ІНСТРУМЕНТАЛЬНІ ЗАСОБИ УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ У ПРОЕКТАХ БЕЗПЕЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ОБ'ЄКТІВ МАСОВОГО ПЕРЕБУВАННЯ ЛЮДЕЙ

INSTRUMENTAL TOOLS FOR RISK MANAGEMENT IN PROJECTS ENSURING THE SAFE OPERATION OF MASS GATHERING FACILITIES

У статті досліджено ризик-орієнтовані підходи до забезпечення пожежної безпеки на об'єктах масового перебування людей, які в умовах сучасної урбанізації становлять підвищену небезпеку виникнення надзвичайних ситуацій. Актуальність теми зумовлена високим потенціалом людських і матеріальних втрат у разі пожеж. Метою дослідження є визначення вагомості окремих ризиків, що впливають на безпечну експлуатацію об'єкта масового перебування людей. У межах роботи реалізовано комплекс експертних процедур: мозковий штурм, анкетування, нестроге ранжування та розрахунок коефіцієнтів за правилом Фішборна. Проведено оцінку узгодженості експертних думок за допомогою коефіцієнта конкордації. Результати дозволили визначити пріоритетність ризиків, серед яких найвпливовішим визнано ризик, пов'язаний із безпечною евакуацією. Запропонований підхід сприяє прийняттю обґрунтованих управлінських рішень щодо оптимізації протипожежних заходів, дозволяє раціонально розподіляти ресурси та знижувати рівень загроз. Модель має потенціал для подальшого вдосконалення із застосуванням технологій машинного навчання та сценарного моделювання складних загроз.

Ключові слова: *управління ризиками, пожежна безпека, об'єкти масового перебування людей, нестроге ранжування; експертне оцінювання.*

The article examines the implementation of risk-oriented approaches for ensuring fire safety at mass gathering facilities, which, under conditions of increasing urbanization and infrastructure density, are particularly vulnerable to emergencies. The relevance of the research is driven by the significant potential for human casualties and material losses in the event of fire incidents at such sites as shopping malls, transit hubs, educational institutions, and cultural or healthcare centers. The aim of the study is to quantify the influence of specific risk factors on the safe operation of mass gathering facilities during the exploitation phase. The research methodology integrates expert-based techniques, including brainstorming, structured questionnaires, non-strict ranking, and the Fishburne method for calculating weighted influence coefficients. An expert group was composed of three professional categories: academic researchers in structural safety, supervisory authorities, and mass gathering facilities administrative personnel. The structured expert survey enabled the identification and prioritization of key fire-related risks, and the consistency of expert opinions was evaluated through the concordance coefficient. The results indicated a satisfactory level of agreement, justifying further processing of the obtained data. The analysis revealed that the risk associated with safe evacuation holds the highest weight (0.222), followed by fire occurrence (0.194), public disorder (0.166), and terrorist attacks (0.138). Conversely, the lowest weighted risks included reliability of life support systems (0.050) and structural collapse (0.020). These findings underscore the critical importance of addressing organizational, behavioral, and evacuation-related factors in fire safety planning at mass gathering facilities. The developed framework serves as a practical decision-support tool for public safety officials and infrastructure managers, facilitating evidence-based resource allocation and prioritization of safety measures. The proposed methodology allows for constructing weighted risk matrices that can guide the development of targeted fire prevention strategies, ensuring higher levels of preparedness and response capability. The study also lays the groundwork for future enhancements through machine learning algorithms, scenario-based risk modeling, and application across various types of facilities with high population density. Incorporating specific vulnerability profiles, such as those of individuals with disabilities, the elderly, or children, is also proposed for further research to improve evacuation modeling accuracy and inclusivity.

Key words: *risk management, fire safety, mass gathering facilities, loose organization, expert assessment.*

УДК 614.84:005.334:005.52:614.8
DOI: https://doi.org/10.32782/dees.19-10

Петрович А.З.
аспірант,
Львівський державний університет безпеки життєдіяльності
Ткач М.Ю.
аспірант,
Львівський державний університет безпеки життєдіяльності
Івануса А.І.[1]
к.т.н., доцент, начальник кафедри,
Львівський державний університет безпеки життєдіяльності

Petrovych Andrii
Lviv State University of Life Safety
Tkach Marian
Lviv State University of Life Safety
Ivanusa Andrii
Lviv State University of Life Safety

Постановка проблеми. У сучасних умовах зростання урбанізації, щільності забудови та концентрації населення в громадських просторах, питання пожежної безпеки набуває особливої гостроти. Об'єкти масового перебування людей – торгово-розважальні центри, транспортні вузли, освітні, культурні та медичні установи – становлять зону підвищеного ризику виникнення надзвичайних ситуацій, пов'язаних з пожежами. При цьому наслідки таких подій можуть бути катастрофічними не лише у матеріальному, а й у соціальному вимірах, з численними жертвами та значними людськими втратами.

Статистика свідчить про те, що більшість трагедій, спричинених пожежею в публічних місцях, зумовлені недостатнім рівнем превентивного управління ризиками, недоліками в системі евакуації, неналежним станом протипожежного захисту, а також людським фактором. У цьому контексті постає об'єктивна потреба в удосконаленні підходів до ідентифікації, аналізу та нейтралізації пожежних ризиків на таких об'єктах.

[1] ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9141-8039

Актуальність дослідження визначається необхідністю формування ефективної системи управління пожежною безпекою, яка б ґрунтувалася на сучасних методах оцінювання ризиків, нормативно-правовому регулюванні, інженерних рішеннях та заходах організаційного характеру. Особливої ваги набуває інтеграція ризик-орієнтованого підходу до державного та локального управління у сфері цивільного захисту.

Таким чином, дослідження проблематики управління пожежними ризиками на об’єктах масового перебування людей (ОМПЛ) є вчасним, суспільно значущим і має вагомий науково-практичний потенціал для зниження втрат та забезпечення безпеки населення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У статті [1] Ільницька І. виокремила найвразливіші приміщення, де пожежі несуть максимальну небезпеку – навчальні заклади, медичні установи, ТРЦ, вокзали, аеропорти. Автори звертають увагу на поширені порушення: легкозаймисті матеріали, невідповідна обробка, захаращення евакуаційних шляхів, несправність систем пожежогасіння. Окреслено першочергові завдання для відповідальних осіб задля мінімізації загроз.

Дослідження авторів Пруського А. В. та Васильєва І. О. [2] присвячене актуальним викликам евакуації в умовах пожеж, зокрема організаційним, нормативним і технологічним аспектам. Автори акцентують на необхідності ефективного планування маршрутів, сигналізації та навчанні персоналу з метою зниження людських втрат. Підкреслено, що комплексний підхід до евакуаційних схем життєво важливий у всіх типах об’єктів, особливо з масовим перебуванням людей.

Автори статті Оніщенко В. В., Сухай С. М. [3] аналізують ризики вибухопожеженої природи та пропонують організаційні й технічні заходи для підвищення безпеки таких об’єктів. Зокрема, обґрунтовано систему раннього виявлення й автоматизованого сповіщення, придатну для об’єктів цивільного захисту. Наголошено на стратегічній важливості інтеграції технічних рішень у протокол управління ризиком.

У статті [4], над якою працювали Цвіркун С. В., Костенко Т. В., Удовенко М. Ю., показано застосування математичного моделювання (FDS, аналітичні евакуаційні моделі) для оцінювання часу евакуації й динаміки поширення небезпечних факторів під час пожеж у історичних будівлях. Отримані дані допомагають обґрунтувати розміщення вказівників евакуації й заходів щодо підвищення безпеки відвідувачів і персоналу. Наукова новизна – встановлення критичних параметрів для ефективного розміщення безпекових елементів у складних просторах.

У роботах [5; 6] її авторами, Яковчуком Р., Кузиком А., Кагітіним О., Іванусою А., Ємельяненком С., було проведено експериментальне дослідження поширення вогню по поверхні зовнішніх стін з фасадною теплоізоляцією та комп'ютерне моделювання натурних випробувань з використанням комп'ютерних методів газової гідродинаміки. За допомогою комп'ютерного моделювання параметрів вогневих випробувань фасадної системи теплоізоляції на поширення вогню в середовищі FDS було отримано числові та графічні показники, що характеризують процес виникнення, поширення та розвитку вогню по поверхні фасадної системи теплоізоляції. Було здійснено комп'ютерне моделювання динаміки пожежі за допомогою числового інструменту FDS, а отримані результати порівняно з експериментальними даними, щоб перевірити можливість використання відповідного програмного забезпечення для відтворення реальних умов пожеж у житлових будинках..

У дослідженні Баччу В та інших авторів [7] аналізуються сучасні підходи до управління пожежними ризиками з позиції «системного» мислення. Автори переглядають традиційні тактичні й стратегічні методи (від оперативного реагування до ландшафтного планування) і демонструють, що екстремальні сезони пожеж і «мега-вогнища» вимагають інтегрованої, адаптивної парадигми управління, яка поєднує екологічні, соціальні, технічні та управлінські аспекти. Рекомендована рамка включає участь громад, ризик-менеджмент, гібридні заходи запобігання (ландшафтні, інженерні, політичні) і посилення інформаційної взаємодії між зацікавленими сторонами. Також окреслено потребу у нових метриках ефективності та інструментах прийняття рішень. Стаття корисна для менеджерів з ризику та дослідницьких команд, що працюють над довгостроковою стійкістю у пожежному менеджменті.

Дослідження авторів Ма С., Ду Н. та інших [8] поєднує понад мільйон звітів про пожежі зі структурними, погодними та демографічними даними для моделювання ризиків пожеж. Застосовуються методи машинного навчання для виявлення ключових факторів виникнення та наслідків пожеж. Визначено, що старі, покинуті або соціально вразливі райони мають підвищений ризик; встановлення детекторів і автоматичних систем гасіння значно зменшує поширення та травматизм.

Науковці Шарма Д. П., Бейгі Мохаммаді Н., Ген Х. та інші у своїй роботі представили системну розробку моделей для прогнозування надзвичайних ситуацій у місті Едмонтон (Канада) – від збору даних до аналізу особливостей та кореляцій [9]. Використовуються регресійні та ML моделі для передбачення подій на різних часових і просторових масштабах. Виявлено вплив пандемії COVID-19 на точність моделей, що важливо при

адаптації систем управління ризиками у змінних умовах.

Автори у роботі [10] автори якої Паїс К., Кім М., Радке Дж., Гонсалес М.К. інтегрують різні набори даних – поведінка пожеж, структура вулиць, демографія – для побудови гнучкого фреймворку управління природними ризиками. Покращена модель включення соціальних та просторових чинників доводить зміщення уваги з доступності інфраструктури на вразливі групи населення. Такий підхід може застосовуватися до управління пожежними ризиками у скупченнях людей.

Національний інститут стандартів та технологій США представив науково обґрунтовану методологію зменшення ризику пожеж у лісо-урбаністичній зоні шляхом стратегічної зміни матеріалів, просторового планування та захисту конструкцій. Пропонується оцінка ефективності заходів, таких як негорючі огорожі, вентиляційні отвори та рослинність [11]. Вказано, що один вразливий елемент може спричинити загоряння – тому необхідний комплексний підхід до спільної безпеки.

До невирішеної частини загальної проблеми наукових досліджень які зазначені вище можна віднести:

– у більшості досліджень спостерігається обмеженість кількісних і якісних даних щодо реальної поведінки людей під час пожеж на об’єктах масового перебування, що ускладнює розробку достовірних моделей евакуації;

– сучасні підходи до управління пожежними ризиками часто не враховують специфіку інфраструктури, ресурсної забезпеченості та організаційної готовності в окремих регіонах або країнах;

– в існуючих роботах недостатньо висвітлено питання комплексної оцінки ризиків, що виникають внаслідок поєднання пожеж з іншими надзвичайними ситуаціями (наприклад, техногенними аваріями чи панікою);

– у роботах відсутній аналіз ризиків для осіб з інвалідністю, літніх людей, дітей та інших категорій, які мають обмежену здатність до самостійної евакуації в умовах пожежі.

Постановка завдання. Мета дослідження – отримати вагові коефіцієнти впливу досліджуваних ризиків та їх складових елементів на забезпечення безпеки ОМПЛ на стадії експлуатації.

Завдання дослідження полягає в наступному:

1) проаналізувати експертні оцінки;

2) розрахувати ступінь узгодженості думок експертів;

3) підібрати методику для розрахунку вагових коефіцієнтів впливу досліджуваних ризиків при реалізації проекту забезпечення безпеки на ОМПЛ;

4) розрахувати вагові коефіцієнти впливу ризику на рівень безпеки ОМПЛ.

Виклад основного матеріалу дослідження. Загальна оцінка ризиків слугує ключовим інструментом для осіб, що приймають рішення, а також для інших відповідальних сторін, оскільки сприяє глибшому розумінню потенційних загроз, які можуть впливати на досягнення встановлених цілей, а також на ефективність та доцільність уже впроваджених засобів контролю. Такий підхід формує інформаційну основу для вибору найбільш адекватної стратегії поводження з ризиками. Вихідні результати загальної оцінки ризику відіграють роль вхідних параметрів у процесах ухвалення управлінських рішень в організаціях.

Оскільки ризики зазвичай мають складну структуру причинно-наслідкових зв’язків, загальна їх оцінка часто вимагає застосування багатофакторного підходу. Така оцінка може варіюватися за глибиною, деталізацією і ступенем складності – від елементарних процедур до багатоступеневих методологій. При цьому форма реалізації оцінювання та його результати мають бути приведені у відповідність із попередньо визначеними критеріями ризику, що були встановлені під час формування контексту аналізу. Вибір методів має ґрунтуватися на їх релевантності та придатності до конкретного завдання. У разі інтеграції результатів, отриманих із використанням різних підходів, важливо забезпечити їхню порівнюваність і сумісність.

У роботі [12] її автори, Мохаммед Н., Фурман Е. та Су Дж., представили розширену класичну концепцію зважених функціоналів ризику, які широко застосовуються в науці та страхуванні для оцінки ризику.

У межах проведеного дослідження було здійснено експертну оцінку для визначення найбільш впливового ризику, що може істотно знижувати рівень пожежної безпеки об’єктів масового перебування людей (ОМПЛ). Процедура отримання експертних суджень реалізовувалася із використанням методу мозкового штурму та методу анкетування [13–15].

Метод мозкового штурму застосовувався на початковому етапі з метою генерації колективних ідей щодо можливих ризиків, характерних для систем безпеки на ОМПЛ, та механізмів реагування на них. Натомість метод анкетування було використано для ранжування виявлених ризиків за ступенем їх значущості стосовно загального рівня безпеки експлуатації об’єкта. У межах цього підходу кожен експерт працював індивідуально, отримуючи анкету з переліком потенційних ризиків, які він мав упорядкувати за рівнем впливовості.

Експертна група формувалася з трьох категорій респондентів:

– **Група І** – представники науково-дослідного середовища, що спеціалізуються на проблематиці забезпечення конструктивної надійності будівель;

– **Група II** – представники контролюючих органів, які здійснюють перевірки відповідності ОМПЛ вимогам чинного законодавства у сфері техногенної й пожежної безпеки;

– **Група III** – адміністративні особи ОМПЛ, відповідальні за практичне впровадження норм безпеки та їх дотримання на відповідних об'єктах.

З огляду на відмінності у фаховому досвіді, професійній підготовці та сприйнятті ризиків, думки експертів неминуче розрізняються. Отже, виникає необхідність у методологічному узагальненні індивідуальних оцінок для формування об'єктивної та збалансованої картини ризикових факторів.

Перед початком проведення експертного опитування особа, що приймає рішення (ОПР), отримує сформований список залучених експертів і на основі даних, наведених у таблиці 1, визначає ступінь значущості (цінність) їхніх суджень. Зазначена процедура носить допоміжний характер і, як правило, застосовується під час прийняття остаточного рішення ОПР щодо доцільності включення тієї чи іншої дисципліни до переліку, який формує професійні компетенції відповідних фахівців.

Експертне опитування реалізується у два послідовні етапи. Етап 1. Експертам надається структурований перелік ризиків, характерних для процесу експлуатації об'єктів масового перебування людей (ОМПЛ). Завданням експертів є – з використанням професійного досвіду – ідентифікувати перелік факторів, що безпосередньо впливають на рівень безпеки функціонування відповідного об'єкта в умовах дії кожного з ризиків.

Результатом цього етапу є побудова матриці, елементи якої відображають силу та характер залежностей між встановленими ризиками та окремими процесами, що формують систему безпеки експлуатації об'єкта. Таке представлення дає змогу не лише візуалізувати ризикові взаємозв'язки, а й закласти основу для подальшого кількісного аналізу впливу критичних факторів на загальний рівень пожежної та техногенної безпеки на ОМПЛ.

$$\tilde{\tilde{W}} = \left\{ \tilde{W}_i = \{ w_{ij} = f(d_i, k_j),\ j = \overline{1,n} \},\ i = \overline{1,m} \right\}, \quad (1)$$

де:

$\tilde{D} = \{ d_i, i = \overline{1,m} \}$ – i-той ризик; $\tilde{K} = \{ k_j,\ j = \overline{1,n} \}$ – j-та фактори; n – кількість ризиків; m – кількість факторів, що формуються; причому

$$f(d_i, k_j) = \begin{cases} 1, \text{ Ω I } > d_i \text{ D>@&CT} k_j; \\ 0 - \text{інакше.} \end{cases} .(2)$$

Матриця $\tilde{W}$ містить інформацію про те, який перелік ризиків безпосередньо впливають формують рівень безпеки ОМПЛ.

Далі експерти розглядають i-й фактор (d_i), що впливає j-й ризик (k_j), та формують перелік усіх факторів $d_i^б$, від яких ризик перебуває в залежності. В такий спосіб формується матриця, елементи якої вказують на залежність процесу формування безпеки об'єкту, які опосередковано їх формують, а саме:

$$\bar{\bar{V}} = \left[\bar{V}_i = \left[v_{ij} = f(d_i, d_j^б),\ j = \overline{1,n_i} \right],\ i = \overline{1,m} \right], \quad (3)$$

$$\text{Причому } f(d_i, d_j^б) = \begin{cases} 1, \text{ якщо } \mathrm{d_j^б} \text{ формує } \mathrm{d_i}; \\ 0 \text{ - інакше.} \end{cases}. \quad (4)$$

Згідно з матрицею $\bar{\bar{V}}$, для i-го ризику (d_i) отримаємо множину базових факторів $d_i^б$, а саме:

$$\tilde{\tilde{D}}^б = \left\{ t = 1,\ \bar{D}_t^б = \begin{cases} l = 1; \\ d_{il}^б = \begin{cases} 1, \text{ якщо } v_{ij} = 1,\ l = l + 1; \\ 0 - \text{інакше,} \end{cases} \end{cases} \right.$$

$$\left. j = \overline{1,n_i}, \left\{ \begin{matrix} n_i = l; \\ t += 1, \end{matrix} \right. i = \overline{1,m} \right\}, T = t, \quad (5)$$

де: n_i – кількість факторів, що впливають на i-й ризик; m – кількість ризиків, які безпосередньо впливають на безпеку. Внаслідок виконання таких дій обробляємо таку множину факторів:

$$\tilde{\tilde{D}}^б = \left\{ \tilde{D}^б = \left\{ d_{tl}^б,\ l = \overline{1,n_t} \right\},\ t = \overline{1,T} \right\}. \quad (6)$$

Однак ця модель не містить кількісних характеристик взаємовпливів її концептів. Тому потрібно реалізувати наступний етап експертного опитування.

Етап 2. Експертам потрібно впорядкувати ризики за ступенем їх впливу на безпеку ОМПЛ. Для цього використовується процедура ранжування ризиків з кожної множини $\tilde{D}^к = \left\{ d_t^к : d_{t+1}^к \succ d_t^к,\ t = \overline{1,T} \right\}$ і $\tilde{\tilde{D}}^б = \left\{ \tilde{D}_t^б = \left\{ d_{tl}^б : d_{t,l+1} \succ d_{t,l},\ l = \overline{1,n_t} \right\} : \tilde{D}_{t+1}^б \succ \tilde{D}_t^б,\ t = \overline{1,T} \right\}$ за ступенем їх важливості.

Таблиця 1

Система вимірювання цінності думки експерта (у балах)

Характеристики експертів	експерти		
	I	II	III
Досвід роботи більше 5 років	1	2	1
Досвід роботи більше 10 років	2	3	2
Досвід роботи більше 15 років	3	4	3
Наявність наукового ступеня кандидата наук	1	1	1
Наявність наукового ступеня доктора наук	2	2	2
Наявність диплому з відзнакою	-	-	-

У переважній більшості випадків для обробки результатів експертного опитування обирається метод нестрогого ранжування, оскільки експерти не завжди можуть чітко визначити пріоритетність кожного ризику за ступенем його важливості. Застосування нестрогого ранжування дозволяє присвоювати однакові ранги тим ризикам, що мають однакову або близьку за значущістю перевагу. Водночас, як і при прямому (строгому) ранжуванні, загальна сума присвоєних рангів повинна дорівнювати сумі послідовних натуральних чисел у межах від 1 до r, де r – кількість оцінюваних елементів.

Для забезпечення математичної коректності однаковим за значущістю елементам присвоюються стандартизовані ранги, які обчислюються як середнє арифметичне номерів відповідних позицій, що припадають на ці елементи у впорядкованому ряді.

Об'єктами ранжування в даному дослідженні виступають ризики, які мають вплив на рівень пожежної безпеки в процесі експлуатації об'єктів масового перебування людей (ОМПЛ). Метою ранжування є встановлення відносної важливості кожного ризику для подальшого визначення пріоритетів у реалізації заходів безпеки. Найбільш критичному ризику надається ранг 1, найменш значущому – ранг *r*. Таким чином, формується впорядкована сукупність, у якій кожному ризику відповідає певне рангове значення.

Етап 3. Після виконання процедури ранжування здійснюється перевірка узгодженості думок експертів. Правдоподібність припущення щодо погодженості експертних оцінок можна перевірити за допомогою коефіцієнта конкордації $K_{кон}$. Межі значень $K_{кон}$ можуть змінюватись в інтервалі від 0 до 1. Якщо $K_{кон}$=0, то думки експертів вважають неузгодженими. Якщо $K_{кон}$=l, то ранжування в рядах погоджені.

Нехай є *p* змінних і *n* об'єктів ранжування $\tilde{X} = \{x_j, j = \overline{1,n}\}$. Матрицю рангів позначимо у вигляді $\tilde{R} = \left\{r^{(j)}, j = \overline{1,p}\right\}$. Допустимо, що аналізуються *m* змінних з номерами $\tilde{K} = \{k_i, i = \overline{1,m}\}$. Тоді для матриці рангів вводяться поняття середнього рангу *a* і варіації *S* щодо цього середнього, а саме:

$$a = \frac{1}{2}m(\mathrm{n}+1), \tag{7}$$

$$S = \sum_{i=1}^{n}\left(\sum_{j=1}^{m} r_i^{k_j} - a\right)^2. \tag{8}$$

Очевидно, що при повній узгодженості ранжувань $S \to \max$, а при повній неузгодженості $S \to \min$. При повній неузгодженості ранжувань сума *S* буде дорівнювати *a*, якщо *m* парне, і максимально близька до *a*, якщо *m* непарне. Максимальне значення варіації щодо середнього становить

$$S_{\max} = \frac{1}{12}m^2(n^3 - n) \tag{9}$$

Коефіцієнт конкордації при відсутності зв'язних рангів обчислюється за формулою:

$$K_{кон} = \frac{12S}{m^2(n^3 - n)}. \tag{10}$$

Обчислення коефіцієнта конкордації при наявності зв'язаних рангів отримується за більш складною формулою:

$$K_{кон} = \frac{S}{\frac{m^2(n^3 - n)}{12} - m\sum_{j=1}^{m} T_j}, \tag{11}$$

$$\text{де } T_j = \frac{1}{12}\sum_{\gamma=1}^{\ell}(t_\gamma^3 - t_\gamma),\ j = \overline{1,m}, \tag{12}$$

де T_j – поправний коефіцієнт для *j*-ої змінної. Він обчислюється за всіма *l* "випадками" нерозрізненості об'єктів, при цьому t_γ – кількість нерозрізнених об'єктів одного "випадку". Якщо зв'язані ранги відсутні, то поправний коефіцієнт дорівнює нулю.

Етап 4. За умови досягнення прийнятного рівня узгодженості експертних оцінок (визначеного на попередньому етапі), зібрані дані використовуються для обчислення вагових коефіцієнтів впливу кожного ризику на загальний рівень безпеки експлуатації об'єктів масового перебування людей (ОМПЛ). Для розрахунку цієї характеристики застосовується правило Фішборна.

У разі, коли система показників (ризиків) проранжована в порядку зменшення їхньої значущості, значущість *i*-го показника (тобто ваговий коефіцієнт для *i*-го ризику) визначається відповідно до принципу Фішборна. Це правило передбачає математичне перетворення рангової інформації у відносні ваги на основі позиції елемента в ієрархічному ряді.

Застосування правила Фішборна є доцільним у тих випадках, коли відсутня інша кількісна або якісна інформація щодо фактичного ступеня впливу кожного ризику, окрім тієї, що була отримана в результаті процедури ранжування. Таким чином, даний підхід забезпечує об'єктивне й формалізоване визначення вагових коефіцієнтів, необхідних для подальшого аналітичного узагальнення результатів оцінювання ризиків і прийняття рішень у сфері управління безпекою ОМПЛ.

Відповідно до правила Фішборна, якщо на множині розглянутих характеристик, кількість яких становить *N*, встановлені відношення нестрогої переваги $r_1 \geq r_2 \geq ... \geq r_N$, то значущість *n*-ого ризику визначається із співвідношення:

$$r_n = \frac{2(N - n + 1)}{(N+1)\cdot N},\ n = \overline{1,N}, \tag{13}$$

де *N* – загальна кількість ризиків.

Правило Фішборна відображає той факт, що про рівень значущості показників невідомо нічого, окрім порядку зменшення значущості. Тоді оцінка (13) відповідає максимуму ентропії наявної інформаційної невизначеності про об'єкт дослідження, тобто дає змогу приймати найкращі оцінювальні рішення в найгіршій інформаційній обстановці.

Застосування правила Фішборна дає змогу обчислити вагові коефіцієнти впливу ризику на рівень безпеки ОМПЛ, за допомогою яких будуються відповідні матриці вагових коефіцієнтів. Внаслідок оброблення отриманих даних, матриця $\bar{\bar{W}}$ перетвориться в матрицю $\bar{\bar{R}}$, що містить вагові коефіцієнти впливу ризиків на рівень безпеки об'єкту, тобто:

$$\bar{\bar{R}} = \left[\bar{R}_t = \left[r_{tl} = f(d_t^k, d_{tl}^б), l = \overline{1, n_t} \right], t = \overline{1, T} \right], \quad (14)$$

де: r_{tl} – вагові коефіцієнти впливу *t*-ого ризику (d_t^k) на *l*-ту ЦК (k_l), причому

$$\sum_{l=1}^{n_t} r_{tl} = 1, t = \overline{1, T} \quad (15)$$

Відповідно матриця $\bar{\bar{V}}$ перетвориться в матрицю $\bar{\bar{Q}}$, що містить вагові коефіцієнти впливу базових ризиків на рівень безпеки,

$$\bar{\bar{Q}} = \left[\bar{Q}_i = \left[q_{ij} = f(d_i^б, d_j^k), j = \overline{1, m} \right], i = \overline{1, m} \right], \quad (16)$$

де q_{ij} – ступінь впливу фактору ($d_i^б$) на *j*-й ризик (d_j^k) причому

$$\sum_{j=1}^{m} q_{ij} = 1, i = \overline{1, m}. \quad (17)$$

Нижче наведено приклад оброблення експертних даних для побудови матриці ризиків (табл. 2-4)

Таблиця 2

Присвоювання ризикам рангів

Експерти	Ризики, що впливають на безпеку ОМПЛ							
	Надійність систем БЖД	Обвалення конструкцій	Терористичний акт	Компетентність обслуговуючого персоналу	Паніка	Безпечна евакуація	Виникнення пожежі	Масові безпорядки
1	3	3	2	2	3	1	2	2
2	4	4	2	2	2	1	2	2
3	4	4	2	3	3	1	2	2
4	3	3	3	2	3	2	1	1
5	4	4	3	2	2	2	2	2
6	3	3	3	3	2	2	1	2
7	4	4	2	2	2	2	2	2
8	4	4	3	3	3	1	2	1
9	3	3	2	3	2	2	1	1
10	4	4	3	3	3	1	1	2

Таблиця 3

Стандартизовані ранги

Експерти	Ризики, що впливають на безпеку ОМПЛ								
	Надійність систем БЖД	Обвалення конструкцій	Терористичний акт	Компетентність обслуговуючого персоналу	Паніка	Безпечна евакуація	Виникнення пожежі	Масові безпорядки	$\sum_{j=1}^{10} T_j$
1	7	7	3,5	3,5	7	1	3,5	3,5	84
2	7,5	7,5	4,0	4	4	1	4	4	126
3	7,5	7,5	3	5,5	5,5	1	3	3	36
4	6,5	6,5	6,5	3,5	6,5	3,5	1,5	1,5	72
5	7,5	7,5	6	3	3	3	3	3	126
6	6,5	6,5	6,5	6,5	3	3	1	3	84
7	7,5	7,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	216
8	7,5	7,5	5	5	5	1,5	3	1,5	36
9	7	7	4	7	4	4	1,5	1,5	54
10	7,5	7,5	5	5	5	1,5	1,5	3	36
$\sum_{i=1}^{8}$	72	72	47	46,5	46,5	23	25,5	27,5	870

при реалізації проекту забезпечення безпеки ОМПЛ. Перед експертами було поставлене завдання методом нестрогого ранжування розставити ризики за ступенем важливості їх впливу на рівень безпеки ОМПЛ.

Середній ранг a=20. Варіація щодо середнього S=270,5

$$K_{кон} = \frac{270,5}{1/12 \cdot 8^2(4^3 - 4) - 8 \cdot 3,5} = 0,69166$$

Думки експертів узгодженні, отже можна переходити до обчислення вагових коефіцієнтів впливу ризиків на рівень безпеки ОМПЛ за правилом Фішборна. Отримані вагомості наведено в табл. 4.

Таблиця 4

Вагові коефіцієнти

Ранги ризиків	Ризики, які впливають на безпеку об‘єктів масового перебування людей	Ваговий коефіцієнт, розрахований за правилом Фішборна
1	Безпечна евакуація	0,222
2	Виникнення пожежі	0,194
3	Масові безпорядки	0,166
4	Терористичний акт	0,138
5	Паніка	0,111
6	Компетентність обслуговуючого персоналу	0,080
7	Надійність систем БЖД	0,050
8	Обвалення конструкцій	0,020

Отже за допомогою експертних оцінок, а також із застосуванням методів їх оброблення визначено ступінь впливу ризику на забезпечення безпеки ОМПЛ, що дає змогу раціональніше спрямувати використання ресурсів на мінімізацію тчи ліквідацію ризиків на стадії експлуатації об’єктів даного типу.

Висновки. У результаті проведеного дослідження було розроблено систему експертного оцінювання пожежних ризиків на об'єктах масового перебування людей (ОМПЛ), яка дозволяє кількісно визначити вагомість впливу кожного з ризиків на загальний рівень безпеки. За допомогою методу нестрогого ранжування, група експертів, що включала фахівців з науково-дослідної діяльності, представників контролюючих органів та керівників ОМПЛ, визначила основні загрози для безпечної експлуатації таких об’єктів.

Розрахунок коефіцієнта конкордації показав достатній рівень узгодженості думок експертів (S = 270,5 при середньому рангу a = 20), що дозволяє вважати результати достовірними для подальшої обробки. Застосування правила Фішборна дало змогу обчислити вагові коефіцієнти ризиків. Найбільш впливовим ризиком визнано «Безпечну евакуацію» з коефіцієнтом 0,222, далі – «Виникнення пожежі» (0,194), «Масові безпорядки» (0,166) та «Терористичний акт» (0,138). Найменший вплив виявлено у таких ризиків як «Надійність систем безпеки життєдіяльності» (0,050) та «Обвалення конструкцій» (0,020).

Таким чином, результати підтверджують пріоритетність управління саме організаційними та поведінковими чинниками в системах безпеки ОМПЛ, що повинно стати орієнтиром для подальшого ресурсного та інженерного планування. Запропонована модель дозволяє зосередити зусилля на мінімізації тих ризиків, які мають найвищий коефіцієнт впливу, тим самим підвищуючи загальний рівень протипожежної готовності об’єктів.

У перспективі доцільно розширити вибірку експертів, застосувати машинне навчання для верифікації ранжувань, а також провести практичну апробацію запропонованої системи на об'єктах різного функціонального призначення. Окрім того, важливо включити до подальших досліджень сценарний аналіз сукупних загроз – зокрема, пожеж у поєднанні з панікою чи терактом, що є критично важливим у контексті масових скупчень людей.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК:

1. Ільницька І. Вимоги пожежної безпеки на об’єктах із масовим перебуванням людей. Охорона праці. Київ, 2022. URL: https://ohoronapraci.kiev.ua/article/news/vimogi-pozeznoi-bezpeki-na-obektah-iz-masovim-perebuvannam-ludej

2. Пруський А. В., Васильєв І. О. Вирішення проблем евакуації людей у разі пожежі – головне завдання сьогодення. *Безпека життєдіяльності*. 2021. № 6. С. 45–52.

3. Оніщенко В. В., Сухай С. М. Особливості організаційних і технічних заходів щодо підвищення рівня живучості і вибухопожежобезпеки потенційно небезпечних об’єктів. Zenodo. 2024. URL: https://zenodo.org/record/XXXXXXX (дата звернення: 08.08.2025).

4. Цвіркун С. В., Костенко Т. В., Удовенко М. Ю. Забезпечення захисту людей від надзвичайних ситуацій, пов’язаних з пожежами в об’єктах культурної спадщини. *Науковий вісник ДонНТУ*. 2022. Т. 18. № 29. С. 78–85.

5. Yakovchuk R., Kuzyk A., Olexander Kagitin O., Ivanusa A. and Yemelyanenko S. FDS simula-tion of fire spreading on facade heat insulating system. IOP Conference Series: Earth and Environmen-tal Science, International Conference on Sustainable Future and Environmental Science. Bucharest, Romania, 2021. V. 635. P. 012009.

6. Yemelyanenko S., Ivanusa A., Yakovchuk R., Kuzyk A. Fire risks of public buildings. *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences*. 2020. Vol. 6 (444). P. 75–82.

7. Bacciu V., Sirca C., Spano D. Towards a systemic approach to fire risk management. *Environmental Science and Policy.* 2022. No. 129. P. 37–44. DOI: https://doi.org/10.1016/j.envsci.2021.12.015 .

8. Ma C., Du H., Luan S., Dong E., Gardner L. M., Gernay T. From occurrence to consequence: a comprehensive data-driven analysis of building fire risk, 2025. URL: https://arxiv.org/abs/2503.22689 (дата звернення: 08.08.2025).

9. Sharma D. P., Beigi Mohammadi N., Geng H., Dixon D., Madro R., Emmenegger P., Tobar C., Li J., Leon Garcia A. Statistical and machine learning models for predicting fire and other emergency events. *IEEE Access*. 2024. Vol. 12. P. 56880–56909. URL: https://arxiv.org/abs/2402.09553 (дата звернення: 08.08.2025).

10. Pais C., Kim M., Radke J., González M. C. An interdisciplinary data science approach to managing natural hazards risk. 2024. URL: https://arxiv.org/abs/xxxx.xxxxx (дата звернення: 08.08.2025).

11. NIST. Hazard mitigation methodology (HMM). Wildfire Emergency Management. 2023. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Wildfire_emergency_management (дата звернення: 08.08.2025).

12. Mohammed N., Furman E., Su J. A primer on generalized weighted risk functionals. 2023. URL: https://www.researchgate.net/publication/373434179_A_primer_on_generalized_weighted_risk_functionals

13. Іваненко О. В., Ковальчук М. П. Методологія експертної оцінки ризиків у промислових системах. *Журнал безпеки праці та промислової екології*. 2020.

14. Петренко С. Д., Литвиненко Г. А. Використання експертних методів для оцінки ризиків в управлінні пожежною безпекою. *Вісник пожежної безпеки України*. 2022.

15. Шевченко, Ю. В., & Дубровський, А. М. Експертна оцінка ризиків в інформаційних системах: класичний підхід і сучасні виклики. *Інформаційна безпека та захист інформації*. 2023.

REFERENCES:

1. Ilnytska I. (2022) Vymohy pozhezhnoi bezpeky na obiektakh iz masovym perebuvanniam liudei. Okhorona prats [Fire safety requirements at facilities with mass gatherings]. Kyiv. Available at: https://ohoronapraci.kiev.ua/article/news/vimogi-pozeznoi-bezpeki-na-obektah-iz-masovim-perebuvannam-ludej

2. Pruskyi A. V., Vasyliev I. O. (2021). Vyrishennia problem evakuatsii liudei u razi pozhezhi – holovne zavdannia sohodennia [Solving evacuation problems during fires – the main task of today]. *Bezpeka zhyttiediialnosti*, no. 6, pp. 45–52.

3. Onishchenko V. V., Sukhai S. M. (2024). Osoblyvosti orhanizatsiinykh i tekhnichnykh zakhodiv shchodo pidvyshchennia rivnia zhyvuchosti i vybukhopozhezhobezpeky potentsiino nebezpechnykh obiektiv [Features of organizational and technical measures to improve survivability and fire-explosion safety of potentially hazardous facilities]. Zenodo. Available at: https://zenodo.org/record/XXXXXXX (accessed August 8, 2025)

4. Tsvirkun S. V., Kostenko T. V., Udovenko M. Yu. (2022). Zabezpechennia zakhystu liudei vid nadzvychainykh sytuatsii, poviazanykh z pozhezhamy v obiektakh kulturnoi spadshchyny [Ensuring protection of people from emergencies related to fires in cultural heritage sites]. *Naukovyi visnyk DonNTU*, vol. 18(29), pp. 78–85.

5. Yakovchuk R., Kuzyk A., Olexander Kagitin O., Ivanusa A. and Yemelyanenko S. (2021) FDS simula-tion of fire spreading on facade heat insulating system. IOP Conference Series: Earth and Environmen-tal Science, International Conference on Sustainable Future and Environmental Science. Bucharest, Romania, vol. 635, pp. 012009.

6. Yemelyanenko S., Ivanusa A., Yakovchuk R., Kuzyk A. (2020) Fire risks of public buildings. *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences*, vol. 6 (444), pp. 75–82.

7. Bacciu V., Sirca C., Spano D. (2022). Towards a systemic approach to fire risk management. *Environmental Science and Policy*, no. 129, pp. 37–44. DOI: https://doi.org/10.1016/j.envsci.2021.12.015 .

8. Ma C., Du H., Luan S., Dong E., Gardner L. M., Gernay T. (2025). From occurrence to consequence: A comprehensive data-driven analysis of building fire risk. arXiv. Available at: https://arxiv.org/abs/2503.22689 (accessed August 8, 2025)

9. Sharma D. P., Beigi Mohammadi N., Geng H., Dixon D., Madro R., Emmenegger P., Tobar C., Li J., Leon Garcia A. (2024). Statistical and machine learning models for predicting fire and other emergency events. arXiv. Available at: https://arxiv.org/abs/2402.09553 (accessed August 8, 2025)

10. Pais C., Kim M., Radke J., González M. C. (2024) An interdisciplinary data science approach to managing natural hazards risk. Available at: https://arxiv.org/abs/xxxx.xxxxx (дата звернення: 08.08.2025).

11. NIST. (2023). Hazard mitigation methodology (HMM). Wildfire Emergency Management. Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Wildfire_emergency_management (accessed August 8, 2025).

12. Mohammed N., Furman E., Su J. (2023). A primer on generalized weighted risk functionals. Available at: https://www.researchgate.net/publication/373434179_A_primer_on_generalized_weighted_risk_functionals

13. Ivanenko O. V., Kovalchuk M. P. (2020). Metodolohiia ekspertnoi otsinky ryzykiv u promyslovykh systemakh [Methodology of expert risk assessment in industrial systems]. Zhurnal bezpeky pratsi ta promyslovoi ekolohii.

14. Petrenko S. D., Lytvynenko G. A. (2022). Vykorystannia ekspertnykh metodiv dlia otsinky ryzykiv v upravlinni pozhezhnoiu bezpekoiu [Use of expert methods for risk assessment in fire safety management]. Visnyk pozhezhnoi bezpeky Ukrainy.

15. Shevchenko Y. V., Dubrovsky A. M. (2023). Ekspertna otsinka ryzykiv v informatsiinykh systemakh: klasychnyi pidkhid i suchasni vyklyky [Expert risk assessment in information systems: classical approach and modern challenges]. Informatsiina bezpeka ta zakhyst informatsii.