

УДК 614.8

С. М. Шахов, PhD, доцент, доц. каф. (ORCID 0000-0002-9161-1696)
А. С. Мельниченко, PhD, доцент, доц. каф. (ORCID 0000-0002-7229-6926)
Д. І. Савельєв, к.т.н., доцент, доц. каф. (ORCID 0000-0002-4310-0437)
М. О. Демент, к.пед.н., доцент, доц. каф. (ORCID 0000-0003-4975-384X)
А. С. Гузь, ад'юнкт ад'юнктури (ORCID 0009-0004-8869-2423)
Національний університет цивільного захисту України, Черкаси, Україна

ВПЛИВ ПРОТИДИМНИХ ЕКРАНІВ НА РІВЕНЬ ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ УКРИТТІВ

Об'єктом дослідження є вплив протидимних екранів на рівень пожежної безпеки укриттів. Основна гіпотеза полягає в тому, що при наявності протидимних екранів на шляху евакуації, час блокування евакуаційних шляхів небезпечними чинниками пожежі буде збільшуватися, наслідком чого є підвищення рівня пожежної безпеки укриття. Проблема, що вирішувалась – отримати наукового обґрунтовані дані, щодо впливу протидимних екранів на рівень пожежної безпеки укриттів. У результаті отримано дані, що зміни динаміки небезпечних чинників пожежі при наявності протидимних екранів та без них. При порівнянні встановлено, що при наявності протидимних екранів час досягнення критичного значення за втратою видимості на вимірювачі № 1 був повільніше на 33 %. Таким чином, протидимний екран дозволив підтримати евакуаційний вихід придатним для використання на 31 секунду більше, що є значним запасом у випадку евакуації людей. Також протидимний екран протягом 300 секунд дозволив запобігти перевищенню гранично допустимого значення такими чинниками, як температура та парціальна густина кисню. При наявності протидимних екранів час досягнення критичного значення за втратою видимості на вимірювачі № 2 був повільніше на 5 %, що не є значним запасом у випадку евакуації людей. При наявності протидимних екранів та без них час досягнення критичного значення за втратою видимості на вимірювачі № 3, що був встановлений біля приміщення де виникає пожежа не відрізнявся та становив 37 секунд. Отже аналізуючи результати моделювання, щодо впливу протидимних екранів на рівень пожежної безпеки укриття підтверджено їх доцільність. Екрани дозволяють збільшити час підтримання евакуаційного шляху придатним для евакуації людей протягом певного часу. Але отримані результати потребують проведення натурного експерименту на прикладі модельного шляху евакуації (коридору) для остаточного підтвердження.

Ключові слова: укриття, пожежна безпека, моделювання пожежі, протидимні екрани, Fire Dynamics Simulator

1. Вступ

З початку 24 лютого 2022 року на території України активно розвивається галузь будівництва захисних споруд цивільного захисту, до яких відносяться в тому числі і укриття.

Пожежна безпека об'єктів будівництва, в тому числі і захисних споруд цивільного захисту характеризується [1] рівнем пожежної безпеки людей, а саме запобіганням впливу на них небезпечних чинників пожежі (далі НЧП). Одним зі шляхів запобігання впливу таких чинників є створення умов для евакуації при пожежі за рахунок об'ємно-планувальних рішень.

Провести натурне спостереження щодо процесу евакуації людей при пожежі на таких об'єктах в умовах сьогодення не є можливим. Але, альтернативним шляхом є моделювання пожежі на прикладі таких об'єктів.

При цьому, будівельними нормами, зокрема [2] встановлюється мінімальна площа, яка необхідна одній людині в приміщеннях для укриття. Таким чином в захисних спорудах цивільного захисту концентрація людей є достатньо високою, що створює складні умови для евакуації під час пожежі.

Отже дослідження, присвячені підвищенню рівня пожежної безпеки укрит-

тів, в тому числі шляхом застосування протидимних екранів на шляхах евакуації є актуальним в умовах сьогодення.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

За найгіршим сценарієм розвитку пожежі, розповсюдження її небезпечних чинників відбувається по шляхах евакуації, серед яких в захисних спорудах цивільного захисту можна виділити коридори, сходові клітки та сходи.

В рамках даної статті пропонується застосування «протидимних екранів» в коридорах (рис. 1), що на сьогодні не передбачено будівельними нормами України, які регламентують об'ємно-планувальні рішення для захисних споруд цивільного захисту. Протидимний екран – суцільний, газодимонепроникний, термостійкий конструктивний елемент, який пропонується встановлювати на шляху евакуації (шириною, що дорівнює ширині коридору, верх – міцно з'єднано зі стелею, низ – вище верхньої відмітки дверного отвору), за рахунок чого є потенційна ймовірність зниження часу блокування небезпечними чинниками пожежі даного евакуаційного шляху (виходу).

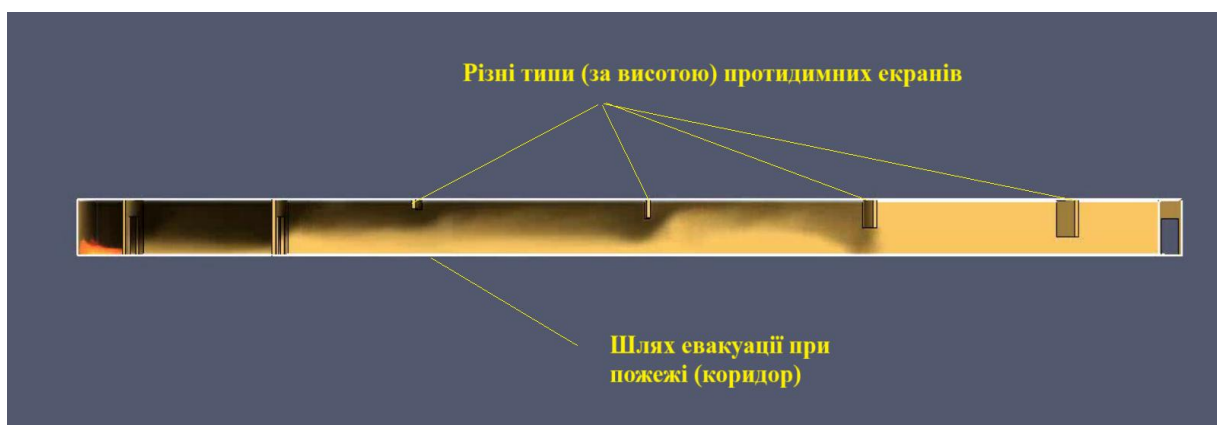


Рис. 1. Приклад встановлення протидимних екранів на шляху евакуації (коридор)

Серед низки наукових заходів, які пропонуються для підвищення рівня безпеки об'єктів будівництва слід виділити наступні:

- авторами [3] досліджено питання пожежної безпеки споруд цивільного захисту (укриттів, сховищ), а саме поширення небезпечних чинників 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. Але авторами не розглядалося питання з застосування протидимних екранів для підвищення рівня пожежної безпеки споруди.

- у роботі [4] розглянуто сучасний стан питання евакуації маломобільних груп населення з висотних житлових будинків при пожежі. Обґрунтована можливість безпечної самостійної евакуації при пожежі маломобільних груп населення з використанням пожежних ліфтів. Проведений математичний та графічний розрахунок часу евакуації людей за допомогою програмного комплексу Pathfinder з використанням (без використання) пожежних ліфтів. Враховуючи, що рівень пожежної безпеки полягає, в тому числі і в безпечній евакуації, надані пропозиції щодо евакуації маломобільних груп населення з висотних житлових будинків мають актуальність. Але дослідження було проведено без врахування моделювання по-

жежі, в тому числі із застосуванням протидимних екранів на шляхах евакуації.

- авторами [5] проаналізовано динаміку зміни температури, видимості, рівня задимлення та теплового потоку на основі моделювання пожежі в гуртожитку. Було досліджено час, необхідний для евакуації, з урахуванням горіння заданої пожежної навантаги. За результатами дослідження запропоновано рекомендації щодо мінімальних розмірів евакуаційних виходів: ширина дверей має становити не менше 3 м, а ширина сходів – не менше 1,75 м. Водночас питання використання протидимних екранів на евакуаційних шляхах та їх вплив на рівень пожежної безпеки об'єкта не розглядалося.

- у роботі [6] для моделювання евакуації було обрано університетську бібліотеку як типовий громадський об'єкт із високим пожежним навантаженням. Результати показали, що час безпечної евакуації склав 739 секунд. Завдяки оптимізації стратегії евакуації цей час було скорочено до 638 секунд, що на 13,67 % ефективніше. Автори зазначають, що підвищення ефективності евакуації можливе шляхом удосконалення системи оповіщення, додавання вказівних знаків, розширення сходових маршів та інших заходів із оптимізації. Проте питання встановлення протидимних екранів на евакуаційних шляхах у будівлі авторами не пропонувалося.

- дослідження [7] присвячено аналізу рівня пожежної безпеки в будівлі університету за допомогою моделювання пожежі з використанням програм Pyrosim і Pathfinder. Авторами проаналізовано динаміку небезпечних чинників пожежі, а також затори на сходових клітках і головних виходах. У результаті авторами запропоновані заходи, щодо збільшення пропускної здатності шляхів і поширення інформації про евакуацію, ефективність яких підтверджено повторними симуляціями. Але запроваджені авторами заходи не охоплювали встановлення протидимних екранів, що гіпотетично дозволяє покращити умови евакуації.

- у дослідженні [8] змодельовано сценарій пожежі в міжнародному конференц-центрі, висотній комерційній будівлі, за допомогою програми Pyrosim. Водночас, враховуючи складні функціональні зони висотної комерційної будівлі та розподіл людей у різні часові періоди, розроблено розумну стратегію евакуації, яку змодельовано за допомогою програмного забезпечення Pathfinder. Автори пропонують підхід щодо підвищення рівня пожежної безпеки шляхом управління евакуацією, але не розглядають запобігання розповсюдженню диму шляхом застосування протидимних екранів.

- авторами [9] на основі моделі пожежного сценарію та евакуації натовпу в великій навчальній будівлі університету досліджено ефективність евакуації та ситуацію з безпекою за шести різних розподілів людей. В роботі автори варіювали та порівнювали різні місця знаходження людей, від чого залежить тривалість евакуації. Але не пропонували заходів щодо покращення рівня пожежної безпеки, а саме підвищення умов безпечної евакуації, що може бути досягнуто в тому числі і дією протидимних екранів на шляхах розповсюдження диму.

- у роботі [10] як приклад взято комплексну експериментальну офісну будівлю підприємства для дослідження розвитку пожежі та екстреної евакуації персоналу за різних сценаріїв. Рівень пожежної безпеки будівлі оцінено шляхом порівняння доступного безпечного часу евакуації (ASET) із необхідним безпечним часом евакуації (RSET). Результати показують, що під час вертикальної евакуації температура та концентрація СО не мають значного впливу на персонал, тоді як видимість є основним фактором, що впливає на безпеку евакуації людей. Аналіз виявив, що небезпечних позицій на сходах зі східного боку будівлі більше, ніж із

західного. Для підвищення ефективності евакуації персоналу авторами запропоновано додавання зовнішніх сходів на східній стороні будівлі, але не розглянуто як альтернативу застосування протидимних екранів на шляхах евакуації.

- дослідження [11] присвячене вивченню різних методів моделювання процесів пожежі та евакуації на прикладі частини адміністративної будівлі. У роботі порівняно параметри вогнищ з оцінкою їхнього ризику для процесу евакуації, але не вивчалось, яким чином можуть впливати додаткові заходи, в тому числі і протидимні екрани на рівень пожежної безпеки об'єкту.

- авторами [12] розроблено комп'ютерну модель напружено-деформованого стану вогнезахищеної сталевий балки в програмному забезпеченні «ЛІРА-САПР» для підвищення рівня пожежної безпеки будівель та споруд. Дослідження авторів спрямовано на підвищення рівня пожежної безпеки, за рахунок підвищення вогнестійкості будівельних елементів, але авторами не розглядалось питання підвищення рівня пожежної безпеки, шляхом застосування протидимних екранів на шляхах евакуації.

Незважаючи на значну кількість досліджень присвячених підвищенню рівня пожежної безпеки різних об'єктів будівництва, досі не розглядалось питання встановлення протидимних екранів зокрема в укриттях.

Таким чином, невирішеною частиною розглянутої проблеми є відсутність наукового обґрунтованих даних, щодо впливу протидимних екранів на рівень пожежної безпеки укриттів.

3. Мета та завдання дослідження

Метою роботи є виявлення впливу протидимних екранів на рівень пожежної безпеки укриття.

Для досягнення мети були поставлені наступні завдання:

- визначити вплив наявності та відсутності протидимних екранів на показники небезпечних чинників пожежі;
- порівняти значення показників небезпечних чинників пожежі із протидимними екранами та без них.

4. Матеріали та методи дослідження

Об'єкт дослідження – вплив протидимних екранів на рівень пожежної безпеки укриттів.

Предметом дослідження є зміна динаміки показників небезпечних чинників пожежі в укритті при наявності протидимних екранів.

Основна гіпотеза полягає в тому, що при наявності протидимних екранів на шляху евакуації, час блокування евакуаційних шляхів небезпечними чинниками пожежі буде знижуватися, наслідком чого є підвищення рівня пожежної безпеки укриття.

Дослідження проводили методом моделювання із використанням програмного забезпечення FDS (Fire Dynamics Simulator) на прикладі розробленої моделі захисної споруди цивільного захисту, а саме протирадіаційного укриття.

5. Визначення впливу наявності та відсутності протидимних екранів на показники небезпечних чинників пожежі

Модель, яка подана рис. 2 попередньо була розроблена згідно із проектними архітектурно-будівельними рішеннями протирадіаційного укриття. Екрани встановлюються згідно із вимогами [13], таким чином, що висота шляху евакуації не нижче

2 м. При цьому висота стін від підлоги до стелі в укритті 3 м. Висота екранів від стелі 0,9 м, оскільки 0,1 м є зазором для прокладання комунікації під стелею.

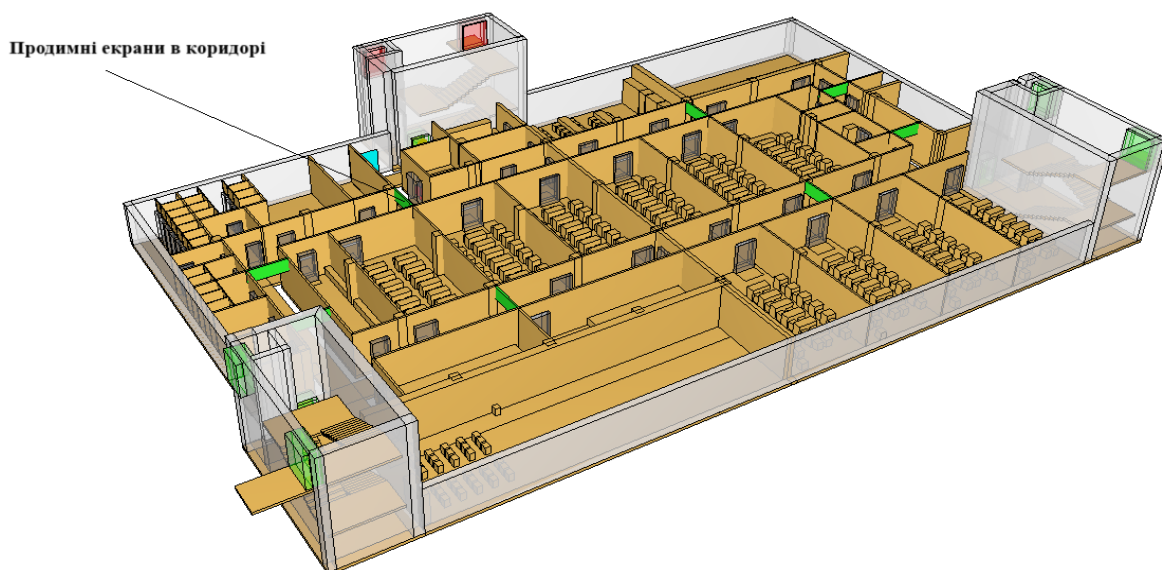


Рис. 2. Розроблена геометрична модель протирадіаційного укриття

Для моделювання пожежі застосовано параметри пожежної навантаги із наступними показниками: найнижча теплота згоряння: 14800 кДж/кг; лінійна швидкість полум'я: 0,042 м/с; питома швидкість вигорання: 0,013 кг/(м²·с); димоутворювальна здатність: 53 Нп м²/кг; витрата кисню (O₂): 1,161 кг/кг. Вихід газу: двооксид вуглецю (CO₂): 0,642 кг/кг; оксид вуглецю (CO) або чадний газ: 0,0317 кг/кг. Вільне розповсюдження горіння відбувається протягом 600 с. Під час моделювання згідно [1] розглядається один з основних видів розвитку пожежі, а саме кругове поширення пожежі. Місце пожежі обрано в приміщенні малого геометричного об'єму. Двері з приміщення де визначено осередок пожежі вважаються відчиненими, при цьому дим може вільно розповсюджуватися по шляхах евакуації, а саме в коридор протирадіаційного укриття. Для встановлення значень показників небезпечних чинників пожежі використовуються вимірювачі на висоті 1,7 м біля евакуаційних виходів з коридору, що подано на рис. 3. Моделювання тривало протягом 300 с.

Гранично допустимі значення встановлювались для небезпечних чинників за [1]. Значення теплового потоку, густини вуглекислого газу не вимірювались, оскільки для досягнення ними гранично допустимих значень необхідно більше ніж обрані 300 с моделювання.

На рис. 4 подано результати вимірювання небезпечних чинників протягом 300 с вільного розвитку пожежі без врахування впливу протидимних екранів.

На рис. 5 подано результати вимірювання небезпечних чинників протягом 300 с вільного розвитку пожежі із врахуванням впливу протидимних екранів.

На рис. 6 подано візуалізацію затримки диму на димову екрані при розповсюдженні по шляху евакуації (коридору).

6. Порівняння значень показників небезпечних чинників пожежі на димовими екранами та без них

У табл. 1, 2 подано зведені результати порівняння показників небезпечних чинників пожежі із врахуванням наявності протидимних екранів та без них на шляху евакуації протирадіаційного укриття.

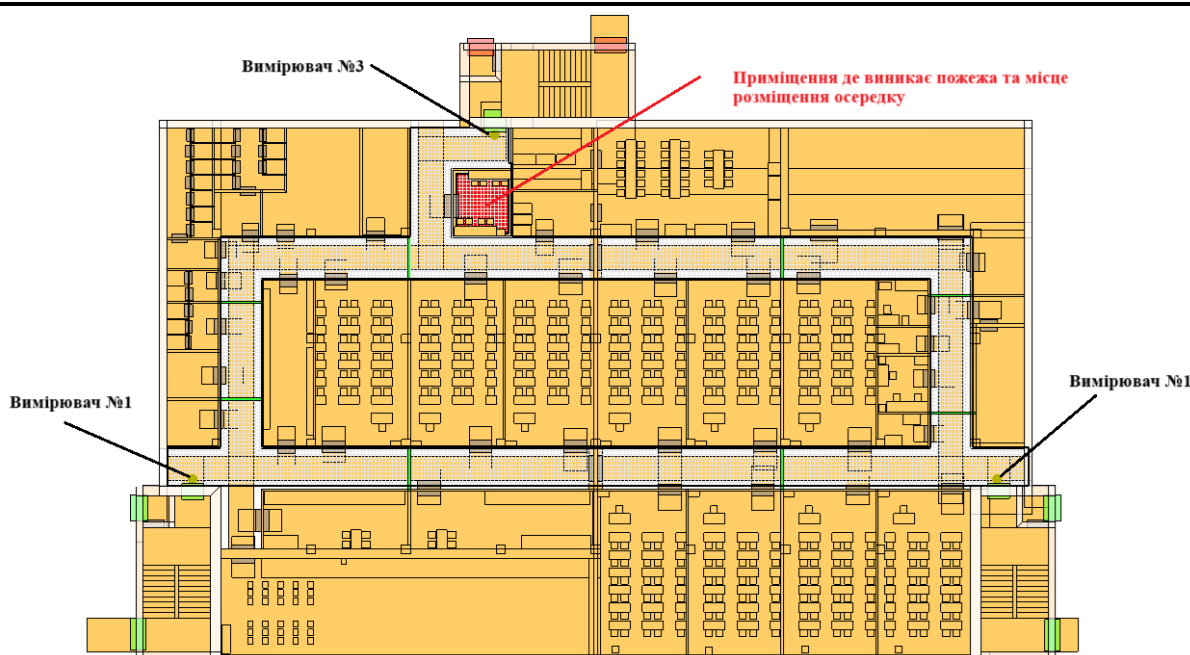


Рис. 3. Місце розміщення вимірювачів небезпечних чинників пожежі

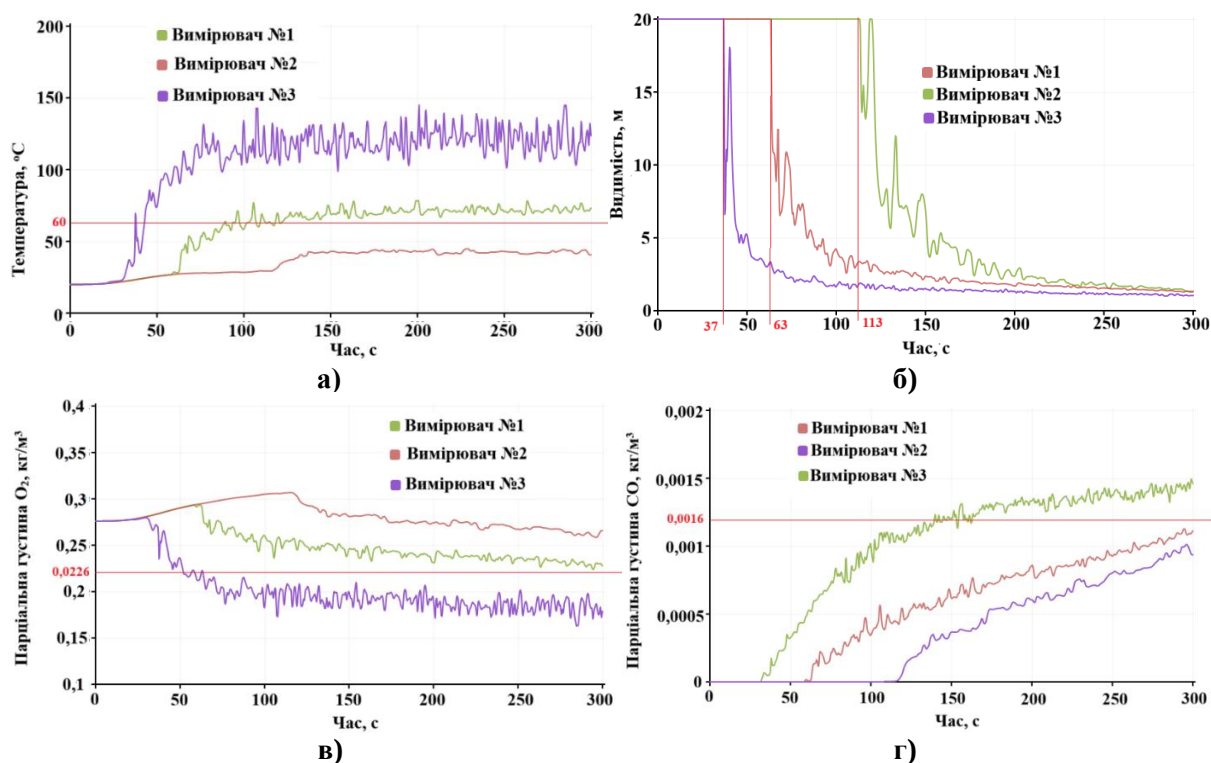


Рис. 4. Графічна залежність динаміки небезпечних чинників пожежі в коридорі без врахування впливу протидимних екранів: а – температура; б – видимість; в – парціальна густина кисню; г – парціальна густина CO

Табл. 1. Результати моделювання НЧП без впливу протидимних екранів

№ вимірювача	Гранично допустимий показник			
	T, °C	Vis, м	CO, кг/м³	O ₂ , кг/м³
	< 60	> 20	< 1,16·10 ⁻³	> 0,226
Час досягнення гранично допустимого показника, с				
№ 1	87	63	Не перевищує	294
№ 2	Не перевищує	113	Не перевищує	Не перевищує
№ 3	37	37	134	51

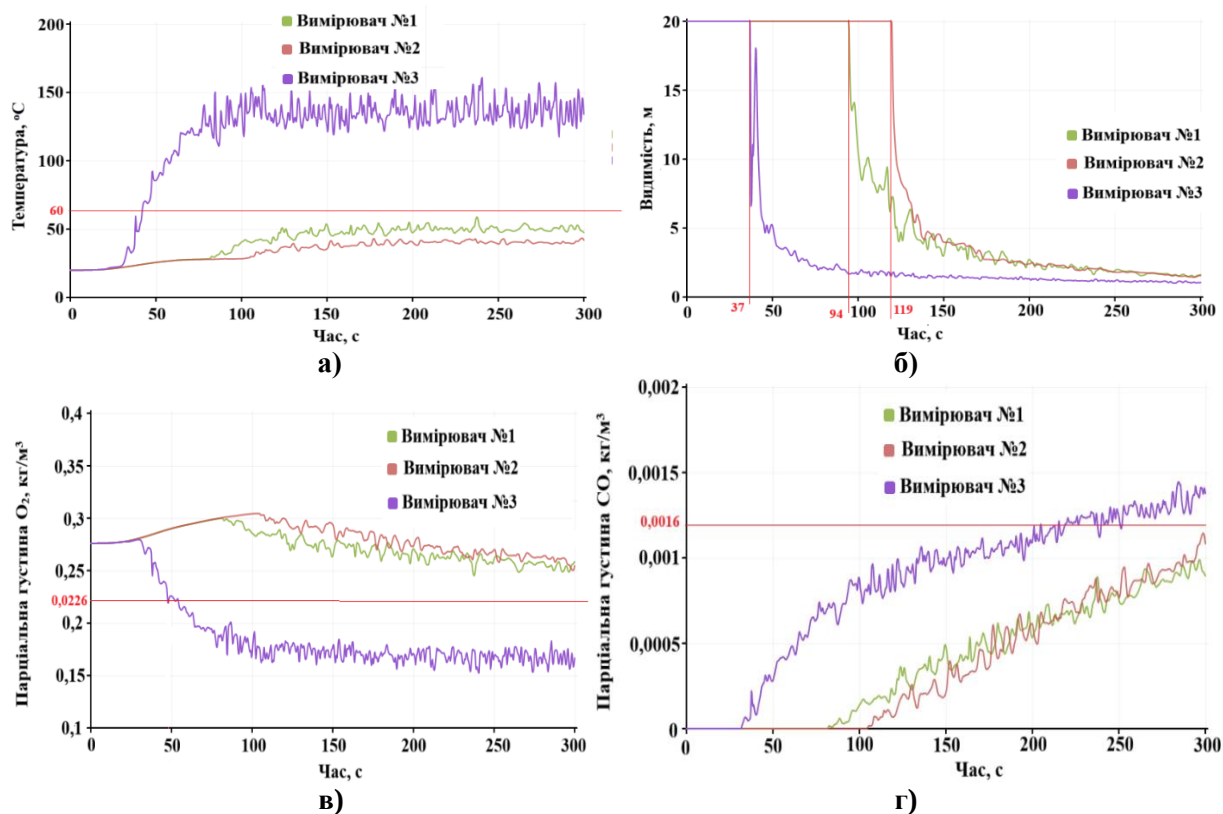


Рис. 5. Графічна залежність динаміки небезпечних чинників пожежі в коридорі із врахуванням впливу протидимних екранів: а – температура; б – видимість; в – парціальна густина кисню; г – парціальна густина CO

Оскільки згідно [1] шлях евакуації вважається блокованим, коли один з небезпечних чинників досяг критичного значення, нижче обговорюється лише отриманні результати щодо зниження видимості. Такий чинник є найбільш важливим з точки зору безпечної евакуації, оскільки людина, яка своєчасне не знайде безпечний шлях, в подальшому піддана впливу інших небезпечних чинників пожежі, таких як гаряче повітря, низька концентрація кисню тощо.

7. Обговорення результатів виявлення впливу протидимних екранів на рівень пожежної безпеки укриття

Отже при відсутності протидимних екранів на шляхах евакуації спостерігається наступна динаміка блокування шляхів евакуації небезпечними чинниками пожежі:

- на вимірювачі № 1 (рис. 4, табл. 1) зниження видимості нижче гранично допустимого значення, а саме 20 м спостерігається на 63 секунді, температури вище 60 °C на 87 секунд, парціальна густина чадного газу не перевищує гранично допустиме значення, парціальна густина кисню знижується нижче гранично допустимого значення на 294 секунді;

- на вимірювачі № 2 (рис. 4, табл. 1) зниження видимості нижче гранично допустимого значення, а саме 20 м спостерігається на 113 секунді, інші небезпечні чинники пожежі не досягають гранично допустимих значень;

- на вимірювачі № 3 (рис. 4, табл. 1) зниження видимості нижче гранично допустимого значення, а саме 20 м спостерігається на 37 секунді, температури вище 60 °C на 37 секунд, парціальна густина чадного газу перевищує гранично допустиме значення на 134 секунді, парціальна густина кисню знижується нижче гранично допустимого значення на 51 секунді.

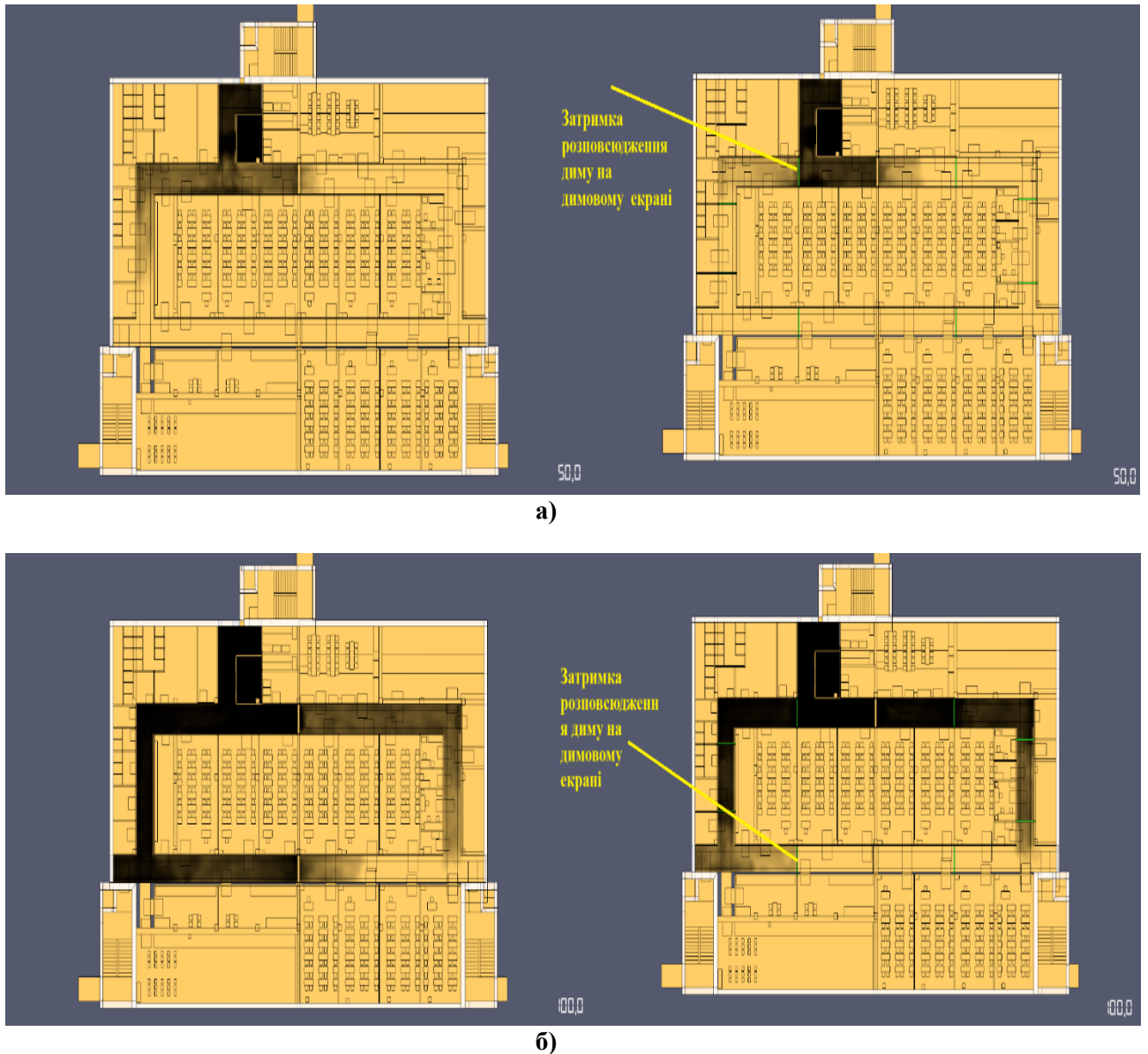


Рис. 6. Візуалізація затримку диму на екранах в коридорі: а – 50 секунда вільного розповсюдження пожежі; б – 100 секунда вільного розповсюдження пожежі

Табл. 2. Результати моделювання НЧП із впливом протидимних екранів

№ вимірювача	Гранично допустимий показник			
	T, °C	Vis, м	CO, кг/м ³	O ₂ , кг/м ³
	< 60	> 20	< 1,16·10 ⁻³	> 0,226
Час досягнення гранично допустимого показника, с				
№ 1	Не перевищує	94	Не перевищує	Не перевищує
№ 2	Не перевищує	119	Не перевищує	Не перевищує
№ 3	42	37	218	49

На рис. 7 подано графічне порівняння результатів зниження видимості на вимірювачах.

Такі результати пояснюються відсутністю будь якої перешкоди на шляху розповсюдження продуктів горіння. Дим вільно розповсюджується під стелею евакуаційного шляху і починає концентруватися тільки перед перешкодами, в даному випадку якими є саме перегородки з дверями. Підтвердження, щодо відсутності перешкод при русі диму під стелею подано на рис. 6.

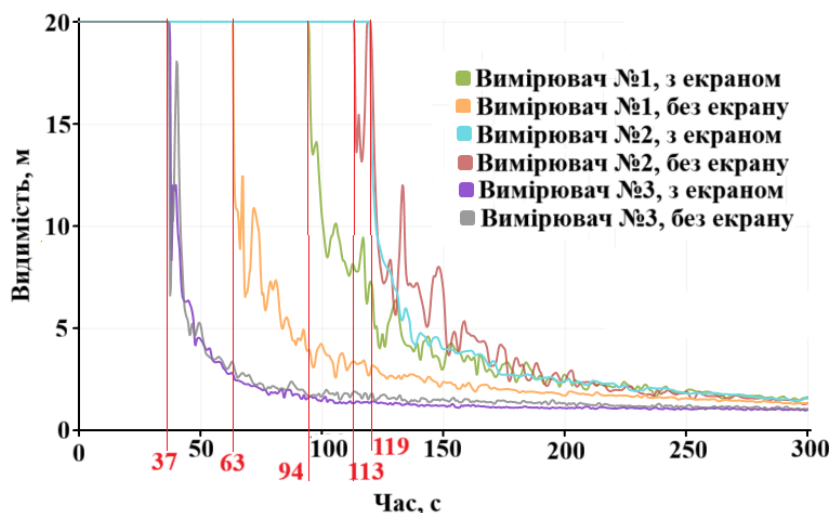


Рис. 7. Порівняння часу досягнення видимості гранично допустимого значення

При наявності протидимних екранів на шляхах евакуації спостерігається наступна динаміка блокування шляхів евакуації небезпечними чинниками пожежі:

- на вимірювачі № 1 (рис. 5, табл. 2) зниження видимості нижче гранично допустимого значення, а саме 20 м спостерігається на 94 с, перевищення гранично допустимих значень температурою, парціальною густиною кисню та чадним газом не спостерігається;

- на вимірювачі № 2 (рис. 5, табл. 2) зниження видимості нижче гранично допустимого значення, а саме 20 м спостерігається на 120 с, перевищення гранично допустимих значень температурою, парціальною густиною кисню та чадним газом не спостерігається;

- на вимірювачі № 3 (рис. 5, табл. 2) зниження видимості нижче гранично допустимого значення, а саме 20 м спостерігається на 37 с, температури вище 60 °С на 37 с, парціальна густина чадного газу перевищує гранично допустиме значення на 218 с, парціальна густина кисню знижується нижче гранично допустимого значення на 49 с.

Такі результати пояснюються наявністю перешкоди на шляху розповсюдження продуктів горіння. Розповсюдження диму під стелею евакуаційного шляху обмежується наявністю протидимного екрану, що впливає на підтримання евакуаційного шляху вільним протягом певного часу. Підтвердження щодо відсутності перешкод при русі диму під стелею подано на рис. 6.

Завдяки отриманим результатам моделювання (табл. 1, 2, рис. 4–6), на відміну від [3–12] виявлено вплив протидимних екранів на рівень пожежної безпеки укриттів.

Як обмеження проведеного дослідження слід враховувати, що результати отримані шляхом моделювання і для перевірки їх достовірності та підтвердження необхідно провести натурне спостереження на прикладі модельного об'єкту.

До недоліків даного дослідження слід віднести те, що не було розглянуто особливості конфігурації, кількість та різні місця розміщення протидимних екранів на шляхах евакуації з їх впливом на динаміку розповсюдження небезпечних чинників пожежі.

Отже, розвиток дослідження у подальшому полягає у визначенні ефективності різних конфігурацій протидимних екранів, їх кількості та місць розміщення в укриттях шляхом подальших моделювань.

8. Висновки

1. Визначено вплив наявності та відсутності протидимних екранів на показники небезпечних чинників пожежі на прикладі моделі протирадіаційного укриття. Модель розроблено згідно із проектними архітектурно-будівельними рішеннями. Моделювання пожежі проводилось шляхом використання програмного комплексу FDS. В моделі укриття екрани із висотою 0,9 м від стелі встановлювались таким чином, що висота шляху евакуації була не нижче 2 м. Вимірювання значень небезпечних чинників пожежі здійснювалось у 3 (трьох) точках біля евакуаційних виходів, за допомогою вимірювачів, встановлених на висоті 1,7 м від підлоги. Вільний розвиток горіння відбувався протягом 300 с. Втрата видимості нижче ніж 20 м у трьох точках вимірювання відбувалася швидше за інші небезпечні чинники пожежі. Щодо температури, парціальної густини кисню та чадного газу, відбувалося блокування на одному або двох вимірювачах. Щодо вимірювача, розміщеного біля приміщення, де виникає пожежа, досягнення гранично допустимих значень спостерігалось найбільш швидко і одразу за всіма небезпечними чинниками.

2. Порівняно результати показників небезпечних чинників пожежі при наявності протидимних екранів та без них. За результатними порівняння встановлено:

- при наявності протидимних екранів час досягнення критичного значення за втратою видимості на вимірювачі №1 був повільніше на 33 %. Таким чином, протидимний екран дозволив підтримати евакуаційний вихід придатним для використання на 31 с більше, що є значним запасом у випадку евакуації людей. Також, протидимний екран протягом 300 с дозволив запобігти перевищенню гранично допустимого значення такими чинниками, як температура та парціальна густина кисню. За відсутності протидимного екрану температура більше ніж 60 °C була зафіксовано вже на 87 с, а парціальна густина кисню на 294 с. Чадний газ залишався в рівнях норми в обох випадках.

- при наявності протидимних екранів час досягнення критичного значення за втратою видимості на вимірювачі № 2 був повільніше на 5 %. Таким чином, протидимний екран дозволив підтримати евакуаційний вихід придатним для використання на 5 с більше, що не є значним запасом у випадку евакуації. Температура, парціальна густина кисню та чадного газу залишались в рівнях норми в обох випадках.

- при наявності протидимних екранів та без них час досягнення критичного значення за втратою видимості на вимірювачі № 3, що встановлений біля приміщення де виникає пожежа не відрізнявся та становив 37 с. Різниця між досягненням температурою та парціальною густиною показників, більше за гранично допустимі, була не більше 5 % в часі. Щодо парціальної густини чадного газу, при наявності екранів, час перевищення гранично допустимого значення майже у 2 рази більший, ніж при відсутності димового екрану.

Отже, аналізуючи результати моделювання, щодо впливу протидимних екранів на рівень пожежної безпеки укриття підтверджено їх доцільність. Екрани дозволяють збільшити час підтримання евакуаційного шляху придатним для евакуації людей протягом певного часу. Такі результати можуть бути використані у якості компенсуючих заходів за умов, коли блокування шляхів евакуації в укриттях (в яких не передбачено примусової системи димовидалення) відбувається швидше за тривалість евакуації.

Але, отримані результати потребують проведення натурного експерименту на прикладі модельного шляху евакуації (коридору) для остаточного підтвердження.

9. Подяка

За надану пропозицію щодо застосування протидимних екранів на шляхах евакуації (у коридорах), на підставі якої проведено дослідження, подяка висловлюється сертифікованому експерту з питань пожежної та техногенної безпеки Олійнику Олександрову Семеновичу.

Література

1. ДСТУ 8828:2019. Пожежна безпека. Загальні положення. Зі змінами № 1 [Чинний від 2020-01-01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2018. 163 с.
2. ДБН В.2.2-5:2023. Захисні споруди цивільного захисту. Зі змінами № 1 [Чинний від 2023-11-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2023. 112 с.
3. Oliynyk O., Otrosh Yu., Rashkevych N. Simulation of a possible smoking zone in a destroyed shelter. *Municipal Economy of Cities*. 2023. Vol. 4(178). P. 210–218. doi: 10.33042/2522-1809-2023-4-178-210-218
4. Maiboroda R., Otrosh Yu., Rashkevich N., Melezhyk R. Assessment of the fire resistance of buildings from fireproof reinforced concrete building structures. *Municipal Economy of Cities*. 2023. Vol. 4(178). P. 219–231. doi: 10.33042/2522-1809-2023-4-178-219-231
5. Xinfeng L., Xueqin Z., Bo L. Numerical simulation of dormitory building fire and personnel escape based on Pyrosim and Pathfinder. *Journal of the Chinese Institute of Engineers*. 2017. Vol. 40(3). P. 257–266. doi: 10.1080/02533839.2017.1300072
6. Heng H., Zhang S., Zhu J., Zhu Z. Evacuation in Buildings Based on BIM: Taking a Fire in a University Library as an Example. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2022. Vol. 19(3). P. 23–32. doi: 10.3390/ijerph192316254
7. Azhari N., Prasetyo T. B., Susanto B., Hermawan A. Evacuation system analysis using fire modeling method with pyrosim and pathfinder software in ir. h djuanda umc building. *Journal of Scientech Research and Development*. 2025. Vol. 7(1). P. 477–493. doi:10.56670/jsrd.v7i1.920
8. Yan Z., Wang Y., Chao L., Guo J. Study 2024. Study on Evacuation Strategy of Commercial High-Rise Building under Fire Based on FDS and Pathfinder. *CMES-Computer Modeling in Engineering & Sciences*. 2024. Vol. 140(2). P. 1077–1102. doi: 10.32604/cmescs.2023.030023
9. Jing M., Zhang G., Guo S., Wang C. Simulation method for fire evacuation safety of teaching buildings in colleges and universities. *Results in Engineering*. 2025. Vol. 25. P. 104512. doi: 10.1016/j.rineng.2025.104512
10. Li L., Tao G., Zhang L. Numerical simulation of fire and evacuation in comprehensive experimental office building. In *Proceedings of the 2023 3rd International Conference on Big Data, Artificial Intelligence and Risk Management*. 2023. P. 1012–1016. doi: 10.1145/3656766.3656934
11. Buddika B. C., Thilakarathne U. E., Mudunkotuwa D. Y. Fire Distribution Analysis For The Faculty Of Engineering, University Of Sri Jayawardenepura. In *International Conference on Simulation and Modelling*. 2024. Vol. 1. № 01. doi: 10.31357/icsm.v1i01.8337
12. Ковальов А. І., Отрош Ю. А., Рашкевич Н. В., Рудаков С. В., Томенко В. І., Юрченко С. П. Оцінка вогнестійкості вогнезахисних сталевих конструкцій для забезпечення пожежної безпеки об'єктів. *Problems of Emergency Situations*. 2023. № 1(37). P. 282–292. doi: 10.52363/2524-0226-2023-37-20

13. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги [Чинний]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2016. 52 с.

S. Shakhov, PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department
A. Melnychenko, PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department
S. Saveliev, PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department
M. Dement, PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department
A. Huz, Adjunct
National University of Civil Protection of Ukraine, Cherkassy, Ukraine

IMPACT OF SMOKE SCREENS ON THE FIRE SAFETY LEVEL OF SHELTERS

The object of the study is the impact of smoke screens on the fire safety level of shelters. The main hypothesis is that the presence of smoke screens along evacuation routes increases the time before evacuation paths are blocked by hazardous fire factors, thereby enhancing the fire safety level of shelters. The problem addressed was to obtain scientifically substantiated data on the impact of smoke screens on the fire safety of shelters. The results provided data on the dynamics of hazardous fire factors with and without smoke screens. Comparative analysis showed that with smoke screens, the time to reach critical visibility loss at sensor №1 was 33 % slower. Thus, the smoke screen kept the evacuation exit viable for an additional 31 seconds, which is a significant margin for evacuation. Additionally, over 300 seconds, the smoke screen prevented exceeding the permissible limits for factors such as temperature and partial oxygen density. At sensor № 2, the time to reach critical visibility loss was 5 % slower with smoke screens, which is not a significant margin for evacuation. At sensor №3, located near the fire outbreak room, the time to reach critical visibility loss was identical with and without smoke screens, amounting to 37 seconds. Thus, the analysis of the modeling results confirms the appropriateness of smoke screens in enhancing the fire safety level of shelters. Smoke screens extend the time during which evacuation routes remain viable for evacuation. These findings can be used as compensatory measures in cases where evacuation routes in shelters (lacking forced smoke extraction systems) become blocked by hazardous fire factors faster than the duration of evacuation. However, the obtained results require validation through a full-scale experiment using a model evacuation route (corridor) for final confirmation.

Keywords: smoke screens, shelters, fire safety, fire modeling, Fire Dynamics Simulator

Referense

1. State Standard of Ukraine. (2019). DSTU 8828:2019. Fire safety. General provisions (with Amendment № 1). Vid. ofits. (Original work published 2018).
2. State Building Norms of Ukraine. (2023). DBN V.2.2-5:2023. Protective structures of civil protection (with Amendment № 1). Vid. ofits.
3. Oliynyk, O., Otrosh, Yu., Rashkevych, N. (2023). Simulation of a possible smoking zone in a destroyed shelter. *Municipal Economy of Cities*, 4(178), 210–218. doi: 10.33042/2522-1809-2023-4-178-210-218
4. Maiboroda, R., Otrosh, Yu., Rashkevich, N., Melezhyk, R. (2023). Assessment of the fire resistance of buildings from fireproof reinforced concrete building structures. *Municipal Economy of Cities*, 4(178), 219–231. doi: 10.33042/2522-1809-2023-4-178-219-231
5. Xinfeng, L., Xueqin, Z., Bo, L. (2017). Numerical simulation of dormitory building fire and personnel escape based on Pyrosim and Pathfinder. *Journal of the Chinese Institute of Engineers*, 40(3), 257–266. doi: 10.1080/02533839.2017.1300072
6. Heng, H., Zhang, S., Zhu, J., Zhu, Z. (2022). Evacuation in buildings based on BIM: Taking a fire in a university library as an example. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(3), 23–32. doi: 10.3390/ijerph192316254
7. Azhari, N., Prasetyo, T. B., Susanto, B., Hermawan, A. (2025). Evacuation system analysis using fire modeling method with Pyrosim and Pathfinder software in Ir.

H Djuanda UMC building. Journal of Scienteck Research and Development, 7(1), 477–493. doi:10.56670/jsrd.v7i1.920

8. Yan, Z., Wang, Y., Chao, L., Guo, J. (2024). Study on evacuation strategy of commercial high-rise building under fire based on FDS and Pathfinder. CMES-Computer Modeling in Engineering & Sciences, 140(2), 1077–1102. doi: 10.32604/cmes.2023.030023

9. Jing, M., Zhang, G., Guo, S., Wang, C. (2025). Simulation method for fire evacuation safety of teaching buildings in colleges and universities. Results in Engineering, 25, 104512. doi: 10.1016/j.rineng.2025.104512

10. Li, L., Tao, G., Zhang, L. (2023, November). Numerical simulation of fire and evacuation in comprehensive experimental office building. In Proceedings of the 2023 3rd International Conference on Big Data, Artificial Intelligence and Risk Management, 1012–1016. doi: 10.org/10.1145/3656766.3656934

11. Buddika, B. C., Thilakarathne, U. E., Mudunkotuwa, D. Y. (2024). Fire distribution analysis for the Faculty of Engineering, University of Sri Jayawardenepura. In International Conference on Simulation and Modelling, 1, 01. doi: 10.31357/icsm.v1i01.8337

12. Kovalov, A. I., Otrosh, Yu. A., Rashkevych, N. V., Rudakov, S. V., Tomenko, V. I., Yurchenko, S. P. (2023). Assessment of fire resistance of fire-protected steel structures to ensure fire safety of objects. Problems of Emergency Situations, 1(37), 282–292. doi: 10.52363/2524-0226-2023-37-20

13. State Building Norms of Ukraine. (2016). DBN V.1.1-7:2016. Fire safety of construction objects. General requirements. Vid. Of its.

Надійшла до редколегії: 17.09.2025

Прийнята до друку: 20.10.2025