

О.С. Олейник<sup>1,2</sup>, Ю.А. Отрош<sup>2</sup>, Н.В. Рашкевич<sup>2</sup>, С.В. Шаповал<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Головне управління ДСНС України у Харківській області, Україна

<sup>2</sup>Національний університет цивільного захисту України, Україна

<sup>3</sup>Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Україна

## МОДЕЛЮВАННЯ МОЖЛИВОЇ ЗОНИ ЗАДИМЛЮВАНOSTI В ЗРУЙНОВАНОМУ УКРИТТІ

В роботі висвітлені дослідження пожежної безпеки споруд цивільного захисту (укриттів, сховищ), а саме питання поширення небезпечних факторів пожежі, евакуації людей за допомогою програмного забезпечення PyroSim. Розглянуто нормативно-правові акти і стандарти з цих питань. Проведено моделювання поширення небезпечних чинників пожежі у підвальному приміщенні невеликої офісної будівлі розрахованої на укриття 60 осіб без врахування вентиляції та з врахуванням роботи вентиляції. Візуалізовано ймовірне руйнування будівлі і блокування шляхів евакуації.

**Ключові слова:** укриття, небезпечні чинники пожежі, вентиляція, евакуація, PyroSim.

### Постановка проблеми

Ведення бойових дій і, як наслідок цього, постійне хаотичне бомбардування, яке є прямою причиною виникнення пожеж, загострює проблему незахищеності цивільного населення від чинників, які спричинені ракетними обстрілами, обстрілами з артилерії [1, 2]. Тому майбутні будівлі слід проектувати з обов'язковою наявністю бомбосховищ, укриттів або підземних паркінгів [3]. Зведення таких будівель змушує уряд країни переглядати вимоги до конструктивних особливостей та оснащення споруд цивільного захисту.

З досвіду реагування оперативно-рятувальної служби цивільного захисту в умовах сьогодення під час обстрілів підрозділи Державної служби України з надзвичайних ситуацій прибувають на місце НС зі значним відтермінуванням через загрозу нових обстрілів. Саме тому люди, що перебувають в укритті, повинні бути впевнені, що вони можуть розраховувати не тільки на себе, але й на інженерно-технічні й організаційні заходи безпеки, що були проведені відповідними органами виконавчої влади в даних приміщеннях. Тобто розуміти, що знаходяться в безпечному місці.

Яскравим прикладом небезпеки бойових дій у житлових будівлях є випадок прямого влучання ракети у місті Дніпро. Майже три доби не зупиняючи ні на мить рятувальної операції, сили та засоби гарнізону ДСНС України у Дніпропетровській області здійснювали аварійно-рятувальні та пошукові роботи на місці трагедії. Результатом зусиль рятувальників стало 39 врятованих життів. На жаль, 44 особи загинуло, 79 – отримали травми різного

ступеню тяжкості [4]. Внаслідок ракетного удару по житловому будинку в місті Запоріжжі загинуло 10 осіб [5]. Небезпека для населення була пов'язана як з впливом зруйнованих конструкцій так й чинниками пожежі.

В майбутньому, відбудову міст планують здійснювати за принципом рішень житлових будівель, які широко використовуються в республіці Ізраїль. Усі новобудови в Ізраїлі мають бомбосховища, роль яких виконує підземний паркінг чи приміщення поруч, у більшості квартир є, так звані, «кімнати безпеки», які можуть захистити від уламків снарядів [6], в тому числі від високих температур, токсичних продуктів горіння.

Таким чином, актуальною задачею у сфері забезпечення як цивільної, так й пожежної безпеки є врахування потреб облаштування наявних та влаштування в новобудовах споруд цивільного захисту з надійними системами життєзабезпечення.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

В ході роботи проведений аналіз наукових досліджень за напрямками, такими як «Моделювання пожежі та аналіз поширення диму на станціях метро в різних місцях пожежі» та «Моделювання поширення полум'я та диму в підземному гаражі з різних умов вентиляції».

В [7] описано моделювання пожежі та аналіз поширення диму станцій метро в різних місцях пожежі. Для того, щоб дослідити закон розповсюдження диму у вогневому середовищі станції метро з острівними платформами, в якості об'єкта дослідження обрано метро в острівному стилі. За допомогою програмного забезпечення

PyroSim змодельована ситуація ймовірної пожежі в метро. Дана модель описує концентрацію диму та зміни температури в різних місцях небезпеки: якщо джерело вогню знаходиться в кінці платформи, то критична концентрація димових газів досягне найвіддаленішого евакуаційного каналу та безпечного виходу на 85 та 130 секунді відповідно, а критична температура димових газів на найближчому виході та безпечному найвіддаленіший вихід досягне за 28 і 32 секунди відповідно. Коли джерело вогню знаходиться в середині платформи, критична концентрація диму досягне евакуаційного каналу та безпечного виходу на 70 і 105 секунді відповідно.

В [8] в якості об'єкту дослідження вибраний підземний паркінг, що знаходяться під значною загрозою утворення та поширення вогню. Будівельне обладнання або установки, які розташовані у підземних паркінгах, такі як вентиляційні отвори з вентиляційної установки, можуть значно погіршити пожежну ситуацію за рахунок швидкого розповсюдження димових газів. Моделювання ймовірної пожежі проводилось за допомогою

комплексу FDS (Fire Dynamic Simulator) у програмному забезпеченні PyroSim за двома сценаріями: 1) нормальний стан (агрегат обробки повітря вимкнено); 2) потік повітря з вихідного отвору агрегату обробки повітря (5200 м<sup>3</sup>/год). Температура і концентрація диму при пожежі в 2–3 рази вище, ніж при роботі агрегату. В обох сценаріях пожежі безпечна температура для людини, тобто 60 °С на висоті 2 м над рівнем підлоги, була перевищена менш ніж за 4 хвилини.

Програмне забезпечення розглядається в якості ефективного інструменту моделювання поширення небезпечних факторів пожежі [9].

Основними нормативно-правовими документами у цій сфері є: Кодекс цивільного захисту України [10], ДСТУ 8828:2019 Пожежна безпека. Загальні положення [11], Наказ Міністерства внутрішніх справ України від 09.07.2018 № 579 Про затвердження вимог з питань використання та обліку фонду захисних споруд цивільного захисту [12] та ДБН-В.2.2-5-97 Захисні споруди цивільної оборони [13]. Узагальнена таблиця класифікації укриттів представлена на рис. 1.

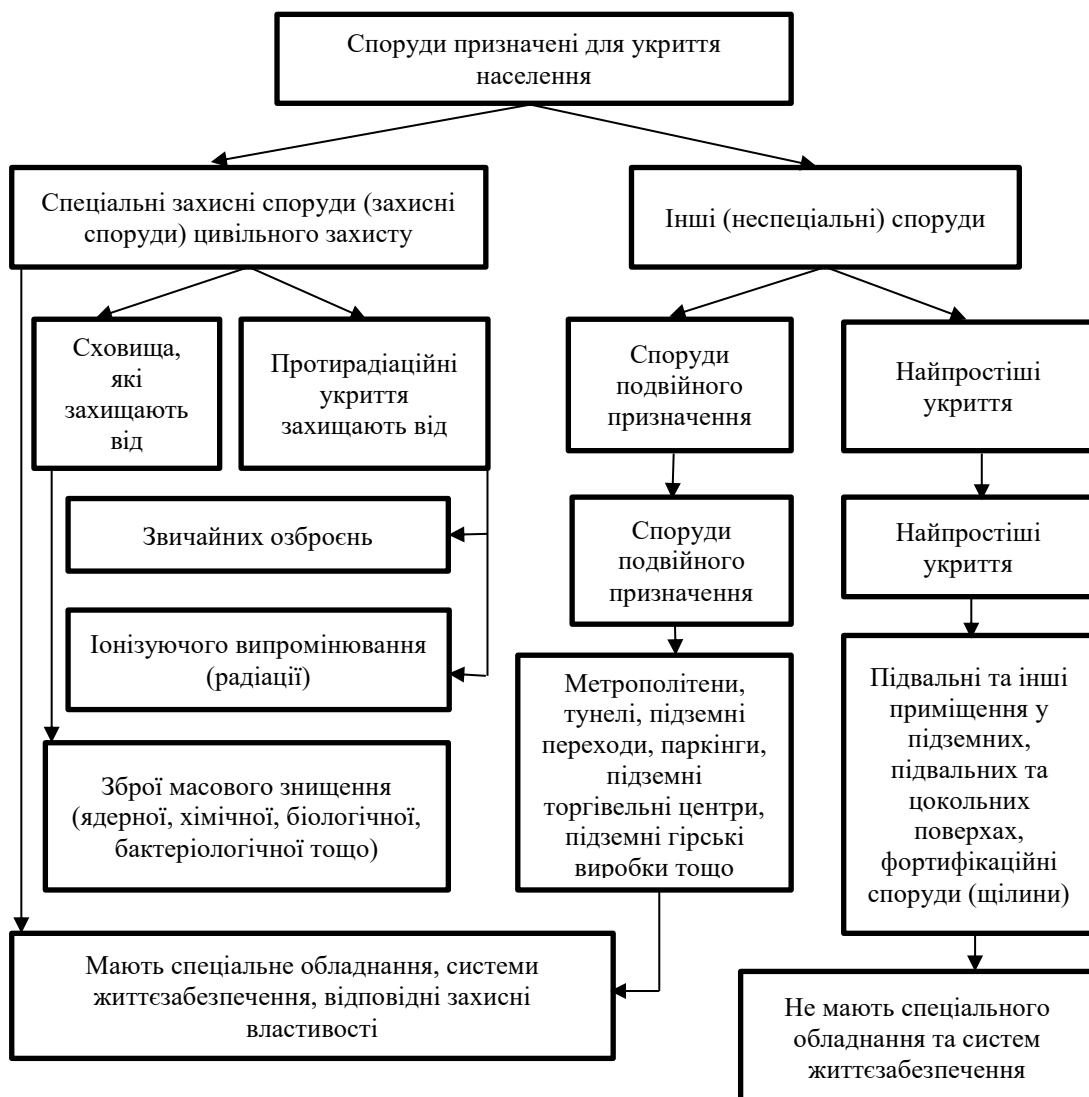


Рис. 1. Споруди призначені для укриття населення

Розрізняють два види укриттів: відкриті та закриті. До відкритих відносять різноманітні підземні споруди, які можуть бути використаними для короткочасного захисту населення. Закриті укриття розраховані на перебування в них людей щонайменше протягом 2 діб, тому вентиляція в укриттях є обов'язковою. Це герметичні інженерні споруди, які захищають не тільки від уламків та артилерійських снарядів, а й від хімічного та біологічного ураження. Вони обов'язково облаштовуються системою фільтрації повітря, щоб уникнути потрапляння ззовні шкідливих та небезпечних речовин.

Для бомбосховищ, які розраховані на використання в умовах повної ізоляції протягом 6 годин, обов'язковим є встановлення обладнання для регенерації внутрішнього повітря. Такі системи очищують повітря від монооксиду вуглецю (CO) і діоксид вуглецю (CO<sub>2</sub>) та підтримують оптимальний склад повітря: концентрація CO<sub>2</sub> до 3 %, кисню (O<sub>2</sub>) – до 17 %, CO – до 30 мг/м<sup>3</sup>.

У наукових роботах, що були розглянуті на науковому порталі ResearchGate, не в повній мірі відображенні питання щодо значного перевищення чисельності людей в порівнянні з розрахунковим значенням на об'єкті, категорії людей, часткового або повного руйнування одного з виходів об'єкту, значного захарашення проходів, повної або часткової відсутності постачання електроенергії, неможливості або значної затримки реагування аварійно-рятувальних підрозділів.

### Формулювання мети статті

Метою представленої роботи є створення моделі розрахунку процесу поширення небезпечних чинників пожежі та визначення ефективності різних інженерно-технічних, організаційних заходів та засобів, що спрямовані на збільшення довготривалості перебування людей у споруді цивільного захисту в умовах ведення бойових дій. Визначення ефективності роботи вентиляції в програмному забезпеченні PugoSim на час блокування шляхів евакуації в укритті.

### Виклад основного матеріалу

Найбільш поширеними спорудами призначеними для укриття населення є підвали адміністративних установ та звичайних підвалів багатоквартирних житлових будинків. Невеликий бюджет таких об'єктів не дає змоги повноцінно переобладнати таку будівлю в бомбосховище. Проте невеликі витрати на розрахунок і переобладнання вентиляції допоможуть врятувати життя людей від поширення небезпечних чинників пожежі. Такий

розрахунок проводиться за ДСТУ:8828:2019 або моделюється за допомогою програмного забезпечення PugoSim. За отриманими результатами можна проводити переобладнання системи вентиляції (переважно – природної).

Об'єктом дослідження обрано найпростіше укриття, що знаходиться у підвалі адміністративної будівлі.

Використавши як графічну підкладку для початку моделювання креслення підвального поверху, було створено модель будівлі з відповідними розмірами. Передбачено два шляхи евакуації у протилежних частинах будівлі. Місцем виникнення пожежі обрано в центральному приміщенні. Горять меблі і верхній одяг з відповідними показниками виділення токсичних і небезпечних речовин зі швидкістю поширення полум'я. Це відповідає дійсному пожежному навантаженню для укриттів. Двері вважаємо відкритими через швидку евакуацію людей.

**Перший сценарій.** Спочатку опрацьований сценарій поширення небезпечних чинників пожежі без врахування вентиляції окрім відкритих дверних отворів.

Визначено час блокування шляхів евакуації за різними параметрами відповідно до ДСТУ 8828:2019, а саме видимість, температура, концентрація O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> та CO на висоті 1,7 м від рівня підлоги. Результати зображені на рис. 2, 3 та в таблиці 1.

Таблиця 1  
Результати розрахунку за першим сценарієм

Чинники пожежі	Вихід 1 (с)	Вихід 2 (с)
Температура (60 °C)	40,7	≥600
Видимість (20 м)	20	108
CO (0,00116 кг/м <sup>3</sup> )	≥600	≥600
CO <sub>2</sub> (0,11 кг/м <sup>3</sup> )	≥600	≥600
O <sub>2</sub> (0,226 кг/м <sup>3</sup> )	40	≥600

**Другий сценарій.** Було опрацьовано сценарій поширення небезпечних чинників пожежі з врахування припливної вентиляції через три вентиляційні канали, кожний діаметром 0,3048 м з величиною об'ємного потоку 0,5 м<sup>3</sup>/с. Додано 9 отворів (6 на зовнішніх стінах) з розміром 0,15 м для видалення диму.

Також, визначено час блокування шляхів евакуації за різними параметрам відповідно до ДСТУ 8828:2019. Результати зображені на рис. 4, 5 та в таблиці 2. Найшвидше настає критичний стан за видимістю. Далі за концентрацією O<sub>2</sub> і температурою.

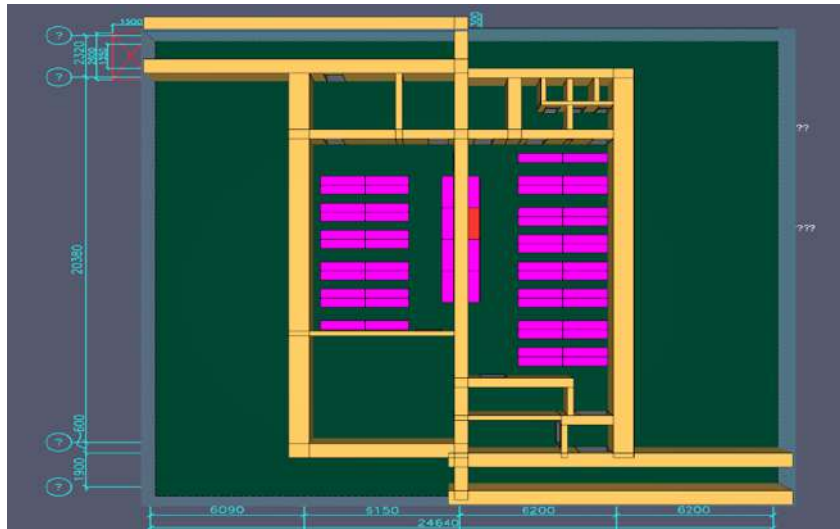


Рис. 2. Сценарій поширення небезпечних чинників пожежі без врахування вентиляції окрім відкритих дверних отворів

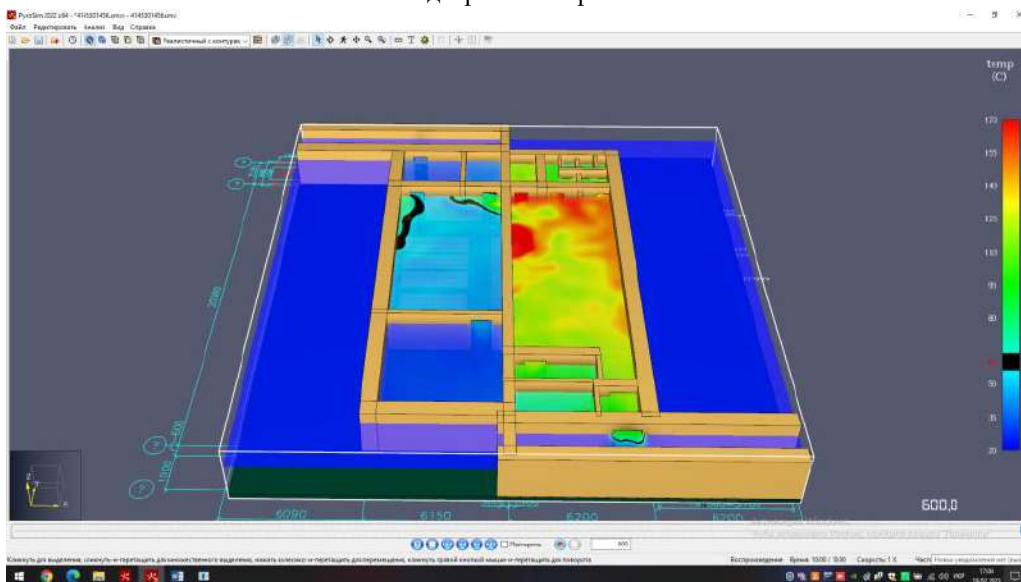


Рис. 3. Результати моделювання поширення небезпечних чинників пожежі без врахування вентиляції окрім відкритих дверних отворів

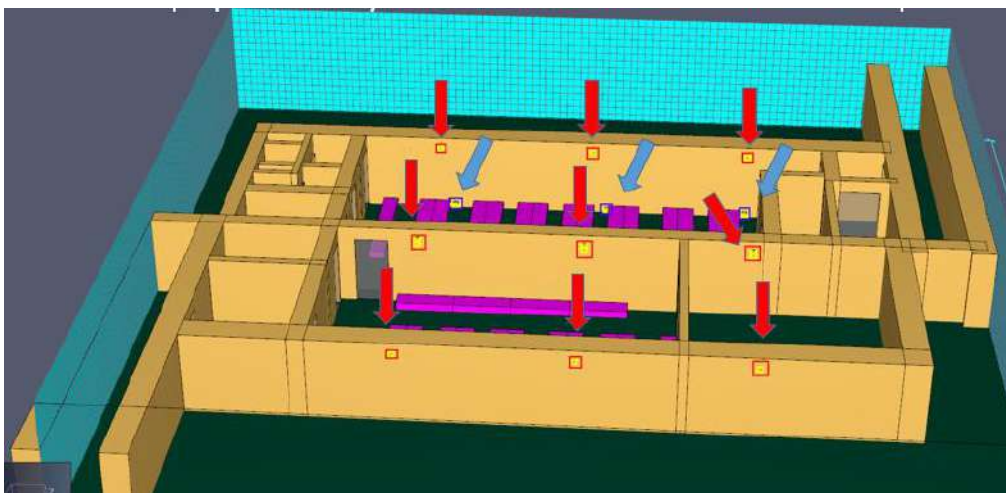


Рис. 4. Місце розташування системи вентиляції



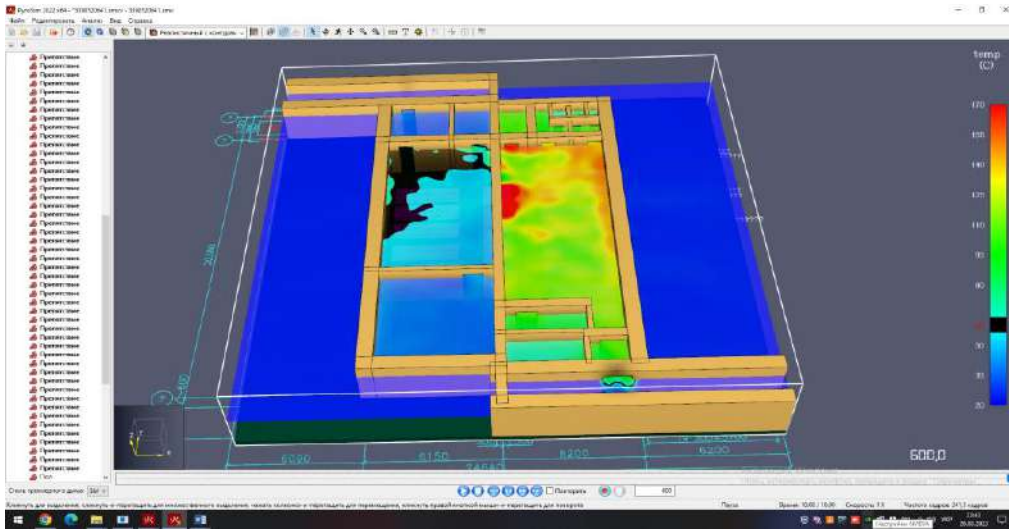


Рис. 5. Результати моделювання поширення небезпечних чинників пожежі з врахування припливної вентиляції через три вентиляційні канали

Таблиця 2  
Результати розрахунку за другим сценарієм

Чинники пожежі	Вихід 1 (с)	Вихід 2 (с)
Температура (60 °C)	63,9	≥600
Видимість (20 м)	38,2	127,4
CO (0,00116 кг/м <sup>3</sup> )	≥600	≥600
CO <sub>2</sub> (0,11 кг/м <sup>3</sup> )	≥600	≥600
O <sub>2</sub> (0,226 кг/м <sup>3</sup> )	52,5	≥600

За результатами моделювання додавання вентиляції збільшує час до блокування шляхів евакуації. Для більш повного аналізу слід проаналізувати ефективність роботи вентиляції.

Спочатку за формулою 1 розрахуємо середній час блокування шляхів евакуації по всім показникам, що дали результати для першого сценарію. Далі по формулі 2 зробимо теж саме для сценарію 2. Поділимо результати з вентиляцією на результати без роботи вентиляції за формулою 3.

$$T_{\text{сер.без}} = \frac{t_{\text{тем}} + t_{\text{вид1}} + t_{\text{вид2}} + t_{\text{O}_2}}{4} = \frac{40,7 + 20 + 108 + 40}{4} = 52,175 \text{ с} \quad (1)$$

$$T_{\text{сер. вент}} = \frac{t_{\text{тем}} + t_{\text{вид1}} + t_{\text{вид2}} + t_{\text{O}_2}}{4} = \frac{63,9 + 38,2 + 127,4 + 52,5}{4} = 70,5 \text{ с} \quad (2)$$

$$K_{\text{вент}} = \frac{T_{\text{сер. вент}}}{T_{\text{сер.без}}} = \frac{70,5}{52,175} = 1,351 \quad (3)$$

У ході розрахунків коефіцієнт ефективності роботи вентиляції складає 1,351 або 135,1 %.

Моделювання частково зруйнованого укриття зображено на рис. 6, 7.

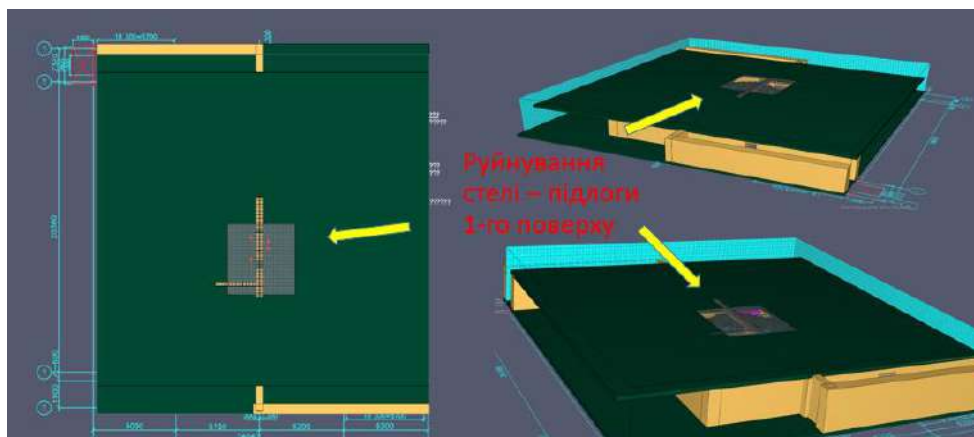


Рис. 6. Моделювання частково зруйнованого укриття: руйнування стелі – підлоги 1-го поверху

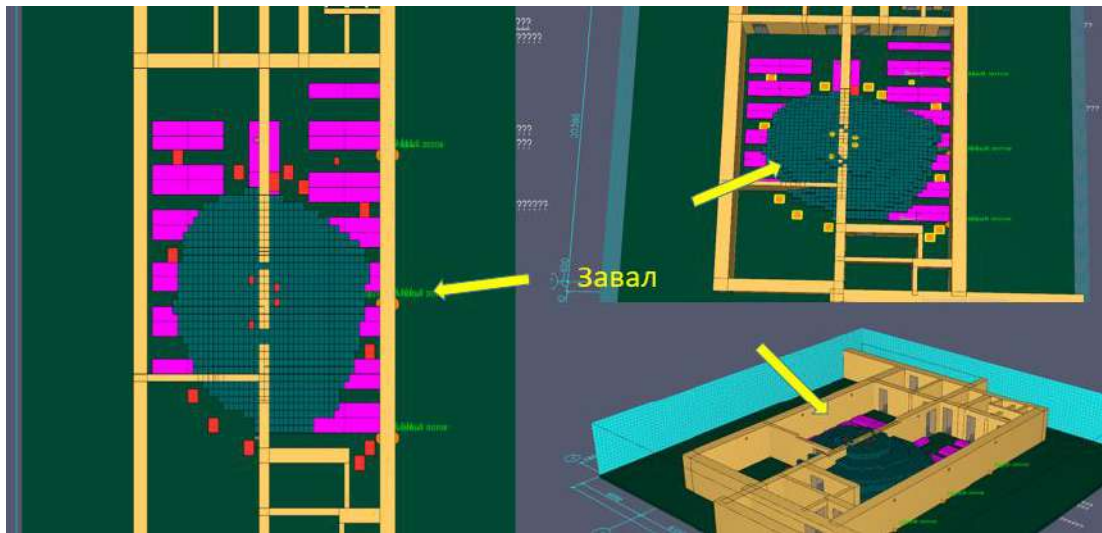


Рис. 7. Моделювання частково зруйнованого укриття: завал.

На рис. 6 показано моделювання укриття після влучання ракети і руйнування стелі підвалу – підлоги першого поверху. Поверхи в розрахунках не враховувались. Змодельовано отвір до підвалу від вибуху розміром приблизно 5 на 5 метрів. Також відбулося розмежування шляхів евакуації одне від одного. Оскільки будівельне сміття та обломки перекрили прохід, змодельовано завал – перекрили доступ до виходів.

Діаметр завалу склав 10 метрів. Висота завалу у найвищій точці від рівня підлоги склала 2,5 м. Під час вибуху і руйнування утворюється висока температура і виникають вторинні осередки пожежі. В подальшому в роботі проведено моделювання осередків пожежі у зруйнованому укритті.

Пожежне навантаження обрано з бібліотеки «Приміщення, облицьовані панелями. Панелі ДВП,

ДСП» (рис. 8). Такий вибір робимо на основі того, що багато адміністративних приміщень облицьовані саме такими матеріалами.

Обираємо найгірший варіант пожежної небезпеки в зруйнованому укритті (рис. 9). Було змодельовано 18 осередків пожежі розмірами від 0,25 м на 0,25 м до 0,5 м на 0,5 м.

За розрахунками час моделювання склав приблизно 60 хв. Обрано, що пожежа триває 300 секунд або 5 хв. Вихід через отвір у стелі як евакуаційний вихід не розглядається. Тобто для живих людей залишається два евакуаційні виходи, які відрізані один від одного.

На рис. 10 представлено візуалізацію результатів моделювання.

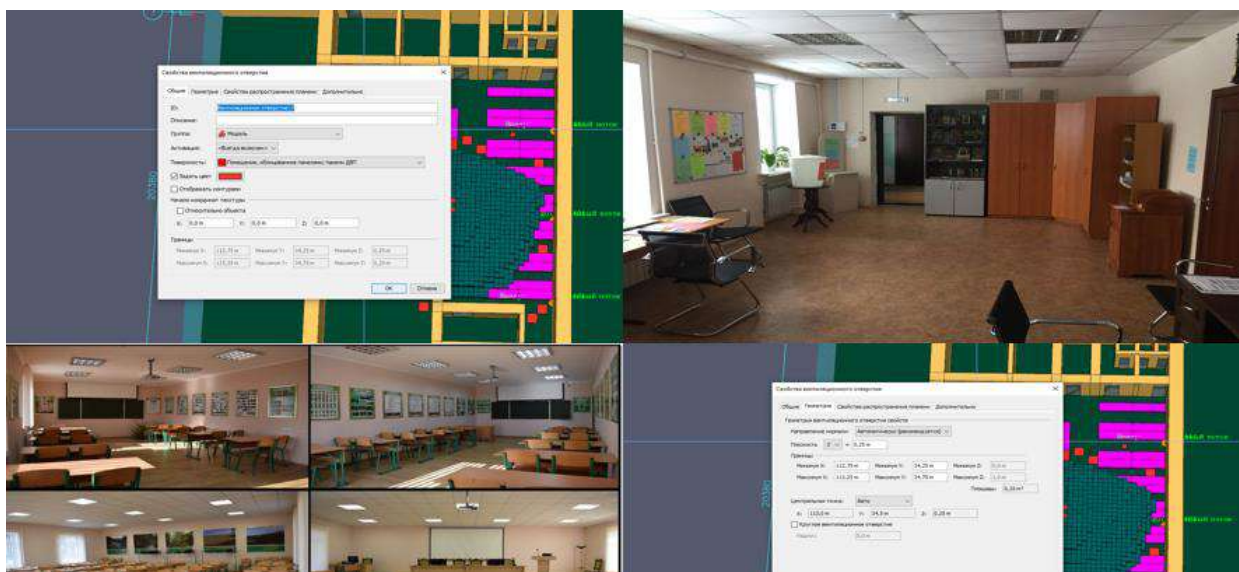


Рис. 8. Пожежна навантага в укритті

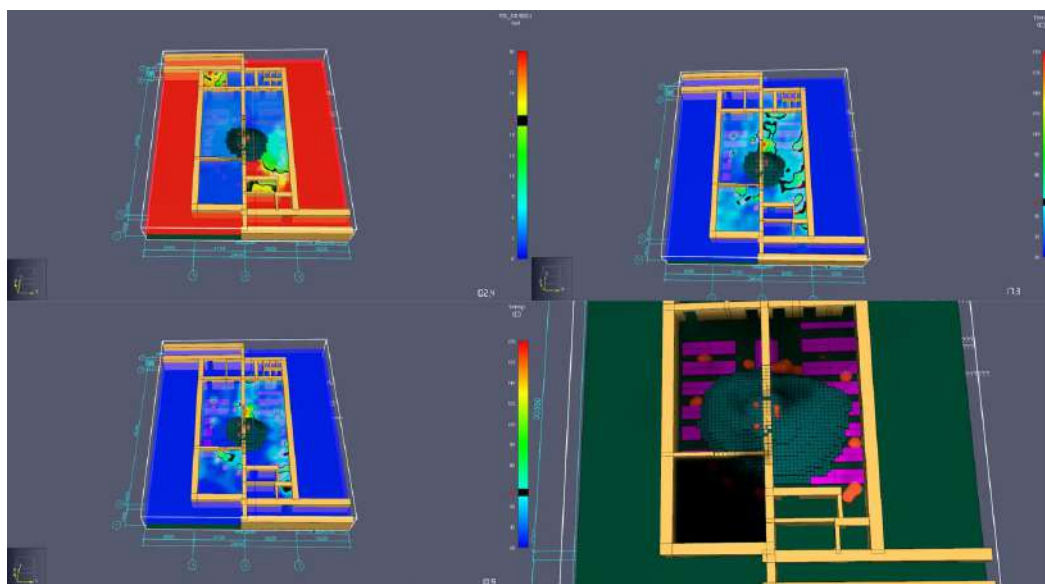


Рис. 9. Візуалізація варіанту пожежної небезпеки у зруйнованому укритті

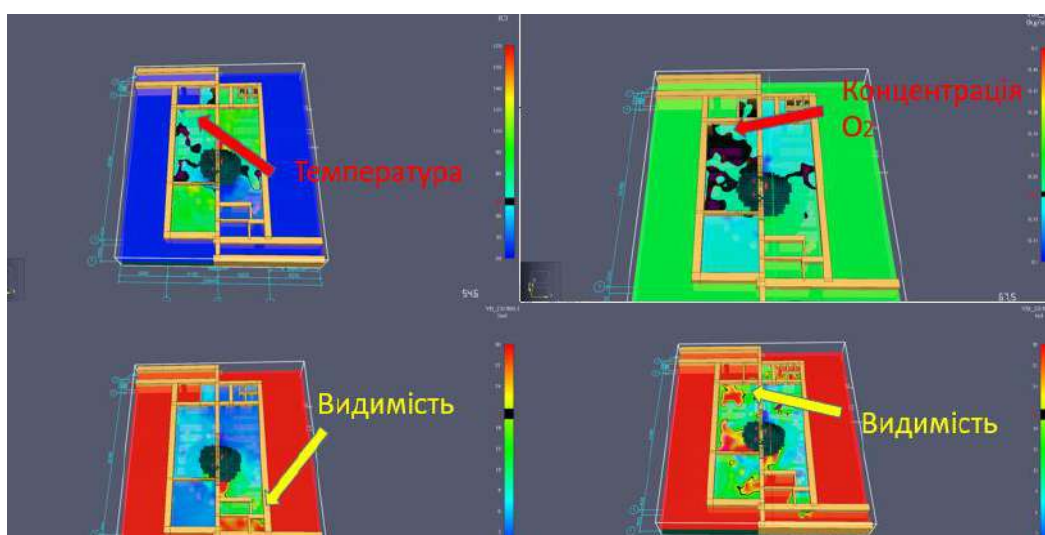


Рис. 10. Візуалізація результатів розрахунку пожежі у зруйнованому укритті

Зображені 2-Д перерізи на висоті 1,7 м від рівня підлоги дозволяють аналізувати обрані для дослідження сценарії.

Вихід другий блокується на 54,6 секунди (температура), 45,7 секунди (видимість) та на 67,5 секунди (зниження концентрації  $O_2$ ). Результати наведені в таблиці 3.

Таблиця 3

Результати розрахунку пожежі у зруйнованому укритті

Чинники пожежі	Вихід 1 (с)	Вихід 2 (с)
Температура ( $60^{\circ}C$ )	10,9–28,6	54,6
Видимість (20 м)	14,1–102,4	45,7
CO ( $0,00116 \text{ кг/м}^3$ )	$\geq 300$	$\geq 300$
CO <sub>2</sub> ( $0,11 \text{ кг/м}^3$ )	$\geq 300$	$\geq 300$
O <sub>2</sub> ( $0,226 \text{ кг/м}^3$ )	$\geq 300$	67,5

За підвищенням температури критичний час настає з 10,9 секунди і триває до 28,6 секунди. Фактично не заважає проведенню евакуації. За видимістю маємо: з 14,1 секунди до 102,4 секунди відбувається блокування шляху евакуації.

### Висновки

За допомогою програмного забезпечення PyroSim проведено моделювання поширення небезпечних чинників пожежі у укритті без врахування вентиляції окрім відкритих дверних отворів та з врахування припливної вентиляції через вентиляційні канали. Коефіцієнт ефективності роботи вентиляції  $K_{\text{вент}}=1,351$  або 135,1%. Відповідно проведені розрахунки часу блокування шляхів евакуації за різними параметрами, а саме



видимості, температури, концентрація O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> та CO на висоті 1,7 м від рівня підлоги.

А також, змодельовано поширення небезпечних чинників пожежі у зруйнованому укрітті, що є основою для розробки інженерно-технічних та організаційних заходів підвищення рівня пожежної безпеки, забезпечення безпеки населення.

### Література

1. Проблемні питання захисту цивільного населення від небезпечних чинників артилерійського та ракетного вогню під час воєнних (бойових) дій [Текст] : матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Problems of Emergency Situations» (PES-2022) / Р.І. Майборода, Ю.А. Отрош, А.В. Ромін. – Харків: НУЦЗУ, 2022. – С. 71–72.
2. Проблематика збільшення часу перебування людей в укрітті під час бойових дій за допомогою природної вентиляції [Текст] : матеріали Міжнародна науково-практична конференція «Проблеми пожежної безпеки 2022», («Fire Safety Issues 2022») / О.С. Олейник, Ю.А. Отрош, Н.В. Рашикевич. – Харків: НУЦЗ України, 2022 р. – С. 107–108.
3. Закон України Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо забезпечення вимог цивільного захисту під час планування та забудови території. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2486-20#Text>
4. Рятувальники ліквідовують наслідки російської атаки по житловому будинку в Дніпрі. – Режим доступу: <https://dp.dsns.gov.ua/uk/news/nadzvicaini-podiyi/riatuvalniki-likvidovuyut-naslidki-rosiiskoyi-ataki-po-zitlovomu-budinku-v-dnipri>
5. Оперативна інформація щодо ліквідації наслідків обстрілу у Запорізькій станом на 07:00 3 березня. • Режим доступу: <https://zp.dsns.gov.ua/uk/news/nadzvicaini-podiyi/operativna-informaciia-shhodo-likvidaciyi-naslidkiv-obstrilu-u-zaporizki-stanom-na-0700>
6. קוד תכנון תחנת הרכבת תל אביב-1951 (Закон про цивільну оборону, Ізраїль 1951-77).
7. Guz, L., Grzesik, M., Guz, Ewa (2021) Simulation of flames and smoke spreading in an underground garage under different ventilation conditions. *Journal of Physics Conference Series 1736(1)*, 012050. Retrieved from: <http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/1736/1/012050>
8. Linlin, Y., & Mo, Y. (2021). Fire simulation and smoke spread analysis of subway stations at different fire locations. *E3S Web of Conferences*, 248(44), 03003. <http://dx.doi.org/10.1051/e3sconf/202124803003>
9. 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.
10. Кодекс цивільного захисту України. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5403-17#Text>
11. ДСТУ 8828:2019 Пожежна безпека. Загальні положення – Режим доступу: [https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/dstu\\_8828\\_2019.pdf](https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/dstu_8828_2019.pdf)
12. Наказ Міністерства внутрішніх справ України від 09.07.2018 № 579 Про затвердження вимог з питань використання та обліку фонду захисних споруд цивільного

захисту. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0879-18#Text>  
 13. ДБН-В.2.2-5-97 Захисні споруди цивільної захисту. – Режим доступу: [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=4653](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=4653)

### References

1. Mayboroda, R.I., Otrosh, Yu.A., Romin, A.V. (2022). Problemni pytannya zakhystu tsyvil'noho naselennya vid nebezpechnykh faktoriv artyleriys'koho ta raketnoho vohnyu pid chas voyennykh (boyovykh) diy. Materialy Mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi "Problems of Emergency Situations" (PES-2022), 71–72.
2. Oliynyk, O.S., Otrosh, Yu.A., Rashkevych, N.V. (2022). Problematyka zbil'shennya chasu перебування lyudey v ukrytti pid chas boyovykh diy za dopomohoyu pryrodnoyi ventilyatsiyi. Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiya «Problemy pozhzhnoyi bezpeky 2022» (Fire Safety Issues 2022), 107-108.
3. Zakon Ukrayiny Pro vnesennya zmin do deyakykh zakonodavchykh aktiv Ukrayiny shchodo zabezpechennya vymoh tsyvil'noyi zakhystu pid chas planuvannya ta zabudovy terytoriy. Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2486-20#Text>
4. Ryatuval'nyky likvidovuyut' naslidky rosiys'koyi ataky po zhytlovomu budynku u Dnipri. Retrieved from: <https://dp.dsns.gov.ua/news/nadzvicaini-podiyi/riatuvalniki-likvidovuyut-naslidki-rosiiskoyi-ataki-po-zitlovomu-budinku-v-dnipri>
5. Operativna informatsiya shchodo likvidatsiyi naslidkiv obstrilu u Zaporizhzhii stanom na 07:00 3 bereznya. Retrieved from: <https://zp.dsns.gov.ua/uk/news/nadzvicaini-podiyi/operativna-informaciia-shhodo-likvidaciyi-naslidkiv-obstrilu-u-zaporizki-stanom-na-0700>
6. קוד תכנון תחנת הרכבת תל אביב-1951 (Zakon pro tsyvil'nu oboronu, Izrayil' 1951-77).
7. Guz, L., Grzesik, M., Guz, Ewa (2021) Simulation of flames and smoke spreading in an underground garage under different ventilation conditions. *Journal of Physics Conference Series 1736(1)*:012050. Retrieved from: <http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/1736/1/012050>
8. Linlin, Y., & Mo, Y. (2021). Fire simulation and smoke spread analysis of subway stations at different fire locations. *E3S Web of Conferences*, 248(44), 03003. <http://dx.doi.org/10.1051/e3sconf/202124803003>
9. Oliynyk, O.S., Otrosh, Yu.A., Romin, A.V. (2022). Modelyuvannya poshyrennya nebezpechnykh faktoriv pozhzhi za dopomohoyu prykladnoho programnoho zabezpechennya PyroSim. Materialy kruhloho stolu (vebinaru) «Zapobihannya nadzvychaynykh sytuatsiy ta yikh likvidatsiya», 69–70.
10. Code of civil protection of Ukraine. Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5403-17#Text>
11. DSTU 8828:2019 Pozhezhna bezpeka. Zahal'ni polozhennya. Retrieved from: [https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/dstu\\_8828\\_2019.pdf](https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/dstu_8828_2019.pdf)
12. Nakaz Ministerstva vnutrishnikh sprav Ukrayiny vid 09.07.2018 № 579 Pro zatverdzhennya vymoh shchodo pytan' vykorystannya ta obliku fondu zakhysnykh sporud tsyvil'noho zakhystu. Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0879-18#Text>
13. DBN-V.2.2-5-97 Zakhysni sporudy tsyvil'noyi zakhystu. Retrieved from: [http://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page.html?id\\_doc=4653](http://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page.html?id_doc=4653)



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

**Автор:** ОЛЕЙНИК Олександр Сергійович  
провідний інспектор відділу запобігання надзвичайним ситуаціям Харківського районного управління, ад'юнкт

Головне управління Державної служби України з надзвичайних ситуацій, Національний університет цивільного захисту України

E-mail – [kollessnyk@gmail.com](mailto:kollessnyk@gmail.com)

ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3911-4385>

**Автор:** ОТРОШІ Юрій Анатолійович  
доктор технічних наук, професор, начальник кафедри пожежної профілактики в населених пунктах

Національний університет цивільного захисту України

E-mail – [yuriyotrosh@gmail.com](mailto:yuriyotrosh@gmail.com)

ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0698-2888>

**Автор:** РАШКЕВИЧ Ніна Владиславна  
PhD, старший викладач кафедри пожежної профілактики в населених пунктах Національний університет цивільного захисту України

E-mail – [nine291085@gmail.com](mailto:nine291085@gmail.com)

ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5124-6068>

**Автор:** ШАПОВАЛ Світлана Володимирівна  
кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри матеріалознавства та інженерії композитних конструкцій

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова

E-mail – [svitlana.shapoval@kname.edu.ua](mailto:svitlana.shapoval@kname.edu.ua)

ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9452-0503>

## SIMULATION OF A POSSIBLE SMOKING ZONE IN A DESTROYED SHELTER

O. Oleynyk<sup>1,2</sup>, Yu. Otrosh<sup>2</sup>, N. Rashkevich<sup>2</sup>, S. Shapoval<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Head Office of the State Emergency Service of Ukraine in the Kharkiv region, Ukraine

<sup>2</sup>National University of Civil Defence of Ukraine, Ukraine

<sup>3</sup>O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Ukraine

*The purpose of the presented work is to create a model for calculating the process of the spread of dangerous fire factors and determining the effectiveness of various engineering and technical, organizational measures and means aimed at increasing the duration of people's stay in a civil defense building in the conditions of hostilities. The authors of the work conducted an analysis of scientific research in areas such as "Modeling of fire and analysis of smoke propagation at metro stations in different fire locations" and "Modeling of flame and smoke propagation in an underground garage under different ventilation conditions."*

*The authors developed two scenarios of the spread of dangerous fire factors. The first scenario is the spread of fire hazards without taking into account ventilation other than open doorways. The second scenario is the spread of dangerous fire factors taking into account supply ventilation through three ventilation channels. The ventilation channels were assumed to have a diameter of 0.3048 m with a volumetric flow rate of 0.5 m<sup>3</sup>/s. The researchers determined the effectiveness of the ventilation in the PyroSim software during the blocking of escape routes in the shelter. The ventilation efficiency factor 1.351 or 135.1%. The authors conducted a simulation of the shelter after a missile hit and the destruction of the basement ceiling (floor of the first floor). The time of blocking the evacuation routes was determined according to various parameters in accordance with DSTU 8828:2019, namely visibility, temperature, concentration of oxygen oxide and carbon dioxide at a height of 1.7 m from the floor level.*

*The work is the basis for the development of engineering and technical and organizational measures to increase the level of fire safety and ensure the safety of the population.*

**Keywords:** shelter, dangerous factors of fire, ventilation, evacuation, PyroSim.