

УДК 614.8

DOI: <https://doi.org/10.31731/2524.2636.2023.7.2.29.42>

Станіслав ВИНОГРАДОВ, кандидат технічних наук, доцент,
(ORCID: 0000-0003-2569-5489),

Станіслав ШАХОВ, PhD, (ORCID: 0000-0002-9161-1696),

Дмитро САВЕЛЬЄВ, кандидат технічних наук, (ORCID: 0000-0002-4310-0437),

Дарина КАРПОВА (ORCID: 0000-0002-1692-3630),

Національний університет цивільного захисту України

АНАЛІЗ ЗАКОРДОННОГО ДОСВІДУ ЩОДО РОЗРАХУНКУ БЕЗПЕЧНОГО ЧАСУ ЕВАКУАЦІЇ

У результаті дослідження визначено розбіжності між підходами до розрахунку безпечного часу евакуації у ДСТУ 8828:2019 та досвідом у США та країнах ЄС.

Таким чином суттєва різниця між PD 7974-6:2004 та ДСТУ полягає у наступному: увага приділяється часу до початку руху, який складається з часу виявлення, часу оповіщення, часу розпізнавання сигналу оповіщення, та часу відгуку на сигнал оповіщення; розрахунок часу до початку руху враховує такі складові, як тип будівлі, рівні менеджменту, час спрацювання системи оповіщення, та стан людей, що евакуюються, зокрема у ДСТУ взагалі не враховуються «рівень менеджменту»; пропонується різноманітне варіювання параметрів, для вибору часу початку евакуації, за рахунок яких моделювання може відтворити сценарій, приближений до реального.

CFRPA-E Guideline No 19:2009 F від ДСТУ має наступні відмінності: запропоновано використання параметру NHR при виборі пожежі, що відображає реальну картину розвитку пожежі; урахування відкритих чи закритих дверей у приміщеннях будівлі, що може бути реалізовано, за допомогою сучасного програмного забезпечення при моделюванні; увага приділяється розрахунку часу початку евакуації, з запропонованими вхідними даними, що враховують тип системи оповіщення, конфігурацію будівлі, стан людей, та рівень менеджменту.

Методологія підходу до моделювання за SFPE суттєво відрізняється від ДСТУ у наступному: при виборі сценарії евакуації суттєва увага приділяється фізіологічним, комунікативним та соціальним складовим об'єктів, що будуть застосовані у моделі; для кожного конкретного сценарію пропонується складання індивідуальної матриці з урахуванням характеристик; запропоновано застосування програмних продуктів з різними особливостями, зокрема моделей зі штучним інтелектом для поведінки люди.

Ключові слова: безпечний час евакуації, ДСТУ 8828:2019, моделювання розвитку пожежі, пожежна безпека, швидкість тепловиділення

Постановка проблеми. Протипожежний захист будь-якого об'єкту досягається комплексом способів, серед яких забезпечення своєчасної та безпечної евакуації людей у разі пожежі або надзвичайної ситуації є першочерговим завданням. Розрахунок часу евакуації з будівель та моделювання розвитку пожежі проводиться згідно методики, викладеної у [1]. Незважаючи на відносно сучасну редакцію ДСТУ 8828:2019, рекомендації, щодо застосування математичних моделей та вхідних даних для проведення розрахунків є у певній мірі застарілими, не оновлювались з 2009 року та не враховують закордонний досвід. Тому питання вдосконалення зазначеного стандарту у частині цієї методики не викликає сумніву та є актуальним завданням у складовій протипожежного захисту.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Питання вдосконалення методології оцінки пожежних ризиків проведено у [2], але слід зауважити, що подане

порівняння рекомендацій та методів потребує більшої уваги та критичного аналізу, у тому числі з іншими закордонними нормативами. Авторами [3] проаналізована методика врахування особливостей маломобільних груп населення, яка рекомендована державними будівельними нормами для використання при розрахунках евакуації з приміщення. У [4] виявлено основні проблемні питання розрахунку часу евакуації при пожежах у закладах дошкільної та середньої освіти з інклюзивними групами. Авторами [5] досліджено моделі та методи програмної реалізації розрахунку тривалості евакуації під час пожежі з будівель та споруд. Використано спрощену математичну модель, для якої розроблено алгоритм розрахунку тривалості евакуації під час пожежі. У дослідженні [6] порівняно особливості методів моделювання горіння пожежної навантаги, що застосовується для визначення розвитку поширення небезпечних чинників пожежі під час розрахунку евакуації. В роботі [7] розглянуто сучасний стан питання евакуації маломобільних груп населення з висотних житлових будинків при пожежі. У [8] розглянуто основні підходи по розрахункам небезпечних чинників пожежі. Проведено порівняльний аналіз результатів розрахунків, що проводились з використанням методик, які перелічені в ДСТУ 8828:2019.

Аналіз літературних джерел показав, що на цей час для розрахунку евакуації та моделювання пожеж використовують методика та рекомендації, що подані в ДСТУ 8828:2019, не враховуючи закордонний досвід, що підтверджує актуальність дослідження.

Методом дослідження є теоретичний аналіз та синтез нормативно-правових актів, стандартів, норм та правил пожежної безпеки провідних країни Євросоюзу та США, у складовій методик розрахунку безпечного часу евакуації.

Формулювання цілей досліджень. Метою дослідження є аналіз закордонного досвіду щодо розрахунку безпечного часу евакуації та виявлення розбіжностей між методикою у ДСТУ 8828:2019 з методами, що використовуються у США та країнах ЄС.

Викладення осинового матеріалу дослідження.

1. Головний принцип Британського стандарту PD 7974-6:2004 [9], полягає у тому, що доступний час евакуації людей більше, ніж необхідний час, що подано на рисунку 1.

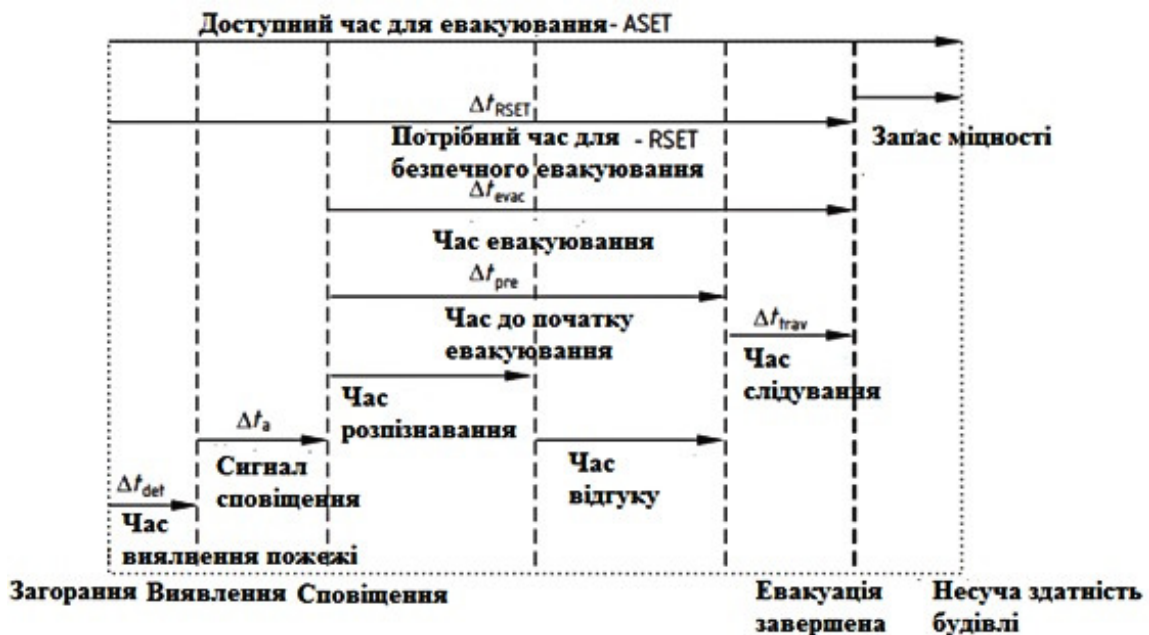


Рисунок 1. Складові елементи часу, необхідного для евакуації [9]

Час, необхідний для евакуації розраховують за формулою, що подано нижче:

$$T_{\text{RSET}} = \Delta t_{\text{det}} + t_a + (\Delta t_{\text{pre}} + \Delta t_{\text{trav}}), \text{ де} \quad (1)$$

- Δt_{det} – час від займання до виявлення пожежі;
- Δt_a – час від виявлення до подання загального попередження про евакуацію людей, що перебувають у приміщенні;
- Δt_{pre} – час перед початком руху людей, які перебувають у будівлі;
- Δt_{trav} – час слідування до безпечного місця.

Залежно від системи сповіщення про пожежу, стандартом [9] для Δt_a встановлено інтервали часу, що подано у табл. 1.

Таблиця 1. Інтервали часу Δt_a .

Тип сигналізації	Характеристика	Затримка до загального оповіщення
A1	Автоматичне виявлення по всій будівлі, що активує негайну загальну тривогу для мешканців усіх приміщень	$\Delta t_a = 0$
A2	Автоматичне виявлення по всій будівлі, що забезпечує попередню тривогу для керівництва або служби безпеки, з активованою вручну системою загального оповіщення, що звучить у всій будівлі	$\Delta t_a = 2\text{-}5 \text{ хв.}$
A3	Локальне автоматичне виявлення та сигналізація лише поблизу місця загоряння, або без автоматичного виявлення, з активованою вручну системою загального оповіщення, що звучить на всій території будівлі	Δt_a , швидше за все, буде довгим та непередбачуваним

Інтервал часу перед початком руху Δt_{pre} визначається з урахуванням таких параметрів як:

- тип системи сигналізації (A);
- тип будівлі (B);
- рівень менеджменту (стратегія евакуації) (M);
- категорії осіб, що перебувають в будівлі (C).

У табл. 2 подано характеристику будівель, за класифікацію стандарту [9].

Таблиця 2. Типи будівель

Тип будівлі	Характеристика
B1	Прямокутна одноповерхова будівля простої конфігурації, з одним або декількома корпусами і простим компонуванням із виходами, що ведуть безпосередньо за межі будівлі
B2	Багатоповерхова офісна або квартирна будівля з простим внутрішнім плануванням
B3	Велика комплексна будівля складної конфігурації, розважальні та торгові центри та аеропорти. Важливі особливості полягають у тому, що внутрішнє планування та огороження часто включають великі і складні простори, так що у людей можуть виникнути труднощі з пошуком шляху під час евакуації і тому управління евакуацією являє собою особливу проблему

У багатьох ситуаціях час, необхідний на початок руху людей з приміщень і подальша евакуація залежить від реалізації стратегії управління рухом (стратегії евакуації). На це впливають такі елементи, як навчання персоналу діям у надзвичайних ситуаціях, практики управління, У табл. 3 подано класифікацію за рівнем менеджменту (стратегії евакуації) згідно стандарту [9]

Таблиця 3. Класифікація за рівнем менеджменту

Рівень менеджменту	Характеристика
M1	Прямокутна одноповерхова будівля простої конфігурації, з одним або декількома корпусами і простим компонуванням із виходами, що ведуть безпосередньо за межі будівлі. Будівля рівня B3 або B2 із системою системи оповіщення A1.
M2	Аналогічний до рівня M1, але має нижче співвідношення персоналу. Особливості будівлі можуть бути рівня B1 або B2 та рівень системи оповіщення A2.
M3	представляє стандартні об'єкти із мінімальним базовим управлінням пожежною безпекою. Будівля може бути рівня B1 та системи оповіщення A3.

У табл. 4 подано різні комбінації характеристики (типів) людей, що можуть знаходитися у приміщеннях згідно [9].

Таблиця 4. Характеристики людей

Тип	Стан	Знайомство з приміщенням	Густина людей	Корпус	Приклади типів будівлі
A1	Не спить	Знайомий	низька	Один чи багато	Офіс або промислове приміщення
B1 B2	Не спить Не спить	Не знайомий	Висока Висока	Один чи декілька Один	Магазин, ресторан, театр, кінозал
Ci	В стані сну Довгострокове заселення: індивідуальне	Знайомий	Низька	Декілька	Житлове приміщення, без менеджменту протягом 24 годин
Cii	Кероване заселення				Обслуговувані квартири, гуртожитки тощо
Ciii	В стані сну	Не знайомий	Низька	Багато	Готель, хостел
D	Медичне обслуговування	Не знайомий	Низька	Багато	Лікарня, або стаціонар
E	В дорозі	Не знайомий	Висока	Багато	Вокзал (аеропорт)

Стандартом визначено, що інтервал часу перед початком руху Δt_{pre} слід розділяти на 2 періоди:

- період між підняттям загальної тривоги та евакуацією перших кількох осіб: час перед переміщенням перших агентів: $1\% t_{pre}$ (перші агенти);

- подальший розподіл часу до початку руху для групи агентів. Це може бути виражено, як розподіл окремих інтервалів часу або представлений остаточною часом, на початку руху останньої людини: $99\% t_{pre}$.

У табл. 5 подано інтервали часу початку евакуації [9], в залежності від параметрів, що розглянуті вище для різних сценаріїв моделювання.

Таблиця 5. Інтервал часу перед початком руху Δt_{pre}

Сценарій для моделювання	Перші люди 1 % Δt_{pre}	Розподіл 99 % Δt_{pre}
A M1 B1 – B2 A1 – A2 M2 B1 – B2 A1 – A2 M3 B1 – B2 A1 – A3	0,5 1 >15	1,0 2 >15
B M1 B1 A1 – A2 M2 B1 A1 – A2 M3 B1 A1 – A3	0,5 1 >15	2 3 >15
Ci M2 B1 A1 M3 B1 A3 Cii M1 B2 A1 – A2 M2 B2 A1 – A2 M3 B2 A1 – A3 Ciii M1 B2 A1 – A2 M2 B2 A1 – A2 M3 B2 A1 – A3	5 10 10 15 >20 15 20 >20	5 >20 15 20 >20 20 25 >20
D (наприклад, клініка, обстеження) M1 B1 A1 – A2 M2 B1 A1 – A2 M3 B1 A1 – A3 (стаціонар) M1 B2 A1 – A2 M2 B2 A1 – A2 M3 B2 A1 – A3	0,5 1 >15 5 10 >10	2 3 >15 10 20 >10

Розглянутий стандарт [9] не охоплює методику розрахунку час блокування шляхів евакуації небезпечними чинниками пожежі.

Суттєва різниця між PD 7974-6:2004 та ДСТУ 8828:2019 полягає у наступному:

- увага приділяється часу до початку руху, який складається з часу виявлення, часу оповіщення, часу розпізнавання сигналу оповіщення, та часу відгуку на сигнал оповіщення;
- розрахунок часу до початку руху враховує такі складові, як тип будівлі, рівні менеджменту, час спрацювання системи оповіщення, та стан людей, що евакуюються (табл. 1-4.), зокрема у ДСТУ 8828:2019 взагалі не враховуються «рівень менеджменту»
- пропонується різноманітне варіювання параметрів, для вибору часу початку евакуації, за рахунок яких моделювання може відтворити сценарій, приближений до реального (табл. 5).

2. Конфедерація асоціацій протипожежного захисту Європи розроблено рекомендації CFPA-E Guideline No 19:2009 F [10]. Щодо розрахунку безпечного часу евакуації, у рекомендаціях використаний принцип, який дублює PD 7974-6:2004[9]:

$$T_{SAFETY} = T_{ASET} - T_{RSET} \quad (2)$$

На відміну від PD 7974-6:2004 [9] та ДСТУ 8828:2019 [1], у рекомендаціях [10] пропонується вибір можливого сценарію пожежі, параметри розвитку якої визначаються швидкістю тепловиділення (Heat release rate). HRR може бути отриманий шляхом узагальнення експериментальних даних, або конкретним дослідженням обраного пожежного навантаження. Від цього параметра залежить швидкість заповнення приміщення продуктами згорання, і як наслідок розповсюдження небезпечних чинників пожежі. Приклад використання цього параметра при дослідженнях за допомогою програмних продуктів подано на рис. 2 [10].

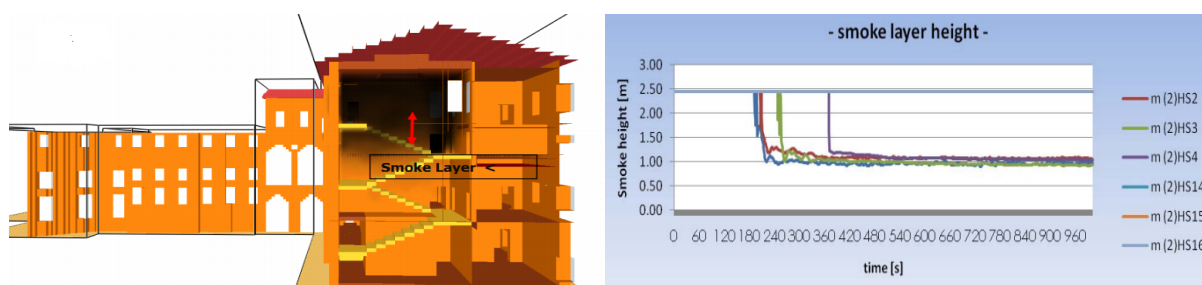


Рисунок 2. Приклад застосування програмного забезпечення з 3D візуалізацією розповсюдження диму по будівлі

National Institute of Standards and Technology (NIST) широко впроваджує проведення натурних експериментів для визначення HRR з річних видів пожежної навантаги [11].

Зростання потужності тепловиділення протікає із прискоренням. Для широкого кола сценаріїв виявлено, що зростання потужності тепловиділення Q може бути представлене квадратичною залежністю [12]:

$$\dot{Q} = a(t - t_0)^2, \quad (3)$$

де t_0 – момент початку зростання HRR (с).

Чисельне значення коефіцієнта a (кВт/с²) залежить від типу пожежного навантаження, характерного для даної категорії приміщень. Значення t_0 залежить не тільки від властивостей пожежного навантаження, а й від способу займання. У той же час значення коефіцієнта a характеризує пожежне навантаження та динаміку розвитку пожежі.

У міжнародному стандарті [13], визначено чотири категорії пожеж, що відрізняються швидкістю зростання потужності тепловиділення. Що наведено у табл. 6.

Таблиця 6. Класифікація зростання швидкості тепловиділення при пожежі

Швидкість зростання	a , кВт/с ²	t_i
Низька	0,0029	600
Середня	0,012	300
Висока	0,047	150
Надвисока	0,188	75

Регулювання зростання HRR, до постійного значення регулюється за рахунок швидкості поширення полум'я по площі горіння. Залежність потужності тепловиділення HRR у часі по квадратичному закону можливо інтерпретувати не лише як результат збільшення швидкості тепловиділення з одиниці площі HRRPUA (Heat release rate per unit area), але і як наслідок збільшення площі вогнища. Для вогнища, що має форму кола, межі якого розширюються із постійною швидкістю, залежність наступна[12]:

$$\dot{Q}(t) = \dot{Q}'' A(t) = \dot{Q}'' \frac{\pi R^2(t)}{4} = \dot{Q}'' \frac{\pi}{4} V_0^2 t^2 = at^2, \text{де} \quad (4)$$

$$a = \dot{Q}'' \frac{\pi}{4} V_0^2.$$

Рівність (4) показує, що при заданій питомій потужності тепловиділення \dot{Q}'' завдання коефіцієнта a еквівалентно завданням лінійної швидкості розширення вогнища V_0 .

Швидкість тепловиділення у часі визначається експериментальним шляхом у дослідних лабораторіях[11]. Приклад кривої, отриманої під час дослідження горіння пожежної навантаги подано на рис. 3.

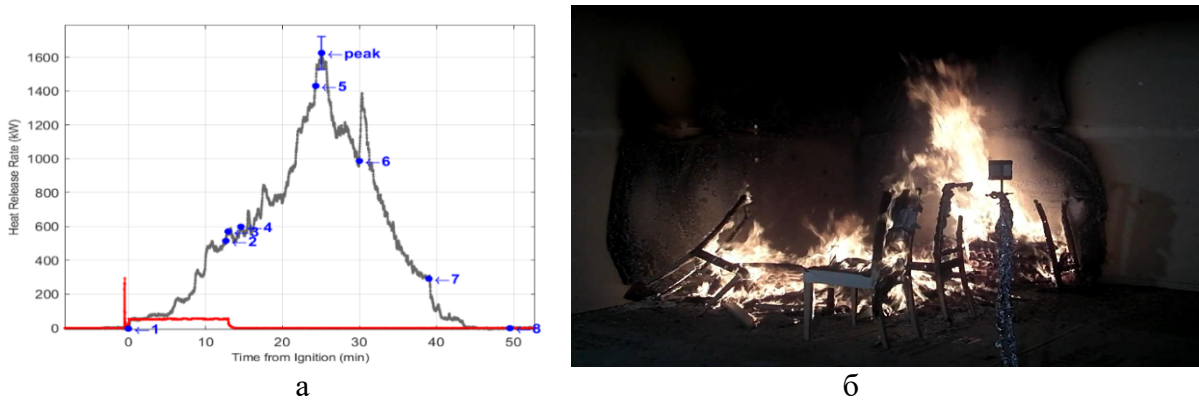


Рисунок 3. Приклад кривої, отриманої під час дослідження горіння пожежної навантаги[11]: *a* – крива швидкості тепловиділення, отримана під час експериментального дослідження; *б* – горіння пожежної навантаги

У другому випадку ці криві можуть бути змодельовані, спираючись на [12]. Приклад побудови кривої зміни HRR у часі (*a*) та умови моделювання (*б*) подано на рис. 4.

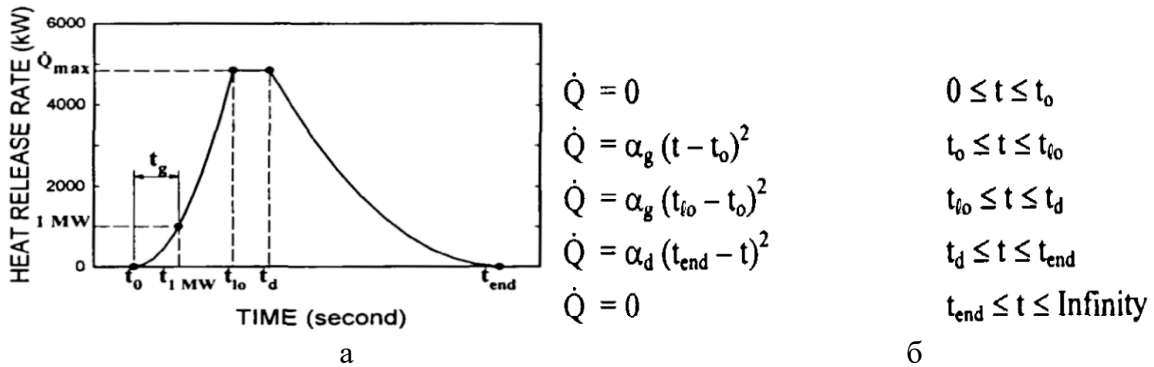


Рисунок 4. Приклад побудови кривої зміни та умови моделювання [12]: *a* – крива зміни швидкості тепловиділення; *б* – умови моделювання

До основних параметрів, які необхідно використовувати для моделювання кривої зміни HRR у часі слід віднести наступні:

- $Q_i = 1055 \text{ кВт} \approx 1 \text{ МВт}$ згідно з стандартом [3],
- t_0 – час початку зростання HRR,
- t_{1MW} – швидкість зростання до значення 1 – МВт,
- t_g – час зростання від t_0 до 1Мвтт,
- t_{t0} – час зростання до пікового показника HRR,
- t_d – період часу, коли HRR залишається сталою,
- t_{end} – час припинення горіння,
- α_g – швидкість зростання тепловиділення, α_d – швидкість зниження HRR.

Приклад відповідних значень для різних речовин та матеріалів наведений у [12].

Thunderhead Engineering Consultants запропоновано розрахунковий калькулятор HRR. Завдяки калькулятору можливо побудування кривої швидкості тепловиділення у часі, спираючись на дані, зазначені у [12]. В інструменті задано більше 60 різноманітних матеріалів з відповідними даними, що надає змогу побудувати криві для різних типів пожежної навантаги.

При моделюванні пожежі слід враховувати такі параметри як:

- тип горючих матеріалів;
- місце розташування пожежної навантаги;
- швидкість тепловиділення;
- вентиляція;
- стан дверей (відчинені чи зачинені, або в змінному положенні)

Щодо методики розрахунку часу для евакуації, рекомендації [10] не мають відмінностей від PD 7974-6:2004 [9]. Для моделювання пропонуються однакові параметри стосовно характеристик людей, типу будівель, варіантів систем оповіщення, та рівня менеджменту [9] Зокрема, при виборі інтервалу часу до початку руху людей Δt_{pre} пропонуються дані, що подано у табл. 1, та у таблиці 7.

Таблиця 7

Тип приміщення та характеристика людей	W1 (хв)	W2 (хв)	W3 (хв)
Офісні, комерційні та промислові будівлі, школи, коледжі та університети (Мешканці прокинулися та знайомі з будівлею, сигналами системи оповіщення та планом евакуації)	< 1	3	> 4
Магазини, музеї, центри відпочинку та спорту інші зборові будівлі (мешканці прокинулися, але можуть бути незнайомим із будівлею, системами сигналізації та планом евакуації)	< 1	3	> 4
Гуртожитки, житлові будинки багатопверхові (мешканці можуть спати, але знайомі з об'ємно-планувальними рішеннями, системою сигналізації та планом евакуації)	< 1	3	> 4
Готелі та пансіонати (мешканці можуть спати, але переважно не знайомі з об'ємно-планувальними рішеннями, системою сигналізації, планом евакуації)	< 1	3	> 4
Лікарня, будинок престарілих та ін.. (значна кількість мешканців потребує допомоги)	< 1	3	> 4

Щодо характеристик систем оповіщення оповіщення:

- W1: живі директиви за допомогою системи голосового зв'язку від диспетчерської, або живі директиви в поєднанні з добре навченим персоналом, якого бачать і чують усі мешканців у просторі;
- W2: недирективні голосові повідомлення (попередньо записані) та/або інформативний попереджувальний візуальний дисплей з навченим персоналом;
- W3: система оповіщення за допомогою сигналу пожежної тривоги та персоналу.

Отже відмінність CFPA-E Guideline No 19:2009 F [10] від ДСТУ 8828:2019 [1] полягає у наступному:

- запропоновано використання параметру NHR при виборі пожежі, який може бути отриманий експериментальним шляхом, та реалізований надалі у програмних продуктах, що відображає реальну картину розвитку пожежі;
- урахування відкритих чи закритих дверей у приміщеннях будівлі, що може бути реалізовано, за допомогою сучасного програмного забезпечення при моделюванні;
- увага приділяється розрахунку часу початку евакуації, з запропонованими вхідними даними, що враховують тип системи оповіщення, конфігурацію будівлі, стан людей, та рівень менеджменту.

3. SFPE Guide to Human Behavior in Fire [14] спирається на підхід та використання даних [15]. Під час розрахунку пропонується наступна методологія щодо вибору сценаріїв евакуації:

- визначити кількість людей та їх місцезнаходження;
- визначаються характеристики мешканців з погляду їх фізичних та когнітивних здібностей. Моделі людей повинні обиратися таким чином, щоб моделювання було реалістичним.
- визначити діяльності мешканців (сон або бадьорий стан, та ступінь зайнятості)

Приклад такої моделі (індивідуальної матриці) для готелю-ресторану подано у табл. 8.

Таблиця 8. Модель варіювання характеристик людей

Характеристика	Гості готелю	Відвідувачі ресторану	Співробітники готелю
Знайомство з будівлею	Короткочасне	Короткочасне	Добре знайоме
Навчання ППБ	відсутнє	відсутнє	присутнє
Вік	дорослі та діти	Дорослі; діти	дорослі
Обмеження щодо здоров'я	Можливі різноманітні	Можливі різноманітні	Можливі незначні
Стан алкогольного сп'яніння	Можливий	Можливий	Можливий
Стан бадьорості	В стані сну/бадьорі	Бадьорі	Бадьорі
Соціальні групи	Окремі люди, сім'ї, пари	Окремі люди, сім'ї, пари, групи	Окремі люди, співробітники
Тип діяльності	Гості	Гості	Менеджери, підлеглі

При виборі моделей для дослідження безпечного часу евакуації слід враховувати та спиратися на наступні параметри:

- час затримки перед початком евакуації (кількісні дані, наведені в чинних стандартах або отримані дослідним шляхом);

- час від загорання до виявлення (шляхом моделювання, при визначеному типі сповіщувача про пожежу, або врахування людського чинника, при виявленні пожежі особисто);

- час від виявлення до оповіщення (залежить від типу системи оповіщення, або від людського чинника, якщо пожежа виявлена людиною);

- швидкість руху (наведені в чинних стандартах, або отримані дослідним шляхом);

- доступні варіанти маршруту до евакуаційних виходів (залежить від сценарію розвитку пожежі);

- вибір шляху (залежить від знайомства з будівлею, руху інших людей, помітності виходу і т.д.);

- щільність потоку;

- варіювання характеристик людей (мобільність, вибір визначеного напрямку руху, знайомство з будівлею, фізичні особливості, стан свідомості, стан алкогольного сп'яніння і т.д).

На цей час доступні програмні забезпечення, які можуть враховувати різноманітну поведінку людини. Зведена таблиця відомість, щодо програмних апаратів подана у табл. 9 [15].

Таблиця 9. Програмні засоби для моделювання агентів евакуації

Модель	Розробник	Доступність	Метод моделювання	Структура поведінки	Вихідні дані
EVACNET4	Kisko, Francis, and Nobel/Univ. of FL, U.S.	Y	M-O	N/A	T
WAYOUT	Shestopal/Fire Modelling & Computing, AU	Y	M	N/A	V
STEPS	Mott MacDonald, U.K.	Y	M/PB	D	V
PedGo	TraffGo, Germany	Y	PB/B	S	V
PEDROUTE	Halcrow Fox Associates, U.K.	Y/N3	PB	D	V
Simulex	Thompson/IES, U.K.	Y	PB	V	V
GridFlow	Purser and Bensilum/BRE, U.K.	Y	PB	D	V
ASERI	Schneider/I.S.T. GmbH, Germany	Y	B-RA	S	V
BldEXODUS	Galea and FSEG/University of Greenwich, U.K.	Y	B	S	V
Legion	Legion International, Ltd., U.K.	Y	B	S	V
FDS + Evac	VTT, NIST, Helsinki Univ of Tech	Y	PB	S	V
Pathfinder	Thunderhead Engineering	Y	PB	D	V
SimWalk	Savannah Simulations AG	Y	PB	S	V

Продовження таблиці 9

PEDFLOW	Edinburgh Napier University, Transport Research Institute	Y	B	S	V
SpaceSensor	Sun/de Vries	Y	B	S	V
EPT	Regal Decision Systems, Inc.	Y, N1	B	AI	V
MassMotion	Arup	Y, N1	B	AI, S	V
Myriad II	Keith Still	Y, N1	B	AI	V
ALLSAFE	InterConsult Group ASA, Norway	N1	PB	D	V
CRISP	Fraser-Mitchell/BRE, U.K.	N1	B-RA	S	V
EGRESS 2002	Ketchell/AEA Technology, U.K.	N1	B	S	V
SGEM Lo/University in Hong Kong	SGEM Lo/University in Hong Kong	N1	PB	D	V
EXIT89 U.S.	Fahy/NFPA,	N2	PB	D	T
MASSEgress	Stanford University (Civil and Env Engineering)	N2	B	S	T
EvacuationNZ	Spearpoint/University of Canterbury, NZ	N2	B	S	V

Доступ: Y – модель доступна для громадськості безкоштовно або за плату; N1 – компанія використовує модель для клієнтів на консультаційній основі; N2 – модель ще не випущена; N3 – модель більше не використовується;

Метод моделювання: M – модель руху; M-O – моделі руху/оптимізації; PB – часткова модель поведінки; B – поведінкова модель; B-RA – поведінкова модель з можливостями оцінки ризику; B-AI – поведінкова модель з можливістю штучного інтелекту;

Витонченість поведінки: D – детермінована; S – стохастична; AI – штучний інтелект;

Вихідні дані: T – текстовий вихід; V – візуальний вихід.

Виходячи з вищевикладеного, методологія підходу до моделювання за SFPE Guide to Human Behavior in Fire [14] суттєво відрізняється від ДСТУ 8828:2019 [1] у наступному:

- при виборі сценарії евакуації суттєва увага приділяється фізіологічним, комунікативним та соціальним складовим об'єктів, що будуть застосовані у моделі;
- для кожного конкретного сценарію пропонується складання індивідуальної матриці з урахуванням характеристик;
- запропоновано застосування програмних продуктів з різними особливостями, зокрема моделей зі штучним інтелектом для поведінки люди.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальшого розвитку

Проведений аналіз дозволив встановити, що у країнах ЄС та США рекомендації та методики розрахунку безпечного часу евакуації мають суттєві відмінності із ДСТУ 8828:2019. Регулюючі нормативні та керівні документи застосовують підхід, яких охоплює врахування таких параметрів, як:

- часу до початку руху, який складається з часу виявлення, часу оповіщення, часу розпізнавання сигналу оповіщення, та часу відгуку на сигнал оповіщення;

- розрахунок часу до початку руху враховує такі складові, як тип будівлі, рівні менеджменту, час спрацювання системи оповіщення, та стан людей, що евакуюються з різноманітним варіюванням;

- застосування параметру NHR при виборі пожежі, який може бути отриманий експериментальним шляхом, та реалізований надалі у програмних продуктах, що відображає реальну картину розвитку пожежі;

- урахування відкритих чи закритих дверей у приміщеннях будівлі, що може бути реалізовано, зо допомогою сучасного програмного забезпечення при моделюванні;

- для кожного конкретного сценарію евакуації пропонується складання індивідуальної матриці з урахуванням характеристик;

- застосування програмних продуктів з різними особливостями, зокрема моделей зі штучним інтелектом для поведінки люди.

За результатами аналізу можна дійти висновку, що сьогодні відсутня оптимізована та універсальна методологія, як єдиний підхід для дослідження безпечної евакуації людей шляхом моделювання.

Подальшим розвитком даного напрямку є виявлення реального часу безпечної евакуації людей при пожежі з будівель та споруд згідно з рекомендаціями та вимогами українських нормативних документів, ДСТУ 8828:2019 та ДБН В.2.5-56:2014 за допомогою програмних засобів,

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. ДСТУ 8828:2019. Пожежна безпека. Загальні положення. [Чинний від 2020-01-01]. Вид. офіц. Київ, 2018. 163 с. Режим доступу: https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/dstu_8828_2019.pdf

2. Ковалишин В. В., Оношко І. В. Аналіз методології оцінювання пожежних ризиків. Пожежна безпека. 2022. № 41. С. 94–102. <https://doi.org/https://doi.org/10.32447/20786662.41.2022.11>

3. Данова К.В., Хворост М.В., Малишев В.В. Врахування обмежень життєдіяльності осіб з інвалідністю при розрахунку часу евакуації. Проблеми надзвичайних ситуацій. 2020. № 1(31). С. 55-67. DOI: 10.5281/zenodo.3901949

4. Хлевной О.В., Харижин Д. Ю., Назаровець Д.В. Проблемні питання розрахунку часу евакуації при пожежах у закладах дошкільної та середньої освіти з інклюзивними групами. Пожежна безпека. 2020. №37. С. 72-76. <https://doi.org/https://doi.org/10.32447/20786662.37.2020.11>

5. Хлевной О. В., Гаврись А. А., Ковальчук В. В. Розробка та реалізація алгоритму розрахунку тривалості евакуації під час пожежі за спрощеною аналітичною моделлю. Надзвичайні ситуації: попередження та ліквідація», 2023. №7 (1). С.169-181. DOI:<https://doi.org/10.31731/2524.2636.2023.7.1.169.181>

6. 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. № 36. С. 79-94. <https://doi.org/10.52363/2524-0226-2023-37-6>

7. Maiboroda P., Otrosh Ю., Rashkevich H. and Melezhyk P.. Assessment of the fire resistance of buildings from fireproof reinforced concrete building structures. Municipal economy of cities. 2023. №4 (178). 219–231. DOI:<https://doi.org/10.33042/2522-1809-2023-4-178-219-231>.

8. Цвіркун С.В., Удовенко М. Ю. Моделювання пожежі в навчальній аудиторії з використанням програмного комплексу BlenderFDS. Надзвичайні ситуації: попередження та ліквідація. 2020. №4 (1). С. 80-85. <https://doi.org/10.31731/2524-2636.2020.4.1>

9. PD 7974-6:2004. The application of fire safety engineering principles to fire safety design of buildings —Part 6: Human factors: Life safety strategies — Occupant evacuation, behaviour and condition (Sub-system 6), 2004. Режим доступу: https://kupdf.net/download/pd-7974-6-2004_59f43fdde2b6f5f073480423_pdf
10. CFPA-E Guideline No 19:2009 F. Fire safety engineering concerning evacuation from buildings, 2009. Режим доступу: https://cfpa-e.eu/app/uploads/2022/05/CFPA_E_Guideline_No_19_2009.pdf
11. Fire Calorimetry Database (FCD). doi.org/10.18434/mds2-2314
12. Hyeong-Jin Kim and David G. Lilley. (2000). Heat Release Rates of Burning Items in Fires. AIAA 2000-0722, 38th Aerospace Sciences Meeting & Exhibit, Reno, NV.
13. NFPA 204 Standard for Smoke and Heat Venting/NFPA, 2018
14. SFPE Guide to Human Behavior in Fire. Second edition, 2019. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-94697-9>
15. SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 5th edition, 2016. <https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2565-0>

REFERENCES

1. DSTU 8828:2019. Fire safety. General principles. Access mode: https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/dstu_8828_2019.pdf
2. Onoshko, I., Kovalyshyn, V. (2022). Analysis of fire risk assessment methodology. Fire safety, 41, 94-102. <https://doi.org/https://doi.org/10.32447/20786662.41.2022.1112>.
3. Danova, K., Khvorost, M., Malysheva, V. (2020). Accounting of the activity limitations of persons with disability in evacuation time calculation. Problems of emergency situations, 1(31), 55-67. DOI: 10.5281/zenodo.3901949
4. Khlevnoy, O., Kharyshyn, D., & Nazarovets, O. (2020). Problem issues of evacuation time calculation during fires in preschool and secondary education institutions with inclusive groups. Fire Safety, 37, 72-76. <https://doi.org/https://doi.org/10.32447/20786662.37.2020.11>
5. Khlevnoy, O., Havrys, A., Kovalchuk, V. (2023). Development and implementation of the algorithm for calculating emergency evacuation duration according to a simplified analytical model. Emergency Situations: Prevention and Liquidation, 7 (1), 169-181. DOI:<https://doi.org/10.31731/2524.2636.2023.7.1.169.181>
6. Shakhov, S., Vinogradov, S., Polivanov, O., Saveliev, D. Features of heat release rate simulation methods in fire dynamics simulator. Problems of emergency situations, 36, 79-94. <https://doi.org/10.52363/2524-0226-2023-37-6>
7. Maiboroda P., Otrosh Ю., Rashkevich H. and Melezhyk P. (2023). Assessment of the fire resistance of buildings from fireproof reinforced concrete building structures. Municipal economy of cities. 4, 178, 219-231. DOI:<https://doi.org/10.33042/2522-1809-2023-4-178-219-231>.
8. Tsvirkun, S., Udovenko, M. (2020). Classroom fire modeling by using BlenderFDS. Emergency Situations: Prevention and Liquidation, 4 (1), 80-85. <https://doi.org/10.31731/2524-2636.2020.4.1>
9. PD 7974-6:2004. (2004). The application of fire safety engineering principles to fire safety design of buildings, Part 6: Human factors: Life safety strategies — Occupant evacuation, behaviour and condition. https://kupdf.net/download/pd-7974-6-2004_59f43fdde2b6f5f073480423_pdf
10. CFPA-E Guideline No 19:2009 F. (2009). Fire safety engineering concerning evacuation from buildings, https://cfpa-e.eu/app/uploads/2022/05/CFPA_E_Guideline_No_19_2009.pdf
11. Fire Calorimetry Database (FCD). doi.org/10.18434/mds2-2314
12. Hyeong-Jin Kim and David G. Lilley. (2000). Heat Release Rates of Burning Items in Fires. AIAA 2000-0722, 38th Aerospace Sciences Meeting & Exhibit, Reno, NV.

13. NFPA 204 Standard for Smoke and Heat Venting (2018). NFPA.
14. 2. SFPE Guide to Human Behavior in Fire. (2019). <https://doi.org/10.1007/978-3-319-94697-9>
15. SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. (2016). <https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2565-0>

Stanislav VINOGRADOV, PhD, (ORCID: 0000-0003-2569-5489),
Stanislav SHAKHOV, PhD, (ORCID: 0000-0002-9161-1696),
Dmytro SAVELIEV, PhD., (ORCID: 0000-0002-4310-0437)
Daryna KARPOVA (ORCID: 0000-0002-1692-3630)
National University of Civil Protection of Ukraine

ANALYSIS OF FOREIGN EXPERIENCE REGARDING CALCULATION OF SAFE EVACUATION TIME

The study identified the differences between approaches to calculating the safe evacuation time in DSTU 8828: 2019 and experience in the US and EU countries.

Thus, the significant difference between the PD 7974-6: 2004 and DSTU is the following: attention is paid to the start of the movement, which consists of the time of detection, time of the alert, the time of recognition of the alert signal, and the time of response to the alert signal; The calculation of time before the beginning of movement takes into account such components as the type of building, level of management, time of operation of the alert system, and the condition of the evacuated people, in particular, DSTU does not take into account the "level of management" at all; A variety of parameters is proposed to choose the time of evacuation, through which modeling can reproduce the script, approached to the real one.

CFPA-E Guideline No 19: 2009 F from DSTU has the following differences: it is proposed to use the HHR parameter when selecting a fire that reflects a real picture of fire development; taking into account open or closed doors in the premises of the building that can be implemented, the help of modern software in modeling; Attention is paid to the calculation of the start time of the evacuation, with the proposed input data that take into account the type of alert system, the configuration of the building, the condition of the people, and the level of management.

The methodology of the SFPE modeling approach is significantly different from DSTU in the following: when choosing an evacuation scenario, significant attention is paid to physiological, communicative and social components that will be used in the model; For each specific scenario, it is proposed to draw up an indental matrix, taking into account the characteristics; The use of software products with different features, including models with artificial intelligence for behavior, is proposed.

Keywords: *safe time of evacuation, DSTU 8828: 2019, fire development modeling, fire safety, hear release rate.*