



MODERN TECHNOLOGIES FOR SOLVING ACTUAL SOCIETY'S PROBLEMS

Edited by Oleksandr Nestorenko
and Iryna Ostopolets

Publishing House of University of Technology, Katowice, 2022

3.11. SOFTWARE SIMULATION OF THE EVACUATION OF PEOPLE IN CASE OF FIRE PATHFINDER

3.11. МОДЕЛЮВАННЯ ЕВАКУАЦІЇ ЛЮДЕЙ ПРИ ПОЖЕЖІ В ПРОГРАМНОМУ ЗАБЕЗПЕЧЕННІ PATHFINDER

Постановка проблеми. Щодня в Україні, в середньому, виникало 277 пожеж, матеріальні втрати від яких склали 34 млн 445 тис. гривень. Кожного дня внаслідок пожеж гинуло й отримувало травми по 4 людини, вогнем знищувалось або пошкоджувалось 77 будівель (споруд) і 14 одиниць техніки. Прямі збитки від однієї пожежі становили 26 тис. гривень⁶⁵⁰.

Згідно статистичних даних, найбільша частка смертей на пожежі відбувається через вплив небезпечних чинників пожежі. Важливою складовою збереження життя людей є забезпечення правильної та вчасної евакуації з приміщень, охоплених пожежею.

Проаналізувавши міжнародну електронну базу наукових робіт, у тому числі статі Reseachgate, виявлено, що напрям моделювання евакуації людей при пожежі є недостатньо дослідженим.

Завданнями дослідження є: аналіз нормативних документів щодо розрахунку фактичного часу евакуації; розгляд закордонних праць з розрахунку евакуації при пожежі; узагальнення можливостей роботи комп'ютерної програми Pathfinder в області розрахунку та моделювання евакуації при пожежі у будівлях; обґрунтування необхідності проведення досліджень за цією програмою; використання отриманих даних для порівняння їх з методиками за ДСТУ 8828:2019; обґрунтування можливості впровадження даної програми при введенні будівель в експлуатацію.

Отже, як актуальне науково-технічне завдання розглядається удосконалення методик розрахунків за допомогою програмного забезпечення Pathfinder, дослідження технічних можливостей Pathfinder, моделювання поведінки людей в різних можливих ситуаціях при пожежі та розрахунок часу евакуації.

Виконання вимог нормативних документів щодо забезпечення безпечної евакуації населення з приміщень під час виникнення надзвичайної ситуації допоможе мінімізувати або зовсім уникнути жертв, які можуть бути наслідком пожежі.

Основні наукові результати стали складовою частиною науково-дослідної роботи кафедри пожежної профілактики в населених пунктах факультету пожежної безпеки Національного університету цивільного захисту України (м. Харків) «Прогнозування залишкового ресурсу будівельних конструкцій після силових, деформаційних і високотемпературних впливів».

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Оцінка часу евакуації є нетривіальною проблемою через взаємодію між тисячами окремих агентів, що породжує різні колективні явища, такі як: утворення вузьких місць, переривчастий потік та хвилі зупинки й руху⁶⁵¹. Пропонується підхід для визначення взаємозв'язків між просторовими атрибутами мережі доріг, кількістю евакуйованих та отриманою оцінкою часу евакуації. Середні міста Великобританії ділять на загальну площу місць збору, яка визначається як область, де всі агенти мають один і той же найближчий вузол виходу.

Проведені дослідження щодо моделювання динаміки натовпу з метою евакуації⁶⁵². У статті подано поточні досягнення та дослідницькі проблеми таких систем. Також пропонується архітектура, яка може розв'язувати ці проблеми. Архітектура – це синтез алгоритмів комп'ютерного зору і комплексної науки. Використовуючи такий синтез, можемо

⁶⁵⁰ АНАЛІТИЧНА ДОВІДКА про пожежі та їх наслідки в Україні за 12 місяців 2020 року.

⁶⁵¹ Kunwar, B., Simini, F., & Johansson, A. (2016). Evacuation time estimate for total pedestrian evacuation using a queuing network model and volunteered geographic information. *Physical Review E*, 93 (3), 032311.

⁶⁵² Doulamis, N. (2009, June). Evacuation planning through cognitive crowd tracking. In *2009 16th International Conference on Systems, Signals and Image Processing* (p. 1-4). IEEE.

не лише спостерігати за поточними розрахунками, а й передбачати результат процесу, що призводить до створення схем високої адаптації.

Розпізнавання поведінки людини й моніторинг реального середовища є складними дослідницькими завданнями, що швидко набирають обертів в останні роки⁶⁵³. Методи аналізу часових рядів, такі як приховані моделі Маркова, використовувалися у минулому для вирішення подібних завдань, проте в багатьох складних випадках вони не спрацьовують, оскільки деякі види поведінки набагато складніше моделювати, ніж інші. Це відбувається, зокрема, у разі нестачі вихідних даних.

Деякі експерти й учені запропонували об'єднати технологію інформаційного моделювання будівель з технологією географічної інформаційної системи для побудови тривимірної просторової сцени евакуації при пожежі у будівлі⁶⁵⁴.

Розглянуті дві різні області моделювання пожежного ризику у будинках: моделювання розвитку пожежі та динаміка руху людей під час екстреної евакуації⁶⁵⁵. Щодо моделювання розвитку пожежі, існує три різні підходи: двозональні моделі пожежі; комп'ютерна динаміка потоків (CFD) та стохастичні моделі.

Проведено аналіз поведінки людини при пожежі в будівлях з використанням комп'ютерного моделювання евакуації⁶⁵⁶. Поведінка людини в критичних ситуаціях лежить в основі всіх побоювань щодо пожежної безпеки будівель, незалежно від їх призначення.

Моделювання пожежної евакуації виграє від застосування соціальних наук як у плані точності, так і щодо зовнішнього підтвердження⁶⁵⁷.

Досліджується підхід CPSS до аварійної евакуації при пожежах у будівлях⁶⁵⁸.

Таким чином, виконання вимог нормативних документів щодо забезпечення безпечної евакуації населення з приміщень під час виникнення надзвичайної ситуації допоможе мінімізувати або зовсім уникнути жертв, які можуть бути наслідком пожежі.

Одним з основних факторів забезпечення збереження життя людей є правильно виконаний розрахунок евакуації людей з приміщень. Оскільки, згідно з аналізом статистичних даних про пожежі, основну частину загиблих під час пожежі становлять люди, котрі отруїлися токсичними продуктами горіння. Тому важливо провести евакуацію до настання граничних станів пожежі.

Провівши роботу з інтернет-ресурсами, були опрацьовані наукові статті, котрі висвітлюють проблеми евакуації під час різних надзвичайних ситуацій та новітні методи, способи й стратегії.

Метою даної роботи є моделювання евакуації людей при пожежі в програмному забезпеченні Pathfinder.

Основна частина. Pathfinder – програма, яка реалізує індивідуальну модель руху людей при евакуації. Програма має графічний інтерфейс для завдання вихідних даних, а також інструменти для 2D і 3D-візуалізації результатів.

Pathfinder має два режими моделювання руху. У режимі «керованого руху» агенти використовують систему управління рухом для руху і взаємодії між собою. Цей режим намагається імітувати поведінку людей як можна точніше.

⁶⁵³ Doulamis, N. D., Voulodimos, A. S., Kosmopoulos, D. I., & Varvarigou, T. A. (2010, October). Enhanced human behavior recognition using hmm and evaluative rectification. In *Proceedings of the first ACM international workshop on Analysis and retrieval of tracked events and motion in imagery streams* (p. 39-44).

⁶⁵⁴ Liu, J., Zhang, R., Yan, W., & Sun, L. (2021, June). Evacuation of building fire personnel based on BIM+ GIS: A review. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 787, No. 1, p. 012173). IOP Publishing.

⁶⁵⁵ Coelho, A. L., & Almeida, J. E. Buildings' Fire Development and Evacuation Modelling.

⁶⁵⁶ Şuvar, M. C., Kovacs, I., Păsculescu, V. M., Vlasin, N. I., & Florea, G. D. (2019). Analysis of human behavior and evacuation in building fires using computer evacuation models. *Environmental Engineering & Management Journal (EEMJ)*, 18 (4).

⁶⁵⁷ Young, E., & Aguirre, B. (2020). PrioritEvac: an Agent-Based Model (ABM) for Examining Social Factors of Building Fire Evacuation. *Information Systems Frontiers*, 1-14.

⁶⁵⁸ Hu, Y., Wang, F. Y., & Liu, X. (2014). A CPSS approach for emergency evacuation in building fires. *IEEE intelligent systems*, 29 (3), 48-52.

Агенти можуть зображатися по-різному. Їх можна подавати простими формами, в тому числі дисками або циліндрами. Також їх можна показувати у вигляді фігур-манекенів або у вигляді людських аватарів, зазначених в профілях. Налаштування доступні в меню «Вид», підменю «Агенти».

Крім того, агенти можуть бути розфарбовані в різні кольори через меню «Вид» – «Колір агента»:

- За замовчуванням. Якщо для агента заданий індивідуальний колір, використовується він; в іншому випадку, використовується колір з профілю агента.

- По групі руху. Для всіх агентів групи руху буде використаний один і той же колір. Колір групи задається в панелі властивостей групи руху. Якщо агент не є частиною групи, для нього використовується колір за замовчуванням.

- За шаблоном груп руху. Якщо агент є частиною групи руху, що створюється за шаблоном груп, то агент буде розфарбований відповідно до кольору шаблону для його групи руху. В іншому випадку, буде використаний колір за замовчуванням.

- По поведінці. Агенти розфарбовуються у відповідність з кольором, заданому для їхньої поведінки.

- За профілем. Агенти розфарбовуються у відповідність з кольором, заданому для їх профілю.

Основними компонентами евакуації є приміщення, обмежені стінами; двері, які з'єднують приміщення на одному рівні; сходи / пандуси, які з'єднують приміщення на різних рівнях; ліфти, які з'єднують кілька рівнів. Приміщення можуть мати будь-яку багатокутну форму, і не можуть перекриватися на одному рівні.

Pathfinder має два інструменти для створення нових приміщень. Інструмент «Багатокутні приміщення» дозволяє створювати приміщення складної форми з будь-якою кількістю вершин, як показано на Рисунку 1, 2.

Інструмент «Прямокутне приміщення» створює просте прямокутне приміщення, якщо вказати на сцені лівою кнопкою миші два протилежних кути.

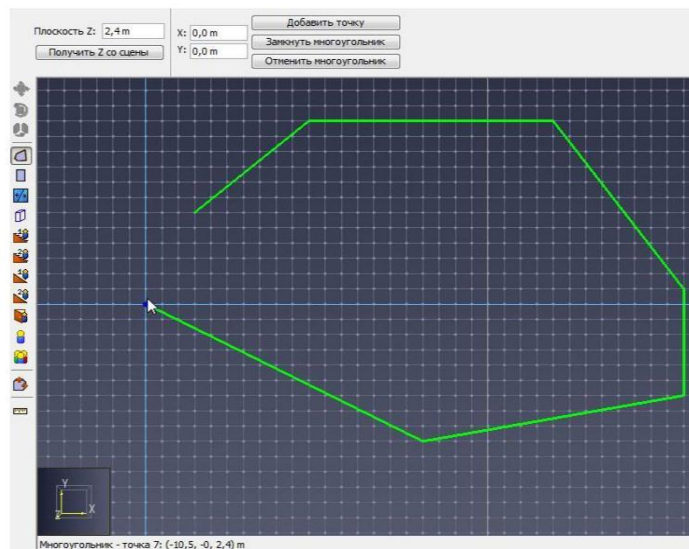


Рис. 1. Створення приміщення за допомогою інструменту-багатокутника

Щоб змоделювати перешкоди в приміщенні (наприклад, офісний стіл або інші перешкоди для евакуації), можна використовувати віднімання приміщення. Цей процес показаний на Рисунку 3.

Сходи в Pathfinder моделюються одним прямим маршем (Рис. 4, 5). Їх можна створити двома інструментами. Один інструмент створює сходи між двома паралельними межами приміщень; другий дозволяє створити на кожному з кордонів приміщення сходи із заданими параметрами, наприклад, певною кількістю ступенів, перепадом висот тощо.

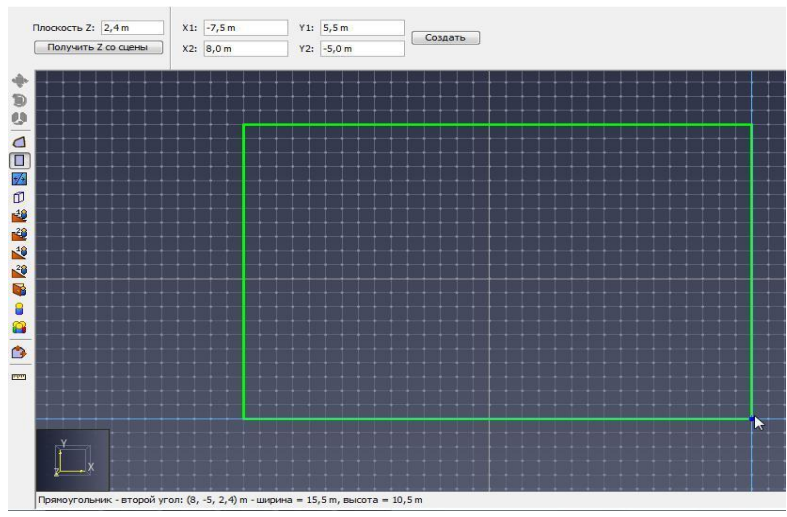


Рис. 2. Створення приміщення за допомогою інструменту-прямокутника

У Pathfinder агенти задаються двома групами параметрів – профілями і поведінками.

Профілі визначають фіксовані характеристики агентів, такі як максимальна швидкість, радіус, аватар і колір. Поведінка задає список дій, які агент виконує під час моделювання, такі як рух в безпечну зону, очікування, рух до виходу (Рис. 6).

Рівень пріоритету агента. Чим вище значення, тим вище пріоритет. При русі агенти з низьким пріоритетом будуть йти зі шляху агентів з вищим пріоритетом.

Форма агента, може бути задана циліндром або багатокутником. Для циліндра необхідно задати діаметр, висоту, коефіцієнт стиснення і мінімальний діаметр.

Діаметр циліндра, який описує агента, «ширина плечей». Використовується при розрахунку шляху під час моделювання та обробці зіткнень. Також це значення визначає, скільки агентів може бути додано в приміщення без перекривання.

Коефіцієнт стиснення. Параметр керованого режиму показує наскільки агенти можуть стиснутися, проходячи повз один одного у вузьких коридорах. Цей коефіцієнт повинен бути більше 0 та менше або дорівнює 1. Коефіцієнт дає можливість використовувати перевагу еліптичної форми агентів (тобто можливість повертатися боком), всупереч використанню виключно круглих агентів в розрахунку.

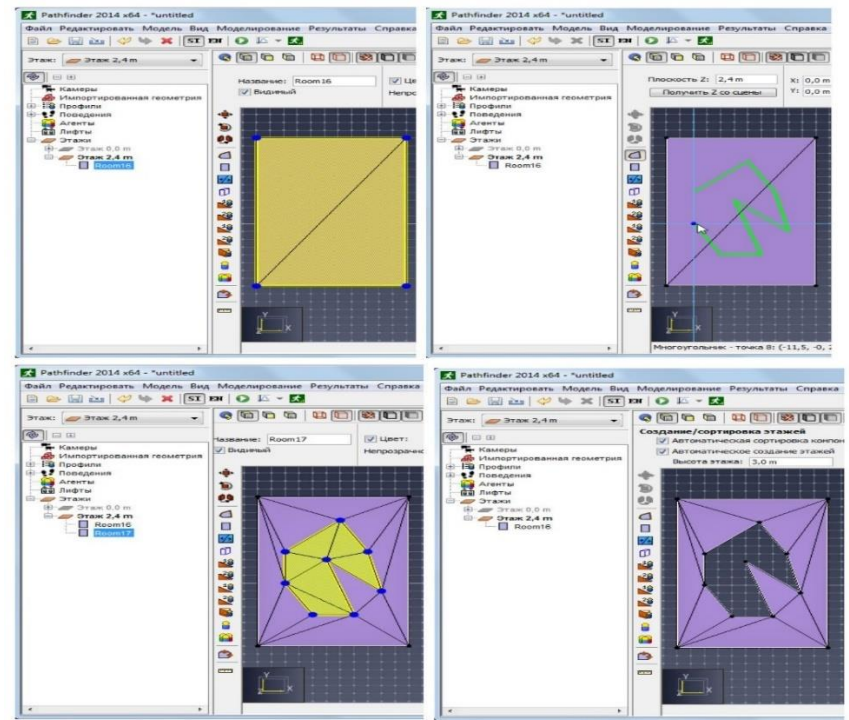


Рис. 3. Створення перешкоди

Мінімальний діаметр. Призначений для моделей з вузькими областями для сидіння і проходами. У випадках, де є деталі геометрії через які важко пройти агентам повної ширини, ця можливість дає агентам пристосуватися до вузької геометрії.

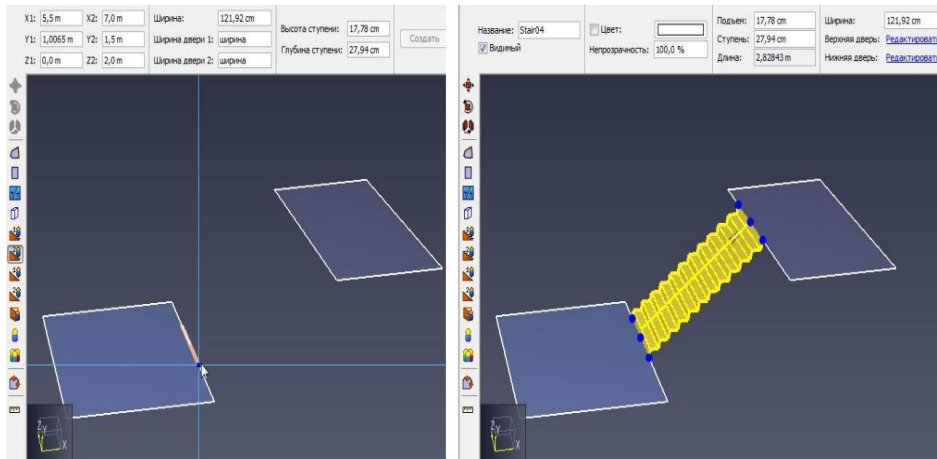


Рис. 4. Побудова сходів по двох точках

Форми засобів пересування. Агентам можна задати засоби пересування, які вони будуть використовувати при моделюванні.

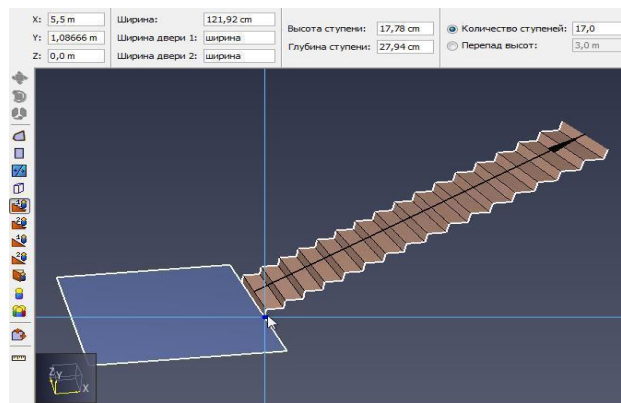


Рис. 5. Побудова сходів по одній точці

Поведінки в Pathfinder є набором дій, які виконують агенти в процесі моделювання. Після того як агент завершив всі свої дії, він видаляється з моделі. Додаткові дії можуть змусити агента чекати, або йти до місця призначення, наприклад, в приміщення, точку до виходу.



Рис. 6. Приклад вікна 3D-моделей

Отже, для користування програмою Pathfinder необхідно мати досвід роботи з програмним забезпеченням, котре пов'язане з моделюванням об'єктів.

Аби провести розрахунок фактичного часу евакуації, необхідно створити модель будівлі, з якої буде проводитись евакуація, в програмі Pathfinder. Для побудови були використані підкладки з файлів DWG (Рисунок 7).

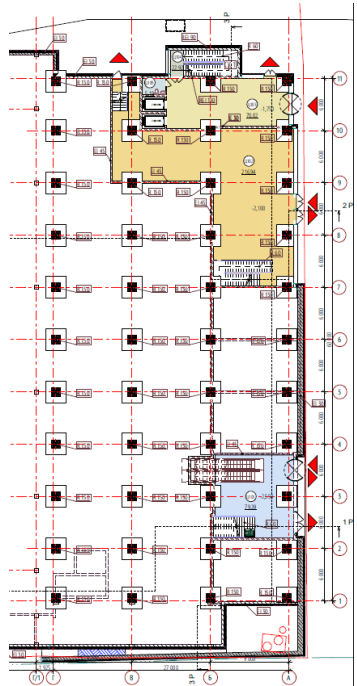


Рис. 7. План цокольного поверху на відмітці 2,550

При моделюванні в програмі Pathfinder достатньо використати підкладки з DWG файлів та розташувати їх на потрібній висоті, щоб імітувати висоту поверху, так як розрахунки будуть проводитися через зчитування даних з підлоги, на якій будуть знаходитися агенти (Рис. 8, 9). Іншу наявну геометрію було взято з готового файлу PSM, котрий був створений в програмі Pygosim, тому що побудова стін, вікон та інших конструктивних елементів не передбачено програмою Pathfinder.

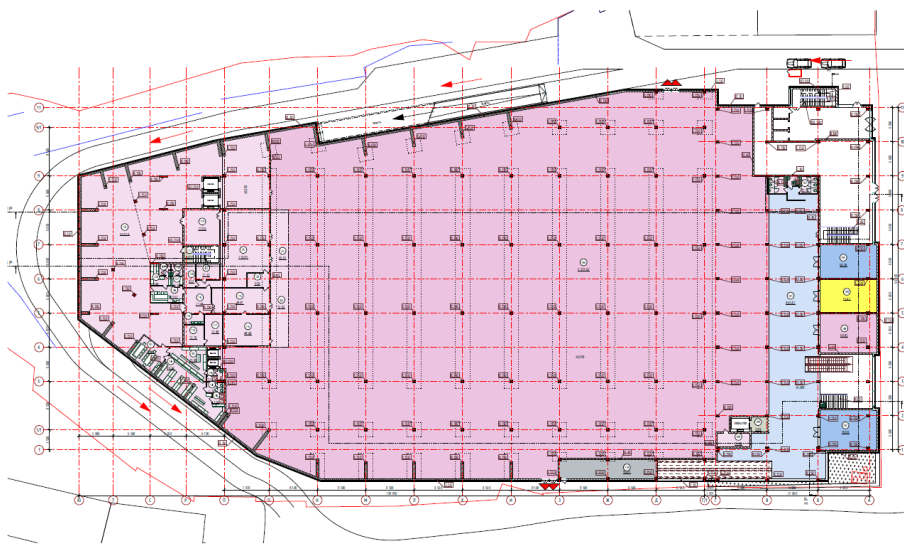


Рис. 8. План першого поверху на відмітці 0,000

Після завантаження підкладок були змодельовані шляхи евакуації, які складаються з підлоги, дверей, сходів (Рис. 10, 11).

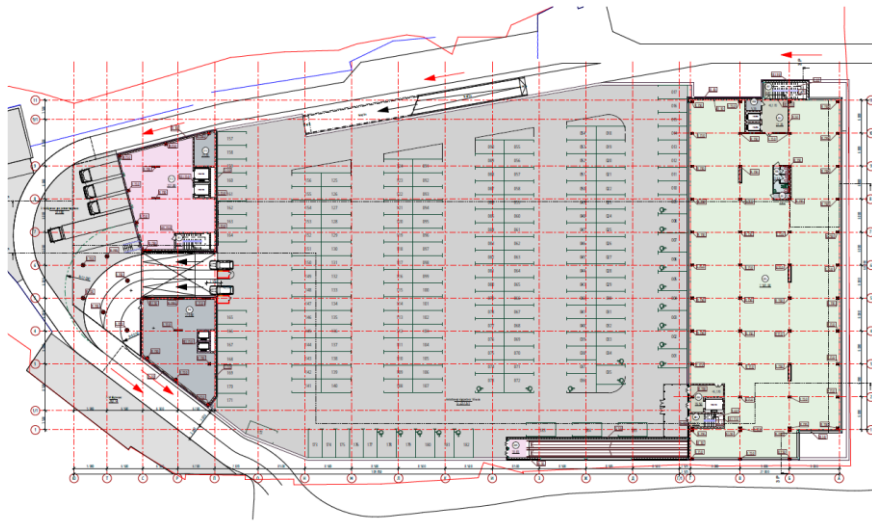


Рис. 9. План другого поверху на відмітці +6,170

Була задана максимальна швидкість руху – 100 м/хв (1.67 м/с), котра автоматично коригується, враховуючи всі можливі перепони. При русі у потоці швидкість сягала 1,5 м/с, а при подоланні сходів вона сягала 1 м/с (Рис. 12).

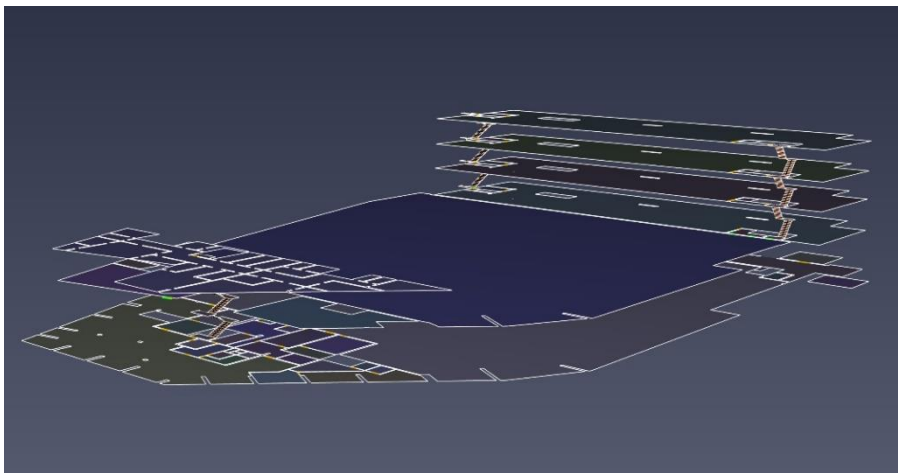


Рис. 10. Моделювання шляхів евакуації

Під час евакуації найбільшу щільність людський потік має біля дверних прорізів. В результаті програмного розрахунку максимальне значення швидкості агентів становило 3 люд/м².

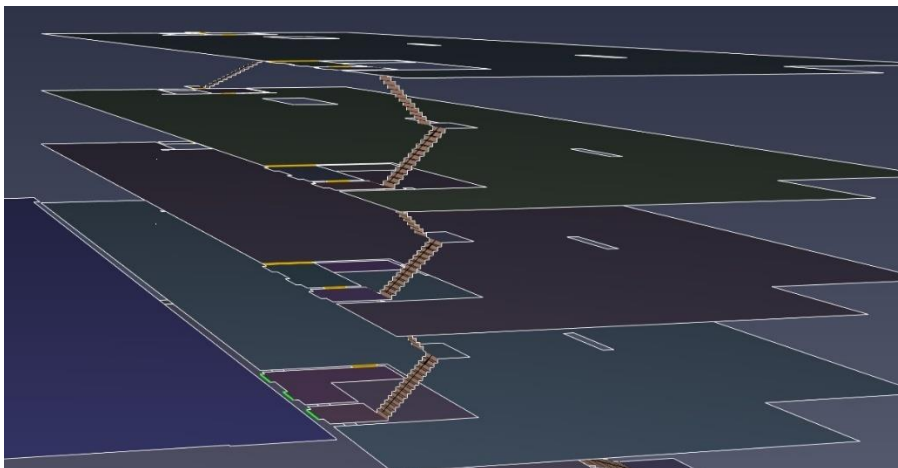


Рис. 11. Моделювання сходів та дверей

Задана поведінка, котра регулює рух агентів до двох наявних шляхів евакуації. Евакуаційні виходи конструктивно виконані сходовими клітками типу СК1. Дана поведінка поділяє агентів на дві групи у процентному співвідношенні 35% і 65%, що є більш ефективною, ніж рівномірний поділ, через те що евакуаційні виходи знаходяться на різних рівнях. Вихід 1 на висоті -2.55 м, а вихід 2 на висоті 6.17 м, поверх з якого проводиться евакуація на рівні 10.90 м. Евакуація починається через 10 секунд після початку розрахунку.

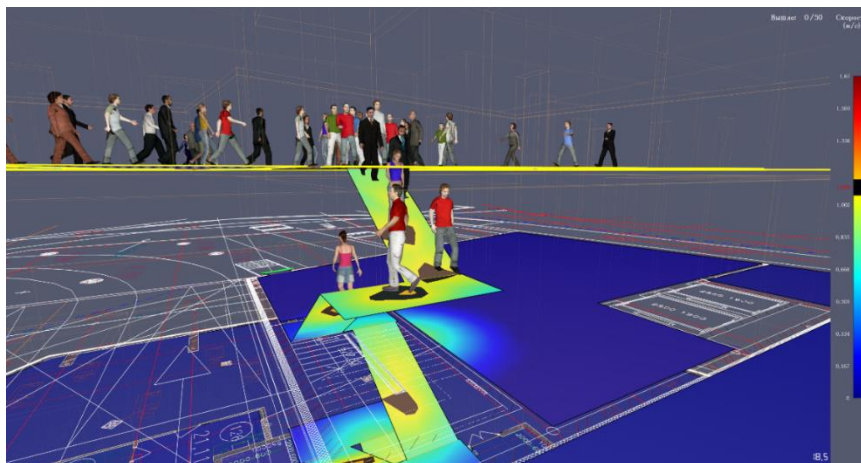


Рис. 12. Рух агентів на сходах

Проведено комп'ютерне моделювання щодо фактичного часу евакуації. Ці розрахунки проведені відповідно рекомендацій та інструкцій з використання програмного комплексу Pathfinder.

Розрахунок був проведений за двома найбільш ймовірними варіантами виникнення пожежі. Сценарії:

- сценарій 1 – пожежа виникає в гарячому цеху,
- сценарій 2 – пожежа виникає в адміністративному приміщенні.

Фактичний час евакуації для першого сценарію склав 73 с, а для другого сценарію – 120 с.

Висновки. Виконання вимог нормативних документів щодо забезпечення безпечної евакуації населення з приміщень під час виникнення надзвичайної ситуації допоможе мінімізувати або зовсім уникнути жертв, які можуть бути наслідком пожежі⁶⁵⁹.

Одним з основних факторів забезпечення збереження життя людей є правильно виконаний розрахунок евакуації людей з приміщень. Оскільки, згідно з аналізом статистичних даних про пожежі, основну частину загиблих під час пожежі становлять люди, котрі отруїлися токсичними продуктами горіння. Тому важливо провести евакуацію до настання граничних станів пожежі⁶⁶⁰.

Проведено комп'ютерне моделювання щодо фактичного часу евакуації цілісного майнового комплексу об'єктів виробничого та побутового призначення з адміністративними приміщеннями. Ці розрахунки проведені відповідно рекомендацій та інструкцій з використання програмного комплексу Pathfinder.

Розрахунок був проведений за двома найбільш ймовірними варіантами виникнення пожежі. Сценарії:

- сценарій 1 – пожежа виникає в гарячому цеху,
- сценарій 2 – пожежа виникає в адміністративному приміщенні.

⁶⁵⁹ Майборода Р. І., Отрош Ю. А., Ромін А. В. Проблемні питання захисту цивільного населення від небезпечних чинників артилерійського та ракетного вогню під час воєнних (бойових) дій: матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Problems of Emergency Situations». Харків: НУЦЗ України, 19 травня 2022.

⁶⁶⁰ Морозова Д. М., Отрош Ю. А., Рибка Є. О., Тригуб В. В. Розбір функціональних характеристик програми Pathfinder: матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Problems of Emergency Situations». Харків: НУЦЗ України, 19 травня 2022.

Фактичний час евакуації для першого сценарію склав 73 с, а для другого сценарію – 120 с.

Виконаний практичний розрахунок щодо розрахункового часу евакуації цілісного майнового комплексу. Ці розрахунки проведені згідно ДСТУ 8828:2019 «Пожежна безпека. Загальні положення»⁶⁶¹.

Було прораховано два найбільш вірогідні сценарії пожежі. Під час вибору сценарію виникнення пожежі виходили з наступного: пожежа виникає в приміщенні із найбільш пожежонебезпечним навантаженням або в приміщенні найменшим за об'ємом:

- сценарій 1 – пожежа виникає в гарячому цеху,
- сценарій 2 – пожежа виникає в адміністративному приміщенні.

Отримані наступні результати. Для Сценарію 1 розрахунковий час евакуації – 54 с. Для Сценарію 2 розрахунковий час евакуації – 75 с.

Використання програмного комплексу Pathfinder дозволяє моделювати евакуацію у різних будівлях та приміщеннях, є можливість налаштовувати конкретний розрахунок з усіма можливими факторами: моделювання евакуації людей з обмеженими можливостями; здатність задання та коригування швидкості агентів на різних ділянках шляху евакуації; наявність функції, котра регулює початок руху агентів в заданій поведінці тощо.

Література

1. АНАЛІТИЧНА ДОВІДКА про пожежі та їх наслідки в Україні за 12 місяців 2020 року https://idundcz.dsns.gov.ua/files/2020/Nauka/STATYSTYKA/Analitichna%20dovidka%20pro%20pojeji_12.2020.pdf.
2. ДСТУ 8828:2019 Пожежна безпека. Загальні положення.
3. Майборода Р. І., Отрош Ю. А., Ромін А. В. Проблемні питання захисту цивільного населення від небезпечних чинників артилерійського та ракетного вогню під час воєнних (бойових) дій: матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Problems of Emergency Situations». Харків: НУЦЗ України, 19 травня 2022: URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/15422> (дата звернення: 12. 07. 2022).
4. Морозова Д. М., Отрош Ю. А., Рибка Є. О., Тригуб В. В. Розбір функціональних характеристик програми Pathfinder: матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Problems of Emergency Situations». Харків: НУЦЗ України, 19 травня 2022: URL: <https://nuczu.edu.ua/images/topmenu/science/konferentsii/2022/2.pdf> (дата звернення: 12. 07. 2022).
5. Coelho, A. L., & Almeida, J. E. Buildings' Fire Development and Evacuation Modelling.
6. Doulamis, N. (2009, June). Evacuation planning through cognitive crowd tracking. In *2009 16th International Conference on Systems, Signals and Image Processing* (p. 1-4). IEEE.
7. Doulamis, N. D., Voulodimos, A. S., Kosmopoulos, D. I., & Varvarigou, T. A. (2010, October). Enhanced human behavior recognition using hmm and evaluative rectification. In *Proceedings of the first ACM international workshop on Analysis and retrieval of tracked events and motion in imagery streams* (p. 39-44).
8. Hu, Y., Wang, F. Y., & Liu, X. (2014). A CPSS approach for emergency evacuation in building fires. *IEEE intelligent systems*, 29 (3), 48-52.
9. Kunwar, B., Simini, F., & Johansson, A. (2016). Evacuation time estimate for total pedestrian evacuation using a queuing network model and volunteered geographic information. *Physical Review E*, 93 (3), 032311.
10. Liu, J., Zhang, R., Yan, W., & Sun, L. (2021, June). Evacuation of building fire personnel based on BIM+ GIS: A review. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 787, No. 1, p. 012173). IOP Publishing.
11. Şuvar, M. C., Kovacs, I., Păsculescu, V. M., Vlasin, N. I., & Florea, G. D. (2019). Analysis of human behavior and evacuation in building fires using computer evacuation models. *Environmental Engineering & Management Journal (EEMJ)*, 18 (4).
12. Young, E., & Aguirre, B. (2020). PrioritEvac: an Agent-Based Model (ABM) for Examining Social Factors of Building Fire Evacuation. *Information Systems Frontiers*, 1-14.

⁶⁶¹ ДСТУ 8828:2019 Пожежна безпека. Загальні положення.

3.11. Artem Ruban, Nina Rashkevich, Victoria Otrosh. SOFTWARE SIMULATION OF THE EVACUATION OF PEOPLE IN CASE OF FIRE PATHFINDER

One of the main factors in ensuring the safety of people's lives is the correctly executed calculation of the evacuation of people from premises. Because, according to the analysis of statistical data on fires, the main part of those who died during a fire are people who were poisoned by toxic substances. combustion products. Scientific articles have been developed, which highlight the problems of evacuation during various emergency situations and the latest methods, methods and strategies. Computer modelling was carried out regarding the actual time of evacuation of a complete property complex of industrial and domestic objects with administrative premises. These calculations were carried out in accordance with the recommendations and instructions for using the Pathfinder software complex. The two most likely fire scenarios were calculated. The use of the Pathfinder software complex allows you to simulate evacuation in various buildings and premises, it is possible to set up a specific calculation with all possible factors: simulation of the evacuation of people with disabilities; the ability to set and adjust the speed of agents on different sections of the evacuation route; the presence of a function that regulates the beginning of the movement of agents in a given behaviour, etc.

3.12. Oleksandr Khoroshev. SOME PROBLEMS OF CHARITY IN THE CITY OF KHARKIV IN THE LATE 19TH AND EARLY 20TH CENTURY

The article analyzes and attempts to generalize the historical experience of the charity formation and development in Kharkiv in the late 19th and early 20th century. It also scrutinizes the basic forms and methods of some charitable societies in the city. The author introduces into scientific circulation new, still unexplored historical sources, namely the Charters of several Kharkiv charitable societies and recalls the names of some local philanthropists who have fallen into unmerited oblivion yet deserve the memory of their posterity. When writing the article, the author used comparative and descriptive methods as well as systemic analysis and synthesis of historical material.