² с	0,0145
6	Димоутворювальна здатність Нп м ² /кг	270

Продовження табл. 2

1	2	3
7	Питома витрата кисню (O ₂) кг/кг	1,03
8	Вихід двооксид вуглецю (CO ₂) кг/кг	0,203
9	Вихід оксиду вуглецю (CO) кг/кг	0,0022
10	Вихід хлористого водню (HCl) кг/кг	0,014

Результати розрахунків часу блокування небезпечними чинниками пожежі евакуаційних шляхів представлені в таблиці 3.

Таблиця 3

Результати розрахунків часу блокування небезпечними чинниками пожежі евакуаційних шляхів

№ п/п	Параметр	Результати
1	Вільний об'єм приміщення, м ³	117,4
2	Параметр В – комплекс, що залежить від теплоти згорання матеріалу і вільного об'єму приміщення, кг	7,02
3	Параметр А – розмірний параметр, який враховує питому масову швидкість вигорання горючої речовини і площі пожежі, кг/с ⁿ	3,07 10 ⁻⁷
4	Параметр Z – безрозмірний параметр, що враховує нерівномірність розподілення небезпечного фактору пожежі по висоті приміщення	1,52
5	Критична температура, с	133,9
6	Дефіцит кисню, с	127,3
7	Критична концентрація CO ₂ , с	*
8	Критична концентрація CO, с	*
9	Критична концентрація хлористого водню, с	73,8
10	Втрата видимості, с	109,3

* небезпечний чинник пожежі не представляє загрози

Найбільшу небезпеку для людей за обраним сценарієм пожежі являє отруєння парами хлористого водню.

Таким чином необхідний час евакуації людей із поверху пожежі (типового поверху) складає 0,8х73,8=59,04 секунди (0,98 хв).

Методичні підходи до розрахунку фактичного часу евакуації людей у разі пожежі викладені в [22].

В зв'язку з тим, що приміщення житлового будинку обладнано системою оповіщення про виникнення пожежі першого типу, час початку евакуації приймається 180 с (3 хв) (табл. А.3 [22]).

Розрахунковий час встановлюється за розрахунком часу руху одного або декількох людських потоків через евакуаційні виходи від найбільш віддалених місць розміщення людей до виходу назовні. Визначається як сума часу руху окремими ділянками шляху з урахуванням зливання людських потоків, їх роз'єднання, утворення скупчень у прорізах дверей або на ділянках з незадовільною пропускну здатністю [22].

Для проведення розрахунку фактичного часу евакуації була розроблена схема евакуації людей.

Результати розрахунку параметрів руху людських потоків відповідно до обраних схем евакуації наведено в таблиці 2.

Перевіряємо виконання умови безпечної евакуації людей таблиця 4.

Встановлено, що запроєктовані об'ємно-планувальні, конструктивні та інженерні рішення багатоквартирного житлового будинку по вул. Байди Вишневецького, 68 в м. Черкаси забезпечить безпечну евакуацію людей у разі пожежі лише за умови справності та ефективного спрацювання систем димовидалення поповерхових коридорів, підпору повітря в шахти та ліфтові холи ліфтів, влаштування сходової клітки типу Н1, встановлення вогнестійких дверей з класом вогнестійкості EI30 входи в квартири та з врахуванням влаштування других евакуаційних

виходів з квартири на площадку – пожежобезпечну зону «зону відстою» на балконі кожної квартири (в т.ч. шириною балконів 1,5 м для МГН).

Таблиця 4

Перевірка умови безпечної евакуації людей

Назва приміщення	Необхідний час евакуації, хв	Час від початку евакуації, хв	Розрахункова тривалість евакуації, хв	Висновок перевірки
Житлова частина будинку	0,98	3,0	0,37	Не виконується $0,98 < 3,37$

Тобто безпечна евакуація можлива лише за наявності, правильності, відповідності та своєчасному обслуговуванні вище перелічених заходів.

Для порівняння проведено альтернативне моделювання часу евакуації людей за допомогою програмного комплексу Pathfinder із змодельованого житлового будинку по вул. Байди Вишневецького, 68 в м. Черкаси.

Для можливості проведення розрахунків та моделювання використовувався програмний комплекс Pathfinder та побудована в ньому модель висотного житлового будинку (рис. 1).



Рис. 1. Модель житлового будинку та розміщення в ньому людей до початку евакуації.

Час евакуації розраховувався для випадків евакуації як виключно сходами, так і при частковому використанні ліфтових вузлів з урахуванням наявності маломобільних груп населення.

Для досягнення поставленої мети поставлені такі завдання:

1) визначити залежність часу евакуації від параметрів руху людей різних груп мобільності;

2) порівняти розрахунковий час евакуації по сходовій клітині та з використанням пожежних ліфтів.

Евакуації з прийнятого висотного житлового будинку визначалася за наступними вихідними даними [20, 19]:

- кількість поверхів - 17;
- кількість секцій - 1;
- висота поверху - 2,7 м;

– співвідношення людей груп мобільності М1, М2, М3, М4 прийнято відповідно 90, 4, 4, і 2 % 276, 12, 12, 6 чоловік відповідно. При розрахунку прийнято 10% від загальної кількості людей в житловому будинку:

- загальна кількість людей в будинку – 306 осіб;
- кількість незадимлюваних сходових кліток – 1 Н1, сходовий марш – 1,35 м;
- ширина коридорів – 1,6 м;
- ширина дверей сходової клітки та виходів з тамбур-шлюзів – 1,35 м;
- ширина вхідних дверей квартир – 0,9 м;
- кількість ліфтів – 1 пожежний ліфт та 1 пасажирський:
 - пожежний ліфт [24, 25]:
 - номінальне навантаження – 630 кг;
 - швидкість – до 4,5 м/с;
 - час прямування до найвищого поверху – не більше ніж 60 с;
 - час роботи пожежного ліфта при пожежі – не менше 2 год;
 - ширина дверей ліфтової кабіни – 0,9 м;
 - час початку евакуації при обладнанні багатоквартирних житлових будинків системою керування евакууванням (в частині системи оповіщення про пожежу і показників напрямку евакуування) – 180 с [22];

– інтенсивність і швидкість руху людського потоку різними ділянками шляхів евакуації в залежності від щільності для групи мобільності [22]:

Таблиця 5

Розрахункові значення параметрів для груп мобільності М1-М4

Група МГН	Горизонтальний шлях		Сходи вниз	
	Швидкість, м/хв	Інтенсивність, м/хв	Швидкість, м/хв	Інтенсивність, м/хв
М1	100	1,0	100	1,0
М2	30	0,3	30	0,3
М3	70	0,7	20	0,2
М4	60	0,6	–	–

Примітка. Групи мобільності – згідно з [1]:

Моделювання та визначення часу евакуації людей за допомогою програмного комплексу Pathfinder без використання пожежних ліфтів.

Як видно із рис. 2, люди починають евакуюватися самостійно через сходову клітку окрім людей групи мобільності М4 які залишаються в квартирах. Евакуація з висотних будинків М4 передбачається вимогами та здійснюється пожежно-рятувальними підрозділами (пожежними ліфтами, сходовими клітками).



Рис. 2. Початок евакуації людей.

Найближча пожежно-рятувальна частина згідно даних можливих маршрутів слідування до наведеного житлового будинку знаходиться на відстані – 1,6 км по дорогам міського призначення.

Орієнтовний час прибуття підрозділу:

$$T_{\text{приб}} = T_{\text{виявл}} + T_{\text{спов}} + T_{\text{зб.в}} + \frac{L_{\text{прям}}}{V_{\text{прям}}} = 3 + 1 + 1 + \frac{1,6 \times 60}{40} = 6,4 \text{ хв}$$

або 384 с.

З рис. 3 видно, що на момент прибуття пожежно-рятувальних підрозділів (384 с), із висотного житлового будинку вже евакуювалося 175 осіб із 306 можливих (рис. 3)

Після прибуття на місце події, особовий склад оцінює ситуацію та взявши необхідне обладнання прямує до пожежного-ліфта.

$$T_{\text{пож. ліфт}} = T_{\text{приб}} + T_{\text{слід.}} + T_{\text{о.р}} = 6,4 + 1 + 3 = 9,4 \text{ хв}$$

або 565 с.

Висотний житловий будинок як видно із рис. 4 на момент прибуття рятувальників до пожежного ліфта (565 с) самостійно вже залишило 294 осіб із 306, з яких по 6 людей групи мобільності М3 та М4 залишилися в будинку.



Рис. 3. Прибуття на місце події перших пожежно-рятувальних підрозділів.



Рис. 4. Прибуття пожежно-рятувальних підрозділів до ліфта.

Час втрачений на можливий пошук рятувальниками людей в розрахунку не приймався (рис. 5, 6). Людей групи мобільності М4 евакуюють рятувальники пожежними-ліфтами [25].

На час евакуації (661 с) пожежним ліфтом першої людини групи мобільності М4 будинок залишили всі люди груп мобільності М1-М3 (рис. 5).

Загальний час евакуації людей при пожежі без самостійного використання людьми ліфтів становив - 1434 с, або майже 24 хв (рис. 7).

Моделювання та визначення часу евакуації людей за допомогою програмного комплексу Pathfinder з використанням пожежних ліфтів лише групою мобільності М4.

Для розгляду приймалося, що люди окрім групи мобільності М4 після отримання сигналу про пожежу евакуюються сходовою кліткою типу Н1 (рис. 8).

Група мобільності людей М4, так як через свої обмежені фізичні можливості не можуть використовувати для евакуації сходові клітки та з метою розподілу потоків, евакуюються через пожежні ліфти.

В дію пожежні ліфти приводяться шляхом застосування ними відмикальних ключів, які передбачено лише для цієї групи, що унеможливає використання пожежних ліфтів іншими групами.



Рис. 5. Пошук та прямування рятувальника до людини.



Рис. 6. Доставляння рятувальником людини до пожежного ліфта.



Рис. 7. Евакуація останньої людини з будинку.

Загальний час евакуації людей при пожежі без самостійного використання людьми ліфтів становив - 1434 с, або майже 24 хв (рис. 7).

Моделювання та визначення часу евакуації людей за допомогою програмного комплексу Pathfinder з використанням пожежних ліфтів лише групою мобільності М4.

Для розгляду приймалося, що люди окрім групи мобільності М4 після отримання сигналу про пожежу евакуюються сходовою кліткою типу Н1 (рис. 8).

Група мобільності людей М4, так як через свої обмежені фізичні можливості не можуть використовувати для евакуації сходові клітки та з метою розподілу потоків, евакуюються через пожежні ліфти.

В дію пожежні ліфти приводяться шляхом застосування ними відмикальних ключів, які передбачено лише для цієї групи, що унеможливує використання пожежних ліфтів іншими групами.



Рис. 8. Початок евакуації всіх груп мобільності.

Через 219 с. (з них 180 с затримка евакуації відповідно таблиці А.3 [22]) з моменту початку евакуації людей, перша людина групи мобільності М4 самостійно без сторонньої допомоги заходить до пожежного ліфта (рис. 9).

Протягом 264 с з початку евакуації, перша людина групи мобільності М4 самостійно залишає

висотний житловий будинок та рухається по горизонтальному пандусу на подвір'я (рис. 10).

На момент прибуття рятувальників до пожежного ліфта (565 с), в житловому висотному будинку залишилося дві людини та як зображено на рис. 11 одна знаходилась на крильці, остання прямувала по сходовій клітці на рівні другого поверху.



Рис. 9. Використання пожежних ліфтів групою мобільності М4.



Рис. 10. Самостійне залишення першою людиною групи мобільності М4 висотного житлового будинку у разі пожежі.



Рис. 11. Закінчення процесу евакуації на момент прибуття пожежно-рятувальних підрозділів.



Рис. 12. Вихід останньої людини із житлового будинку.

За результатами моделювання евакуації, загальний час евакуації людей при пожежі із використання пожежних ліфтів лише людьми групи мобільності М4 становив – 611 с, або майже 10,2 хв.

З наведених вище значень часу евакуації 1434 с та 611 с, застосування пожежних ліфтів дозволило скоротити значення вдвічі та надає змогу провести самостійну евакуацію з висотного житлового будинку людей групи мобільності М4 до прибуття пожежно-рятувальних підрозділів.

Таким чином, на підставі проведених досліджень обґрунтована можливість та ефективність використання ліфтів для евакуації групи мобільності М-4 при пожежі з висотних будинків.

З метою підвищення рівня пожежної безпеки, забезпечення постійної готовності та працездатності пожежних ліфтів для можливої евакуації групи мобільності М4, необхідно передбачити наступні заходи:

– до переліку завдань які покладені на балансоутримувача або керуючої компанії висотного будинку обов’язково включити заходи щодо організації згідно вимог [24] технічного обслуговування та підтримання працездатності пожежних ліфтів і його вузлів, системи підпору повітря до ліфтової шахти та протипожежного тамбур-шлюзу при ньому [21];

– зобов’язати балансоутримувача або керуючої компанії у надані безкоштовно дублікатів відмикальних ключів до вимикачів пожежного ліфта особам, які проживають або постійно перебувають у висотних будинках та відносяться до групи мобільності – М4;

– внести зміни до нормативного документу [24] щодо пріоритету виклику пожежного ліфта на поверх де виникла пожежа з моменту спрацювання системи пожежної сигналізації, окрім виклику пожежного ліфта пожежно-рятувальними підрозділами з рівня першого поверху;

– внести зміни до нормативного документу [24] щодо зменшення висоти розміщення вимикача пожежного ліфта (окрім вимикача розміщеного на першому поверсі) зі значень 1,4 м до 2,1 м, до фіксованої визначеної [26] висоти 0,9 м та обладнання тактильними позначками, які дублюють текстову інформацію.

Висновки

1. Аналіз розглянутих джерел дозволив сформулювати низку причин, що перешкоджають ефективній евакуації людей із висотних житлових будинків.

Можна зазначити, що існуючі норми в сфері пожежної безпеки є не досконалими і як правило, орієнтовані на звичайні категорії громадян.

Всі підходи, які розглядаються в розглянутих літературних джерелах, мають за мету скорочення часу проведення евакуації мешканців висотної будівлі при пожежі. Проте, кожен з наведених підходів має окремі переваги та недоліки.

2. На підставі проведених досліджень обґрунтована можливість та ефективність використання ліфтів для евакуації групи мобільності М-4 при пожежі з висотних будинків. Доведена доступність пожежних ліфтів як додатковий шлях евакуації людей з поверхів для категорії групи мобільності – М4 (інваліди, що пересуваються на кріслах-колясках, які приводяться у рух вручну).

3. Для можливості проведення розрахунків та моделювання використаний програмний комплекс Pathfinder. За допомогою програмного комплексу Pathfinder доведена ефективність використання пожежних ліфтів за рахунок зменшення значення часу евакуації вдвічі та можливості самостійної евакуації з висотного житлового будинку людей групи мобільності М4.

4. З метою підвищення рівня пожежної безпеки, забезпечення постійної готовності та працездатності пожежних ліфтів для можливої

евакуації групи мобільності М4, запропоновані управлінські рішення.

Література

- ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. – Київ: Український науково-дослідний інститут цивільного захисту. – Режим доступу: <https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/1-1-0-88>
- Доступність захисних споруд цивільного захисту для маломобільних груп населення [Текст] : матеріали Міжнародної наукової інтернет-конференції / Р.І. Майборода, Н.В. Рашкевич, Е.Е. Щолоков, Ю.А. Отрош. – Тернопіль, Україна – м. Переворськ, Польща, 2022. – С. 173–174.
- Актуальність удосконалення системи пожежної безпеки в висотних будівлях [Текст] : матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми пожежної безпеки 2022» («Fire Safety Issues 2022») / В.А. Полупан, Н.В. Рашкевич. – Харків: НУЦЗУ, 2022. – С. 122–123.
- Важливість забезпечення пожежної безпеки висотних будівель [Текст] : матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Problems of Emergency Situations» / В.А. Полупан, А.В. Ромін, Н.В. Рашкевич. – Харків: НУЦЗ України, 2023. – С. 112–113.
- Комяк, В.М. Варіантне моделювання евакуації людей з висотних будівель у разі виникнення надзвичайної ситуації [Текст] / В.М. Комяк, К.Т. Кязімов // Сучасні проблеми моделювання. – 2020. – № 17. – С. 27–35. <https://doi.org/10.33842/2313-125X/2019/17/27/35>
- Кусковець, С.Л. Шляхи вирішення проблем евакуації людей з будинків підвищеної поверховості на випадок пожежі [Текст] / С.Л. Кусковець, С.О. Москалик // Bulletin National University of Water and Environmental Engineering. – 2016. – Т. 2. – №. 74. – С. 305–313.
- Сучасні проблеми гасіння пожеж у висотних будівлях [Текст] : матеріали XI Міжнародної науково-практичної конференції «Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій» / О. Поліванов. – 2020. – С. 55–56.
- Хілько, Ю.В. Моделювання безпечної евакуації людей з висотних будівель при пожежі [Текст] / Ю.В. Хілько, В.В. Тригуб, І.М. Грицина // Науковий вісник будівництва. Харків, 2017. – Т. 90. – № 4. – С. 267–271.
- Моделювання евакуації людей при пожежі за допомогою програмного забезпечення Pathfinder [Текст] : матеріали круглого столу (вебінару) «Запобігання надзвичайним ситуаціям та їх ліквідація» / Е.Е. Щолоков, Ю.А. Отрош, Р.І. Майборода. – Харків: НУЦЗУ, 2022. – С. 127–129.
- Технічні можливості програмного забезпечення Pathfinder Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту [Текст] : матеріали міжнародної науковопрактичної конференції молодих учених / О.С. Олейник, Ю.А. Отрош. – Харків: НУЦЗУ, 2021. – С. 174.
- Моделювання поширення небезпечних факторів пожежі за допомогою прикладного програмного забезпечення PYROSIM [Текст] : матеріали круглого столу (вебінару) «Запобігання надзвичайним ситуаціям та їх ліквідація» / О.С. Олейник, Ю.А. Отрош, А.В. Ромін. – Харків: НУЦЗУ, 2022. – С. 69–70.
- Рубан, А.В. Моделювання евакуації людей при пожежі в програмному забезпеченні PATHFINDER [Текст] / А.В. Рубан, Н.В. Рашкевич, В.Ю. Отрош // Modern Technologies for Solving Actual Society's Problems. Edited by Oleksandr Nestorenko and Iryna Ostapolets. Publishing House of University of Technology. – Katowice, 2022. – С. 412–420.
- Особливості розповсюдження продуктів загоряння [Текст] : матеріали Круглого столу «Запобігання виникненню надзвичайних ситуацій, реагування та ліквідація їх наслідків» / В.А. Полупан, Н.В. Рашкевич. – Харків: НУЦЗ України, 2023. – С. 62–63.
- Засіб евакуації людей з висотних будівель під час пожежі [Текст] : матеріали 20 Всеукраїнської науково-практичної конференції / І.Б. Федюк, А.М. Чернуха. – Київ, 2018. – С. 444–445.
- Lay, S. (2007). Alternative evacuation design solutions for high-rise buildings. *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, 16, (4), 487–500. <http://dx.doi.org/10.1002/tal.412>
- Ronchi, E., Nilsson, D. (2013). Fire evacuation in high-rise buildings: a review of human behaviour and modelling research. *Fire science reviews*, 2, 1–21. <http://dx.doi.org/10.1186/2193-0414-2-7>
- Kodur, V.K.R., Venkatachari, S., Naser, M.Z. (2020). Egress parameters influencing emergency evacuation in high-rise buildings. *Fire technology*, 56. 2035–2057. <http://dx.doi.org/10.1007/s10694-020-00965-3>
- Проблеми облаштування пожежосховищ висотних будівель [Електронне видання] : матеріали 21 Всеукраїнської науково-практичної конференції (за міжнародною участю) «Розвиток цивільного захисту в сучасних безпекових умовах» / О.В. Васильченко. – Київ: ІДУЦЗ, 2019. – 324 с.
- Проектна документація на будівництво житлового будинку по вул. Байди Вишневецького, 68 в м. Черкаси, (шифр 2022 -03-01).
- ДБН В.2.2-41:2019 Висотні будівлі. Основні положення. – Київ: Науково-дослідний інститут будівельного виробництва. – Режим доступу: https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/v_2_2_41/1-1-0-1855
- ДБН В.2.5-56:2014 Системи протипожежного захисту. Київ: ВГО «Український союз пожежної та техногенної безпеки». – Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=59526
- ДСТУ 8828:2019 Пожежна безпека. Загальні положення. Київ: Технічний комітет «Пожежна безпека та протипожежна техніка» (ТК 25). – Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=82138
- Житловий Кодекс України від 30.06.1983 р. № 5464-Х : станом на 19 листопада 2022 р. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5464-10#Text>
- ДСТУ EN 81-72:2017 Норми безпеки щодо конструкції та експлуатації ліфтів. Специфічне використання пасажирських та вантажопасажирських ліфтів. Частина 72. Ліфти пожежні (EN 81-72:2015, IDT). Київ: Технічний комітет стандартизації ТК 104 «Ліфти, ескалатори та пасажирські конвеєри». – Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=74841
- ДСТУ-Н Б В.2.2-38:2013 Настанова з улаштування пожежних ліфтів в будинках та спорудах. Київ: Український науково-дослідний інститут цивільного захисту УкрНДІЦЗ. – Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=56127
- ДБН В.2.2-40:2018 Інклюзивність будівель і споруд. Основні положення. Київ: Український зональний науково-дослідний і проектний інститут по цивільному будівництву. – Режим доступу: https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/dbn_v_2_2_40/1-1-0-1832

References

1. DBN V.1.1-7:2016 *Pozhezhna bezpeka ob`yektiv budivnytstva. Zahal'ni vymohy*. Kyiv: Ukrayins'kyi naukovodoslidnyy instytut tsyvil'noho zakhystu. Retrieved from: <https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/1-1-0-88>
2. Mayboroda, R.I., Rashkevych, N.V., Shcholokov, E.E., Otrosh, Yu.A. (2022). Dostupnist' zakhysnykh sporud tsyvil'noho zakhystu dlya malomobil'nykh hrup naselennya. *Materialy Mizhnarodnoyi naukovoï internet-konferentsiyi. Ternopil', Ukrayina – m. Perevors'k, Pol'shcha*, 173–174.
3. Polupan, V.A., Rashkevich, N.V. (2022) Relevance of improving the fire safety system in high-rise buildings. *International Scientific and Practical Conference «Fire Safety Issues 2022»*, 122–123.
4. Polupan, V.A., Romin, A.V., Rashkevych, N.V. (2023). Vazhlyvist' zabezpechennya pozhezhnoyi bezpeky vysotnykh budivel'. *Materialy Mizhnarodnoyi naukovopraktychnoyi konferentsiyi «Problemy nadzvychaynykh sytuatsiy»*, 112–113.
5. Komyak, V., Kyazimov, K. (2020). Variational modeling of evacuation of people from altitude buildings in the event of an emergency situation. *Modern Problems of Modeling*, (17), 27–35. <https://doi.org/10.33842/2313-125X/2019/17/27/35>
6. Kuskovets, S. L., Moskalyk, S. O. (2016) Solution of problems of people evacuation from high-rise residential buildings in the case of fire. *Bulletin National University of Water and Environmental Engineering*, 2(74), 305–313.
7. Polivanov, O. (2020). Suchasni problemy hasynnya pozhezhi u vysotnykh budivlyakh. *Materialy KHI Mizhnarodnoyi naukovopraktychnoyi konferentsiyi «Teoriya i praktyka hasynnya pozhezhi ta likvidatsiyi nadzvychaynykh sytuatsiy»*, 55–56.
8. Khilko, Yu.V., Trigub, V.V., Gritsina, I.N. (2017) A design of safe evacuation of people is from pitch building at fire. *Scientific Bulletin of Civil*, 90 (4), 267–271.
9. Shcholokov, E.E., Otrosh, Yu.A., Mayboroda, R.I. (2022). Modelyuvannya evakuatsiyi lyudey pry pozhezhi za dopomohoyu prohramnoho zabezpechennya Pathfinder. *Materialy kruhloho stolu (vebinaru) «Zapobihannya nadzvychaynym sytuatsiyam ta yikh likvidatsiya»*, 127–129.
10. Oleynyk O.S., Otrosh Yu.A. (2021). Tekhnichni mozhyvosti prohramnoho zabezpechennya Pathfinder Problemy ta perspektyvy zabezpechennya tsyvil'noho zakhystu. *Materialy mizhnarodnoyi naukovopraktychnoyi konferentsiyi molodykh uchenykh*, 174.
11. Oleynyk O.S., Otrosh Yu.A., Romin A.V. (2022). Modelyuvannya poshyrennya nebezpechnykh faktoriv pozhezhi za dopomohoyu prykladnoho prohramnoho zabezpechennya PYROSIM. *Materialy kruhloho stolu (vebinaru) «Zapobihannya nadzvychaynym sytuatsiyam ta yikh likvidatsiya»*, 69–70.
12. Ruban, A., Rashkevich, N., Otrosh, V. (2022) Software simulation of the evacuation of people in case of fire pathfinder. *Modern Technologies for Solving Actual Society's Problems. Edited by Oleksandr Nestorenko and Iryna Ostapolets. Publishing House of University of Technology. Katowice, 2022*, 412–420.
13. Polupan, V.A., Rashkevych, N.V. (2023). Osoblyvosti rozpovsyudzhennya produktu zahoryannya. *Materialy Kruhloho stolu «Zapobihannya vynykennyyu nadzvychaynykh sytuatsiy, reahuvannya ta likvidatsiya yikh naslidkiv»*, 62–63.
14. Feduk I.B., Chernukha A.M. (2013). Zasib evakuatsiyi lyudey z vysotnykh budivel' pid chas pozhezhi. *Materialy 20 Vseukrayins'koyi naukovopraktychnoyi konferentsiyi*, 444–445.
15. Lay, S. (2007). Alternative evacuation design solutions for high-rise buildings. *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, 16, (4), 487–500. <http://dx.doi.org/10.1002/tal.412>
16. Ronchi, E., Nilsson, D. (2013). Fire evacuation in high-rise buildings: a review of human behaviour and modelling research. *Fire science reviews*, 2, 1–21. <http://dx.doi.org/10.1186/2193-0414-2-7>
17. Kodur, V.K.R., Venkatachari, S., Naser, M.Z. (2020). Egress parameters influencing emergency evacuation in high-rise buildings. *Fire technology*, 56. 2035–2057. <http://dx.doi.org/10.1007/s10694-020-00965-3>
18. Vasylychenko, O.V. (2019). Problemy oblashtuvannya pozhezhoskhoveryshch vysotnykh budivel'. *Materialy 21 Vseukrayins'koyi naukovopraktychnoyi konferentsiyi (za mizhnarodnoyu uchastyu) «Rozvytok tsyvil'noho zakhystu v suchasnykh bezpekovykh umovakh»*, 324.
19. Proyecktna dokumentatsiya na budivnytstvo zhytlovoho budynku po vul. Baydy Vyshnevets'koho, 68 v m. Cherkasy, (shyfr 2022 -03-01).
20. DBN V.2.2-41:2019 *Vysotni budivli. Osnovni polozhennya*. Kyiv: Naukovodoslidnyy instytut budivel'noho vyrobnytstva. Retrieved from https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/v_2_2_41/1-1-0-1855
21. DBN V.2.5-56:2014 *Systemy protypozhezhnoho zakhystu*. Kyiv: VHO «Ukrayins'kyi soyzuz pozhezhnoyi ta tekhnohennoyi bezpeky». Retrieved from: http://online.budstandart.com.ua/catalog/doc-page.html?id_doc=59526
22. DSTU 8828:2019 *Pozhezhna bezpeka. Zahal'ni polozhennya*. Kyiv: Tekhnichnyy komitet «Pozhezhna bezpeka ta protypozhezhna tekhnika» (TK 25). Retrieved from: http://online.budstandart.com.ua/catalog/doc-page.html?id_doc=82138
23. *Zhytlovyi Kodeks Ukrayiny vid 30.06.1983 r. № 5464-X : stanom na 19 lystopada 2022 r.* Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5464-10#Text>
24. DSTU EN 81-72:2017 *Normy bezpeky shchodo konstruktivnoyi ta ekspluatatsiyi liftiv. Spetsyfichne vykorystannya pasazhyr's'kykh ta vantazhopasazhyr's'kykh liftiv*. Chastyna 72. Lifty pozhezhi (EN 81-72:2015, IDT). Kyiv: Tekhnichnyy komitet standartyzatsiyi TK 104 «Lifty, eskalatory ta pasazhyr's'ki konveyery». Retrieved from: http://online.budstandart.com.ua/catalog/doc-page.html?id_doc=74841
25. DSTU-N B V.2.2-38:2013 *Nastanova z ulashtuvannya pozhezhykh liftiv v budynkakh ta sporudakh*. Kyiv: Ukrayins'kyi naukovodoslidnyy instytut tsyvil'noho zakhystu UkrNDITSZ. Retrieved from : http://online.budstandart.com.ua/catalog/doc-page?id_doc=56127
26. DBN V.2.2-40:2018 *Inklyuzyvnist' budivel' i sporud. Osnovni polozhennya*. Kyiv: Ukrayins'kyi zonal'nyy naukovodoslidnyy i proeektnyy instytut po tsyvil'nomu budivnytstvu. Retrieved from: https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/dbn_v_2_2_40/1-1-0-1832

Рецензент: д.т.н., професор А.В. Кондратьев, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Україна.

Автор: МАЙБОРОДА Роман Ігорович
викладач кафедри пожежної профілактики в населених пунктах
Національний університет цивільного захисту України
E-mail – maiboroda.roman@gmail.com
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3461-2959>

Автор: ОТРОШ Юрій Анатолійович
доктор технічних наук, професор, начальник
кафедри пожежної профілактики в населених
пунктах
Національний університет цивільного захисту
України
E-mail – yuriyotrosh@gmail.com
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0698-2888>

Автор: МЕЛЕЖИК Роман Сергійович
науковий співробітник відділу організації науково-
дослідної та патентної діяльності науково-
дослідного центру
Національний університет цивільного захисту
України
E-mail – naukanuczu410@gmail.com
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6425-4147>

Автор: РАШКЕВИЧ Ніна Владиславна
PhD, старший викладач кафедри пожежної
профілактики в населених пунктах,
Національний університет цивільного захисту
України
E-mail – nine291085@gmail.com
ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5124-6068>

ASSESSMENT OF THE FIRE RESISTANCE OF BUILDINGS FROM FIREPROOF REINFORCED CONCRETE BUILDING STRUCTURES

R. Maiboroda, Yu. Otrosh, N. Rashkevich, R. Melezhyk

National University of Civil Defence of Ukraine, Ukraine

The authors conducted an analysis of the current state of evacuation of low-mobility population groups from high-rise residential buildings in the event of a fire. The analysis of the literature made it possible to formulate a number of obstacles to the effective evacuation of people from high-rise residential buildings. Norms in the field of fire safety are not perfect and, as a rule, are aimed at ordinary categories of citizens. The goal of approaches to evacuation calculations is to reduce the time it takes to evacuate residents of a high-rise building in the event of a fire.

The authors substantiated the possibility of safe self-evacuation in the event of a fire of the less mobile population groups using fire elevators. Mathematical and graphical calculations of people's evacuation time were carried out using the Pathfinder software complex with the use (without use) of fire elevators. The authors performed a mathematical calculation of the time of evacuation of people and the time of blocking by dangerous factors of fire evacuation routes during a fire in accordance with the methodology of DSTU 8828:2019 Fire safety. Terms. Kyiv: Technical Committee "Fire Safety and Fire Fighting Equipment". To confirm the effectiveness of using fire elevators for the evacuation of people belonging to the M4 population groups with limited mobility (disabled people who move around in wheelchairs), the calculation part was performed. The object of the calculations is a high-rise apartment building on the street. Baidy Vyshnevetskoho, 68 in Cherkasy.

The authors determined the dependence of the evacuation time on the movement parameters of people of different mobility groups. The authors compared calculations of evacuation time by stairwell and using fire elevators. Fire elevators are effective when evacuating people from floors for the category of mobility group M4.

The researchers proposed management solutions to increase the level of fire safety, ensure the constant readiness and operability of fire elevators for evacuating people with reduced mobility from high-rise residential buildings.

Keywords: *evacuation routes, evacuation exits, high-rise residential buildings, fire elevators, evacuation time.*