

УДК 614.841

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ ОПОВІЩЕННЯ ТА ЕВАКУАЦІЇ ДІТЕЙ З ПОРУШЕННЯМ СЛУХУ У ЗАКЛАДАХ ОСВІТИ

Щолоков Е. Е.¹, Майборода Р. І.¹, Рашкевич Н. В.², Отрош Ю. А.¹,
Балдук П. Г.³

¹Національний університет цивільного захисту України

²Черкаський державний технологічний університет

³Одеська державна академія будівництва та архітектури

Анотація: У статті досліджено ефективність сучасної системи оповіщення та управління евакуацією дітей з особливими освітніми потребами (з порушенням слуху) у випадку пожеж у навчальних закладах. Дослідження спрямоване на вдосконалення існуючих підходів до інклюзивного навчання та забезпечення безпеки дітей у надзвичайних ситуаціях.

У ході дослідження були вирішені наукові завдання: проведено аналіз сучасних систем оповіщення та управління евакуацією в Україні; обґрунтовано математичну модель для оцінки ефективності таких систем; здійснено моделювання часу евакуації дітей за допомогою програмного комплексу Pathfinder у реальних умовах навчального закладу.

Аналіз нормативної бази, чинної на території України, засвідчив, що існуючі технічні засоби оповіщення та управління евакуацією орієнтовані переважно на учнів без особливих освітніх потреб. Як наслідок, вони не можуть повною мірою виконати свою функцію для дітей з порушенням слуху, що створює загрозу їхній безпеці у разі виникнення пожежі.

Математична модель оцінки ефективності системи оповіщення повинна враховувати основні принципи безпечної евакуації: завершення евакуації до настання критичних значень небезпечних чинників пожежі; можливість безперешкодного руху евакуаційними шляхами; управління рухом дітей з особливими освітніми потребами за допомогою звукових, світлових та мовленнєвих засобів оповіщення; коригування параметрів часу евакуації з урахуванням поведінкових особливостей у стресових умовах.

Розрахункова частина дослідження виконана у програмному комплексі Pathfinder на прикладі дошкільного навчального закладу для дітей з порушенням слуху. Було розглянуто два сценарії евакуації: без удосконаленої системи оповіщення та з її впровадженням. Результати моделювання підтвердили ефективність системи оповіщення, до складу якої входять: програмне забезпечення для виведення інформації та організації пожежного пульта моніторингу; пожежний приймально-контрольний прилад; блок центрального контролера; блок живлення; блок підсилювача потужності; блок комутації; акустичні системи; вібраційні системи; сповіщувачі світло-звукові та світлові; світлові покажчики у вигляді мерехтливих світлових доріжок; пожежні сповіщувачі; ручні пожежні сповіщувачі; пристрій безпроводного з'єднання; індивідуальні сповіщувачі у вигляді вібраційних браслетів; шлейф з'єднання. Данна система дозволяє суттєво скоротити час евакуації завдяки зменшенню затримок, пов'язаних з пробудженням вихователями дітей, які перебували у стані сну, а також виключає вплив людського фактора.

Ключові слова: пожежа, системи оповіщення, евакуація, Pathfinder.

RESEARCH EFFECTIVENESS OF THE MODERN SYSTEM OF NOTIFICATION AND EVACUATION OF CHILDREN WITH HEARING IMPAIRMENTS IN EDUCATIONAL INSTITUTIONS

E. Shcholokov¹, R. Maiboroda¹, N. Rashkevich², Yu. Otrosh¹, P. Balduk³

¹National University of Civil Defence of Ukraine

²Cherkasy State Technological University

³Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract: The article investigates the effectiveness of a modern system for alerting and managing the evacuation of children with special educational needs (with hearing impairment) in the event of fires in educational institutions. The study is aimed at improving existing approaches to inclusive education and ensuring the safety of children in emergency situations.

The study analyzed modern alerting and evacuation management systems in Ukraine. The authors substantiated a mathematical model for assessing the effectiveness of such systems. The authors simulated the evacuation time of children using the Pathfinder software package in real conditions of an educational institution.

The researchers found that existing technical means of alerting and managing evacuation are focused mainly on students without special educational needs. As a result, they cannot fully fulfill their function for children with hearing impairment, which poses a threat to their safety in the event of a fire.

The mathematical model for assessing the effectiveness of the alerting system should take into account the basic principles of safe evacuation: completing the evacuation before the critical values of dangerous fire factors are reached; the possibility of unhindered movement along evacuation routes; movement control of children with special educational needs using sound, light and speech means of notification; adjustment of evacuation time parameters taking into account behavioral characteristics in stressful conditions.

The calculated part of the study was performed in the Pathfinder software package on the basis of a preschool educational institution for children with hearing impairments. Two evacuation scenarios were considered: without an improved notification system and with its implementation. The modeling results confirmed the effectiveness of the notification system, which includes: software for displaying information and organizing a fire monitoring console; fire receiving and control device; central controller unit; power supply unit; power amplifier unit; switching unit; acoustic systems; vibration systems; light-sound and light detectors; light indicators in the form of flickering light paths; fire detectors; manual fire detectors; wireless connection device; individual detectors in the form of vibrating bracelets; connection loop. This system allows you to significantly reduce evacuation time by reducing delays associated with waking up sleeping children by caregivers, and also eliminates the influence of the human factor.

Keywords: fire, warning systems, evacuation, Pathfinder.

1 ВСТУП

Під час надзвичайних ситуацій та пожеж, потрібна чітка та швидка організація евакуації всіх учасників освітнього процесу [1]. Проте стандартні системи оповіщення (СО) часто є недостатньо ефективними для дітей з порушенням слуху, що може призводити до затримок у реагуванні на виникнення загроз. Це підкреслює актуальність проведення дослідження ефективності систем оповіщення та евакуації дітей з метою підвищенню рівня безпеки у закладах освіти та забезпечення рівноправного доступу до захисту.

Недотримання основних правил пожежної безпеки, відсутність ефективних протипожежних систем і використання застарілих будівель без модернізації стали ключовими причинами, що призвели до трагедії в Одеському коледжі (рис. 1).



Рис. 1. Пожежа в Одеському коледжі економіки, права та готельно-ресторанного бізнесу (м. Одеса, Україна).

Зокрема, 27 березня 2019 року сталася пожежа в будівлі дошкільного навчального закладу в місті Кривий Ріг (рис. 2). Вогонь виник у приміщенні музичного кабінету, розташованого на другому поверсі двоповерхової будівлі. Для гасіння пожежі було залучено 15 рятувальників. До прибуття підрозділів ДСНС співробітники дитячого садка евакуювали 115 осіб, з яких 87 були діти. Причиною загоряння стало коротке замикання електричної мережі.



Рис. 2. Пожежа в будівлі дошкільного навчального закладу (м. Кривий Ріг, Україна)

Подібний випадок трапився в ніч на 30 жовтня 2021 році у місті Тетіїв, Білоцерківського району, Київської області, де пожежа виникла в холі навчального класу (рис. 3). Внаслідок цього було пошкоджене облицювання стін та майно в прилеглому класі. Основною причиною займання стало порушення встановлених законодавством вимог пожежної безпеки.



Рис. 3. Наслідки пожежі в школі (м. Тетіїв, Україна)

Ще одна пожежа сталася 9 лютого 2021 році в приміщенні закладу дошкільної освіти в селі Харитонівка, Житомирської області (рис. 4). Дитячий садок був розташований під однією покрівлею із закладом середньої освіти. Після виявлення займання було евакуйовано 30 дітей та 18 осіб персоналу. Осередок пожежі знаходився у спальному приміщенні, внаслідок чого було знищено майно в кімнаті та пошкоджено внутрішнє оздоблення стін. Причиною пожежі стало коротке замикання електромережі.



Рис. 4. Пожежа в будівлі дошкільного навчального закладу (с. Харитонівка, Україна)

Також, в ніч на 1 лютого 2023 року в селі Сабатинівка, Голованівського району, Кіровоградської області, виникла пожежа в дитячому садку (рис. 5). Осередок займання знаходився на горищі будівлі, що призвело до значних руйнувань: було пошкоджено та зруйновано покрівлю та перекриття будівлі на площі 600 м². Причиною пожежі стало порушення правил експлуатації печей та димарів.



Рис. 5. Пожежа в дитячому садку (с. Сабатинівка, Україна)

Випадки пожеж у закладах освіти свідчать про необхідність удосконалення протипожежних систем, розробки ефективних заходів евакуації та впровадження спеціалізованих систем оповіщення для всіх категорій населення, зокрема для осіб з порушенням слуху. Це забезпечить своєчасне реагування та збереже життя дітей і персоналу закладів освіти.

2 АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Подібна проблематика оповіщення дітей і людей з вадами слуху неодноразово розглядалася в наукових працях. Деякі з них зазначають про необхідність розроблення нових систем для вирішення проблеми оповіщення людей з сенсорними порушеннями (з вадами слуху, зору та інше) за рахунок застосування підсилювачів та звукових генераторів [2]. Можливе індивідуальне оповіщення про пожежу за допомогою мобільних телефонів [3, 4], або контроль наявності людей в будівлі за допомогою пристрою, що дозволяє фіксувати їх перебування у вказаній зоні [5], відсутність методів та методик щодо оцінки ефективності СО на стадії проектування так і під час її експлуатації [6]. Проведеними дослідженнями визначено, що навіть спрацювання СО не гарантує того що люди, негайно вчинять негайні дії з евакуації. Окрім використання сигналів евакуації, додаткових підказок, включаючи повідомлення голосового зв'язку, потрібні також додаткові інструктажі персоналу, навчання та розроблення планів дій у надзвичайних ситуаціях [7–9].

Дослідження ефективності існуючих систем оповіщення та евакуації у закладах освіти свідчать про значні прогалини у врахуванні потреб дітей з порушенням слуху.

Результати аналізу джерел показують, що в більшості закладів освіти використовується стандартне звукове сповіщення, яке є малоефективним для цієї категорії учнів [10]. Дослідники пропонують методи оцінювання систем на основі критеріїв часу реакції, зрозумілості сигналів та доступності інформації.

В [11] наведені результати дослідження характеристик евакуації людських потоків з включенням до їх числа маломобільних груп населення. Було прораховано 15 сценаріїв з участю різної кількості агентів. На середню швидкість агентів негативно впливають частка людей з обмеженими можливостями. Зі збільшенням частки інклюзивних пішоходів небезпека натовпу збільшується. Дане дослідження корисне для проектування безпечної евакуації за допомогою комп'ютерного моделювання та для зменшення утворення скупчень різних груп мобільності під час евакуації з будівлі.

В [12] дослідили евакуацію людей із застосуванням алгоритму Дейкстри та алгоритму оптимізації, що імітує рух колонії мурах (ACO) та запропонували покращений метод евакуації DACO (Dijkstra-ant colony optimization). Мета дослідження полягала в проектуванні. Результати досліджень підтверджують, що алгоритм DACO є більш досконалим в порівнянні з алгоритмом Дейкстри.

В [13] запропонували модель евакуації з використанням клітинних автоматів. Цей алгоритм об'єднує клітинні автомати з моделлю потенційного енергетичного поля в теорії руху людських потоків для вибору безпечних шляхів евакуації натовпу і зниження імовірності виникнення тисняви. Для збору інформації про пожежу та натовп були використані спеціально розроблені бездротові датчики, удосконалені камери спостереження з штучним інтелектом, інтелектуальні системи аварійних вивісок, котрі регулюють евакуацію в мовах реального часу. Також в роботі описані результати моделювання алгоритму на двовимірній площині, яка створена на базі будівлі лікарні аеропорту Пекіну. Моделювання показало, що середній час евакуації значно покращився. Максимальне покращення становило 72% в порівнянні з сценаріями, в яких використовували звичайні евакуаційні знаки. Результати дослідження продемонстрували, що запропонована модель зменшує час евакуації особливо добре в місцях з великою кількістю людей. Результати роботи будуть використані для проведення натурного експерименту наших досліджень.

В [14] представили методологію розробки планів евакуації шляхом проведення моделювання руху пішоходів з агентами, що мають модель свого оточення. Цей підхід дозволяє оцінити різні сценарії і вибрати найкращий варіант на основі конкретних характеристик ділянки. Метод об'єднує моделювання і аналіз даних, використовуючи метод Монте – Карло для покращення екстреної евакуації. Для моделювання висотної будівлі був застосований програмний комплекс Pathfinder. Наші дослідження базуються на програмному комплексі Pathfinder.

В [15] описали теорію моделювання для евакуації людей з вадами руху, в якій застосовані спеціальні дані для евакуаційних інструментів, що керують рухом агентів (наприклад вертикальні швидкості руху, котрі в середньому сягають від 0,6 м/с до 0,84 м/с в залежності від пристрою переміщення агента). В роботі запропоновані алгоритми, що розраховують рух евакуаційних пристроїв (ліжок, крісел-каталок) через дверні прорізи і при русі по сходах, та включають в себе метод геометричного розташування доступних маршрутів з лікарні. Цей новий спосіб враховує ключові компоненти евакуації, коли пацієнти збираються повторно і має багато застосувань, як в моделюванні евакуації з лікарні, так і з інших приміщень, де присутні маломобільні люди. Функціональність методу була протестована і становить в межах 6% від очікуваної продуктивності. Після завершення подальшого тестування інструмент може бути використаний для значного розширення планування та діагностичних можливостей, пов'язаних з евакуацією з лікарень та інших медичних закладів.

В [16] розглянули вплив фізичних зіткнень людей (occupant physical collisions – OPC) на евакуацію та запропонували метод віртуального тренування евакуації при пожежі в приміщеннях. Спершу для створення реалістичної сцени пожежі в приміщенні було застосовано моделювання з використанням інформаційного моделювання будівлі та алгоритм візуалізації диму на основі моделювання розрахункової гідродинаміки пожежі. Приклад віртуальної евакуації показав, що найбезпечніший спосіб евакуації істотно відрізняється при врахуванні OPC. Представлені результати дослідження дозволяють користувачам протестувати OPC у віртуальних навчаннях евакуації з приміщень та допоможуть обрати найбільш безпечний шлях евакуації.

Встановлено [17], що при евакуації досить часто на сходових клітинах утворюються потоки великої щільності ($7-8 \text{ осіб/м}^2$), які призводять до виникнення

скупчень (затворів), 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) [18, 19].

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) [20], за допомогою прикладного програмного забезпечення PYROSIM [21, 22], Pathfinder [23, 24]. Pathfinder дає візуалізоване тривимірне зображення процесу евакуації з можливим з'ясуванням причин затримки під час евакуації.

Також, дослідження вказують, що впровадження інформаційних табло із текстовими інструкціями у приміщеннях значно скорочує час евакуації. Крім того, важливим фактором є взаємодія таких систем із навчальним персоналом та спеціальними службами для швидкої координації дій під час надзвичайної ситуації.

3 ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Мета дослідження – дослідити ефективність сучасної системи оповіщення та управління евакуацією дітей з особливими освітніми потребами (вадами слуху) при пожежах для реалізації інклюзивного навчання у закладах освіти.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні наукові завдання:

1. Проаналізувати сучасні підходи щодо систем оповіщення та управління евакуацією в Україні.
2. Обґрунтувати математичну модель для оцінки ефективності системи оповіщення та управління евакуацією дітей з особливими освітніми потребами.
3. Провести моделювання часу евакуації дітей за допомогою ПК Pathfinder з начального закладу.

4 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1. Аналіз сучасних підходів щодо систем оповіщення та управління евакуацією в Україні

Відповідно до нормативних документів СО про пожежу та управління евакуюванням людей призначена для оповіщення людей, що перебувають в будинку (споруді), про виникнення пожежі з метою створення умов для їх своєчасного евакуювання.

Оповіщення здійснюється одним із таких способів або їх комбінацією:

- передачею звукових, а також, за необхідності, світлових сигналів оповіщення у всі приміщення будинку;
- трансляцією мовленнєвих повідомлень про пожежу;
- передачею в окремі зони будинку або приміщення повідомлень про місце виникнення пожежі, про шляхи евакуювання та дії, що забезпечують особисту безпеку;
- увімкненням світлових показників рекомендованого напрямку евакуювання;
- увімкненням освітлення евакуювання;
- для СО4 та СО5 типів - двостороннім зв'язком між приміщенням пожежного поста та зонами оповіщення.

За способами оповіщення СО ділиться на світлові (візуальні), звукові, мовленнєві та комбіновані.

СО з використанням світлової (візуальної) сигналізації складається із світлових оповіщувачів, світлових показчиків, знаків, табло або інших пристроїв, сигнальна інформація від яких створюється подачею сигналу управління. При цьому світлові (візуальні) системи оповіщення застосовуються у разі неможливості забезпечити оповіщення звуковими та мовленнєвими оповіщувачами.

СО з використанням звукової сигналізації складається із звукових пожежних оповіщувачів згідно з ДСТУ EN 54-3, що генерують звукові сигнали попередження про пожежу при подачі на них сигналу управління.

СО для забезпечення мовленнєвого оповіщення складається з устаткування управління та індикації і гучномовців згідно з ДСТУ-Н CEN/TS 54-14, ДСТУ EN 54-16 та ДСТУ EN 54-24 відповідно. Трансляція мовленнєвого повідомлення забезпечується ручним або автоматичним запуском устаткування управління та індикації.

Комбінована СО складається із світлової, звукової та/або мовленнєвої сигналізації.

Приведення в дію СО виконується:

- в автоматичному режимі сигналом від системи пожежної сигналізації (СПС);
- в ручному режимі оперативним персоналом із пожежного поста при отриманні сигналу від СПС або автоматична система пожежогасіння (АСПГ). При цьому ручний режим має найвищий пріоритет управління СО.

Оповіщення повинно виконуватись у всіх приміщеннях будинків (споруд) із постійним та тимчасовим перебуванням людей та, за необхідності, на прилеглій до будинку території.

Мовленнєві повідомлення про пожежу повинні бути короткими, ясними та зрозумілими.

У будівлях, де можливе перебування людей, що не володіють національною мовою, мовленнєві повідомлення повинні транслюватися на декількох мовах, але не більше ніж на чотирьох.

Допускається використовувати СО з радіоканальними з'єднувальними лініями, при цьому вони повинні бути забезпечені автоматичним контролем їх працездатності.

В залежності від призначення будинку, приміщення, площі, поверховості, кількості місць, умовної висоти, режиму роботи об'єкта обирається тип системи оповіщення

Таблиця 1

Типи СО

Характеристика СО та управління евакуацією людей	Наявність зазначених характеристик у різних типів СО				
	1	2	3	4	5
1	2	3	4	5	6
1. Способи оповіщення:	+	+	*	*	*
- звуковий (дзвінок, тиваний сигнал тощо);					
- мовленнєвий (запис і передача спеціальних текстів);	-	-	+	+	+
- світловий:	*	*	-	-	-
а) світловий сигнал, який блимає;					
б) світлові показчики «Вихід»;	*	+	+	+	+
в) світлові показчики напрямку руху;	-	*	*	+	+
г) світлові показчики напрямку руху з включенням окремо для кожної зони	-	*	*	*	+
2. Зв'язок зони оповіщення з диспетчерською	-	-	*	+	+
3. Черговість оповіщення:	*	+	-	-	-
- всіх одночасно;					

Продовження таблиці 1					
1	2	3	4	5	6
- тільки в одному приміщенні (частині будинку);	*	*	*	-	-
- спочаку обслуговуючого персоналу, а потім усіх інших за спеціально розробленою черговістю	-	*	+	+	+
4. Повна автоматизація управління СО та можливість різних варіантів організації евакуювання з кожної зони оповіщення	-	-	-	-	+
Примітка. У таблиці наведено такі позначки: «+» - вимагається; «*» - рекомендується; «-» - не вимагається.					

СО із використанням мовленнєвого оповіщення за відсутності небезпечних ситуацій допускається використовувати в режимі трансляції музичних програм та іншої інформації з обов'язковим автоматичним вимкненням цього режиму при надходженні пожежної тривоги.

Для цікавої для нас категорії людей, тобто вадами слуху і слабочуючих осіб, у зв'язку із фізіологічними особливостями основними шляхами надходження інформації є - низькочастотна вібрація і зір.

При відключенні штучного освітлення або перебуванні у стадії сну глухі й діти які слабо чують, позбавляються взагалі інформації як про виникнення надзвичайної ситуації чи події, так і про необхідні дії з евакуації.

Наявні в Україні системи оповіщення призначені для попередження про наявність потенційно небезпечного стану за допомогою гучного пронизливого звуку та світлової індикації. Однак люди з вадами слуху не в змозі адекватно почути звук про небезпеку.

Для таких об'єктів слід передбачати окрім традиційних методів оповіщення додатково нові - вібраційні (вібраційні ліжка, браслети, подушки).

Щоб забезпечити виведення тривожних сигналів у разі пожежі на такі пристрої, необхідно автоматизувати їх із системою пожежної сигналізації з функцією контролю їх технічного стану та передбачених нормальних умов застосування.



Рис. 6. Орієнтована структура системи пожежної сигналізації та оповіщення та управління евакуацією для людей з порушенням слуху.

Опис позначень.

1. Програмне забезпечення для виведення інформації та організації пожежного пульта моніторингу.
2. Пожежний приймально-контрольний прилад.
3. Блок центрального контролера.
4. Блок живлення.
5. Блок підсилювача потужності.
6. Блок комутації.
7. Акустичні системи.
8. Вібраційні системи.
9. Сповіщувачі світло-звукові та світлові.
10. Світлові покажчики у вигляді мерехтливих світлових доріжок.
11. Пожежні сповіщувачі.
12. Ручні пожежні сповіщувачі.
13. Пристрій безпроводного з'єднання.
14. Індивідуальні сповіщувачі у вигляді вібраційних браслетів.
15. Шлейф з'єднання.

У зв'язку із тим що, нові запропоновані системи використовують для оповіщення тактильний спосіб, необхідно також провести дослідження для визначення відповідних рівнів вібрації в лабораторії сну для людей різної вікової групи та групи мобільності.

При задимленості шляхів евакуації світлові покажчики що розташовуються на стінах стають малопомітними, тому є необхідність у оснащенні додатковими світловими покажчиками у вигляді мерехтливих світлових доріжок до виходу, що дозволить краще людям орієнтуватися в темряві.

Для встановлення загальних однотипних принципів, характеристик, оптимального ступеня впорядкованості таких пристроїв, необхідно розробити та впровадити відповідний нормативний документ. Це дозволить майбутнім виробникам виготовляти стандартизовані пристрої.

Удосконалення наявних СО полягає в наступних заходах:

- система оповіщення повинна додатково включати вібраційні пристрої для ліжка/подушки та індивідуальні сповіщувачі (браслети) в кількості яка відповідає розрахункової кількості дітей;
- шляхи евакуації повинні бути оснащені світловими покажчиками у вигляді мерехтливих світлових доріжок до виходу, що дозволить краще орієнтуватися в темряві;
- технічні засоби системи мають бути виконані на сучасній елементній базі та містити інтелектуальну складову, що забезпечить управління евакуацією за відповідними алгоритмами залежно від розташування місця виникнення пожежі;
- обов'язковою умовою, що забезпечує колективну безпеку під час пожежі або НС, є навчання порядку та правил дії як посадових осіб, так і дітей з особливими освітніми потребами (порушенням слуху).

4.2. Обґрунтування математичної моделі для оцінки ефективності системи оповіщення та управління евакуацією дітей з особливими освітніми потребами

Забезпечення евакуації людей полягає у таких об'ємно-планувальних і конструктивних рішеннях, за яких евакуація з об'єкта завершується до настання гранично допустимих для людини значень небезпечних чинників пожежі, а при недоцільності евакуації - забезпечується засобами індивідуального та/або колективного захисту та рятування людей на об'єкті [11]. Для забезпечення евакуації необхідно:

- встановити кількість, розміри та відповідне конструктивне і планувальне виконання евакуаційних шляхів і виходів;

- забезпечити можливість безперешкодного руху людей евакуаційними шляхами;
- організувати, за необхідності, управління рухом людей евакуаційними шляхами (світлові покажчики, звукове і мовленнєве оповіщення, знаки безпеки тощо).

Відповідно до прийнятої світової практики умова безпечного евакуювання людей має наступне математичне відображення: $t_p \leq t_{\text{бл}}$ де, t_p – розрахунковий час евакуації людей при пожежі з врахуванням часу початку евакуювання, хв; $t_{\text{бл}}$ – необхідний час евакуації людей при пожежі (час від початку пожежі до блокування шляхів евакуації внаслідок розповсюдження на них небезпечних чинників пожежі, що мають гранично допустимі для людей значення), хв.

На даний час в світі розроблено і застосовуються математичні моделі, які використовуються для перевірки виконання умов безпечної евакуації людей з об'єктів, що відрізняються між собою складністю проведення розрахунків і точністю отриманих результатів. Для визначення розрахункового часу евакуації людей під час пожежі застосовуються наступні математичні моделі:

- аналітична модель;
- модель індивідуально-потокowego руху людей;
- модель імітаційно-стохастичного руху людей;
- інтегральна модель (інтегральний метод);
- зонна (зональна) модель (метод);
- польова модель (польовий метод).

На сьогоднішній день в Україні єдиним чинним нормативним документом згідно якого виконується перевірка виконання умов безпечного евакуювання людей під час пожежі являється [25]. У даному нормативному документі реалізовано інтегральну модель (метод) розрахунку необхідного часу евакуації людей при пожежі і аналітичну модель розрахунку часу евакуації людей.

Необхідно відмітити суттєві недоліки реалізованих методів розрахунків, а саме:

- не враховано вплив небезпечних чинників пожежі (НЧП) на швидкість руху потоку людей;
- не враховує частковий рух людей при виникненні скупчень;
- не враховано можливість евакуації пожежними ліфтами.

4.3. Моделювання часу евакуації дітей за допомогою ПК Pathfinder з начального закладу

Одним з найкращим програмним компонентом покладеного в швидкому та реалістичному розрахунку евакуації людей при пожежі в порівнянні з іншими розрахунковими програмами є – Pathfinder [24–28].

У [29] підкреслюється, що саме в моделі Pathfinder реалізований найбільш точний алгоритм, який передбачає інтелектуальний рух людей в потоці (маневрування, ухилення від зіткнення, прискорення при наявності вільного простору).

Pathfinder, як програма для моделювання евакуації у надзвичайних ситуаціях з урахуванням можливості порятунку людей, включає в себе користуальницький графічний інтерфейс для створення моделі та модуль для перегляду анімованих тривимірних результатів.

Дозволяє виконати розрахунок евакуації людей при пожежі швидше та реалістичніше, ніж інші розрахункові програми. Виконує розрахунок часу евакуації та часу існування скупчень за індивідуально-потоковой моделлю руху. Інтерфейс програми дозволяє задавати параметри розрахунку моделі відповідно значень ДСТУ 8828:2019 Пожежна безпека. Загальні положення.

4.3.1. Моделювання порятунку маломобільних груп людей

Pathfinder дозволяє моделювати також порятунок немобільних людей силами персоналу на ношах, інвалідних кріслах та інших суднах. У вихідних даних задаються "клієнти" (агенти, яким потрібна допомога для руху) та "помічники" (агенти, які переміщують немобільних агентів) [26].

Програма дозволяє реалізувати різні варіанти поведінки під час порятунку: помічники можуть супроводжувати клієнта весь шлях до виходу або зони безпеки, а можуть передавати його від однієї команди рятувальників до іншої (наприклад, одна команда везе немобільну людину до ліфта, інша зустрічає внизу у ліфта), або надавати допомогу тільки на частині шляху (наприклад, допомогти агенту в кріслі-колясці при спуску сходами).

Об'єднання помічників у «команди допомоги» дозволяє враховувати обмеження кількості рейсів, відповідно до вимог методики.

Програма перегляду 3D-результатів реалістично відображає процес порятунку.

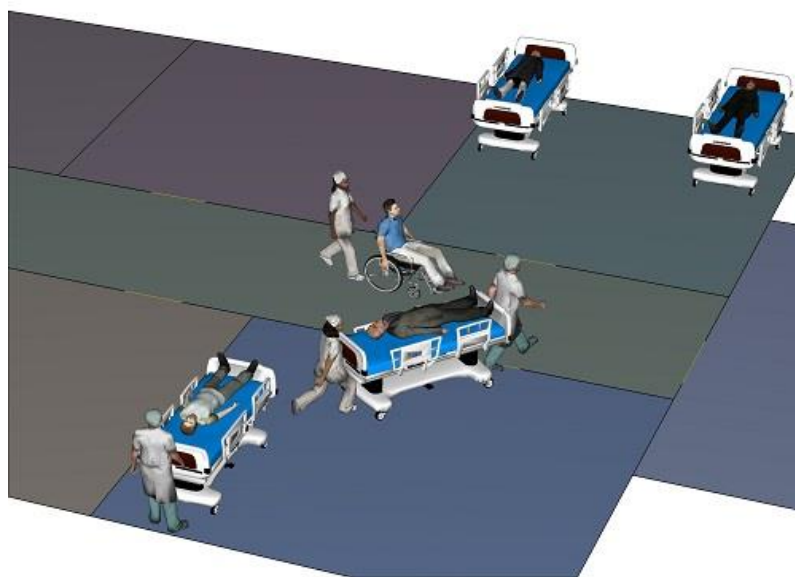


Рис. 7. Моделювання процесу евакуації пацієнтів з палат лікарень

4.3.2. Візуалізація полів НЧП разом із евакуацією людей.

У Pathfinder можна одночасно переглядати результати евакуації та результати моделювання поширення НЧП. За допомогою подібних зображень можна наочно проілюструвати, чи встигають евакуюватися люди до блокування шляхів евакуації. Для цього необхідно завантажити результати розрахунку Pyrosim по площинах - температура, щільність диму, дальність видимості і т.д. Площини можна індивідуально налаштовувати, задаючи діапазон значень та параметри колірної шкали.

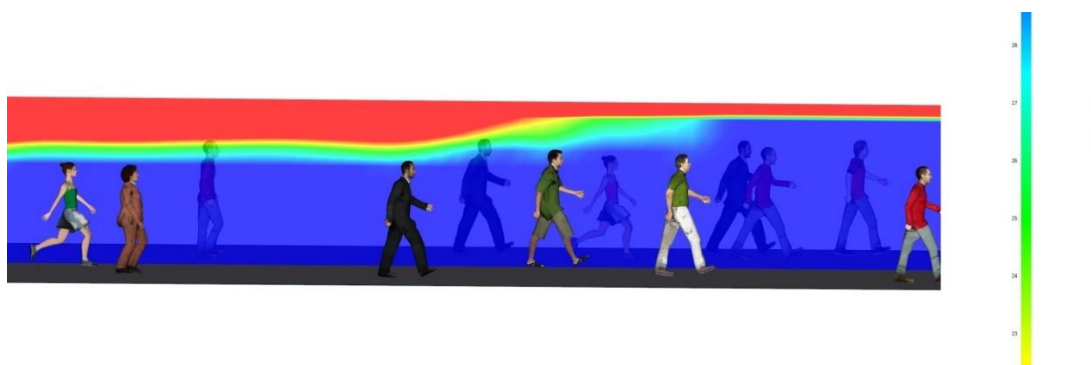


Рис. 8. Ілюстрування поширення небезпечних факторів пожежі

4.3.3. Контури щільності людського потоку

Для наочного і зручного відображення результатів моделювання можна використовувати контури - поля різних параметрів руху, наприклад, щільність агентів. Гладка анімація забезпечує перегляд результатів у реальному часі. Контури дозволяють відображати щільність, швидкість, завантаженість шляхів та інші величини, також можливо створювати контури користувача, використовувати усереднення, пошук максимальних і мінімальних значень. Кожен контур можна індивідуально налаштовувати – діапазон значень, колірна шкала, згладжування та ін.

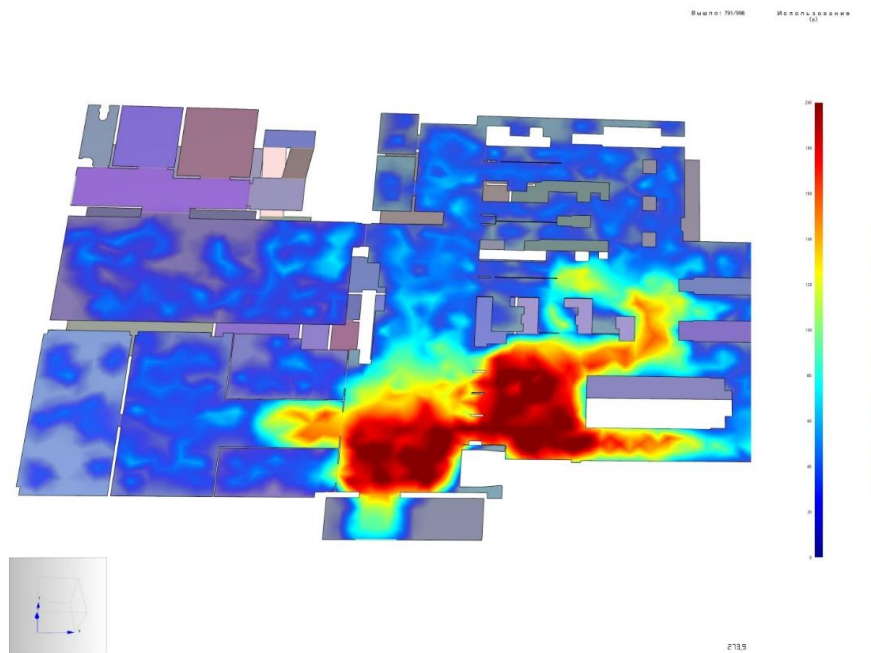


Рис. 9. Графічне зображення щільності людського потоку

4.3.4. Рух агентів до виходів

За замовчуванням кожна людина (агент) використовує комбінацію параметрів вибору шляху до виходу. Серед цих параметрів: час очікування перед кожними дверима в поточному приміщенні, час оцінки від кожної двері до виходу, і відстань, вже пройдена в приміщенні. Агенти динамічно реагують на зміну довжини черг, відкриття/закриття дверей та зміну модифікаторів швидкості в приміщенні (які можуть моделювати дим та сміття, що ускладнює рух). Користувач може налаштовувати вагу параметрів, регулюючи поведінку. Наприклад, агенту можна вказати ігнорувати довжину черг і легко рухатися до найближчого виходу.

Крім того, агентам можна ставити певні цілі (наприклад, йти у вказане місце та чекати там вказаний час), або певні виходи.

4.3.5. Сходи, ескалатори, доріжки, що рухаються, і рампи

Сходів та рампи можна створити в кілька клацань миші. Їх можна використовувати для моделювання ескалаторів і доріжок, що рухаються (похилих або горизонтальних).

4.3.6. Індивідуальні налаштування людей

Кожна людина в моделі представлена агентом з власним профілем (в якому встановлюється розмір людини та швидкість його руху) та власною поведінкою (рух до виходів, дорожніх точок та ліфтів). На основі своїх характеристик кожен агент оцінює навколишній простір та вибирає шлях до виходу. Наприклад, люди можуть уникати довгих черг або реагувати на закриття дверей.

Можна створити різноманітні профілі людей. Параметри в профілі можуть бути постійними, а також з рівномірним, нормальним або логонормальним розподілом. Наприклад, можна створити профілі, що моделюють дітей та дорослих, а потім розподілити їх серед агентів у співвідношенні 20 та 80 %. Аналогічно можна створити та розподілити безліч різноманітних поведінок. Люди можуть прямувати до різних виходів, відвідувати дорожні точки та чекати на заданий час.

Відображення тривимірних результатів можливе під час моделювання (для перегляду поточного стану), так і після завершення розрахунку. Тривимірна візуалізація дозволяє користувачеві спостерігати за рухом людей, промотувати запис уперед і назад, переглядати шляхи руху та вибирати агентів для спостереження. У файлі резюме виводиться інформація про мінімальний, максимальний та середній час руху до виходу, а також про перший і останній минулий через двері та приміщення. Більш детальна інформація наведена у файлах CSV, у тому числі про рух окремих людей.

Для розрахунків часу евакуації приймається програмний комплекс Pathfinder, який має переваги над звичним розрахунком за ДСТУ та дозволяє більш точно виконати обчислювання часу евакуації з врахуванням індивідуальних особливостей та поведінки агентів (людей).

4.4. Розрахунок часу евакуації дітей за допомогою ПК Pathfinder з навчального закладу

Проведемо розрахунок часу евакуації людей за допомогою програмного комплексу Pathfinder наприкладі дошкільного навчального закладу для дітей з порушенням слуху.

Незважаючи на той факт, що приміщення дошкільного закладу обладнані системою керування евакуюванням IV—V типу, все ж багато часу йде на реакцію людей на оповіщення про пожежу. Особи, які перебувають у будівлі, можуть на час виникнення пожежі знаходитися в стані сну, значення тривалості від початку евакуації становить – 240 с [30].

При організації процесу евакуації важливо розглядати рішення, спрямовані не тільки на покращення часу евакуації, але й на зниження щільності людських потоків. Це дасть можливість мінімізувати ризики травматизму людей і утворення перешкод у процесі руху.

В якості найбільш ефективного рішення варто розглядати поетапну евакуацію. Схема організації поетапної евакуації заснована на поділі людей, що евакууються, і запобігання їх перетину.

Для можливості проведення розрахунків та моделювання евакуації з прийнятого дошкільного закладу слід визначити наступні вихідні дані які приймаються за наданою інформацією та вимог нормативних документів:

- ступінь вогнестійкості – I-II [31];
- режим роботи – цілодобовий;
- кількість поверхів – 2 [32];
- груповий осередок – 8 (2 групи на 1 поверсі та 6 на 2 поверсі) [32];
- висота поверху – 3,3 м [33];
- загальна кількість людей в будинку – 96 осіб дітей та 18 дорослих осіб;
- кількість сходових кліток СК1 – 3, сходовий марш – 1,35 м [32, 34];
- ширина дверей сходових кліток – 1,35 м [34];
- ширина проходів та коридорів – 1,4 м [33];
- ширина вхідних дверей дитячих осередків – 0,9 м [33];
- кількість сходів типу С3 – 6 [32];
- ширина маршів сходів типу С3 і дверей на їх площадки – 0,9 м [33, 35];
- час початку евакуації – 240 с [30];

- інтенсивність і швидкість руху людського потоку різними ділянками шляхів евакуації в залежності від щільності для групи мобільності [35]:

Таблиця 2

Інтенсивність і швидкість руху людського потоку різними ділянками шляхів евакуації в залежності від щільності для групи мобільності М1

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

– площа горизонтальної проекції людей з обмеженою мобільністю, $\text{м}^2/\text{ос}$ (рис. 10) [22].

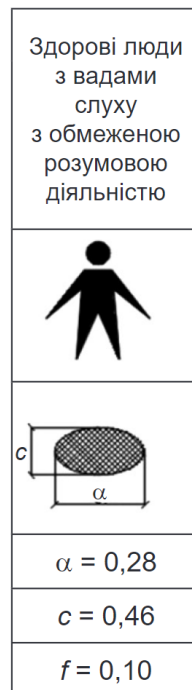


Рис. 10. Площа горизонтальної проекції людей з вадами слуху

Для розрахунку приймаємо два можливих сценарії евакуації дітей при умовній пожежі.

1. Заклад обладнаний типовою системою оповіщення СО4 (світловий, звуковий, мовленевий тип оповіщення) [20]. Пожежа виникає вночі коли діти знаходяться в стані сну та позбавлені можливості самостійно отримувати інформацію про пожежу. Вихователі які перебувають в нічний час знаходяться в сусідньому приміщенні, після отримання сигналу про пожежу від системи пожежної сигналізації (далі по тексті СПС), починають пробуджувати кожного із дітей та супроводжувати їх до евакуаційних виходів. В кожній групі знаходиться по 12 дітей.

2. Заклад обладнаний вдосконаленою системою оповіщення СО4 (світловий, звуковий, мовленевий, додатково вібраційний тип оповіщення, мерехтливі світлові доріжки) [20]. Пожежа виникає вночі коли діти знаходяться в стані сну, діти самостійно пробуджуються від вібрації пристроїв розміщених під подушками та індивідуальних браслетів які отримали сигнал від СПС, починають самостійно евакуюватися слідуючи за напрямком мерехтливих доріжок та світильників. Вихователі які перебувають в нічний час знаходяться в сусідньому приміщенні, після отримання сигналу про пожежу

від СПС слідує до дітей та супроводжувати їх до евакуаційних виходів. В кожній групі знаходиться по 12 дітей.

4.5. Перший сценарій

Діти знаходяться в стадії сну, один вихователь на дві групи на кожному поверсі.

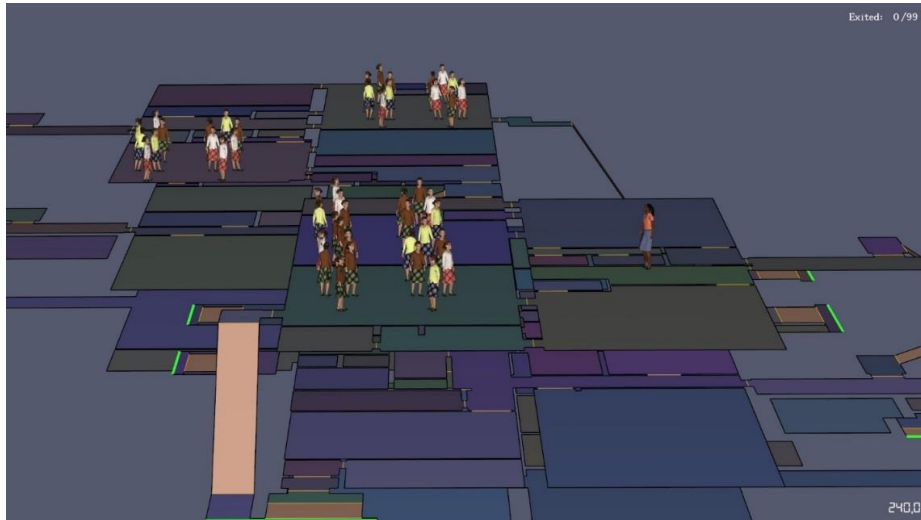


Рис. 11. Розміщення агентів на початок евакуації

Відбувається спрацювання СПС та СО, вихователі отримують сигнал про необхідність проведення евакуації. Час реагування та початку прямування для можливості пробудження дітей становить – 240 с відповідно до ДСТУ 8828:2019 Пожежна безпека. Загальні положення.



Рис. 12. Початок прямування вихователів до дітей

Вихователі прибули до груп, проводиться їх пробудження. Орієнтований час на кожну дитину складає 15 с. Загальний час, витрачений на пробудження – 180 с. Загальний час евакуації за першим сценарієм становить на 408 с.

4.6. Другий сценарій

Діти як і за першим сценарієм знаходяться в стадії сну, один вихователь на дві групи на кожному поверсі.

Відбувається спрацювання вібраційних пристроїв розміщених під подушками, індивідуальних браслетів дітей від сигналів СПС, діти починають самостійно пробуджуватися. Час пробудження та початку евакуації дітей становить 240 с відповідно до ДСТУ 8828:2019 Пожежна безпека. Загальні положення.

Вихователями які прибули до груп, проводиться огляд приміщень та подальше супроводження дітей до евакуаційних виходів.

Загальний час евакуації за другим сценарієм становить на 120 с менше від часу за першим сценарієм.

Перевага СО (рис. 1) полягає:

- в більш швидкій евакуації дітей за рахунок зменшення часу витраченого на прямування та пробудження вихователями дітей, які за гіршим варіантом перебувають у стадії сну;

- отримання дітьми сигналів про пожежу;

- виключення поняття «людського» фактору.

5 ВИСНОВКИ

1. Аналізуючи вимоги чинних на території України нормативних документів слід зробити висновок, що наявні на теперішній час технічні засоби оповіщення та управління евакуацією, їх характеристики спрямовані на звичайних учнів без врахування в нашому випадку дітей з особливими освітніми потребами (порушенням слуху) як наслідок не в змозі належним чином виконати свою функцію.

2. Математична модель оцінки ефективності системи оповіщення та управління евакуацією повинна відповідати основним принципам безпечного евакуювання людей, а саме: забезпечувати можливість завершення евакуації до моменту настання гранично допустимих значень НЧП; включати параметри, що характеризують можливості безперешкодного руху людей евакуаційними шляхами; враховувати специфіку управління рухом людей, особливо дітей з особливими освітніми потребами, за допомогою звукових, світлових та мовленнєвих засобів оповіщення; коригувати параметри часу евакуації з урахуванням специфіки поведінки людей у стресових умовах та можливих змін у просторі евакуації.

3. Для підтвердження ефективності сучасної системи оповіщення проведена розрахункова частина роботи в ПК Pathfinder, яка полягала у визначенні часу евакуації на існуючому дошкільному навчальному закладі для дітей з порушенням слуху за двома сценаріями (без та з удосконаленою системою оповіщення). Ефективність полягала в більш швидкій евакуації за рахунок зменшення часу витраченого на заходи із пробудження вихователями дітей, які за гіршим варіантом перебували у стадії сну, виключення поняття «людського» фактору.

6 ЕТИЧНІ ДЕКЛАРАЦІЇ

Автори не мають будь-яких фінансових чи нефінансових інтересів щодо матеріалів, представлених у цій статті, які слід розкривати.

Література

1. Кукузенко А.М., Рашкевич Н.В., Отрош Ю.А. Визначення стану безпеки шляхів евакуації. Матеріали Міжнародної науково-методичної конференції (Міжнародна наукова конференція EAS) «Безпека людини у сучасних умовах». м. Харків, НТУ «ХПІ», 1-2.12.2022 р. С. 114–116.

2. Лиходід Р.В. Рудницький В.М. Модель системи оповіщення та керування евакуацією людей під час пожежі в будинку. Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. Харків: Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 2010. Вип. 2 (24). С. 153–156.
3. Лиходід Р.В. Застосування засобів контролю перебування людей всередині будинку—перспективний напрямок вдосконалення існуючих систем оповіщення про пожежу. Матеріали X Міжнародної науково-практичної конференції «Пожежна безпека–2011». м. Харків: НУЦЗ України, 2011. 372 с.
4. Ashley, E.M. (2007). Waking effectiveness of emergency alerting devices for the hearing able, hard of hearing, and deaf populations. University of Maryland. Return to ref 12 in article.
5. Лиходід Р.В. Визначення параметрів систем оповіщення людей про пожежу за критерієм ефективності їхнього застосування. Матеріали 17 Всеукраїнської науково-практичної конференції рятувальників «Сучасний стан цивільного захисту України: перспективи та шляхи до Європейського простору». м. Київ, 22-23.09.2015 р. С. 239–242.
6. Христич В.В., Тарасенко К.А. Проблеми реагування населення на сигнали оповіщення систем автоматичного протипожежного захисту. Матеріали міжнародної НПК молодих учених НУЦЗУ. м. Харків, НУЦЗУ, 2020. С. 150.
7. Bryan, L.J. (2002). Behavioral Response to Fire and Smoke. Chapter 3-12. SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. 3rd Edition. 2. 42.
8. SFPE. (2003). Human Behavior in Fire. Engineering Guide. Society of Fire Protection Engineers. 46 p.
9. Sarwar, B. et al. (2019). An intelligent fire warning application using IoT and an adaptive neuro-fuzzy inference system. Sensors. 19(14). 3150.
10. Деревянко А.А., Кротенко О.О. Аналіз стану та тенденцій розвитку системи оповіщення про пожежу та управління евакуацією. Матеріали міжнародної НПК молодих учених НУЦЗУ. м. Харків, НУЦЗУ, 2021. С. 167.
11. Fu, L. et al. (2023). Application of the social force modelling method to evacuation dynamics involving pedestrians with disabilities. Applied mathematics and computation. 128297. URL: <https://doi.org/10.1016/j.amc.2023.128297>
12. Mohd Sabri, N.A. et al. (2017). Dijkstra-ant colony optimization algorithm for shortest and safest evacuation in high rise building. 79(3). URL: <https://doi.org/10.11113/jt.v79.5912>
13. Ji, Y. et al. (2022). Real Time Building Evacuation Modeling with an Improved Cellular Automata Method and Corresponding IoT System Implementation. Buildings. 12(6). 718. URL: <https://doi.org/10.3390/buildings12060718>
14. Ternero, R. et al. (2023). Analysis of Pedestrian Behavior for the Optimization of Evacuation Plans in Tall Buildings: Case Study Santiago, Chile. Buildings. 13(12). 2907. URL: <https://doi.org/10.3390/buildings13122907>
15. Hunt, A. L. E. et al. (2020). Simulating Movement Devices Used in Hospital Evacuation. Fire Technology. 56(5) 2209–2240. URL: <https://doi.org/10.1007/s10694-020-00971-5>
16. Xu, Z. et al. (2020). Virtual drill for indoor fire evacuations considering occupant physical collisions. Automation in construction. 109. 102999. URL: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.102999>
17. Komyak, V., Kyazimov, K. (2019). Variational modeling of evacuation of people from altitude buildings in the event of an emergency situation. Modern problems of modeling. 17 С. 27–35. URL: <https://doi.org/10.33842/2313-125x/2019/17/27/35>
18. Кусковець, С.Л., Москалик С.О. Шляхи вирішення проблем евакуації людей з будинків підвищеної поверховості на випадок пожежі. Bulletin National University of Water and Environmental Engineering. 2016. Т. 2. №. 74. С. 305–313.
19. Поліванов О. Сучасні проблеми гасіння пожеж у висотних будівлях. Матеріали XI Міжнародної науково-практичної конференції «Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій», 2020. С. 55–56.
20. Хілько Ю.В., Тригуб В.В., Грицина І.М. Моделювання безпечної евакуації людей з висотних будівель при пожежі. Науковий вісник будівництва. Харків, 2017. Т. 90. № 4. С. 267–271.

21. Щолоков Е.Е., Отрош Ю.А., Майборода Р.І. Моделювання евакуації людей при пожежі за допомогою програмного забезпечення Pathfinder. Матеріали круглого столу (вебінару) «Запобігання надзвичайним ситуаціям та їх ліквідація». Харків: НУЦЗУ, 2022. С. 127–129.
22. Олейник О.С., Отрош Ю.А. Технічні можливості програмного забезпечення Pathfinder Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту. Матеріали міжнародної науковопрактичної конференції молодих учених. Харків: НУЦЗУ, 2021. С. 174.
23. Олейник О.С., Отрош Ю.А., Ромін А.В. Моделювання поширення небезпечних факторів пожежі за допомогою прикладного програмного забезпечення PYROSIM. Матеріали круглого столу (вебінару) «Запобігання надзвичайним ситуаціям та їх ліквідація». Харків: НУЦЗУ, 2022. С. 69–70.
24. Рубан А.В., Рашкевич Н.В., Отрош В.Ю. Моделювання евакуації людей при пожежі в програмному забезпеченні PATHFINDER. Modern Technologies for Solving Actual Society's Problems. Edited by Oleksandr Nestorenko and Iryna Ostopolets. Publishing House of University of Technology, Katowice, 2022. С. 412–420.
25. Thompson, J. Wu, E. Marchant. (1997). Simulex 3.0: Modeling evacuation in multi-story buildings. Fire Safety Science. 5. 725–736. DOI: 10.3801/iafss.fss.5-725
26. 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, 2023. Том 4, вип. 178. С. 219–231. DOI: <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2023-4-178-219-231>
27. Щолоков Е. Е., Рашкевич Н. В., Отрош Ю. А., Майборода Р. І., Тригуб В. В. Евакуація при пожежі з дитячих ігрових майданчиків з повністю закритим устаткуванням The 12th International scientific and practical conference “Innovative development of science, technology and education” (August 29-31, 2024) Perfect Publishing, Vancouver, Canada. 2024. С. 117–122.
28. Майборода Р., Рашкевич Н., Отрош Ю., Сур'янінов В. Забезпечення безпеки евакуації маломобільних груп населення за допомогою пожежних ліфтів. Матеріали XIV Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю «Надзвичайні ситуації: безпека та захист». Черкаси: ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2024. С. 112–113.
29. ДСТУ 8828:2019 «Пожежна безпека. Загальні положення». URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=82138
30. ДБН В.2.2-4:2018 «Будинки і споруди. Заклади дошкільної освіти. Зі зміною № 1». URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=77081
31. Underwriters Laboratories (2016b) Standards for safety: Visible signaling devices for Fire Alarm and Signaling Systems, Including accessories, UL 1638 (Ed. 5) / CAN/ULC-S526 (Ed. 4).
32. ДБН В.2.5-56:2014 «Системи протипожежного захисту». URL: https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3200383488549193714?doc_type=2
33. ДБН В.2.2-40:2018 «Інклюзивність будівель і споруд. Основні положення». URL: https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3192362160978134152?doc_type=2
34. Інвентаризаційна справа №534568 дошкільного навчального закладу № 582 для дітей з порушенням слуху по вул. Флоренції, 3 м. Києва.
35. ДБН В.2.2-9:2018 «Будинки і споруди. Громадські будинки та споруди. Основні положення». URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=82012

References

1. Kukuzenko, A.M., Rashkevych, N.V., Otrosh, Yu.A. (2022). Vyznachennya stanu bezpeky shlyakhiv evakuatsiyi. Materialy Mizhnarodnoyi naukovometodichnoyi konferentsiyi (Mizhnarodna naukova konferentsiya EAS) «Bezpeka lyudyny u suchasnykh umovakh». m. Kharkiv, NTU «KHPI». 114–116.
2. Lykholdid, R.V. Rudnyts'kyu, V.M. (2010). Model' systemy opovishchennya ta keruvannya evakuatsiyeyu lyudey pid chas pozhezhi v budynku. Zbirnyk naukovykh prats' Kharkivs'koho universytetu Povitryanykh Syl. Kharkiv: Kharkivs'kyu universytet Povitryanykh Syl imeni Ivana Kozheduba. 2 (24). 153–156.
3. Lykholdid, R.V. (2011). Zastosuvannya zasobiv kontrolyu perebuvannya lyudey vsередyni budynku–perspektyvnyu napryamok vdoskonalennya isnuyuchykh system opovishchennya pro

- pozhezhu. Materialy KH Mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi «Pozhezha bezpeka–2011». m. Kharkiv: NUTSZ Ukrainy. 372 s.
4. Ashley, E.M. (2007). Waking effectiveness of emergency alerting devices for the hearing able, hard of hearing, and deaf populations. University of Maryland. Return to ref 12 in article.
 5. Lykhodid, R.V. (2015). Vyznachennya parametriv system opovishchennya lyudey pro pozhezhu za kryteriyem efektyvnosti yikhnoho zastosuvannya. Materialy 17 Vseukrayins'koyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi ryatuval'nykhiv «Suchasnyy stan tsyvil'noho zakhyst ukraiyiny: perspektyvy ta shlyakhy do Yevropeys'koho prostoru». m. Kyiv. 239–242.
 6. Khrystych, V.V., Tarasenko, K.A. (2020). Problemy reahuvannya naselennya na syhnaly opovishchennya system avtomatychnoho protypozhezhnogo zakhystu. Materialy mizhnarodnoyi NPK molodykh uchenykh NUTSZU. m. Kharkiv, NUTSZU. 150.
 7. Bryan, L.J. (2002). Behavioral Responseto Fire and Smoke. Chapter 3-12. SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. 3rd Edition. 2. 42.
 8. SFPE. (2003). Human Behavior in Fire. Engineering Guide. Society of Fire Protection Engineers. 46 p.
 9. Sarwar, B. et al. (2019). An intelligent fire warning application using IoT and an adaptive neuro-fuzzy inference system. Sensors. 19(14). 3150.
 10. Derevyanko, A.A., Krotenko O.O. (2021). Analiz stanu ta tendentsiy rozvytku systemy opovishchennya pro pozhezhu ta upravlinnya evakuatsiyeyu. Materialy mizhnarodnoyi NPK molodykh uchenykh NUTSZU. m. Kharkiv, NUTSZU. 167.
 11. Fu, L. et al. (2023). Application of the social force modelling method to evacuation dynamics involving pedestrians with disabilities. Applied mathematics and computation. 128297. URL: <https://doi.org/10.1016/j.amc.2023.128297>.
 12. Mohd Sabri, N.A. et al. (2017). Dijkstra-ant colony optimization algorithm for shortest and safest evacuation in high rise building. 79(3). URL: <https://doi.org/10.11113/jt.v79.5912>
 13. Ji, Y. et al. (2022). Real Time Building Evacuation Modeling with an Improved Cellular Automata Method and Corresponding IoT System Implementation. Buildings. 12(6). 718. URL: <https://doi.org/10.3390/buildings12060718>.
 14. Ternero, R. et al. (2023). Analysis of Pedestrian Behavior for the Optimization of Evacuation Plans in Tall Buildings: Case Study Santiago, Chile. Buildings. 13(12). 2907. URL: <https://doi.org/10.3390/buildings13122907>.
 15. Hunt, A. L. E. et al. (2020). Simulating Movement Devices Used in Hospital Evacuation. Fire Technology. 56(5) 2209–2240. URL: <https://doi.org/10.1007/s10694-020-00971-5>.
 16. Xu, Z. et al. (2020). Virtual drill for indoor fire evacuations considering occupant physical collisions. Automation in construction. 109. 102999. URL: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.102999>.
 17. Komyak, V., Kyazimov, K. (2019). Variantal modeling of evacuation of people from altitude buildings in the event of an emergency situation. Modern problems of modeling. 17 C. 27–35. URL: <https://doi.org/10.33842/2313-125x/2019/17/27/35>.
 18. Kuskovets', S.L., Moskalyk S.O. (2016). Shlyakhy vyrishennya problem evakuatsiyi lyudey z budynkiv pidvyshchenoyi poverkhovosti na vypadok pozhezhi. Bulletin National University of Water and Environmental Engineering. 2(74) 305–313.
 19. Polivanov, O. (2020). Suchasni problemy hasinnya pozhezhu u vysotnykh budivlyakh. Materialy KHI Mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi «Teoriya i praktyka hasinnya pozhezhu ta likvidatsiyi nadzvychaynykh sytuatsiy». S. 55–56.
 20. Khil'ko, Yu.V., Tryhub, V.V., Hrytsyna, I.M. (2017). Modelyuvannya bezpechnoyi evakuatsiyi lyudey z vysotnykh budivel' pry pozhezhi. Naukovyy visnyk budivnytstva. 90(4). 267–271.
 21. 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.
 22. Oleynyk, O.S., Otrosh, Yu.A. (2021). Tekhnichni mozhlyvosti prohramnoho zabezpechennya Pathfinder Problemy ta perspektyvy zabezpechennya tsyvil'noho zakhystu. Materialy mizhnarodnoyi naukovopraktychnoyi konferentsiyi molodykh uchenykh. 174.
 23. 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.
24. Ruban, A.V., Rashkevych, N.V., Otrosh, V.Yu. (2022). Modelyuvannya evakuatsiyi lyudey pry pozhezhi v prohramnomu zabezpechenni PATHFINDER. Modern Technologies for Solving Actual Society's Problems. Edited by Oleksandr Nestorenko and Iryna Ostopolets. Publishing House of University of Technology, Katowice. 412–420.
25. Thompson, J. Wu, E. Marchant. (1997). Simulex 3.0: Modeling evacuation in multi-story buildings. Fire Safety Science. 5. 725–736. DOI: 10.3801/iafss.fss.5-725.
26. Mayboroda, R.I., Otrosh, Yu.A., Rashkevych, N.V., Melezhyk, R.S. (2023). Doslidzhennya evakuatsiyi malomobil'nykh hrup naselennya z zhytlovykh vysotnykh budynkiv pry pozhezhi. Komunal'ne hospodarstvo mist. 4(178). S. 219–231. DOI: <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2023-4-178-219-231>.
27. Shcholokov, E.E., Rashkevych, N.V., Otrosh, Yu. A., Mayboroda, R.I., Tryhub, V.V. (August 29-31, 2024). Evakuatsiya pry pozhezhi z dytyachykh ihrovykh maydanchykiv z povnistyu zakrytyu ustatkovanniam The 12th International scientific and practical conference “Innovative development of science, technology and education” Perfect Publishing, Vancouver, Canada. 117–122.
28. Mayboroda, R., Rashkevych, N., Otrosh, Yu., Sur'yaninov, V. (2024). Zabezpechennya bezpeky evakuatsiyi malomobil'nykh hrup naselennya za dopomohoyu pozhezhnykh liftiv. Materialy KHIV Vseukrayins'koyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi z mizhnarodnoyu uchastyu «Nadzvychayni sytuatsiyi: bezpeka ta zakhyst». Cherkasy: CHIPB im. Heroyiv Chornobylya NUTSZ Ukrainy. 112–113.
29. DSTU 8828:2019 «Pozhezhna bezpeka. Zahal'ni polozhennya». URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=82138.
30. DBN V.2.2-4:2018 «Budynky i sporudy. Zaklady doshkil'noyi osvity. Zi zminoyu № 1». URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=77081.
31. Underwriters Laboratories (2016b) Standards for safety: Visible signaling devices for Fire Alarm and Signaling Systems, Including accessories, UL 1638 (Ed. 5) / CAN/ULC-S526 (Ed. 4).
32. DBN V.2.5-56:2014 «Systemy protypozhezhnoho zakhystu». URL: https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3200383488549193714?doc_type=2.
33. DBN V.2.2-40:2018 «Inklyuzyvnist' budivel' i sporud. Osnovni polozhennya». URL: https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3192362160978134152?doc_type=2.
34. Inventaryzatsiyna sprava №534568 doshkil'noho navchal'noho zakladu № 582 dlya ditey z porushennyam slukhu po vul. Florentsiyi, 3 m. Kyryeva.
35. DBN V.2.2-9:2018 «Budynky i sporudy. Hromads'ki budynky ta sporudy. Osnovni polozhennya». URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=82012

Щолоков Едуард Едуардович

Національний університет цивільного захисту України,
викладач
вул. Онопрієнка, 8, Черкаси, Україна, 18000
shcholokov_eduard@nuczu.edu.ua
ORCID: 0000-0002-9923-1487

Майборода Роман Ігорович

Національний університет цивільного захисту України,
викладач
вул. Онопрієнка, 8, Черкаси, Україна, 18000
maiboroda_roman@nuczu.edu.ua
ORCID: 0000-0002-3461-2959

Рашкевич Ніна Владиславівна

Черкаський державний технологічний університет,
доктор філософії, старший викладач
бульвар Шевченка, 460, Черкаси, 18000
nine291085@gmail.com
ORCID: 0000-0001-5124-6068



Отрош Юрій Анатолійович

Національний університет цивільного захисту України,
д.т.н., професор, т.в.о. начальника кафедри
вул. Онопрієнка, 8, Черкаси, Україна, 18000
otrosh_yurii@nuczu.edu.ua
ORCID: 0000-0003-0698-2888

Балдук Павло Георгійович

Одеська державна академія будівництва та архітектури,
к.т.н., професор
вул. Дідріхсона, 4, Одеса, Україна, 65029
baldook.p@odaba.edu.ua
ORCID: 0000-0002-9055-9005

Для посилань:

Щолоков Е. Е., Майборода Р. І., Рашкевич Н. В., Отрош Ю. А., Балдук П. Г. Дослідження ефективності системи оповіщення та евакуації дітей з порушенням слуху у закладах освіти. Механіка та математичні методи, 2025. Т. 7. № 1. С. 26–47.

For references:

E. Shcholokov, R. Maiboroda, N. Rashkevich, Yu. Otrosh, P. Balduk. (2025). Research effectiveness of the modern system of notification and evacuation of children with hearing impairments in educational institutions. Mechanics and mathematical methods. VII (1). 26–47.