



*I. A. Оношко<sup>1</sup>, В. В. Ніжник<sup>2</sup>, О. М. Чекригін<sup>3</sup>, Т. М. Шналь<sup>4</sup>*

<sup>1</sup>Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, м. Львів, Україна

<sup>2</sup>Інститут державного управління та наукових досліджень ЦЗ, м. Київ, Україна

<sup>3</sup>Одеський державний університет внутрішніх справ, м. Одеса Україна

<sup>4</sup>Національний університет "Львівська Політехніка", м. Львів, Україна

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5793-1680> – I. A. Оношко

<https://orcid.org/0000-0003-3370-9027> – В. В. Ніжник

<https://orcid.org/0009-0007-4921-3348> – О. М. Чекригін

<https://orcid.org/0000-0002-4226-9513> – Т. М. Шналь



[i.onoshko@ldubgd.edu.ua](mailto:i.onoshko@ldubgd.edu.ua)

## АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСУ ПОЧАТКУ ЕВАКУАЦІЇ ЛЮДЕЙ НА ПОЖЕЖІ

**Проблема.** Невпинний розвиток суспільства, форм та методів будівництва, технічний і технологічний прогрес створили нові виклики для проведення досліджень процесів евакуації під час пожеж чи надзвичайних ситуацій. Спектр таких досліджень в умовах сьогодення формувався в парадигмі потреб не лише розв'язання математичних рівнянь із врахуванням поведінкових та психофізіологічних потреб і особливостей учасників, але й моделювання нових правил евакуації, які впливають на взаємодію учасників евакуації з навколишнім середовищем і між собою. Очевидно, що рівень індивідуального пожежного ризику залежить від наявності технічних засобів протипожежного захисту та в деякій мірі це полегшує «навантаження» на керівників (власників) суб'єктів господарювання, але не завжди впливає на проведення вчасної та безпечної евакуації під час пожежі. Можна стверджувати, що не в повному обсязі є дослідженими процеси впливу часу початку евакуації на величину індивідуального пожежного ризику відповідно до умов сьогодення.

**Мета роботи.** Аналіз сучасного стану досліджень визначення часу початку евакуації, методів його розрахунку та аналіз експериментальних досліджень для виявлення і узагальнення чинників, що впливають на значення часу початку евакуації людей під час пожежі.

**Методи дослідження.** У роботі використані: статистичний метод і метод теоретичного узагальнення та вирішені такі завдання: проаналізовано стан забезпечення пожежної безпеки об'єктів захисту; проаналізовано вітчизняні нормативні документи щодо визначення часу початку евакуації; проаналізовано закордонні джерела і рішення щодо розрахунку часу початку евакуації людей на пожежі та експериментальних досліджень процесів евакуації.

**Основні результати дослідження.** Виконаний аналіз дасть змогу отримати глибоке розуміння аспектів пожежної безпеки об'єктів захисту і виявити слабкі місця у застосованих методах визначення необхідного часу початку евакуації людей з метою мінімізації індивідуального пожежного ризику.

**Висновки.** Ризики, що призводять до загибелі людей на пожежах, демонструють потребу в дослідженні, розробці і впровадженні більш ефективних форм та методів запобігання виникненню надзвичайних ситуацій. Встановлено, що наукових обґрунтувань розрахунку часу початку евакуації все ще мало і відповідно розкриття особливостей впливу чинників (об'єм приміщення, пожежне навантаження, кількість та характеристика людей) на значення часу початку евакуації людей під час пожежі є важливим науковим завданням, вирішення якого є підґрунтям для удосконалення методу оцінювання рівня безпеки людей під час пожежі.

**Ключові слова:** протипожежний захист, час початку евакуації, евакуація, індивідуальний пожежний ризик.

## **ANALYSIS OF RESEARCH DETERMINED EVACUATION START TIME PEOPLE ON FIRE**

**Introduction.** The constant development of society, forms and methods of construction, and technical and technological progress have created new challenges for conducting research on evacuation processes during fires or emergencies. The spectrum of such research in today's conditions was formed in the paradigm of the needs not only of solving mathematical equations taking into account the behavioural and psychophysiological needs and characteristics of the participants, but also of modelling new evacuation rules that affect the interaction of evacuation participants with the environment and with each other. It is obvious that the level of individual fire risk depends on the availability of technical means of fire protection, and to some extent, this eases the "load" on managers (owners) of business entities but does not always affect timely and safe evacuation during a fire. It can be argued that the processes of influence of the time of the start of evacuation on the value of the individual fire risk in accordance with today's conditions have not been fully investigated.

**Purpose.** Analysis of the current state of research on the determination of the time of the start of evacuation, methods of its calculation and analysis of experimental studies to identify and generalise the factors affecting the value of the time of the start of evacuation of people during a fire.

**Methods:** The work used: a statistical method and a method of theoretical generalisation, and the following tasks were performed: the state of ensuring fire safety of protection objects was analysed; domestic regulatory documents regarding the determination of the time of the start of evacuation were analysed; analysed foreign sources and decisions regarding the calculation of the time of the start of the evacuation of people on fire and experimental studies of evacuation processes.

**Results.** The performed analysis will allow us to gain a deep understanding of the aspects of fire safety of protected objects and identify weaknesses in the applied methods of determining the necessary time to start the evacuation of people to minimize individual fire risk.

**Conclusions.** Risks leading to the death of people in fires demonstrate the need for research, development and implementation of more effective forms and methods of preventing emergencies. It has been established that there are still few scientific grounds for calculating the time of the start of evacuation and, accordingly, the disclosure of the features of the influence of factors (volume of the room, fire load, number and characteristics of people) on the value of the time of the start of the evacuation of people during a fire is an important scientific task, the solution of which is the basis to improve the method of assessing the level of people's safety during a fire.

**Keywords:** fire protection, pre-evacuation time, evacuation, individual fire risk.

**Постановка проблеми.** Пожежна безпека будівель і споруд характеризується рівнем безпеки людей та (або) матеріальних цінностей, а також рівнем наслідків (збитків) від настання небезпечних подій [1].

Одним з останніх прикладів пожежі з загибеллю великої кількості людей через службову недбалість і грубе порушення вимог правил пожежної безпеки в Україні є пожежа в одному з навчальних закладів м. Одеси, яка виникла 4 грудня по вул. Троїцька, 25. Загоряння виникло об 10 годині зранку на 3-му поверсі 6-поверхової будівлі в Одеському коледжі економіки, права та готельно-ресторанного бізнесу. Крім коледжу в будівлі були розташовані такі науково-дослідні установи, як Інститут морської біології НАН України, Одеська філія інституту археології НАН України, підрозділи Фізико-хімічного інституту ім. Богатського НАН України та декілька інших установ і приватні компанії. У будівлі на момент події перебувало близько 400 осіб, зокрема саме у коледжі перебувало 230 осіб, із яких 165 студентів. Перші підрозділи, які прибули до місця виклику,

констатували полум'яне горіння на площі близько 700 м<sup>2</sup> на третьому поверсі будівлі та засвідчили загрозу розповсюдження вогню по всій площі будівлі. Станом на 11:40 – площа пожежі перевищила 2 тис. м<sup>2</sup> і силами ДСНС було евакуйовано 40 осіб, лише об 13:00 було завершено повну евакуацію людей з будівлі. Всього вдалося врятувати 40 осіб, з них 22 особи виведено по внутрішніх сходових клітках та 18 – за допомогою драбин і пожежних автопідіймачів. Внаслідок пожежі загинуло 16 та 30 осіб травмовано [2,3].

У «Звіті урядової комісії з розслідування причин виникнення пожежі в Одеському коледжі економіки, права та готельно-ресторанного бізнесу, що виникла 4 грудня 2019 року, утвореної, відповідно до розпорядження Кабінету Міністрів України від 6 грудня 2019 року № 1223-р» [4], основною версією причини пожежі стало загоряння побутового електрообладнання, ймовірно обігрівача, але основною причиною загибелі людей було абсолютне порушення правил пожежної безпеки: від порушення протипожежного режиму на об'єкті з масовим

перебуванням людей, унеможливлення проведення оповіщення людей про пожежу і проведення безпечної евакуації до відсутності технічних засобів протипожежного захисту.

Разом з тим, як показує практика, не лише наявність технічних засобів протипожежного захисту на об'єкті з масовим перебуванням людей сприяє проведенню швидкої та безпечної евакуації людей. В даному випадку студенти та персонал були знайомі архітектурно-планувальними особливостями будівлі і орієнтувались по наявних шляхах евакуації. Разом з тим, відповідно до виявлених порушень в ході досудового слідства за фактом даної пожежі – саме грубе ігнорування виконання організаційних заходів: не забезпечення встановлення протипожежного режиму на об'єкті; не проведення інструктажів та навчань персоналу і здобувачів освіти; не проведення періодичних відпрацювань порядку дій на випадок пожежі та не вміння користуватись первинними засобами пожежогасіння тощо – призвело до затримки початку проведення евакуації, втрати часу для проведення безпечної евакуації і в подальшому до важких наслідків.

Очевидно, що наявність технічних засобів протипожежного захисту на об'єктах значно спрощує та до певної міри полегшує «навантаження» на керівників (власників) суб'єктів господарювання в частині забезпечення безпеки людей, але не завжди впливає на проведення вчасної та безпечної евакуації під час пожежі.

Таким чином, можна стверджувати, що не в повному обсязі є дослідженими процеси впливу часу початку евакуації на величину індивідуального пожежного ризику відповідно до умов сьогодення. Зокрема не має належного наукового обґрунтування формули розрахунку часу початку евакуації у [1], що обумовлює актуальність досліджень у визначеному напрямку.

#### **Аналіз останніх досліджень та публікацій.**

Питаннями проведення безпечної евакуації людей під час пожеж науковці країн Європи та Сполучених Штатів Америки згідно з офіційними джерелами активно почали займатись з 30-х років минулого століття. Вперше у звіті в 1935 році [5] було встановлено номінальний час (2,5 хв) повної евакуації людей з приміщення осередку пожежі – за основу у звіті було взято час евакуації глядачів (2,5 хв) під час пожежі в театрі Empire Palace в Единбурзі у 1911 році. Таким чином, вперше був проведений розрахунок і встановлений числовий показник пропускної спроможності – 40 осіб за хвилину на 0,53 м

ширини евакуаційного виходу.

Традиційно в Європі та Сполучених Штатах Америки розрахунок часу евакуації фактично проводився за допомогою простих рівнянь, що базувались на концепції, згідно з якою рух людей прирівнювали до руху рідин. Основними факторами, які враховувалися під час розрахунків евакуації, були: відстань до виходу, швидкість руху та розмір потоку людей через основні шляхи евакуації [6].

З 90-х років минулого століття і донині моделювання процесів евакуації розвивається у напрямку поступового впровадження поведінкових факторів у розрахункові моделі. Це відображається в поступовому переході від моделей на основі математичних рівнянь до моделювання процесів взаємодії учасників процесу евакуації у випадку пожежі [7].

Невпинний розвиток суспільства, форм та методів будівництва, технічний і технологічний прогрес створили нові виклики для проведення досліджень евакуаційних процесів під час пожеж чи інших надзвичайних ситуацій. Спектр таких досліджень в умовах сьогодення формувався в парадигмі потреб не лише розв'язання математичних рівнянь із врахуванням поведінкових та психофізіологічних потреб і особливостей учасників, але й моделювання нових правил евакуації, які впливають на взаємодію учасників евакуації з навколишнім середовищем і між собою. На сьогодні в країнах Європи, в Австралії, Канаді та Сполучених Штатах Америки використовують різні моделі для відображення поведінки людини під час пожежі. У працях авторів [7-9] описані та винесені на обговорення чотири поведінкові моделі, які використовують під час проведення розрахунків часу евакуації, а саме: модель «послідовності поведінки»; модель «роль-правило»; афіліативна модель; модель соціального впливу (залежності).

Ці моделі є теоретичним підґрунтям якісного інтерпретування поведінкових та психо-емоційних особливостей, які впливають на прийняття рішень людьми під час евакуації при пожежі. На сьогодні у відповідності до міжнародних норм, зокрема ISO TR16738 [10], BS PD 7974-6 [11], the Society of Fire Protection Engineering Handbook [12] під час проведення розрахунків часу евакуації використовується модель розрахунку часу проведення повної евакуації, кожний часовий відрізок якої представляє окрему фазу процесу, а представлення поведінки людей здійснюється шляхом підсумовування цих часових відрізків [13]. (рис. 1).

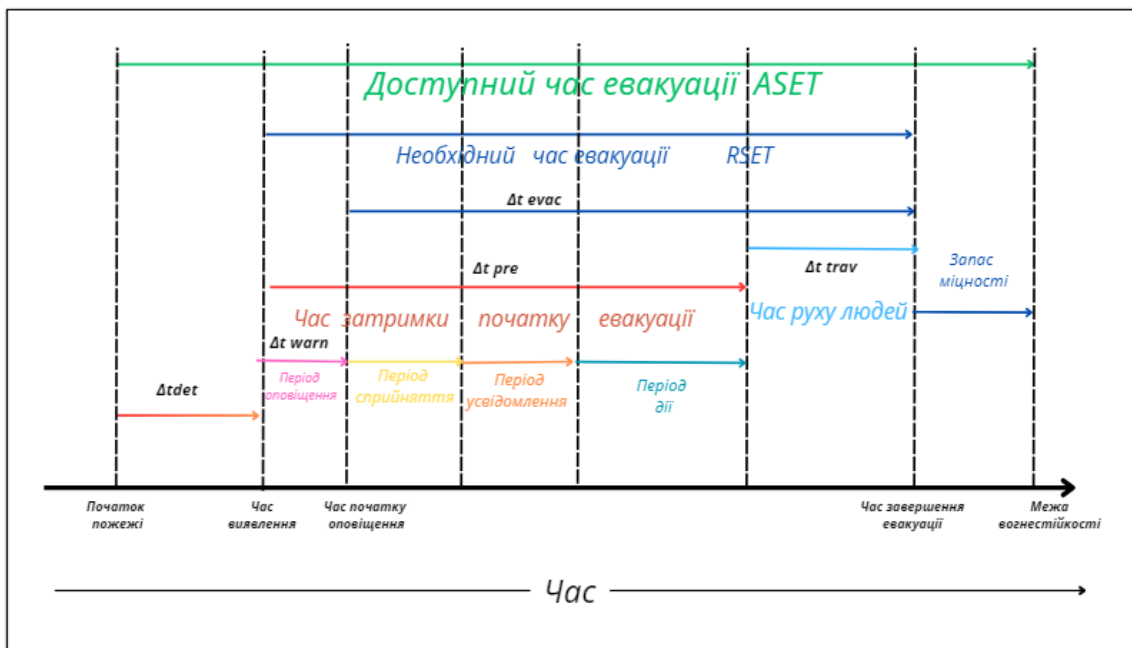


Рисунок 1 – Модель розрахунку процесу евакуації

Відповідно до рис. 1, необхідний час проведення безпечної евакуації розраховується за формулою:

$$RSET = \Delta t_{det} + \Delta t_{warn} + \Delta t_{pre} + \Delta t_{trav} \quad (1)$$

де  $\Delta t_{det}$  – часовий відрізок від початку пожежі до моменту її виявлення;  $\Delta t_{warn}$  – часовий відрізок від моменту виявлення пожежі до початку централізованого оповіщення людей про пожежу;  $\Delta t_{pre}$  – час затримки початку евакуації людей, який складається з деяких етапів: часовий період сприйняття інформації про небезпеку, часовий період усвідомлення небезпеки, часовий період дії (реакції) – період після того, як люди розпізнають сигнали тривоги та починають на них реагувати, але до початку фази руху;  $\Delta t_{trav}$  – це час руху людей до безпечного місця або назовні [12-13].

В роботі проведено аналіз визначення саме часу початку евакуації, визначень поняття якого у закордонній літературі є декілька, а саме: pre-travel activity time – час перед вирушенням, pre-movement time – час до початку руху, pre-evacuation time – час перед початком евакуації, delay time to start – час затримки перед початком руху [14-17]. Але науковці однакові, що власне термін початку евакуації повинен охопити весь спектр аналізу перед прийняттям рішення і порядок прийняття рішень людьми перед їх свідомою евакуацією, а саме: збір інформації про підтвердження небезпечної події, підготовка до евакуації, пов'язана зі збором особистих речей або завершенням операційної діяльності, допомога чи оповіщення інших людей, гасіння

пожежі тощо. Саме ці дії спричинюють затримку руху людини в безпечне місце, тому ця фаза у математичних моделях розрахунку часу евакуації вказується як час затримки, час очікування або час реакції (дії) [18].

В наукових працях автори зазначають, що час початку евакуації може залежати від кількох внутрішніх і зовнішніх факторів, таких як рівень очевидної необхідності евакуації [19], особисті якості людей, їх походження, гендер тощо [20], можливий досвід потерпання від пожежі, рівень підготовки, тип систем протипожежного захисту об'єкта, рівень виконання організацій заходів та загального менеджменту забезпечення пожежної безпеки [31] тощо.

В своїй роботі автор [22] зазначає, що під час моделювання процесів евакуації можуть бути використані різні підходи визначення часу початку евакуації, але до прикладу, в роботах [24-26] для проведення комп'ютерного моделювання часу повної евакуації людей – значення часу початку евакуації для різних категорій осіб було фіксоване (табличний показник) або псевдовипадкове число, отримане з довільного розподілу. Такий підхід в моделюванні часу евакуації передбачає, що люди, яких необхідно евакуювати, повинні чекати на своєму початковому місці, доки не мине певний час затримки, а потім починають цілеспрямований рух до безпечного місця.

Альтернативним варіантом моделювання евакуації в роботі [26] було запропоновано визначення двох окремих часових відрізків затримки/очікування окремими особами або групами осіб, що представило час розпізнавання та

час відповіді (реакції). В цьому випадку значення були фіксовані або такі, що отримані за допомогою генератора псевдовипадкових значень із задалегідь визначених розподілів.

Як показав аналіз в роботах [12, 27-29] досліджувались процеси евакуації із використанням найбільш складного підходу до моделювання, а саме визначення чіткої моделі поведінки відповідно до типу задіяного населення, тип будівлі, пильність людей, рівень знайомства з будівлею та набору психо-емоційних особливостей та можливих реакцій, які демонструватиме індивід або група індивідуумів. Загалом відомі моделі евакуації дають змогу використовувати різні типи розподілу, такі як рівномірний, нормальний, логарифмічний нормальний, усічений нормальний, гамма-, бета-, трикутний, метод Вейбулла, експоненціальний, метод Гамбеля [23-28, 30].

У різних дослідженнях закордонних авторів було виявлено, що час початку евакуації може бути апроксимований у багатьох сценаріях за допомогою нормального або логарифмічного розподілу [29]. Таким чином, вибір користувачів моделі з точки зору розподілів, прийнятих для представлення часу початку евакуації, залежить від наявності даних для цього конкретного типу будівлі та населення (користувачів, відвідувачів), що розглядається, а також від припущень, прийнятих на етапі початку моделювання процесу евакуації.

Таким чином, проведений аналіз закордонних джерел щодо методів розрахунків тривалості евакуації з будівель та споруд та моделюванні цих процесів [8-21] свідчить про відсутність єдиного підходу до розрахунку часу початку (затримки) евакуації та впливу його значення на моделювання процесів евакуації і на індивідуальний пожежний ризик в приміщеннях і будівлях різного призначення.

**Метою роботи** є аналіз сучасного стану досліджень визначення часу початку евакуації, методів його розрахунку та аналіз експериментальних досліджень для виявлення і узагальнення чинників, що впливають на значення часу початку евакуації людей під час пожежі.

**Методи дослідження.** У роботі використані: статистичний метод і метод теоретичного узагальнення з метою виконання таких завдань:

- проаналізувати стан забезпечення пожежної безпеки об'єктів захисту;

- проаналізувати вітчизняні нормативні документи щодо визначення часу початку евакуації;
- проаналізувати закордонні джерела і рішення щодо розрахунку часу початку евакуації людей на пожежі та експериментальних досліджень процесів евакуації.

### **Результати роботи**

Стаття 55. Кодексу цивільного захисту України декларує, що «пожежна безпека і її забезпечення є невід'ємною складовою діяльності держави щодо захисту життя та здоров'я людини, майна і навколишнього природного середовища від пожеж» [31].

В свою чергу, Правилами пожежної безпеки в Україні декларується, що пожежна безпека повинна бути забезпечена шляхом проведення організаційних заходів та технічних засобів, спрямованих на запобігання пожежам, забезпечення безпеки людей, зниження можливих майнових втрат і зменшення негативних екологічних наслідків у разі їх виникнення, створення умов для успішного гасіння пожеж (*п.4 розділ 1.*)»[32], або іншими словами: «пожежна безпека об'єкта захисту забезпечується системою запобігання пожежі, комплексом протипожежного захисту та системою управління пожежною безпекою об'єкта (далі -СУПБ)» [1].

Як визначено в [1], СУПБ являє собою комплекс заходів з перевірки, аналізу і оцінки стану пожежної безпеки об'єкта захисту з метою прийняття відповідних управлінських рішень. В свою чергу, **комплекс протипожежного захисту** – ні що інше, як сукупний набір технічних засобів протипожежного захисту на об'єкті захисту, а також заходів щодо забезпечення безпечної евакуації людей, обмеження поширення пожежі, обслуговування об'єкта захисту пожежно-рятувальними підрозділами, безпеки пожежно-рятувальних підрозділів, що призначені для захисту людей, матеріальних цінностей та довкілля від впливу пожежі.

Так, основною метою СУПБ, відповідно до вимог ДСТУ 8965:2019 «Система управління пожежною безпекою об'єкта захисту» [33], є створення умов для запобігання виникненню а розвитку пожежі, впливу небезпечних чинників пожежі на людей, інших живих істот, матеріальні цінності та довкілля [33]. На рис. 2 схематично зображено основні завдання СУПБ об'єкта захисту.



Рисунок 2 – Основні завдання системи управління пожежною безпекою об'єкта захисту (п. 5.3. [33])

Як видно з рис. 2, одним із завдань, але не першочерговим, є забезпечення зниження ймовірності виникнення пожежі та підвищення ймовірності успішного евакуювання людей і матеріальних цінностей у разі виникнення пожеж на об'єкті захисту, підвищення ефективності ліквідації пожежі, або іншими словами – підвищення рівня пожежної безпеки, зокрема людей, та індивідуального пожежного ризику.

Відповідно до [1], в порядку проведення розрахунку індивідуального пожежного ризику здійснюється ґрунтовний аналіз чинників, які впливають на вибір розрахункового методу, а саме: аналіз пожежної небезпеки в частині чинників, що впливають на визначення сценарію виникнення та розвитку пожежі; аналіз об'ємно-планувальних рішень, що впливають на визначення розрахункової схеми евакуації людей; аналіз ймовірної ефективності спрацювання систем протипожежного захисту:

В додатку А ДСТУ [1] описано порядок розрахунку рівня пожежної безпеки людей та індивідуального пожежного ризику.

Так, рівень пожежної безпеки людей обчислюється за формулою :

$$P_B = 1 - R_1, \quad (2)$$

де  $P_B$  – рівень пожежної безпеки людей на об'єктах;  $R_1$  – розрахункове значення індивідуального ризику на окрему людину в рік.

В [1] розрахункове значення індивідуального ризику  $R_1$  розраховується за формулою:

$$R_1 = Q_{\text{п}} \cdot P_{\text{пр}} \cdot (1 - P_e) \cdot (1 - K_{\text{сгс}}) \cdot (1 - K_{0.3}) \cdot (1 - K_{\text{п.ф}}), \quad (3)$$

де  $Q_{\text{п}}$  – частота виникнення пожежі в будівлі чи споруді;  $P_{\text{пр}}$  – ймовірність перебування людей у будівлі і споруді;  $P_e$  – ймовірність евакуації людей із будівлі чи споруди;  $K_{\text{сгс}}$  – коефіцієнт ймовірної ефективності спрацювання систем протипожежного захисту;  $K_{0.3}$  – коефіцієнт запровадження організаційних заходів протипожежного захисту;  $K_{\text{п.ф}}$  – коефіцієнт наявності протипожежних формувань.

Ймовірність перебування людей у будівлі і споруді визначається за формулою:

$$P_{\text{пр}} = \frac{t_{\text{функц}}}{24}, \quad (4)$$

де  $t_{\text{функц}}$  – термін перебування людей у будівлі в годинах.

Слід зазначити, що досвід ведення господарської діяльності під час пандемії COVID-19 та безсумнівно широкомасштабна війна внесли трансформації і в галузь трудового права. Так, згідно з чинним законодавством, в умовах мирного часу «нормальна тривалість робочого часу не може перевищувати 40 годин на тиждень». Ця норма регулює робочий час виключно персоналу, але в жодному разі не обмежує графік добової експлуатації будівель і споруд різного призначення [34].

Найбільш поверхневий аналіз графіків роботи закладів громадського харчування, торгово-розважальних центрів, со-working платформ, фудкортів та інших об'єктів багатофункціонального призначення з потенційним перебуванням великої кількості людей як у Львові, так і в інших великих містах України (крім зони безпосереднього чи близького до ведення бойових дій) показує, що середня тривалість робочого дня варіюється в діапазоні з 7:30-8:00 (відкриття об'єкта) до 21:00-22:00 (закінчення роботи) – в середньому 14 годин щоденної експлуатації будівлі без вихідних.

Таким чином, очевидно, що запропоновані в [1] числові значення показника (коефіцієнта) ймовірності перебування людей у будівлі і споруді ( $P_{пр}$ ) є не актуальними та потребують додаткових досліджень.

Окремо слід зупинитись, на порядку визначення числового значення ймовірності евакуації людей із будівлі чи споруди  $P_e$ .

Так, ймовірність евакуації людей із будівлі чи споруди розраховується за формулою:

$$P_e = \begin{cases} 0,999 \cdot \frac{0,8 \cdot t_{бл} - t_p}{t_{не}}, & \text{якщо } t_p < 0,8 \cdot t_{бл} < t_p + t_{не} \text{ та } t_{ск} \leq 6 \text{ хв} \\ 0,999, & \text{якщо } t_p + t_{не} \leq 0,8 \cdot t_{бл} < t_{ск} \leq 6 \text{ хв} \\ 0,000, & \text{якщо } t_p \leq 0,8 \cdot t_{бл} < t_{ск} > 6 \text{ хв} \end{cases} \quad (5)$$

де  $t_p$  – розрахункова тривалість евакуації людей;  $t_{не}$  – тривалість початку евакуації;  $t_{бл}$  – тривалість блокування шляхів евакуації;  $t_{ск}$  – тривалість існування скупчень людей на певній ділянці [1].

Також, відповідно до [1], визначення розрахункової тривалості евакуації людей із приміщень будівель і споруд проводять із застосуванням однієї з трьох математичних моделей, а саме:

- спрощена аналітична модель руху людського потоку;
- математична модель індивідуально-потокowego руху людей із будівлі чи споруди;
- імітаційно-стохастична модель руху людських потоків.

Як вже було зазначено в роботах [11-14, 35,36,38,39], час початку евакуації є одним із ключових компонентів розрахунку, від якого

залежить загальний час тривалості евакуації людей з будівель під час пожежі. Відповідно до [1], в Україні є чинним порядок визначення часу початку як для приміщень осередку пожежі, так і для будівель, в яких виникла пожежа, в цілому. Так, для приміщення осередку пожежі час початку евакуації  $t_{не}$  (с) розраховується за формулою:

$$t_{не} = 5 + 0,01 \cdot F \quad (6)$$

де  $F$  – площа приміщення,  $m^2$ .

Для будинків значення тривалості від початку евакуації  $t_{не}$  визначається з таблиці А.3 із зміною 1 [1].

Обов'язково слід зазначити, що математичний вираз, представлений формулою (6), є абсолютно некоректним оскільки одиниці вимірювання в правій частині (с) не відповідають одиницям виміру лівої частини ( $m^2$ ). Очевидно, що множник – «0,01» є певним коефіцієнтом з розмірністю можливо  $c/m^2$ , що було скоріш за все упущено в [1].

Окрім того, не зрозуміла залежність часу початку евакуації людей з певного виду громадської будівлі лише від наявності/відсутності чи певного типу системи оповіщення та керування евакуюванням людей під час пожежі. Моделювання процесів евакуації часто використовуються в інженерному аналізі в контексті розроблення проекту загальної концепції безпеки. Гнучкість цього типу інструменту і відносна легкість його застосування дає змогу використовувати його в ході оцінювання пожежної безпеки та аналізу різних змін стратегії забезпечення належного протипожежного захисту об'єктів.

Відповідно, опираючись на вимоги в [1], можна припустити, що моделювання процесів евакуації за таких умов відбувається некоректно з великими похибками в розрахунках та під час комп'ютерного моделювання.

На сьогодні існує понад 40 програмних продуктів для проведення експериментальних досліджень процесів евакуації. Більшість моделей є «загальними моделями», які відтворюють будь-який тип будівлі, приміщення. Окрім того, є можливість застосування «спеціальних моделей», які здатні відтворювати конкретні сценарії в специфічних умовах – пожежі в літаках, на кораблях, транспортних вузлах тощо.

Вочевидь, кожен сценарій проведення евакуації людей є унікальним. Найдетальніше перелік можливих, але типових, сценаріїв процесів евакуації викладено в [11]. Цей документ лежить в основі всіх нормативних актів щодо визначення часу як початку евакуації, так і загального часу евакуації людей на пожежі в країнах Європи, Австралії та Сполучених Штатах Америки.

В [11] зазначено, що на кількісну оцінку часу початку евакуації та власне руху сильно впливають особливості людей в конкретному середовищі і відповідно для вирішення цього аспекту було визначено набір ключових якісних ознак, а саме:

– характеристика будівлі (зокрема, тип розміщення, метод виявлення та забезпечення оповіщення, системи управління пожежною безпекою та планування будівель);

– характеристики людей (зокрема, наявна чи проектна кількість людей, їх стан пильності (неспанья чи сон) та знайомство з будівлею та її системами);

– потенційна можливість контакту (піддавання впливу) людей з небезпечними факторами пожежі або контакту з полум'ям.

Так, в табл. 1 [11] подані типові поведінкові сценарії проведення евакуації для будівель різного функціонального призначення, а саме:

**Таблиця 1**

Проектні сценарії поведінки в будівлях різного функціонального призначення [11]

Категорія	Стан пильності людей	Ступінь ознайомленості з плануванням	Щільність людей	Корпуси /складність	Тип приміщення (як приклад)
A	Стан бадьорості	Знайомі з плануванням	Низька	Один або багато	Офісні чи промислові будівлі
B1	Стан бадьорості	Не знайомі з плануванням	Висока	Один або декілька	Магазини, ресторани, будівлі з високою прохідністю людей
B2	Стан бадьорості	Не знайомі з плануванням	Висока	Один з точкою фокусу	Театри та кінотеатри
Ci	Стан сну. Довгострокове проживання в окремих помешканнях	Знайомі з плануванням	Низька	Декілька	Житлові будівлі без консьєржів
Cii	Короткострокове проживання – наявність управляючої компанії	Знайомі з плануванням	Низька	Декілька	Службові житло, гуртожитки, апартаменти під здачу тощо
Ciii	Стан сну	Не знайомі з плануванням	Низька	Багато	Готелі, хостели
D	Медичний догляд	Не знайомі з плануванням	Низька	Багато	Інституційні заклади з постійним перебування людей (начальні заклади, медичні установи, заклади пенітенціарної служби, сиротинці, геріатричні установи)
E	Транспортна інфраструктура	Не знайомі з плануванням	Висока	Багато	Будівлі залізничних, автовокзалів, аеропорти

Окремі характеристики будівель також важливі, зокрема просторова складність, довжина шляхів слідування, особливості наявних (потенційно наявних) людей в приміщеннях, безпосередні виходи назовні та шляхи евакуації. Це в основному впливає на час слідування, а в деяких ситуаціях і на час початку евакуації.

В [11] основні сценарії чітко класифіковані, але виділяють основні три категорії чинників, що мають критичне значення на визначення часу початку евакуації:

а) для мешканців:

- їх кількість і просторовий розподіл;
- стан пильності : бадьорий/сплячий;

– ступінь ознайомлення з внутрішнім плануванням: знайомий або незнайомий;

– фізичні можливості.

б) для окремих будівель і комплексів будівель:

– система оповіщення;

– менеджмент пожежної безпеки та навчання персоналу/мешканців;

– один або кілька корпусів і їх просторова складність.

с) для сценаріїв розвитку пожежі:

– системи протипожежного захисту доступні мешканцям;

– особливості пожежі та її розвитку.

Для кожної категорії сценаріїв, наведених



у таблиці 2, описані фактори, що впливають на поведінку мешканців та на час, необхідний для виконання різних заходів на різних етапах евакуації [21], та повинні бути враховані при проведенні експериментальних досліджень.

Разом з тим, науковці стверджують, що «загальні моделі» з [11] підходять для сценаріїв проведення евакуації в будівлях категорій А, В1, В2, Сііі та Е, в під час яких зазвичай моделюються процеси евакуації людей без сторонньої допомоги (наприклад, пасажери, відвідувачі чи глядачі реагують на тривожні сигнали і переміщуються в безпечне місце самостійно).

Однак інші сценарії евакуації ще не вивчені глибоко. До деяких із них важко застосувати поточні моделі евакуації, а для деяких може знадобитися спеціальна модель.

Проведеним аналізом чітко простежується розмежування понять офісних приміщень та комерційної нерухомості від інших видів громадських будівель і споруд, оскільки даний сегмент об'єктів захисту вирізняється своїми архітектурно-планувальними рішеннями, функціональним призначенням, тривалістю робочого дня, наявним пожежним навантаженням, а відповідно і методами та підходами до управління системою пожежної безпеки. А сценарії пожеж в будівлях категорій Сі, Сіі та D можуть і повинні враховувати допомогу персоналу під час проведення заходів із евакуації через наявність людей з обмеженими можливостями чи обмеженими в самостійному прийнятті рішення (лікарні, дитячі садки, геріатричні установи, школи, установи виконання покарань, табори тимчасового утримання військовополонених тощо).

Деякі «загальні моделі» дають змогу симулювати додаткову поведінку людей, які підлягають евакуації, що можна використати для імітації процедур евакуації за регламентом.

В одній з останніх публікацій авторів [40] описуються дослідження можливостей платформ STEPS і Pathfinder для моделювання процесів евакуації дітей по сходах. Результати показали суттєві відмінності між моделями. Ні STEPS, ні Pathfinder не змогли відтворити умови навколишнього середовища, спричиненні швидким розповсюдженням продуктів горіння і диму, хоча саме ці чинники вплинули на вибір конкретного шляху евакуації і виходу назовні під час програмного моделювання на платформі FDS+Evac.

#### **Висновки**

1. Пожежна безпека об'єктів з масовим перебуванням людей та мінімізація індивідуальних пожежних ризиків особливо в умовах воєнного стану є пріоритетним завданням напрямку запобігання виникненню надзвичайних ситуацій. Пожежна безпека об'єктів з масовим

перебуванням залежить не лише від наявності великої кількості джерел запалювання; складності архітектурно-планувальних рішень, наявності/відсутності систем протипожежного захисту, але й більшою мірою від особистісних характеристик наявних (потенційно наявних) людей в цих будівлях.

2. Встановлено, що наукових обґрунтувань розрахунку часу початку евакуації все ще мало, хоча дані результатів експериментальних досліджень з'являються постійно. Виявлено відсутність залежностей чинників, які впливають на виявлення та усвідомлення людиною небезпеки для життя від небезпечних чинників пожежі, на час початку евакуації під час пожежі.

3. Ризики, що призводять до загибелі людей на пожежах, демонструють потребу в дослідженні, розробці і впровадженні більш ефективних форм та методів запобігання виникненню надзвичайних ситуацій. Встановлено, що розкриття особливостей впливу чинників (об'єм, пожежне навантаження, кількість та характеристика людей) на значення часу початку евакуації людей під час пожежі є важливим науковим завданням, вирішення якого є підґрунтям для удосконалення методу оцінювання рівня безпеки людей під час пожежі, яке і буде предметом подальших досліджень.

#### **Список літератури**

1. ДСТУ 8828:2019. Пожежна безпека. Загальні положення. Чинний від 2019-02-27. Вид. офіс Київ :УкрНДНЦ, 2020. 84с.

2. ЗВІТ про основні результати діяльності Державної служби України з надзвичайних ситуацій у 2019 році. Інститут державного управління і наукових досліджень ДСНС України. URL: <https://dsns.gov.ua/upload/1/1/6/7/4/3/2020-1-30-publi-cnii-zvit-za-2019-rik-ost-fin.pdf> (дата звернення: 15.01.2024).

3. Fire in Odessa 4th of December 2019 . URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/>. (in Ukrainian).

4. Замурований вихід і ручна сигналізація: шокуючі подробиці пожежі в коледжі Одеси (документ) Internet-vydannya «Apostrof». URL:<https://apostrophe.ua/ua/article/society/2020-01-17/zamurovannyiy-vyihod-i-ruchnaya-signalizatsiya-shokiryuschie-podrobnosti-pojara-v-kolledje-odessyi-dokument/> (in Ukrainian).

5. Design and Construction of Building Exits. NATIONAL BUREAU OF STANDARDS. United States, 1935. P.77. URL: [https://books.google.com.ua/books/about/Design\\_and\\_Construction\\_of\\_Building\\_Exit.html?id=RORSn\\_W\\_N3IC&redir\\_esc=y](https://books.google.com.ua/books/about/Design_and_Construction_of_Building_Exit.html?id=RORSn_W_N3IC&redir_esc=y)

6. Kobes M., Helsloot I., Bauke de Vries, Jos G. Post. Building safety and human behaviour in fire: A literature review. Fire Safety Journal. Vol.45, Issue 1, 2010. P. 1-11.

<https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2009.08.005>.

7. E.D. Kuligowski, R.D. Peacock, B.L. Hoskins. A Review of Building Evacuation Models. National Institute of Standards and Technology. 2nd edition. 2010. P.36.
8. Gwynne S.M.V., Rosenbaum E.R. Employing the Hydraulic Model in Assessing Emergency Movement. SFPE Handbook of Fire Protection Engineering/ed. by Springer, New York, 2016. [https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2565-0\\_59](https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2565-0_59)
9. Fridolf K., Nilsson D., Frantzi H. Fire Evacuation in Underground Transportation Systems: A Review of Accidents and Empirical Research. Fire Technol. Vol. 49, 2013. P. 451–475. <https://doi.org/10.1007/s10694-011-0217-x>.
10. ISO/TR 16738:2009 Fire-safety engineering – Technical information on methods for evaluating behaviour and movement of people. Geneva, Switzerland, 2009. P.41. URL: <https://www.iso.org/standard/42887.html>
11. PD7974-6:2004. 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). URL: <https://www.scribd.com/doc/112403091/PD-7974-6-2004>.
12. Proulx, G. Movement of people: The evacuation timing. SFPE Handbook of Fire Protection Engineering/ ed.by Society of Fire Protection Engineers Bethesda, III edition, chapter 3. Maryland, 2006. P.342-366.
13. Gwynne, S., Purser, D., Boswell, D.. Pre-Warning Staff Delay: A Forgotten Component in ASET/RSET Calculations. Pedestrian and Evacuation Dynamics/ ed. by Peacock R., Kuligowski E., Averill J. Springer, Boston, 2011. [https://doi.org/10.1007/978-1-4419-9725-8\\_22](https://doi.org/10.1007/978-1-4419-9725-8_22).
14. Purser D.A. Dependence of modelled evacuation times on key parameters and interactions. Fire Safety Science. Vol.9, 2008. P.353-364. doi:10.3801/IAFSS.FSS.9-353
15. McConnell N., Boyce K.E., Shields T., Galea E.R., Day R.C., Hulse L. The UK 9/11 evacuation study: Analysis of survivors' recognition and response phase in WTC1. Fire Safety Journal. Vol. 45, 2010. P. 21-34. doi:10.1016/j.firesaf.2009.09.001.
16. Kuligowski E., Mileti D. Modeling pre-evacuation delay by occupants in World Trade Center Towers 1 and 2 on September 11, 2001. Fire Safety Journal. Vol 44, 2009. P. 487-496. doi:10.1016/j.firesaf.2008.10.001.
17. Sherman M.F., Peyrot M., Magda L.A., Gershon R.R.M. Modeling pre-evacuation delay by evacuees in World Trade Center Towers 1 and 2 on September 11, 2001: A revisit using regression analysis. Fire Safety Journal, Vol. 46, 2011, P. 414-424, <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2011.07.001>.
18. Kuligowski E. Predicting Human Behavior During Fires. Fire Technology. Vol 49, 2013. P. 110-120. <https://doi.org/10.1007/s10694-011-0245-6>.
19. Proulx G., Chantal L. Recollection, Identification and Perceived Urgency of the Temporal-Three Evacuation Signal. Journal of Fire Protection Engineering. Vol 13, 2003. P. 67-82. <https://doi.org/10.1177/1042391503013001004>.
20. Galea, E.R., Sauter M., Deere S., Filippidis, L. Investigating the Impact of Culture on Evacuation Behavior - A Turkish Data-Set. Fire Safety Science, Vol.10, 2012. P. 709-722. <https://doi.org/10.3801/IAFSS.FSS.10-709>.
21. Nilsson D. Exit choice in fire emergencies - Influencing choice of exit with flashing lights. [Doctoral Thesis (compilation), Division of Fire Safety Engineering]. Brandteknik och riskhantering, Lund, 2009.
22. Kuligowski E. Modeling Human Behavior during Building Fires, Technical Note. National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, 2008. URL: [https://tsapps.nist.gov/publication/get\\_pdf.cfm?pub\\_id=861621](https://tsapps.nist.gov/publication/get_pdf.cfm?pub_id=861621) (дата звернення: 07.04.2024).
23. Bensilum M., Purser D. Grid Flow: An Object-oriented Building Evacuation Model Combining Pre-movement And Movement Behaviours For Performance-based Design. Fire Safety Science, Vol. 7, 2003. P.941-952. <https://doi.org/10.3801/IAFSS.FSS.7-941>.
24. Thompson P.A., Marchant E.W. A computer model for the evacuation of large building populations. Fire Safety Journal, Vol.24, Issue 2, 1994. P.131-148. [https://doi.org/10.1016/0379-7112\(95\)00019-p](https://doi.org/10.1016/0379-7112(95)00019-p).
25. Verification and validation—Pathfinder 2013.1. Thunderhead Engineering, 2014.
26. Korhonen T., Hostikka S. Fire Dynamics Simulator with Evacuation FDS+Evac, version 5. Technical Reference and User's Guide.2010.
27. Gwynne S., Galea E., Lawrence P., Filippidis L. Modelling occupant interaction with fire conditions using the buildingEXODUS evacuation model. Fire Safety Journal, Vol 36, Issue 4, 2001. P. 327–357. [https://doi.org/10.1016/S0379-7112\(00\)00060-6](https://doi.org/10.1016/S0379-7112(00)00060-6)
28. Simulation of transient evacuation and pedestrian. Mott MacDonald Simulation Group. 2012. URL: <https://www.steps.mottmac.com/steps-dynamics>. (дата звернення: 16.04.2024).
29. Purser D.A, Bensilum M. Quantification of behaviour for engineering design standards and escape time calculations. Safety Science, Vol. 38, Issue 2, 2001. P. 157-182. [https://doi.org/10.1016/S0925-7535\(00\)00066-7](https://doi.org/10.1016/S0925-7535(00)00066-7).
30. Fahy R. F. New developments in EXIT89. National Institute of Standards and Technology Gaithersburg, 2000.
31. Кодекс цивільного захисту України: Закон України від 02 жовтня 2012 року № 5403-VI : станом на 19 квітня 2024р. URL:

<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5403-17#Text>  
(дата звернення: 24.04.2024).

32. Про затвердження Правил пожежної безпеки в Україні: Наказ МВС України від 30.12.2014 року №1417: станом на 07 квітня 2024р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0252-15#Text> (дата звернення: 19.04.2024).

33. ДСТУ 8965:2019. Система управління пожежної безпекою об'єкта захисту. Чинний від 2019-12-24. Вид. офіс Київ :УкрНДНЦ, 2020. 15с.

34. Про організацію трудових відносин в умовах воєнного стану: Закон України від 15 березня 2022 року № 2136-IX: станом на 24 грудня 2023 року. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2136-20#Text> (дата звернення: 19.04.2024).

35. Fire Safety Engineering in Buildings, Part 1: Guide to the Application of Fire Safety Engineering Principles/ ed.by British Standard Institutue, DD240, London, 1997.

36. Оношко І., Ковалишин В. Аналіз методології оцінювання пожежних ризиків. Пожежна безпека. Вип. 41, 2022. С. 94–102. DOI: [doi.org/10.32447/20786662.41.2022.11](https://doi.org/10.32447/20786662.41.2022.11).

37. SFPE Guide to Fire Risk Assessment. Ed. by Society of Fire Protection Engineers. Gaithersburg, USA, 2023. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-17700-2>.

38. Хлевной О. В., Харишин Д. В., Назаровець О. Б. Проблемні питання розрахунку часу евакуації при пожежах у закладах дошкільної та середньої освіти з інклюзивними групами. Пожежна безпека. Вип. 37, 2020. С. 72–76.

39. 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. Вип. 2(38), 2023. с.53-68.

<http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/19620>

40. M.C. Campanella, A.R. Larusdottir, W. Daamen, and A.S. Dederichs. Empirical data analysis and modelling of the evacuation of children from three multi-storey day-care centres. Proceedings of Evacuation and Human Behavior in Emergency Situations, Santander, 2011.

### References

1. Pozhezhna bezpeka. Zahal'ni polozhennya [Fire Security. Terms]. Natsional'nyy standart Ukrayiny (vydannya ofitsiynе). DSTU 8828:2019.DP «UkrNDNTS». (in Ukrainian).

2. ZVIT pro osnovni rezul'taty diyal'nosti Derzhavnoyi sluzhby Ukrayiny z nadzvychaynykh sytuatsiy u 2019 rotsi [REPORT on the main results of the State Emergency Service of Ukraine in 2019]. IDUNDTSZ, 2021.URL: <https://dsns.gov.ua/upload/1/1/6/7/4/3/2020-1-30-publicnii-zvit-za-2019-rik-ost-fin.pdf> (in Ukrainian).

3. Fire in Odessa 4th of December 2019 . URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/>. (in Ukrainian)

4. Zamurovaniy vykhid i ruchna syhnalizatsiya: shokuyuchi podrobytsi pozhezhi v koledzhi Odesy (dokument) [Walled exit and manual alarm: shocking details of the fire at Odessa College]. Internet-vydannya «Apostrof». URL: <https://apostrophe.ua/ua/article/society/2020-01-17/zamurovannyiy-vyihod-i-ruchnaya-signalizatsiya-shokiruyuschie-podrobnosti-pojara-v-kolledje-odessyi-dokument/> (in Ukrainian).

5. Design and Construction of Building Exits. NATIONAL BUREAU OF STANDARDS. United States, 1935. P.77. URL:

[https://books.google.com.ua/books/about/Design\\_and\\_Construction\\_of\\_Building\\_Exit.html?id=RORSn\\_W\\_N3IC&redir\\_esc=y](https://books.google.com.ua/books/about/Design_and_Construction_of_Building_Exit.html?id=RORSn_W_N3IC&redir_esc=y)

6. Kobes M., Helsloot I., Bauke de Vries, Jos G. Post. Building safety and human behaviour in fire: A literature review. Fire Safety Journal. Vol.45, Issue 1, 2010. P. 1-11.

<https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2009.08.005>.

7. E.D. Kuligowski, R.D. Peacock, B.L. Hoskins. A Review of Building Evacuation Models. National Institute of Standards and Technology. 2nd edition. 2010. P.36.

8. Gwynne S.M.V., Rosenbaum E.R. Employing the Hydraulic Model in Assessing Emergency Movement. SFPE Handbook of Fire Protection Engineering/ed. by Springer, New York, 2016. [https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2565-0\\_59](https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2565-0_59)

9. Fridolf K., Nilsson D., Frantzich H. Fire Evacuation in Underground Transportation Systems: A Review of Accidents and Empirical Research. Fire Technol. Vol. 49, 2013. P. 451–475. <https://doi.org/10.1007/s10694-011-0217-x>.

10. ISO/TR 16738:2009 Fire-safety engineering – Technical information on methods for evaluating behaviour and movement of people. Geneva, Switzerland, 2009. P.41. URL:

<https://www.iso.org/eu/standard/42887.html>

11. PD7974-6:2004. 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). URL: <https://www.scribd.com/doc/112403091/PD-7974-6-2004>.

12. Proulx, G. Movement of people: The evacuation timing. SFPE Handbook of Fire Protection Engineering/ ed.by Society of Fire Protection Engineers Bethesda, III edition, chapter 3. Maryland, 2006. P.342-366.

13. Gwynne, S., Purser, D., Boswell, D.. Pre-Warning Staff Delay: A Forgotten Component in ASET/RSET Calculations. Pedestrian and Evacuation Dynamics/ ed. by Peacock R., Kuligowski E., Averill J. Springer, Boston, 2011.

[https://doi.org/10.1007/978-1-4419-9725-8\\_22](https://doi.org/10.1007/978-1-4419-9725-8_22).

14. Purser D.A. Dependence of modelled evacuation times on key parameters and interactions.

Fire Safety Science. Vol.9, 2008. P.353-364. doi:10.3801/IAFSS.FSS.9-353

15. McConnell N., Boyce K.E., Shields T., Galea E.R., Day R.C., Hulse L. The UK 9/11 evacuation study: Analysis of survivors' recognition and response phase in WTC1. Fire Safety Journal. Vol. 45, 2010. P. 21-34. doi:10.1016/j.firesaf.2009.09.001.

16. Kuligowski E., Mileti D. Modeling pre-evacuation delay by occupants in World Trade Center Towers 1 and 2 on September 11, 2001. Fire Safety Journal. Vol 44, 2009. P. 487-496. doi:10.1016/j.firesaf.2008.10.001.

17. Sherman M.F., Peyrot M., Magda L.A., Gershon R.R.M. Modeling pre-evacuation delay by evacuees in World Trade Center Towers 1 and 2 on September 11, 2001: A revisit using regression analysis. Fire Safety Journal, Vol. 46, 2011, P. 414-424, https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2011.07.001.

18. Kuligowski E. Predicting Human Behavior During Fires. Fire Technology. Vol 49, 2013.P. 110-120. https://doi:10.1007/s10694-011-0245-6 .

19. Proulx G., Chantal L. Recollection, Identification and Perceived Urgency of the Temporal-Three Evacuation Signal. Journal of Fire Protection Engineering. Vol 13, 2003. P. 67-82. https://doi:10.1177/1042391503013001004.

20. Galea, E.R., Sauter M., Deere S., Filippidis, L. Investigating the Impact of Culture on Evacuation Behavior - A Turkish Data-Set. Fire Safety Science, Vol.10, 2012. P. 709-722. https://doi:10.3801/IAFSS.FSS.10-709.

21. Nilsson D. Exit choice in fire emergencies - Influencing choice of exit with flashing lights. [Doctoral Thesis (compilation), Division of Fire Safety Engineering]. Brandteknik och riskhantering, Lund, 2009.

22. Kuligowski E. Modeling Human Behavior during Building Fires, Technical Note. National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, 2008. URL: https://tsapps.nist.gov/publication/get\_pdf.cfm?pub\_id=861621 (дата звернення: 07.04.2024).

23. Bensilum M., Purser D. Grid Flow: An Object-oriented Building Evacuation Model Combining Pre-movement And Movement Behaviours For Performance-based Design. Fire Safety Science, Vol. 7, 2003. P.941-952. https://doi:10.3801/IAFSS.FSS.7-941.

24. Thompson P.A., Marchant E.W. A computer model for the evacuation of large building populations. Fire Safety Journal, Vol.24, Issue 2, 1994. P.131-148. https://doi:10.1016/0379-7112(95)00019-p.

25. Verification and validation—Pathfinder 2013.1. Thunderhead Engineering, 2014.

26. Korhonen T., Hostikka S. Fire Dynamics Simulator with Evacuation FDS+Evac, version 5. Technical Reference and User's Guide.2010.

27. Gwynne S., Galea E., Lawrence P., Filippidis L. Modelling occupant interaction with fire conditions using the buildingEXODUS evacuation model. Fire Safety Journal, Vol 36, Issue 4, 2001. P. 327–357. https://doi:10.1016/s0379-7112(00)00060-6.

28. Simulation of transient evacuation and pedestrian. Mott MacDonald Simulation Group. 2012. URL: https://www.steps.mottmac.com/steps-dynamics. (дата звернення: 16.04.2024).

29. Purser D.A, Bensilum M. Quantification of behaviour for engineering design standards and escape time calculations. Safety Science, Vol. 38, Issue 2, 2001. P. 157-182. https://doi:10.1016/S0925-7535(00)00066-7.

30. Fahy R. F. New developments in EXIT89. National Institute of Standards and Technology Gaithersburg, 2000.

31. Kodeks tsyvil'noho zakhystu Ukrayiny: Zakon Ukrayiny vid 02 zhovtnya 2012 roku № 5403-VI [Code of Civil Protection of Ukraine]. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5403-17#Text (in Ukrainian).

32. Pro zatverdzhennya Pravyl pozhezhnoyi bezpeky v Ukrayini: Nakaz MVS Ukrayiny vid 30.12.2014 roku №1417 [The approval of the Fire Safety Rules in Ukraine]. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0252-15#Text (in Ukrainian).

33. Systema upravlinnya pozhezhnoyi bezpekoyu ob"yekta zakhystu. DSTU 8965:2019. Chynnyy vid 2019-12-24 [The fire safety management system of the protection facility]. Vyd. ofits Kyiv: UkrNDNTS, 2020.

34. Pro orhanizatsiyu trudovykh vidnosyn v umovakh voyennoho stanu: Zakon Ukrayiny vid 15 bereznia 2022 roku № 2136-IX [On the organization of labor relations under martial law]. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2136-20#Text (in Ukrainian).

35. Fire Safety Engineering in Buildings, Part 1: Guide to the Application of Fire Safety Engineering Principles/ ed.by British Standard Institutue, DD240, London, 1997.

36. Onoshko I., Kovalyshyn V. Analiz metodolohiyi otsinyuvannya pozhezhnykh ryzykiv [Analysis of fire risk assessment methodology]. Pozhezhna bezpeka. Vol. 41, 2022. P. 94–102. DOI: doi.org/10.32447/20786662.41.2022.11.

37. SFPE Guide to Fire Risk Assessment. Ed. by Society of Fire Protection Engineers. Gaithersburg, USA, 2023. https://doi.org/10.1007/978-3-031-17700-2.

38. Khlevnoy O. V., Kharyshyn D. V., Nazarovets' O. B. Problemni pytannya rozrakhunku chasu evakuatsiyi pry pozhezhakh u zakladakh doshkil'noyi ta seredn'oyi osvity z inklyuzyvnymy hrupamy [Problematic issues of calculating evacuation time in case of fires in preschool and secondary

education institutions with inclusive groups]. *Pozhezhna bezpeka*. Vol. 37, 2020. P. 72–76.

39. Shakhov S. M., Vynohradov S. A., Rybka YE. O., Harbuz C. V., Ostapov K. M. Osoblyvosti vyznachennya chasu evakuatsiyi lyudey z budivel' pry pozhezhi [Peculiarities of determining the time of evacuation of people from buildings in case of fire]. *Problemy nadzvychaynykh sytuatsiy*. Vol. 2(38),

2023. P.53-68. <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/19620/>

40. Campanella M.C., Larusdottir A.R., Daamen W., and A.S. Dederichs. Empirical data analysis and modelling of the evacuation of children from three multi-storey day-care centres. *Proceedings of Evacuation and Human Behavior in Emergency Situations*, Santander, 2011.

© I. А. Оношко, В. В. Ніжник,  
О. М. Чекрыгін, Т. М. Шналь, 2024.

**Оглядова стаття.**

Надійшла до редакції 07.05.2024.

Прийнято до публікації 12.06.2024.