

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)
О. І. Сошинський, к.мист.н., викл. каф. (ORCID 0000-0002-7921-1294)
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)
Національний університет цивільного захисту України, Черкаси, Україна

ВПЛИВ ПОТЕНЦІЙНОЇ ПЛОЩІ ГОРІННЯ НА ДИНАМІКУ ПОШИРЕННЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ ЧИННИКІВ ПОЖЕЖІ

Об'єктом дослідження є вплив потенційної площі горіння у Fire Dynamics Simulator на значення небезпечних чинників пожежі. Основна гіпотеза полягає в тому, що зміна потенційної площі горіння у Fire Dynamics Simulator буде впливати на швидкість досягнення небезпечними чинниками пожежі гранично допустимих значень. Проблема, що вирішувалась – отримати науково обґрунтовані дані, щодо впливу потенційної площі горіння у Fire Dynamics Simulator на значення небезпечних чинників пожежі. Запропоновано використання терміну «потенційна площа горіння». У результаті отримано дані, щодо впливу потенційної площі горіння на динаміку поширення небезпечних чинників пожежі. В результаті спостерігається суттєва різниця між часом досягнення видимості гранично допустимих значень у всіх вимірювальних точках на шляхах евакуації при потенційній площі горіння $0,5 \text{ м}^2$ та 6 м^2 . При потенційній площі горіння $0,5 \text{ м}^2$ показник видимості не знижується нижче ніж $7,5 \text{ м}$, а при потенційній площі горіння 6 м^2 знижується до $2,2 \text{ м}$. Порівняно тривалість досягнення небезпечними чинниками пожежі гранично допустимих значень, а саме видимості при потенційній площі горіння $0,5 \text{ м}^2$ та 6 м^2 . Різниця по втраті видимості на вимірювачах № 1, 2, 3, 4 у відсотковому співвідношенні становить 18 %, 13 %, 19 %, 15 % відповідно. На вимірювачах № 5 та № 6 при потенційній площі горіння $0,5 \text{ м}^2$, втрата видимості не фіксується взагалі. В свою чергу, при потенційній площі горіння 6 м^2 зниження видимості нижче 20 метрів на вимірювачі № 5 та № 6 відбувається на 216-й та 220-й секунди відповідно. Отже, потенційна площа горіння при моделюванні в Fire Dynamics Simulator повинна бути обрана саме таким чином, щоб не було штучного обмеження поверхні, по якій може розповсюджуватись полум'я протягом загальної тривалості евакуації. Оскільки при штучному обмеженні потенційної площі горіння відбувається спотворення значень небезпечних чинників пожежі.

Ключові слова: площа пожежі, потенційна площа горіння, моделювання пожежі, Fire Dynamics Simulator

1. Вступ

Забезпечення пожежної безпеки людей є одним із головних принципів при проектуванні будівель. Рівень пожежної безпеки вважається належним, коли люди мають можливість своєчасно евакуюватися в безпечне місце при виникненні пожежі. Для оцінки умов евакуації застосовують математичні методи моделювання, серед яких визначення динаміки поширення небезпечних чинників пожежі та визначення тривалості руху людей.

Найбільш поширеними методами для моделювання пожежі у галузі пожежогашіння, в тому числі і на території України, згідно із стандартом ДСТУ 8828:2019 «Пожежна безпека. Загальні положення», є інтегральний, зонний та польовий методи. Недоліком як інтегрального, так і зонного методів є обмеження, щодо їх застосування у будівлях із складними геометричними конфігураціями. Польовий метод є найбільш універсальним та ефективним і не має обмежень з точки зору складності об'ємно-планувальних рішень будівлі. Польовий метод реалізовано у спеціалізованому програмному забезпеченні Fire Dynamics Simulator (FDS), яке вільно розповсюджується по всьому світу National Institute of Standards and Technology.

Сучасній сфері будівництва притаманні нетипові, а інколи і унікальні архітектурні рішення у будівлях і спорудах. При цьому застосування як інтегрального, так і зонного методів для таких будівель неможливе. Саме тому розкриття особливостей застосування Fire Dynamics Simulator в межах оцінювання рівня пожежної безпеки будівель є актуальним в умовах сьогодення.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Для оцінювання рівня пожежної безпеки будівлі необхідно розглядати сценарій (чи сценарії пожежі), за яким очікуються найгірші наслідки. Як простий приклад можна навести ситуацію, коли приміщення чи будівля має два евакуаційні виходи, один з яких приймається блокованим та не використовується для евакуації людей. Таким чином умови евакуації є достатньо жорсткими, але таке рішення ніяким чином не впливає на динаміку поширення небезпечних чинників пожежі (далі – НЧП).

У свою чергу параметри пожежної навантаги, які використовуються для моделювання пожежі є сталими та наведені у відповідних довідникових посібниках. Прямий вплив на динаміку поширення НЧП пожежної навантаги із сталими показниками має площа пожежі, яка закладається у вхідних параметрах FDS. Слід зазначити, що термін «площа пожежі» є недостатньо коректним, оскільки це площа, яка вже охоплена полум'ям. Під час моделювання у FDS розглядається поступове збільшення площі пожежі, за круговою формою, яке регулюється сталою лінійною швидкістю поширення полум'я. Тому більш коректним є застосування терміну «потенційна площа горіння, $S_{п.г.}$ », тобто максимальна можлива площа, яка може бути охоплена полум'ям протягом тривалості моделювання.

За результатами попереднього аналізу [1] закордонних норм у частині моделювання пожежі не було виявлено конкретних рекомендацій щодо вибору «потенційної площі горіння» при використанні FDS. У вітчизняному стандарті [2] є рекомендації лише стосовно вибору форми поширення пожежі, а не вибору «потенційної площі горіння».

У наукових дослідженнях FDS/PyroSIM набув широкого поширення. При цьому наукові роботи розкривають наступні питання:

- у попередньому дослідженні [3] було виявлено особливості методів моделювання швидкості тепловиділення (далі – HRR) у FDS. Проведено порівняння динаміки зміни HRR залежно від обраного методу. Встановлено, що при моделюванні в FDS не завжди зрозуміло, яке значення HRR доцільно застосовувати для точного опису динаміки пожежі, що впливає на надійність результатів. За результатами порівняння розроблено класифікацію методів моделювання HRR. На основі виявлених особливостей розроблено рекомендації щодо вибору та застосування методів моделювання HRR у FDS, що дозволяє точніше оцінювати результати та приймати обґрунтовані рішення для підвищення рівня пожежної безпеки. Але дослідження не охоплювало виявлення закономірності впливу «потенційної площі горіння» на динаміку поширення її небезпечних чинників в FDS;

- в роботі [4] було розглянуто вплив протидимних екранів на рівень пожежної безпеки укриттів із застосуванням FDS. У результаті підтверджено доцільність застосування протидимних екранів, а саме те, що вони збільшують час, протягом якого евакуаційний шлях залишається придатним. При цьому авторами у дослідженні не зазначена та не обґрунтована «потенційна площа горіння», яка має прямий вплив на динаміку поширення НЧП у FDS;

- у роботі [5] визначено динаміку блокування евакуаційних шляхів і виходів НЧП на прикладі закладу освіти із використанням FDS. Автори дійшли висновку про доцільність внесення змін до методики: або нормування більш реалістичного «часу початку евакуації», або обов'язкове обладнання закладів середньої освіти системами оповіщення іншого (ефективнішого) типу. Проте автори при моделюванні використовували необґрунтовану площу потенційного горіння, що має вплив на динаміку розвитку НЧП. Тому висновки, надані авторами, щодо внесення змін до методики доцільні лише для об'єкту, який був використаний у дослідженні;

- у роботі [6] за допомогою PyroSim досліджено час досягнення критичних значень НЧП у бібліотеці та читальному залі. Автори встановили, що за умови швидкого зростання пожежі шляхи евакуації блокуються на 126-й та 280-й секунді. Проте автори при моделюванні використовували необґрунтовану площу потенційного горіння, що має прямий вплив на динаміку розвитку НЧП. Це робить неможливим повноцінне підтвердження безпеки людей у зазначених приміщеннях;

- у роботі [7] вивчалася поширення вогню вздовж лісових доріг за різних умов нахилу поверхні та швидкості вітру із використанням FDS. Автори використали модель «стрічки вогню» довжиною 12 м для вивчення вогнеізолюючої здатності доріг. Проте в межах дослідження не було обґрунтовано вибір саме таких геометричних параметрів вогнища. Оскільки потенційна площа горіння прямо впливає на теплові потоки та динаміку розвитку НЧП, відсутність наукового підтвердження цих параметрів не дозволяє остаточно стверджувати про достовірність отриманих даних щодо вогнестійкості лісосмуг;

- дослідження [8] присвячене оцінці пожежної безпеки на відкритій стоянці для легкового транспорту. В моделі було використано «швидкий» тип розвитку пожежі з максимальною потужністю 4 МВт, що дозволило визначити доступний час евакуації у 190 с. Водночас у роботі не наведено міркувань, на основі яких було обрано саме такі параметри джерела вогню. Зокрема, не зрозуміло, яка площа горіння відповідає заданій потужності та як вона трансформується у часі. Це є недоліком для об'єктивної оцінки результатів моделювання, оскільки потенційна площа горіння є визначальним фактором для швидкості зниження видимості та концентрації кисню;

- у праці [9] проведено моделювання пожежі у будівлі великого театру місткістю понад 1500 осіб. Автори детально задали початкові метеорологічні умови (температуру, вологість, тиск) та проаналізували зміну концентрації чадного газу і показників видимості протягом 600 с. Однак при побудові моделі не було чітко зазначено параметри пожежного навантаження. Проте автори при моделюванні використовували необґрунтовану площу потенційного горіння, що має критичний вплив на динаміку розвитку НЧП, через що результати розрахунків концентрації токсичних газів на шляхах евакуації персоналу можуть бути неточними;

- у дослідженні [10] об'єктом вивчення виступила загальна модель пасажирського автобуса. За допомогою інструментів Pyrosim автори проаналізували специфіку розповсюдження вогню, розділивши процес на чотири стадії. Було встановлено певні обмеження програмного забезпечення при моделюванні транспортних пожеж, проте в результатах зафіксовано перехід пожежі у сталу фазу після 200-ї секунди. Головним недоліком праці є те, що дослідниками не було враховано динаміку зміни площі горіння. Це вносить суттєву похибку в аналіз розповсюдження НЧП у обмеженому просторі салону та знижує цінність роботи як довідкового матеріалу;

- авторами дослідження [11] була розроблена інформаційна модель навчального корпусу коледжу для вивчення процесів задимлення. Під час симуляції в PyroSim та Pathfinder було встановлено, що критичні значення задимленості на сходах першого та другого поверхів досягаються на 63-й та 76-й секунді відповідно, що призводить до блокування евакуаційних шляхів. Незважаючи на детальність побудованої моделі будівлі, в роботі не висвітлено питання формування площі вогнища. Оскільки потенційна площа горіння прямо впливає на інтенсивність виділення диму, відсутність її обґрунтування не дозволяє повною мірою вважати отримані часові показники блокування виходів достовірними;

- у науковій роботі [12] представлено комплексний аналіз пожежної небезпеки будівлі університетського гуртожитку. Автори за допомогою програмного комплексу PyroSim змоделивали сценарії розвитку пожежі, порівнюючи умови з відкритими та закритими вікнами й дверима. В результаті розрахунків було визначено час евакуації, що склав 164,8 с, та надано рекомендації щодо збільшення ширини дверних прорізів і сходів. Проте суттєвим недоліком дослідження є відсутність наукового обґрунтування вихідних параметрів джерела вогню. Зокрема, автори при моделюванні використовували необґрунтовану площу потенційного горіння, що має безпосередній вплив на динаміку розвитку небезпечних чинників пожежі (НЧП) та точність визначеного часу безпечної евакуації.

Проте дослідження, спрямовані на виявлення закономірностей впливу площі пожежі на динаміку поширення її небезпечних чинників в FDS, залишилося поза увагою авторів.

Таким чином, невирішеною частиною розглянутої проблеми є відсутність науково обґрунтованих даних щодо впливу потенційної площі горіння у FDS на значення небезпечних чинників пожежі.

3. Мета та завдання дослідження

Метою роботи є виявлення закономірностей впливу потенційної площі горіння на динаміку поширення небезпечних чинників пожежі у Fire Dynamics Simulator.

Для досягнення мети були поставлені наступні завдання:

- промоделивати поширення небезпечних чинників пожежі із варіюванням потенційної площі горіння;
- порівняти тривалість досягнення небезпечними чинниками пожежі гранично допустимих значень.

4. Матеріали та методи дослідження

Об'єкт дослідження – вплив потенційної площі горіння у FDS на значення небезпечних чинників пожежі.

Основна гіпотеза полягає в тому, що зміна потенційної площі горіння у FDS буде впливати на швидкість досягнення небезпечними чинниками пожежі гранично допустимих значень. Дослідження проводили із використанням програмного забезпечення FDS/PyroSim.

Згідно зі стандартом [2] блокування евакуаційних виходів встановлюється за тим НЧП, який першим досяг гранично допустимого значення. Враховуючи викладене вище та на підставі [4] саме втрата видимості є НЧП, який першим досягає критичних значень. Тому подальше виявлення закономірностей впливу потенційної площі горіння у FDS визначатиметься саме за показником втрати видимості.

Модель будівлі, яка використана у дослідженні, подана на рис. 1. Розроблена модель будівлі включає одне приміщення розмірами 12м x 4м, чотири коридори розмірами 20м x 2м, та 6 евакуаційних виходів, шириною 1м та висотою 2,1 м. Висота стін від підлоги до стелі становить 3 м.

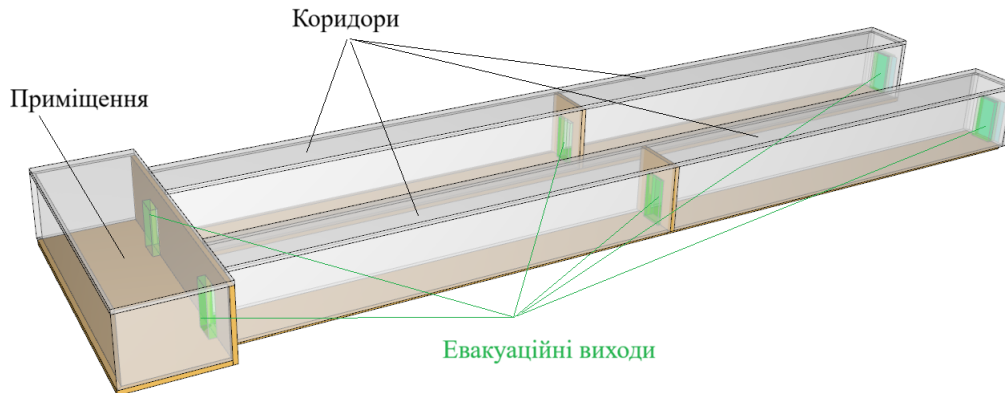


Рис. 1. Розроблена модель будівлі

У рамках дослідження для моделювання пожежі обрано пожежну навантагу типу «Адміністративні приміщення, навчальні класи шкіл, ВНЗ, кабінети поліклінік» із такими показниками: найнижча теплота згоряння: 14000 кДж/кг; лінійна швидкість полум'я: 0,0055 м/с; питома швидкість вигорання: 0,014 кг/(м²·с); дымоутворювальна здатність: 47,7 Нп м²/кг; витрата кисню (O₂): 1,369 кг/кг. Вихід газів: двооксид вуглецю (CO₂): 1,478 кг/кг; оксид вуглецю (CO) або чадний газ: 0,03 кг/кг; хлороводень (HCl): 0,0058 кг/кг.

5. Результати моделювання поширення небезпечних чинників пожежі із варіюванням потенційної площі горіння

Важливим кроком є вибір саме такої потенційної площі горіння, яка повинна бути не меншою за площу, що буде охоплена полум'ям протягом вільного розвитку пожежі.

Отже, враховуючи лінійну швидкість поширення полум'я обраної пожежної навантаги, яка становить 0,0045 м/с та прийнятий часом вільного розвитку пожежі, який становить 300 секунд, потенційна площа горіння повинна бути не меншою, ніж [13]:

$$S_{п.г} \geq S = (V_{л} \cdot t)^2 \cdot \pi, \quad (1)$$

де $V_{л}$ – лінійна швидкість поширення полум'я; t – тривалість вільного розвитку пожежі.

Таким чином, використовуючи формулу (1), потенційна площа горіння для нашого випадку повинна бути не меншою ніж:

$$S_{п.г} \geq S = (0.0045 \cdot 300)^2 \cdot 3.14 = 5,7 \text{ м}^2.$$

Отже, для виявлення впливу потенційної площі горіння на динаміку поширення НЧП у дослідженні прийнято дві потенційні площі горіння, які дорівнюють $S_{п.г}=0,5 \text{ м}^2$ та $S_{п.г}=6 \text{ м}^2$. Для визначення значень НЧП встановлено 6 вимірювачів

біля евакуаційних виходів на висоті 1,7 м від підлоги, що подано на рис. 3.

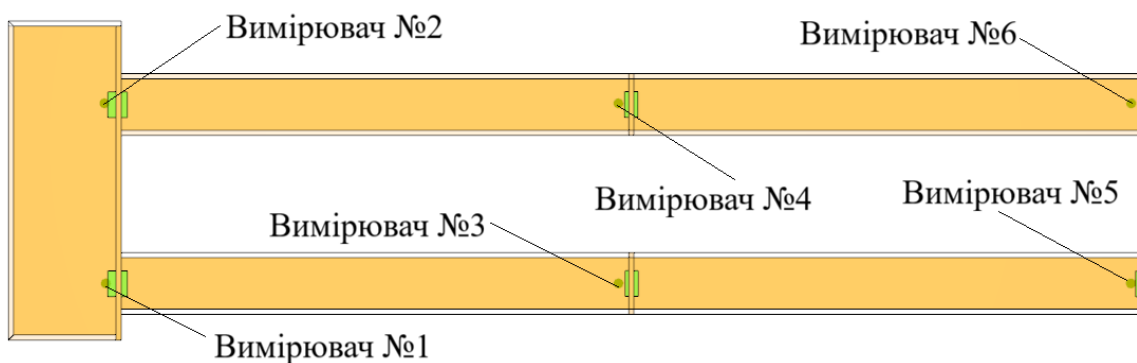


Рис. 3. Місце розміщення вимірювачів небезпечних чинників пожежі

На рис. 4 подано результати вимірювання видимості протягом 300 секунд вільного розвитку пожежі при потенційній площі горіння $0,5 \text{ м}^2$ та 6 м^2 .

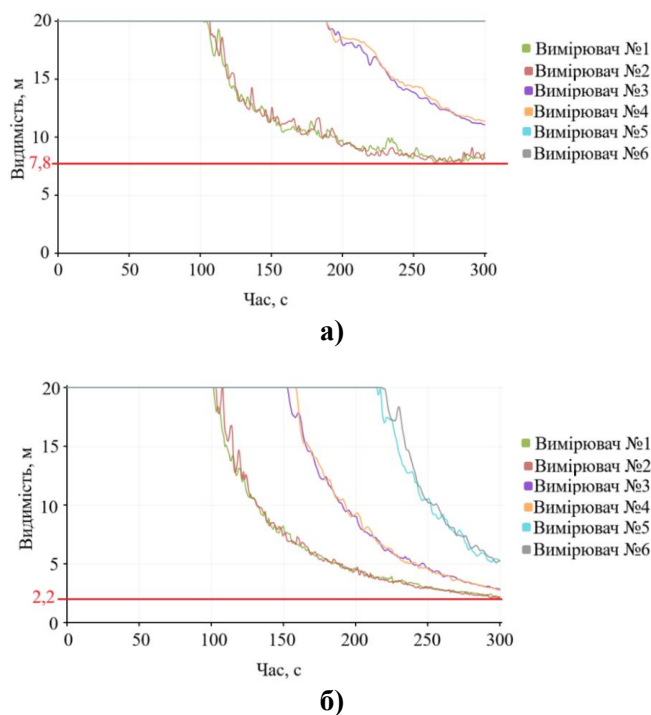


Рис. 4. Графічна залежність динаміки небезпечних чинників пожежі при потенційній площі горіння: а) $0,5 \text{ м}^2$; б) 6 м^2

Наступним кроком є порівняння отриманих результатів.

6. Результати порівняння тривалості досягнення небезпечними чинниками пожежі гранично допустимих значень

У табл. 1 подано зведені результати порівняння зниження видимості нижче гранично допустимого значення, а саме 12 м для приміщення та 20 м для коридорів, при потенційних площах горіння $0,5 \text{ м}^2$ та 6 м^2 .

На рис. 5 подано графічне порівняння результатів зниження видимості на вимірювачах №1–6 при потенційних площах горіння $0,5 \text{ м}^2$ та 6 м^2 .

На рис. 6 подано візуалізацію січних площин, які демонструють зниження видимості у моделі станом на 300-ту секунду вільного розвитку пожежі.

Табл. 1. Результати зниження видимості від потенційної площі горіння

№ вимірювача	Потенційна площа горіння	
	0,5 м ²	6 м ²
Час досягнення гранично допустимого показника за втратою видимості, с		
№ 1	146	121
№ 2	143	125
№ 3	188	152
№ 4	188	159
№ 5	Не блокується	216
№ 6	Не блокується	220

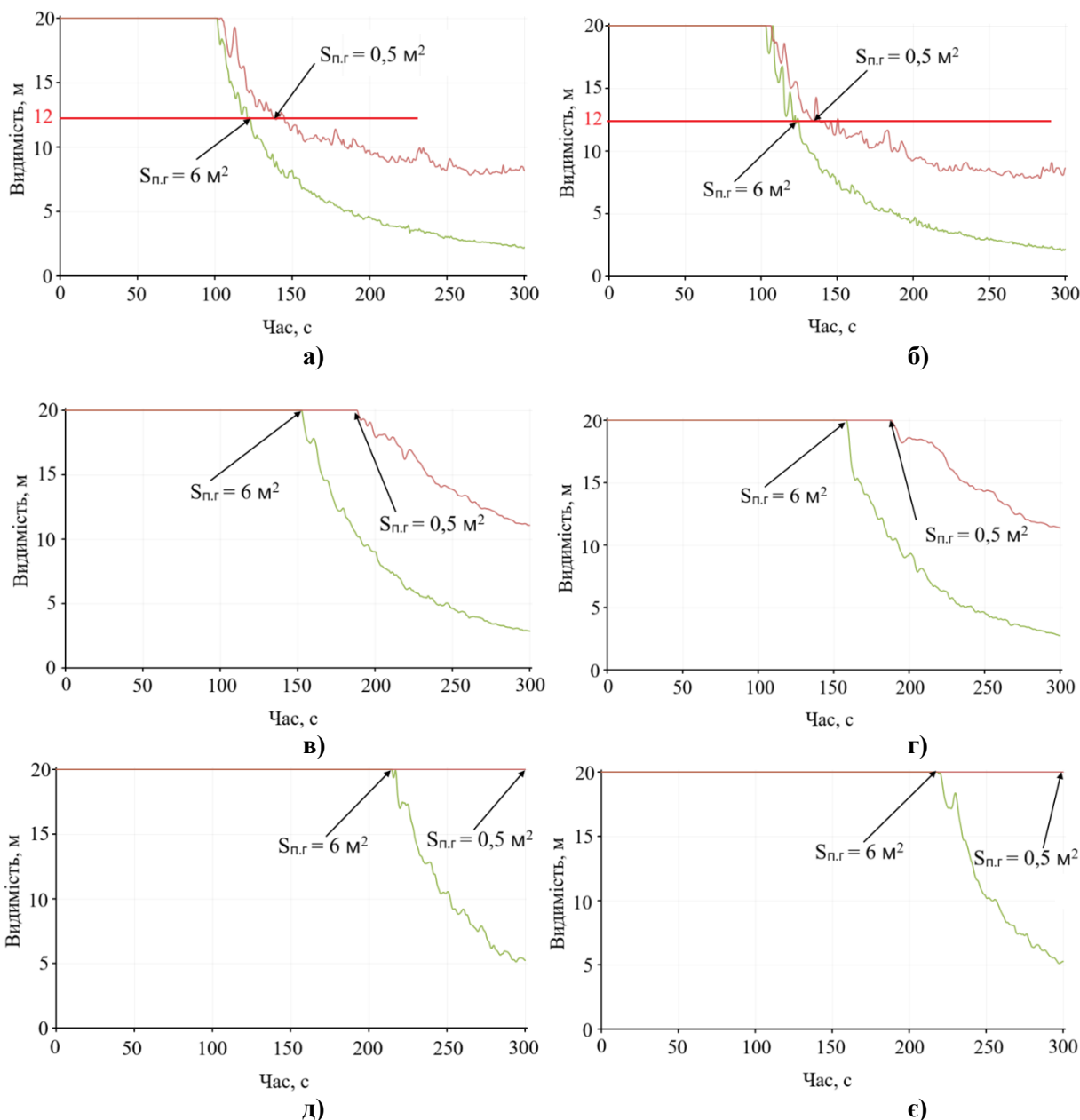


Рис. 5. Порівняння часу досягнення гранично допустимого значення за втратою видимості на: а) вимірювачі № 1; б) вимірювачі № 2; в) вимірювачі № 3; г) вимірювачі № 4; д) вимірювачі № 5; е) вимірювачі № 6

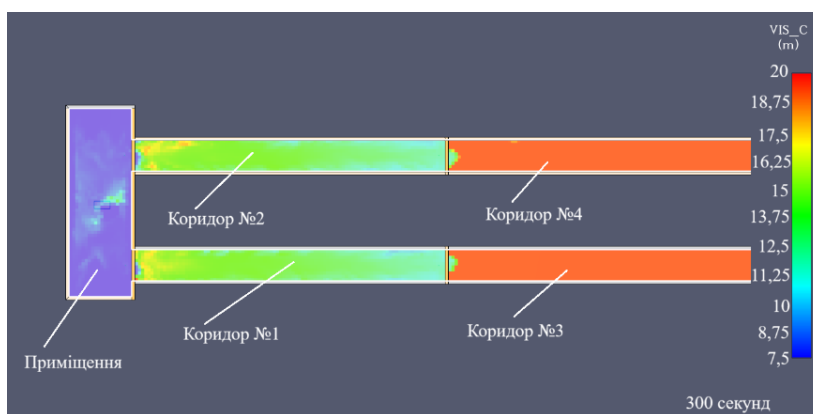
Отримані результати дозволять обґрунтовано обирати площу потенційного горіння при використанні FDS.

7. Обговорення результатів впливу потенційної площі горіння на динаміку поширення небезпечних чинників

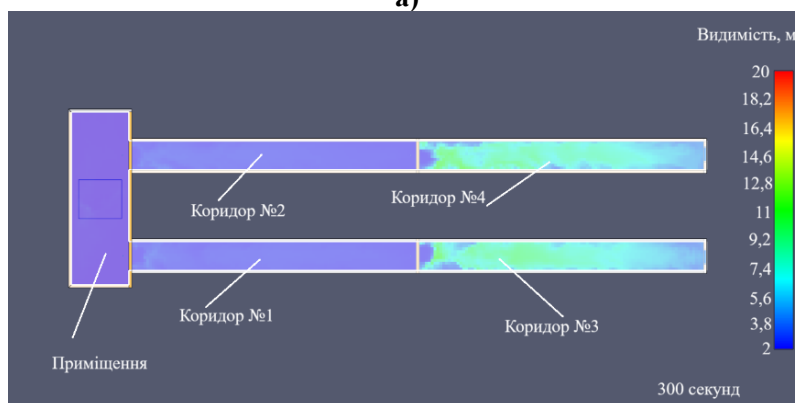
Отримані результати щодо впливу потенційної площі горіння на динаміку поширення небезпечних чинників пожежі, зокрема видимості, свідчать про наступне:

- спостерігається суттєва різниця між часом досягнення видимістю гранично допустимих значень у всіх вимірювальних точках на шляхах евакуації при потенційній площі горіння $0,5 \text{ м}^2$ та 6 м^2 . Цікавим є те, що при потенційній площі горіння $0,5 \text{ м}^2$ показник видимості не знижується нижче ніж $7,5 \text{ м}$ (рис. 4, а), а при потенційній площі горіння 6 м^2 знижується до $2,2 \text{ м}$ (рис. 4, б);

- порівнюючи результати (табл. 1) на вимірювачі № 1 (рис. 5а) втрата видимості при потенційній площі горіння 6 м^2 відбувається на 25 секунд раніше, ніж при потенційній площі горіння $0,5 \text{ м}^2$, на вимірювачі № 2 (рис. 5, б) – на 18 секунд, на вимірювачі № 3 (рис. 5, в) – на 36 секунд, на вимірювачі № 4 (рис. 5, г) – на 29 секунд. У цілому різниця по втраті видимості на вимірювачах № 1, 2, 3, 4 у відсотковому співвідношенні становить 18 %, 13 %, 19 %, 15 % відповідно. На вимірювачах № 5 (рис. 5, д) та №6 (рис. 5, е) при потенційній площі горіння $0,5 \text{ м}^2$, втрата видимості не фіксується взагалі. У свою чергу, при потенційній площі горіння 6 м^2 зниження видимості нижче 20 метрів на вимірювачі № 5 та № 6 відбувається на 216-й та 220-й секунді відповідно. Наглядну візуалізацію демонструють січні площини (рис. 6), з яких зрозуміло, що на 300-й секунді показник видимості у коридорах № 1 та № 2 при потенційній площі горіння $0,5 \text{ м}^2$ знаходиться в межах від 12 до 16 м, а при потенційній площі горіння 6 м^2 значення видимості вже нижче ніж 5 метрів. У коридорах № 3 та № 4 взагалі не відбувається зниження видимості нижче 20 метрів і шлях евакуації залишається безпечним.



а)



б)

Рис. 6. Січна площини видимості при потенційній площі горіння: а) $0,5 \text{ м}^2$; б) 6 м^2

Такі результати можуть бути пояснені саме обмеженням потенційної площі горіння. Штучне зниження площі має прямий вплив на кількість продуктів горіння і на динаміку поширення НЧП в FDS. В такому випадку, наприклад, при оцінці пожежних ризиків, є можливість дійти помилкового висновку щодо умов безпечної евакуації.

Отже, при використанні FDS у частині моделювання НЧП і подальшого визначення умов безпечної евакуації важливим є вибір потенційної площі горіння, при якому не буде відбуватися штучного обмеження. Це можна зробити, користуючись формулою 1, при наявності даних щодо загальної тривалості евакуації та показником лінійної швидкості розповсюдження полум'я пожежної навантаги, яка обрана для моделювання.

Завдяки отриманим результатам моделювання (табл. 1, рис. 4–6), на відміну від [3–11] виявлено вплив потенційної площі горіння на динаміку поширення небезпечних чинників пожежі.

Як обмеження проведеного дослідження слід враховувати, що результати отримані на прикладі однієї моделі, простої конфігурації. Повної картини набуло б моделювання на прикладі типових існуючих будівель.

До недоліків даного дослідження слід віднести те, що було застосовано лише два варіанти потенційної площі горіння при моделюванні.

8. Висновки

1. Запропоновано використання терміну «потенційна площа горіння, $S_{п.г.}$ », тобто максимальна можлива площа, яка може буде охоплена полум'ям протягом тривалості моделювання замість терміну «площа пожежа». Модель будівлі, яка використана у дослідженні, включає в собі одне приміщення розмірами 12м x 4м, чотири коридори розмірами 20м x 2м, та 6 евакуаційних виходів, шириною 1м та висотою 2,1 м. Висота стін від підлоги до стелі становить 3 м. В рамках дослідження для моделювання пожежі обрано пожежну навантагу типу «Адміністративні приміщення, навчальні класи шкіл, ВНЗ, кабінети поліклінік». Для виявлення впливу потенційної площі горіння на динаміку поширення НЧП у дослідженні прийняті потенційні площі горіння, які дорівнюють $S_{п.г.}=0,5 \text{ м}^2$ та $S_{п.г.}=6 \text{ м}^2$. Для визначення значень НЧП встановлено 6 вимірювачів біля евакуаційних виходів на висоті 1,7 м від підлоги. Промодельовано поширення небезпечних чинників пожежі, зокрема видимості із варіюванням потенційної площі горіння у FDS. У результаті спостерігається суттєва різниця між часом досягнення видимістю гранично допустимих значень у всіх вимірювальних точках на шляхах евакуації при потенційній площі горіння $0,5 \text{ м}^2$ та 6 м^2 . При потенційній площі горіння $0,5 \text{ м}^2$ показник видимості не знижується нижче ніж 7,5 м, а при потенційній площі горіння 6 м^2 знижується до 2,2 м.

2. Порівняно тривалість досягнення небезпечними чинниками пожежі гранично допустимих значень, а саме видимості при потенційній площі горіння $0,5 \text{ м}^2$ та 6 м^2 . Різниця у втраті видимості на вимірювачах № 1, 2, 3, 4 у відсотковому співвідношенні становить 18 %, 13 %, 19 %, 15 % відповідно. На вимірювачах № 5 та № 6 при потенційній площі горіння $0,5 \text{ м}^2$, втрата видимості не фіксується взагалі. В свою чергу, при потенційній площі горіння 6 м^2 зниження видимості нижче 20 метрів на вимірювачі № 5 та № 6 відбувається на 216-й та 220-й секунді відповідно. Отже, потенційна площа горіння при моделюванні в FDS повинна бути обрана саме таким чином, щоб не було штучного обмеження поверхні,

по якій може розповсюджуватись полум'я протягом загальної тривалості евакуації. Оскільки при штучному обмеженні потенційної площі горіння відбувається спотворення значень НЧП. В статті запропоновано формулу для обчислення, яка може бути використана при наявності таких даних, як час евакуації та показник лінійної швидкості розповсюдження полум'я пожежної навантаги, яка обрана для моделювання.

Зазначена рекомендація може бути використана під час оцінювання пожежних ризиків, у частині моделювання евакуації при пожежі із використанням програмного комплексу FDS/PyroSIM.

Література

1. Шахов С. М., Виноградов С. А., Савельєв Д. І, Карпова Д. І. Аналіз закордонного досвіду щодо розрахунку часу евакуації. Надзвичайні ситуації: попередження та ліквідація. 2023. Том 7. № 2. С. 29–42. doi: 10.31731/2524.2636.2023.7.2.29.42
2. ДСТУ 8828:2019. Пожежна безпека. Загальні положення. Зі змінами № 1 [Чинний від 2020-01-01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2018. 163 с.
3. Шахов С. М., Виноградов С. А., Поліванов О. Г., Савельєв Д. І. Мельниченко А. С. Особливості методів моделювання швидкості тепловиділення у FIRE DYNAMICS SIMULATOR. Проблеми надзвичайних ситуацій. 2023. № 1(37). С. 79–94. doi: 10.52363/2524-0226-2023-37-6
4. Шахов С. М., Мельниченко А. С., Савельєв Д. І., Демент М. О., Гузь А. С. Вплив протидимних екранів на рівень пожежної безпеки укріттів. Проблеми надзвичайних ситуацій. 2025. № 2(42). С. 304–316. doi: 10.52363/2524-0226-2025-42-20
5. Шахов С. М., Виноградов С. А., Рибка Є. О., Гарбуз С. В., Остапов К. М. Особливості визначення часу евакуації людей з будівель при пожежі. Проблеми надзвичайних ситуацій. 2023. № 2 (38). С. 53–68. doi: 10.52363/2524-0226-2023-38-4
6. D Ming-xin Li, Shun-bing Zhu, Jing-hong Wang, Zheng Zhou. Research on Fire Safety Evacuation in a University Library in Nanjing. Procedia Engineering. 2018. Vol. 211. P. 372–378. doi: 10.1016/j.proeng.2017.12.025
7. Gao Z., Li Z., Wei J., Long T., Wang Q., Shu L. Study on forest road of fire-proof blockade functions based on PyroSim. Journal of Beijing Forestry University. 2020. Vol. 42(9). P. 51–60. doi: 10.12171/j.1000-1522.20200140
8. Yanjie J. A fire simulation method of urban light rail station hall based on building information model and pyrosim software. Journal of Physics. Conference Series. 2021. 1903. 012065. P. 1–7. doi:10.1088/1742-6596/1903/1/012065
9. Hui Z. Evacuation Simulation of Large Theater Based on Pyrosim and Pathfinder. Journal of Physics. Conference Series. 2022. 2289. 012017. P. 1–7. doi:10.1088/1742-6596/2289/1/012017
10. Jian Z. Fire Simulation Research on a Bus Based on Pyrosim. Journal of Physics. Conference Series. 2020. 1678. 012100. P. 1–7. doi:10.1088/1742-6596/1678/1/012100
11. Xu M., Peng D. PyroSim-Based Numerical Simulation of Fire Safety and Evacuation Behaviour of College Buildings. International Journal of Safety and Security Engineering. 2020. № 10. P. 293–299. doi:10.18280/ijss.100218
12. 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

13. McGrattan K., Hostikka S., Floyd J., McDermott R., Vanella M. Fire Dynamics Simulator Technical Reference Guide. Volume 1: Mathematical Model. 6th ed. Gaithersburg : National Institute of Standards and Technology, 2020. 181 p.

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

INFLUENCE OF POTENTIAL BURNING AREA ON THE DYNAMICS OF THE SPREAD OF HAZARDOUS FACTORS OF FIRE

The object of the study is the influence of the potential burning area in Fire Dynamics Simulator on the values of fire hazardous factors. The main hypothesis is that changes in the potential burning area in Fire Dynamics Simulator affect the rate at which fire hazardous factors reach their critical threshold values. The problem addressed in this study was to obtain scientifically substantiated data on the influence of the potential burning area in Fire Dynamics Simulator on the values of fire hazardous factors. The use of the term “potential burning area” is proposed. As a result, data were obtained regarding the influence of the potential burning area on the dynamics of the spread of fire hazardous factors. The results show a significant difference in the time required for visibility to reach its critical threshold values at all measuring points along evacuation routes when the potential burning area is 0.5 m² and 6 m². When the potential burning area is 0.5 m², the visibility indicator does not decrease below 7.5 m, whereas at a potential burning area of 6 m² it decreases to 2.2 m. A comparison was made of the time required for fire hazardous factors to reach their critical threshold values, particularly visibility, for potential burning areas of 0.5 m² and 6 m². The difference in visibility loss at measuring points № 1, 2, 3, and 4 in percentage terms is 18 %, 13 %, 19 %, and 15 %, respectively. At measuring points No. 5 and № 6, when the potential burning area is 0.5 m², visibility loss is not recorded at all. In contrast, when the potential burning area is 6 m², the reduction of visibility below 20 m at measuring points № 5 and No. 6 occurs at 216 s and 220 s, respectively. Thus, the potential burning area in Fire Dynamics Simulator modeling should be selected in such a way that there is no artificial limitation of the surface over which flames can spread during the total evacuation time. Artificial limitation of the potential burning area leads to distortion of the values of fire hazardous factors.

Keywords: fire area, potential burning area, fire simulation, Fire Dynamics Simulator

Referense

1. Shakhov, S. M., Vynohradov, S. A., Saveliev, D. I., Karpova, D. I. (2023). Analysis of foreign experience in calculating evacuation time. *Emergency Situations: Prevention and Elimination*, 7(2), 29–42. doi: 10.31731/2524.2636.2023.7.2.29.42
2. State Standard of Ukraine. (2019). DSTU 8828:2019. Fire safety. General provisions (with Amendment № 1). Vid. ofits. (Original work published 2018).
3. Shakhov, S. M., Vynohradov, S. A., Polivanov, O. H., Saveliev, D. I., Melnychenko, A. S. (2023). Features of heat release rate modeling methods in Fire Dynamics Simulator. *Problems of Emergency Situations*, 1(37), 79–94. doi: 10.52363/2524-0226-2023-37-6
4. Shakhov, S. M., Melnychenko, A. S., Saveliev, D. I., Dement, M. O., Huz, A. S. (2025). Influence of smoke screens on the level of fire safety of shelters. *Problems of Emergency Situations*, 2(42), 304–316. doi: 10.52363/2524-0226-2025-42-20
5. Shakhov, S. M., Vynohradov, S. A., Rybka, E. O., Harbuz, S. V., Ostapov, K. M. (2023). Features of determining evacuation time of people from buildings in case of fire. *Problems of Emergency Situations*, 2(38), 53–68. doi: 10.52363/2524-0226-2023-38-4

6. Li, D. M., Zhu, S. B., Wang, J. H., Zhou, Z. (2018). Research on Fire Safety Evacuation in a University Library in Nanjing. *Procedia Engineering*, 211, 372–378. doi: 10.1016/j.proeng.2017.12.025

7. Gao, Z., Li, Z., Wei, J., Long, T., Wang, Q., Shu, L. (2020). Study on forest road of fireproof blockade functions based on PyroSim. *Journal of Beijing Forestry University*, 42(9), 51–60. doi: 10.12171/j.1000–1522.20200140

8. Yanjie, J. (2021). A fire simulation method of urban light rail station hall based on building information model and PyroSim software. *Journal of Physics: Conference Series*, 1903, 012065, 1–7. doi: 10.1088/1742–6596/1903/1/012065

9. Hui, Z. (2022). Evacuation simulation of large theater based on PyroSim and Pathfinder. *Journal of Physics: Conference Series*, 2289, 012017, 1–7. doi: 10.1088/1742–6596/2289/1/012017

10. Jian, Z. (2020). Fire simulation research on a bus based on PyroSim. *Journal of Physics: Conference Series*, 1678, 012100, 1–7. doi: 10.1088/1742–6596/1678/1/012100

11. Xu, M., Peng, D. (2020). PyroSim-based numerical simulation of fire safety and evacuation behaviour of college buildings. *International Journal of Safety and Security Engineering*, 10, 293–299. doi: 10.18280/ijssse.100218

12. 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

13. McGrattan, K., Hostikka, S., Floyd, J., McDermott, R., Vanella, M. (2020). *Fire Dynamics Simulator Technical Reference Guide. Volume 1: Mathematical Model*. 6th ed. Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology, 181.

Надійшла до редколегії: 10.03.2026

Прийнята до друку: 13.04.2026

Дата публікації (оприлюднення): 31.05.2026