Пожежна безпека
Fire Safety
ISSN 2078-6662 (print), ISSN 2708-1087 (online)
https://journal.ldubgd.edu.ua/index.php/PB

УДК 614.841:614.842
This article is an Open Access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 (CC BY 4.0) License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

DOI https://doi.org/10.32447/20786662.48.2026.14

В. А. Цопа[1], С. І. Чеберячко[2], Ю. І. Чеберячко[2], О. В. Дерюгін[2], Г. І. Туровська[3]
[1] Міжнародний інститут менеджменту, м. Київ, Україна
[2] Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна
[3] Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, Україна

ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4811-3712 – В. А. Цопа
https://orcid.org/0000-0003-3281-7157 – С. І. Чеберячко
https://orcid.org/0000-0001-7307-1553 – Ю. І. Чеберячко
https://orcid.org/0000-0002-2456-7664 – О. В. Дерюгін
https://orcid.org/0000-0002-1492-9123 – Г. І. Туровська
h.i.turovska@nuwm.edu.ua

РОЗРОБКА ПРОЦЕСУ КЕРУВАННЯ РИЗИКАМИ КОМПЛЕКСНИХ НЕБЕЗПЕЧНИХ ПОДІЙ (ІНЦИДЕНТІВ) НА ПРИКЛАДІ НЕБЕЗПЕКИ ФЕЄРВЕРКІВ ДЛЯ ПОВОЄННОЇ БЕЗПЕКОВОЇ МОДЕЛІ УКРАЇНИ

Проблема. Джерелом значних ризиків, пов'язаних з пожежами, травмами, вибухами та токсичними викидами є феєрверки, особливо в закритих приміщеннях або при масових заходах. Виникає необхідність у побудові моделі керування ризиками комплексних небезпечних подій (інцидентів) для забезпечення систематичної ідентифікації, оцінювання та зменшення ризиків, а отже і загибелі та травмування людей.

Мета. Розробити модель керування ризиками комплексних небезпечних подій (інцидентів) на основі статистичного аналізу нещасних випадків та інцидентів, пов'язаних із використанням, зберіганням і виробництвом феєрверків від впливу різних небезпечних чинників.

Методи дослідження. Для вирішення поставленої задачі був використаний метод морфологічного аналізу, який заснований на підборі можливих рішень з оцінки технологічності моделей керування ризиками (за наявності системи критеріїв) і прийняття раціонального рішення щодо особливостей документування оцінки ризику з використанням інтегрованих підходів, які дозволили конкретизувати елементи, що формують локальні топологічні і метричні простори.

Основні результати. Розроблена модель керування ризиками комплексних небезпечних подій (інцидентів) є багаторівневою та ескалаційною, що відрізняє її від класичних однорівневих моделей (наприклад, стандартної Bow-Tie), оскільки враховує ланцюг небезпечних подій, які характеризуються зростанням тяжкості наслідків. Розроблена модель інтегрує кількісну оцінку ризиків від комплексних небезпечних подій з урахуванням зростання ймовірності їх настання від впливу небезпечних чинників, що дозволяє переходити від реактивного до проактивного підходу запобігання небезпечним подіям. Проведений аналіз інцидентів з феєрверками за останні 50 років виявив ключову закономірність, що полягає у зростанні рівня ризику настання небезпечної події (пожежі) в місцях масового скупчення людей через використання горючих матеріалів для оздоблення приміщень, переповненість місць відпочинку, накопичення токсичного диму та недостатню кількість евакуаційних виходів. Запропоновано розрізняти два типи ризиків комплексних небезпечних подій (інцидентів) з феєрверками – це «місце виробництва/зберігання», де відбувається детонація маси піротехніки та «місце використання/споживання», де відбуваються пожежі в закритих приміщеннях.

Наукова новизна полягає у розробці процесу керування ризиками комплексних небезпечних подій (інцидентів) в системах управління безпекою при виробництві, зберіганні та використанні феєрверків, в якому, на відміну від існуючих, проводиться оцінювання ризиків від низки послідовних ланцюгових небезпечних подій.

Практична цінність полягає у розробці рекомендацій для регуляторів ринку щодо посилення ліцензування, заборони використання піротехніки, забезпечення умов для оцінки ризиків настання комплек-

сних небезпечних подій (інцидентів), створення глобальної бази даних причин настання небезпечних подій з феєрверками.

Ключові слова: ризик, небезпека, небезпечна подія, пожежа, вибух, керування ризиком феєрверків, комплексна небезпечна подія.

V. A. Tsopa[1], S. I. Cheberiachko[2], Yu. I. Cheberiachko[2], O. V. Deriuhin[2], H. I. Turovska[3]

[1] International Management Institute, Kyiv, Ukraine

[2] Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

[3] National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, Ukraine

DEVELOPMENT OF A RISK MANAGEMENT PROCESS FOR COMPLEX HAZARDOUS INCIDENTS TOWARD A POST-WAR SECURITY MODEL OF UKRAINE: CASE STUDY OF FIREWORK HAZARDS

Problem statement. Fireworks are a source of significant risks associated with fires, injuries, explosions, and toxic emissions, especially in enclosed spaces or during mass events. The need to build a risk management model for complex hazardous events (incidents) arises to ensure systematic identification, assessment, and mitigation of risks and the consequent reduction in fatalities and injuries.

Purpose. Development of a risk management model for complex hazardous events (incidents) based on statistical analysis of accidents and incidents associated with production, storage and use of fireworks from the influence of various hazardous factors.

Methods. Morphological analysis was used to solve this task. This method is based on selection of possible solutions for assessing the technological feasibility of risk management models (if a system of criteria is available) and making a rational decision regarding the features of documenting the risk assessment using integrated approaches, which made it possible to specify elements that form topological and metric spaces with local properties.

Results. The developed risk management model for complex hazardous events (incidents) is multilevel and escalating, which differs it from classical single-level models (for example, standard Bow-Tie), since it considers a chain of hazardous events, which are characterized by the increasing severity of the consequences. The developed model integrates quantification of complex hazardous event risks, considering increase the probability of their occurrence from the influence of hazardous factors, which allows for moving from a reactive to a proactive approach to hazardous event prevention. The analysis of firework related incidents over the last 50 years identified a key regularity, which lies in the increasing risk level of a hazardous event (fire) in crowded places. This occurs as a result of using combustible materials to decorate spaces, overcrowding of holiday destinations, accumulating toxic smoke, and insufficient number of emergency exits. It is proposed to distinguish between two types of risk for complex hazardous firework events (incidents). They are as follows: "place of production and storage", where the detonation of a pyrotechnic mass occurs; "place of use and consumption", where fires occurs in enclosed spaces.

The scientific novelty lies in developing process of risk management for complex hazardous events (incidents) within safety management systems in production, storage and use of fireworks. In the proposed process, unlike the existing processes, the risk assessment is carried out from a consecutive chain of hazardous events.

The practical value lies in developing recommendations for regulatory bodies regarding strengthening licensing, banning the use of pyrotechnics, ensuring conditions for risk assessment of complex hazardous events (incidents), and creation of a global database of hazardous firework event causes.

Key words: risk, hazard, hazardous event, fire, explosion, firework risk management, complex hazardous event.

Постановка проблеми. Виробництво феєрверків бере початок у Стародавньому Китаї, відтоді як один кухар випадково змішав сіль, сірку та вугілля. Пізніше феєрверки стали невід'ємною частиною китайської культури, супроводжуючи різноманітні святкування: Свято Весни, Свято середини осені та інші [1]. З Китаю феєрверки поширилися до Європи, де швидко знайшли своє застосування на урочистих заходах та військових парадах. З 18-го століття і до сьогодення вони стали невід'ємною частиною розваг та мистецтва [2]. Зараз існує величезна кількість фабрик з виробництва феєрверків як для особистого, так і професійного використання. При цьому їх виготовлення, зберігання й використання регламентується низкою суворих стандартів безпеки (наприклад, EN 15947, APA 87-1A, NFPA 1124, NFPA 1126 «Code for the Manufacture, Transportation, Storage, and Retail Sales of Fireworks and Pyrotechnic Articles», «Standard

for the Use of Pyrotechnics Before a Proximate Audience», Технічний регламент піротехнічних виробів, затверджений Постановою Кабінету Міністрів України № 839 від 03.08.2011 та інші). Однак в світі за останні 50 років загинуло біля ***3 тис.*** осіб через інциденти, пов'язані з феєрверками (табл. 1).

Оскільки феєрверки та піротехніка є джерелом значних ризиків, пов'язаних з пожежами, травмами, вибухами та токсичними викидами [2, 3], особливо в закритих приміщеннях або при масових заходах, виникає необхідність у побудові моделі керування ризиками. Це дозволить забезпечити систематичну ідентифікацію, оцінювання та зменшення ризиків, а отже і загибелі та травмування людей. Розроблена модель насамперед створить умови переходу від реактивного підходу (реагування на інциденти) до проактивного (запобігання небезпечним подіям чи надзвичайним ситуаціям).

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У роботі [2] авторами проведено експерименти в камері вибуху (вимірювання надлишкового тиску від піротехніки 1.4 G), пожежні тести в складі (27 м^3, до 50 кг NEC) та тести щодо швидкості гасіння пожежі. Авторами виявлено закономірності між падінням тиску від вибуху та щільністю заряду. Показано, що у замкнутому просторі навіть 1.4 G викликає масовий вибух із пожежею. На жаль, в роботі не було виявлено впливу геометрії замкнутих просторів на розвиток руйнування.

У роботі [3] авторами виконаний теоретичний розрахунок викидів (CO_2/CO) під час застосування піротехніки в закритому приміщені та проведено оцінювання ризиків травмування людей методом HAZOP, виходячи з ідентифікації небезпек на основі перхлоратів/чорного пороху. Автори зазначали, що додавання нітроцелюлози зменшує CO_2 на 42 %, але збільшує CO. Разом з тим при оцінці ризиків небезпечну подію не розглядали як комплексну, що не дозволило виявити послідовність взаємодії низки небезпечних чинників, які збільшують ризик.

У роботі [5] авторами проаналізовано вибухи феєрверків за 20 років. Виявлено, що основною причиною небезпечних подій є людські помилки. При цьому ключем помилок слугували психологічні проблеми у працівників, а також організаційні невідповідності щодо зберігання піротехніки. На жаль, автори обмежились дослідженням причин людської помилки.

У роботі [6] авторами виконаний глибокий огляд літератури з аварійних ситуацій з піротехнікою. Були визначені відповідні рейтинги експозиції/ризику на основі ймовірності та тяжкості наслідків. На жаль, автори також зосередились на людських помилках без доказів кореневих причин; дані спостережні/звітні (можливо неповні); моделі адаптовані з інших секторів; короткострокові ефекти повітря вивчені недостатньо.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Загалом, наукові статті фокусуються на експериментальних дослідженнях (пожежі/вибухи), симуляціях (евакуація/ML) та оглядах (інциденти). Моделі – від класичних (HAZOP, RASH) до сучасних (ML, Monte Carlo). Недоліки спільні: обмежена узагальненість (регіон/лабораторія), брак повномасштабних тестів, невизначеність даних. Це підкреслює потребу в глобальних базах інцидентів та інтегрованих моделях.

Мета статті – розробити модель керування ризиками комплексних небезпечних подій (інцидентів) на основі статистичного аналізу нещасних випадків та інцидентів, пов'язаних із використанням, зберіганням та виробництвом феєрверків від впливу різних небезпечних чинників.

Методи дослідження. Для вирішення поставленої задачі був використаний метод морфологічного аналізу [7], який передбачає систематичний підбір і комбінування можливих рішень для декомпозиції складних систем. Метод застосовувався для оцінки технологічності моделей керування ризиками феєрверків на основі чіткої системи критеріїв: ефективності ідентифікації ризиків (оцінка за кількістю виявлених комбінацій) та визначення тяжкості наслідків (оцінка в спеціалізованому

Таблиця 1

Аналіз піротехнічних інцидентів за кількістю загиблих, об'єктами та десятиліттями [4]

Десятиліття	Розважальні заклади та громадські заходи	Зберігання та торгівля	Виробництво	Інше	Загальна кількість загиблих
1970–1979	708	0	6	0	**714**
1980–1989	0	62	55	7	**124**
1990–1999	0	98	260	0	**358**
2000–2009	597	291	56	0	**944**
2010–2019	418	75	89	0	**582**
2020–дотепер	175	37	23	16	**251**
РАЗОМ	**1898**	**563**	**489**	**23**	**2973**

програмному забезпеченні). Це дозволило прийняти раціональне рішення щодо особливостей оцінки ризиків феєрверків, інтегруючи підходи з ризик-менеджменту, і конкретизувати елементи, що формують локальні топологічні (структурні взаємозв'язки подій) та метричні (кількісні оцінки ймовірностей) простори зазначеного підходу. Процес реалізації методу включав три кроки. Перший – ідентифікація ключових параметрів ризиків (наприклад, небезпечні події: НП1 – несанкціоноване загоряння, НП2 – детонаційний вибух, НП3 – пожежа). Другий – створення морфологічних декомпозицій для задачі оцінки ризику, де виявлено 4 основні комбінації розвитку подій (наприклад, «загоряння + відсутність евакуації, масова пожежа» або «вибух на виробництві – руйнування інфраструктури»), на основі аналізу інцидентів. Третій – заповнення морфологічних ящиків (матриць) варіантами комбінацій, наприклад, 3 × 4 матриця, де рядки – етапи подій (НП1-НП3), стовпці – небезпечні чинники ризику, а клітинки – ймовірності (від 0,1 до 0,9), розраховані за статистичними даними з літератури [8]. Для мінімізації суб'єктивності оцінки проводилися за допомогою експертної панелі (5 фахівців з безпеки піротехніки), з використанням методу Делфі для узгодження (коефіцієнт узгодженості Кронбаха > 0,8), а також статистичної валідації на тестовому наборі з 10 інцидентів. Аналіз отриманих варіантів дозволив виявити комбінації розвитку подій після нещасного випадку, які традиційні підходи (наприклад, одноріневa оцінка) ігнорують, такі як часова залежність небезпечних чинників. Виявлені ознаки були представлені у формі таблиць-морфологічних ящиків, що полегшило візуалізацію моделі керування ризиками та швидшу навігацію в різноманітті понять і факторів. У результаті системного аналізу згенеровано нову багаторівневу модель, яка дозволяє по-новому підійти до оцінки ризику, систематизуючи небезпечні чинники залежно від часу виникнення події та забезпечуючи відтворюваність через задокументовані дані.

Виклад основного матеріалу. Для розуміння масштабів трагедій, пов'язаних із феєрверками, першочерговим завданням є систематизація інцидентів за їх найтяжчим наслідком – кількістю людських життів. Наведений нижче аналіз інцидентів (табл. 2) дозволяє ранжувати всі задокументовані випадки за кількістю смертельних жертв, від найбільшої до найменшої.

Звідси всі інциденти можна розділити на групи за масштабом загиблих:

• ***Катастрофічні (50+ смертей) інциденти***, *ця група включає події з масовою загибеллю людей, які часто стають національними трагедіями*.

• ***Великі (10–49 смертей) інциденти***, *це інциденти зі значними наслідками, часто пов'язані з промисловими об'єктами або великими скупченнями людей*.

• ***Локальні (<10 смертей) інциденти***, *це інциденти менш масштабні, але більш численні випадки, що становлять постійну загрозу*.

Детальний розгляд найсмертоносніших інцидентів виявляє критично важливу закономірність. Всупереч поширеній думці, найбільша кількість жертв (понад 100 загиблих) рідко є прямим наслідком вибуху на виробництві. Натомість, ці трагедії є результатом пожеж у місцях масового скупчення людей: нічних клубах (Kiss, Кроманьон, Station), громадських залах (Сіньцзян), торгових центрах (Меса-Редонда) та на весіллях (Каракош). У цих сценаріях феєрверк виступає не як основна руйнівна сила, а як ініціатор займання. Сценарій настання інциденту зміщується від детонації великої маси піротехніки до швидкого поширення вогню легкозаймистими матеріалами оздоблення в замкненому просторі, що супроводжується панікою та отруєнням токсичним димом. Крім того, спостерігається значна диспропорція між кількістю загиблих та поранених залежно від типу інциденту. Пожежі в нічних клубах генерують величезну кількість постраждалих. Наприклад, у клубі «Кроманьон» на 194 загиблих припадає понад 1492 поранених (співвідношення ~1:7.7), а в клубі Kiss – 242 загиблих на 630 поранених (~1:2.6). На противагу цьому, вибух на заводі Aerlex в Оклахомі призвів до 21 смерті та лише 5 поранень (~1:0.2). Це свідчить про різні механізми ураження: вибухи на виробництві мають високу летальність в епіцентрі, але обмежену зону ураження, тоді як пожежі в закритих приміщеннях призводять до масового отруєння димом та опіків серед великої кількості людей, які не гинуть миттєво. Це створює колосальне навантаження на служби з надзвичайних ситуацій (пожежників) та системи охорони здоров'я.

Особливої уваги заслуговує небезпечний чинник локацій – концентрації інцидентів у конкретних локаціях. Яскравим прикладом є місто Тультепек у Мексиці, яке фігурує в даних тричі за короткий проміжок часу: вибух на ринку Сан-Пабліто у 2016 році (42 загиблих) [11], а також два окремі вибухи на складах у 2018 році (7 та 24 загиблих) [12]. Така повторюваність вказує на те, що це не випадкові події, а прояв глибоко вкоріненої системної проблеми в системі управління ОЗіБП. Ризик у таких місцях тісно пов'язаний з місцевою економікою та культурою, де виробництво та продаж піротехніки є основою добробуту цілих громад. Це перетворює проблему з суто

Таблиця 2

Рейтинг інцидентів, пов'язаних з феєрверками, за кількістю смертельних випадків [9, 10]

Рейтинг	Кількість смертей	Кількість поранених	Дата	Небезпечна подія	Країна	Тип об'єкта (стандартизований)
1	694	161	18.02.1977	Пожежа на фермі 61-го полку Сіньцзяну	Китай	Розважальні заклади та громадські заходи
2	291	134	29.12.2001	Пожежа в Меса-Редонді	Перу	Зберігання та торгівля
3	242	630	27.01.2013	Пожежа в нічному клубі Kiss	Бразилія	Розважальні заклади та громадські заходи
4	194	1492+	30.12.2004	Пожежа в нічному клубі «Кроманьон»	Аргентина	Розважальні заклади та громадські заходи
6	134	405	31.01.1996	Вибух у Шаояні 1996 року	Китай	Виробництво
7	111	350+	10.04.2016	Пожежа в храмі Путталя	Індія	Місця поклоніння
8	107	82	26.09.2023	Весільна пожежа в Каракоші 2023 року	Ірак	Розважальні заклади та громадські заходи
9	100	230	20.02.2003	Пожежа в нічному клубі Station	Сполучені Штати Америки	Розважальні заклади та громадські заходи
10	100	–	23.06.1958	Вибух на стенді для феєрверків	Бразилія	Зберігання та торгівля
11	67	222	01.01.2009	Пожежа в клубі «Сантіка»	Таїланд	Розважальні заклади та громадські заходи
12	64	146	30.10.2015	Пожежа в нічному клубі Colectiv	Румунія	Розважальні заклади та громадські заходи
13	63	348	26.09.1999	Катастрофа з феєрверком у Селаї	Мексика	Зберігання та торгівля
14	62	155+	16.03.2025	Пожежа в нічному клубі Кочані	Північна Македонія	Розважальні заклади та громадські заходи
15	62	83	12.12.1988	Катастрофа з феєрверком у Мехіко	Мексика	Зберігання та торгівля

організаційної, тобто дотримання стандартів безпеки, на комплексну соціально-економічну, де будь-які регуляторні заходи стикаються з економічними інтересами населення [13].

Аналіз місць, де стаються інциденти, дозволяє виявити фундаментальну дихотомію ризиків, пов'язаних із феєрверками (табл. 3). Всі інциденти можна розділити на дві принципово різні категорії, що вимагають абсолютно різних підходів до запобігання.

Таблиця 3

Аналіз інцидентів за типом об'єкта

Тип об'єкта, де стався інцидент	Загальна кількість загиблих	Частка від загальної кількості (%)
Розважальні заклади та громадські заходи	1898	62,1
Зберігання та торгівля	563	19,6
Виробництво	489	18,0
Інше	23	0,8
РАЗОМ	2973	100,0

Катастрофи в точці інциденту на виробництві та зберіганні включають інциденти, що стаються на об'єктах, де піротехніка виробляється або зберігається у великих кількостях: заводи, фабрики, склади. Прикладами є вибух на заводі Aerlex у США (21 загиблий) [14], катастрофа на складі в Енсхеде, Нідерланди (23 загиблих) [11] та вибух на заводі в Шаояні, Китай (134 загиблих) [15]. Основним механізмом ризику є детонація значної маси вибухових речовин. Це призводить до потужної вибухової хвилі, розльоту уламків і масштабних руйнувань. Головна небезпека спрямована на персонал підприємства та прилеглі території. Запобігання таким катастрофам лежить у площині суворого дотримання технологій виробництва, належних умов зберігання, правильного зонування та розташування небезпечних об'єктів на безпечній відстані від житлових районів. Розважальні заклади та громадські заходи мають найбільший вклад в загибелі людей (рис. 1). Аналіз численних пожеж у нічних клубах – Station (США, 100 загиблих), [16], «Кроманьон» (Аргентина, 194 загиблих) [16, 17], Kiss (Бразилія, 242 загиблих) [18], Colectiv (Румунія, 64 загиблих) [19, 20] – виявляє глобальний, повторюваний сценарій. Це не низка унікальних нещасних випадків, а системний збій в системі управління безпекою, що

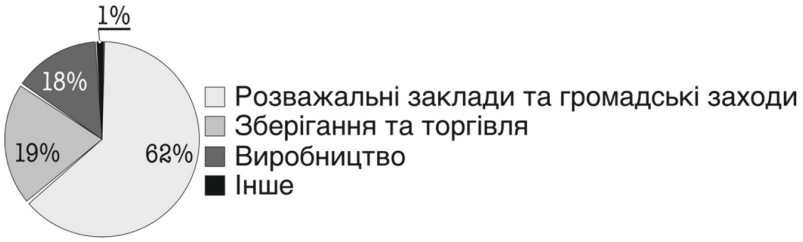

Рис. 1. Розподіл загальної кількості смертей за типом

відтворюється в різних країнах з трагічною регулярністю.

Сценарій практично ідентичний:

1. ***Використання сценічної піротехніки*** (часто «холодних фонтанів», які насправді не є холодними) у закритому приміщенні.

2. ***Займання легкозаймистих декоративних або звукоізоляційних матеріалів*** (пінопласт, тканина, пластик) на стелі чи стінах.

3. ***Швидке поширення вогню та виділення надзвичайно токсичного диму***, який є основною причиною смерті.

4. ***Паніка та тиснява*** серед великої кількості людей, що посилюється темрявою та відключенням електроенергії.

5. ***Недостатня кількість, блокування або неправильне маркування аварійних виходів***, що перетворює приміщення на смертельну пастку.

Визначена послідовність настільки стала, що її можна розглядати як ризик «Місце інциденту». Повторюваність свідчить про провал у засвоєнні уроків попередніх трагедій на глобальному рівні та нездатності регуляторів і власників закладів в одній країні вчитися на помилках, зроблених в іншій.

Інциденти, подібні до пожежі в Меса-Редонді в Перу (291 загиблий) та вибуху на ринку Сан-Пабліто в Мексиці (42 загиблих) [15], ілюструють інший тип ризику «Кінцевого продавця». Ризик створюється через неконтрольоване зберігання та продаж великої кількості піротехніки у безпосередній близькості до скупчення людей. Це створює умови для ланцюгової реакції, де займання одного невеликого лотка може призвести до масових вибухів і пожежі, що охоплює всю територію торговельного майданчика.

Фундаментальне розрізнення між ризиками «Місце інциденту» та «Кінцевого продавця» є ключовим для розуміння проблеми безпеки з продажу феєрверків. Змішувати їх в одну категорію «інцидентів з феєрверками» буде помилкою, яка перешкоджає розробці результативних і дієвих заходів безпеки, оскільки вони вимагають абсолютно різних регуляторних підходів. Проведений аналіз дозволяє сформулювати модель керування ризиками феєрверків (рис. 2), особливістю якої є багаторівневість.

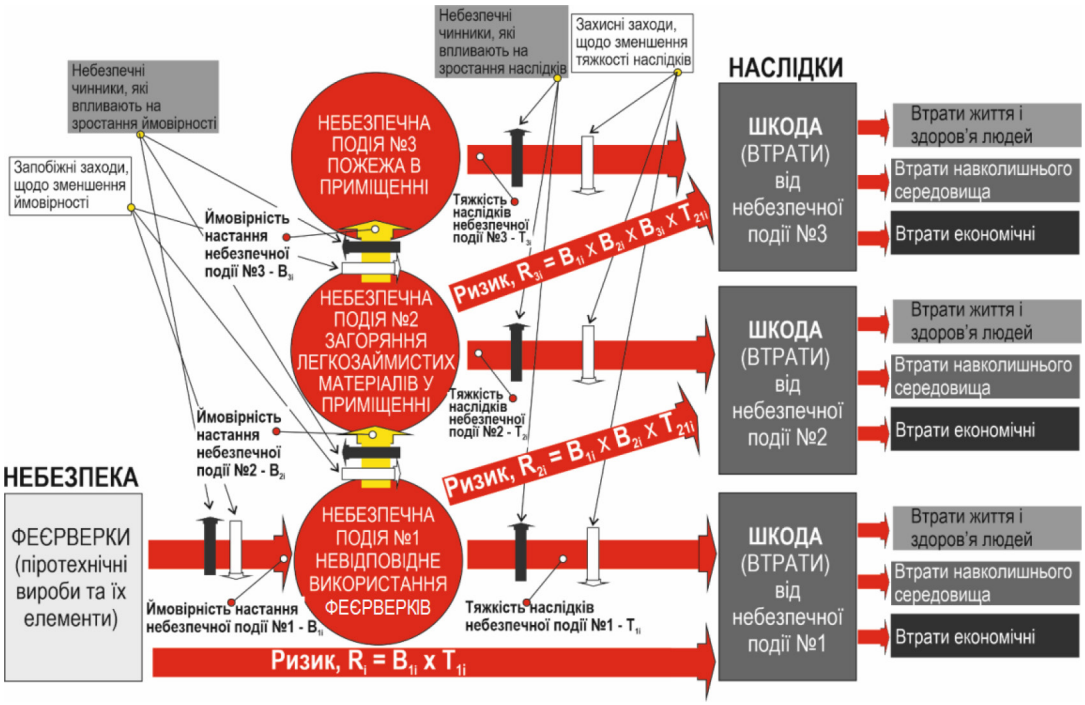

Рис. 2. Модель керування ризиками феєрверків

Виходячи із заданої ймовірності настання кожної небезпечної події: невідповідне використання піротехніки (НП1), загоряння легкозаймистих матеріалів у приміщенні (НП2), пожежа в приміщенні (НП3), – ризик розраховуємо за формулою:

$$\text{Ризик } (НП_n) = B_1 \cdot T_1 + B_1 \cdot B_2 \cdot T_2 + \\ + \ldots B_1 \cdot B_2 \cdot \ldots \cdot B_n \cdot T_n, \quad (1)$$

де $НП_n$ – небезпечна подія n-ої послідовності;

B_1, B_2, …, B_n – ймовірність настання $НП_1$, $НП_2$, …, $НП_n$, B_1, B_2, …, B_n;

T_n – тяжкість наслідків від настання небезпечних подій $НП_1$, $НП_2$, …, $НП_n$.

Для документування ризику комплексних небезпечних подій (інцидентів) від настання небезпечних подій – *j* від *i*-тої небезпеки пропонується використовувати табл. 4.

На ймовірність настання кожної небезпечної події вливає низка небезпечних чинників, які сприятимуть прояву наступного рівня розвитку комплексної небезпечної події. Виникає задача із їх ідентифікації та розробки запобіжних заходів для недопущення найгіршого розвитку небезпечної ситуації. На відміну від класичної однорівневої моделі керування ризиками, розроблена модель вказує чітко виражену послідовну (ланцюжкову) структуру, що відображає реальну фізичну послідовність розвитку небезпечних подій при використанні феєрверків у приміщенні. Замість однієї узагальненої імовірності «виникнення пожежі від феєрверків» модель розбиває процес на три чітко визначені етапи, де кожна наступна подія можлива лише за умови реалізації попередньої: невідповідне використання (виготовлення), загоряння легкозаймистих матеріалів, розвиток повноцінної пожежі (вибух). Класична модель, зазвичай, працює з однією сумарною імовірністю події (ризик пожежі), тоді як розроблена модель використовує умовні імовірності, що задаються саме за умови, що попередня подія вже сталася. Це краще описує реальну механіку надзвичайної ситуації.

Розглянемо приклад ***вибуху піротехніки на фабриці «PT Panca Buan Cahyadi» у місті Тангеранг (Індонезія), що сталось 26 жовтня 2017 року*** [15]. Проведене розслідування встановило основну причину: зварювальні роботи, що проводилися поруч із великою кількістю пороху. Разом з тим, було виявлено багато інших різних порушень, які призвели саме до найгіршого сценарію розвитку подій. ***По-перше***, фабрика не мала системи оповіщення про виникнення пожежі, системи автоматичного пожежогасіння, при цьому додатковий (можна сказати евакуаційний) вихід був заблокований, що ускладнило порятунок. ***По-друге***, виробництво феєрверків велося без відповідних дозволів, що є порушенням законодавства Індонезії. ***По-третє***, ніхто не проводив ніяких інструктажів щодо безпечного виконання робіт. Можна припустити, що і для керівників середньої ланки – це була зайва втрата часу, бо більшість людей не слухали і не виконували правила безпеки.

Модель керування ризиками феєрверків, що пов'язує небезпеку (піротехнічні вироби) з появою комплексної небезпечної події – вибухом, пожежею і падінням даху та наслідками – загибелі 49 людей та 46 травмованих, наведена на рис. 3.

З відкритих джерел, відомо, що основними небезпечними чинниками, які збільшили ймовірність настання небезпечної події були: відсутність дозволу на виготовлення феєрверків, відсутність належних систем безпеки (ізоляція і віддалення, система вентиляції, захист від джерел відкритого вогню, використання обладнання

Таблиця 4

Результати документування ризику комплексних небезпечних подій (інцидентів) від настання небезпечних подій – *j* від *i*-тої небезпеки

Визначення						**Оцінка ризику небезпечної події-*j* від небезпеки-*i*, $НП_j/П_j$**
Небезпека-*i*	**Небезпечна подія $НП_{ij}$**	**Тяжкість наслідків небезпечної події-*j* від небезпеки-*i*, T_{ij}**	**Ймовірність настання небезпечної події**		**Рівень ризику R_{ij} від $НП_j$**	
i	$НП_{i1}$	T_{i1}	B_{i1}	B_{i1}	$B_{i1} \cdot T_{i1}$	$НП_1/П_1$
	$НП_{i2}$	T_{i2}	B_{i2}	$B_{i1} \cdot B_{i2}$		$НП_2/П_2$
	…	…	…	…	…	…
	$НП_{ij}$	T_{ij}	B_{ij}	$B_{i1} \cdot B_{i2} \cdot \ldots \cdot B_{ij}$	$B_{i1} \cdot B_{i2} \cdot \ldots \cdot B_{ij} \cdot T_{ij}$	$НП_2/П_2$
	…	…	…	…	….	…
	$НП_{im}$	T_{im}	B_{im}	$B_{i1} \cdot B_{i2} \cdot \ldots \cdot B_{ij} \cdot \ldots \cdot B_{im}$	$B_{i1} \cdot B_{i2} \cdot \ldots \cdot B_{ij} \cdot \ldots \cdot B_{im} \cdot T_{im}$	$НП_m/П_m$
	Ризик від небезпеки-*i*		$R_i = B_{i1} \cdot T_{i1} + B_{i1} \cdot B_{i2} \cdot T_{i2} + \ldots + B_{i1} \cdot B_{i2} \cdot \ldots \cdot B_{ij} \cdot T_{ij} + \\ + \ldots + B_{i1} \cdot B_{i2} \cdot \ldots B_{ij} \cdot \ldots \cdot B_{im} \cdot T_{im}$			$НП_i/П_i$

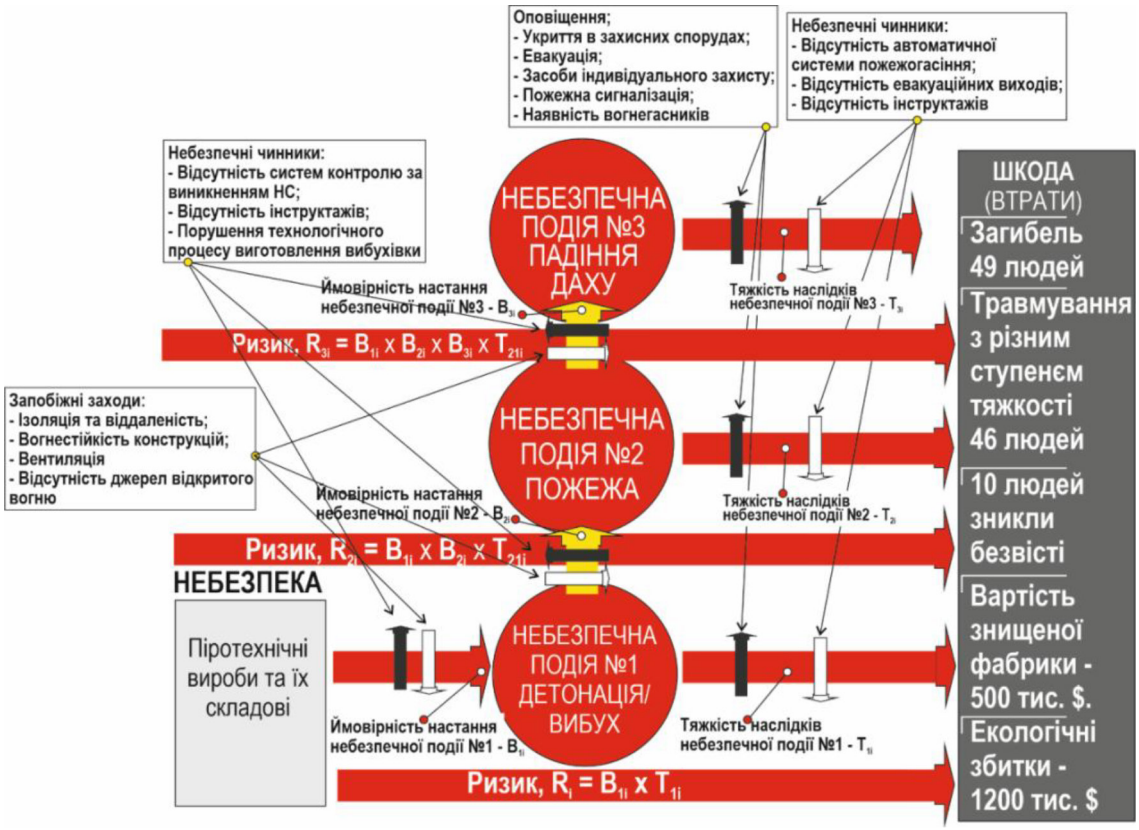

Рис. 3. Модель керування ризиками феєрверків на фабриці «PT Panca Buan Cahyadi»

у вибухобезпечному стані та інше), в тому числі пожежної (системи оповіщення, сигналізації, автоматичного пожежогасіння), відсутність евакуаційних виходів. Також не проводилось навчання на випадок аварійної ситуації та й загалом інструктажі – здебільшого формалізм. Фахівці визначають, що головною причиною була відсутність контролю за технологічним процесом виготовлення вибухівки, оскільки фабрика не мала права на проведення подібних робіт [12]. Крім того, було порушення законодавства щодо залучення неповнолітніх на небезпечних роботах. Навіть перелічених небезпечних чинників вже достатньо, щоб зрозуміти, що рівень ризику буде неприйнятним за будь-якою системою відліку (в табл. 5 наведено розрахунок ризику за матрицею 10 на 10, де ймовірність представлена за шкалою від 0 до 1, а тяжкість наслідків від 1 до 10; при цьому, коли від 5 і більше балів ризик є неприйнятним).

Розглянемо ще один трагічний випадок, який відбувся в ***нічному клубі «Kiss» (Санта-Марія, 27 січня 2013 року)*** [18]. У ніч пожежі в клубі проходила університетська вечірка, на якій були присутні переважно студенти віком від 18 до 30 років. На сцені виступав гурт Gurizada Fandangueira. Цей контекст пояснює демографічний склад жертв і святкову атмосферу, що сприяла використанню піротехніки. Ліцензована місткість клубу становила менше 700 осіб, деякі джерела вказують на 691 особу. Однак у ніч трагедії, за різними оцінками, в закладі перебувало від 1000 до 2000 осіб. Повідомлялося, що адміністрація клубу дотримувалася принципу «чим більше людей усередині, тим краще». Це екстремальне переповнення стало однією з головних причин великої кількості загиблих, оскільки воно серйозно перешкоджало будь-якій можливості впорядкованої евакуації, що важливо за даними [21] для підвищення безпеки натовпу. Інцидент в клубі «Kiss» не був наслідком однієї помилки, а результатом катастрофічного збігу численних, незалежних прихованих порушень (рис. 4). Протермінований дозвіл, незатверджені ремонтні роботи, використання легкозаймистої піни, непрацюючий вогнегасник, єдиний вихід і переповненість – усе це були попередні умови настання інциденту.

Піротехнічне шоу стало лише спусковим гачком першою небезпечною подією, який активував цей заздалегідь підготовлений механізм інциденту. Жодне із цих порушень саме по собі, ймовірно, не призвело би до 242 смертей. Однак їх поєднання створило систему з нульовою стійкістю до інциденту – надзвичайної ситуації. Регуляторний збій дозволив встановити небезпечний матеріал; операційний збій наповнив приміщення жертвами; технічні порушення унеможливили

Таблиця 5

Фрагмент ідентифікації та оцінювання ризику вибуху на фабриці феєрверків

Визначення						Оцінка ризику небезпечної події-*j* від небезпеки-*i*, $НП_j/П_j$
Небезпека-*i*	Небезпечна подія $НП_{ij}$	Тяжкість наслідків небезпечної події-*j* від небезпеки-*i*, T_{ij}	Ймовірність настання небезпечної події		Рівень ризику R_{ij} від $НП_j$	
i	$НП_{i1}$	T_{i1}	B_{i1}	B_{i1}	$B_{i1} \cdot T_{i1}$	$НП_1/П_1$
	$НП_{i2}$	T_{i2}	B_{i2}	$B_{i1} \cdot B_{i2}$		$НП_2/П_2$
	…	…	…	…	…	…
	$НП_{ij}$	T_{ij}	B_{ij}	$B_{i1} \cdot B_{i2} \cdot \ldots \cdot B_{ij}$	$B_{i1} \cdot B_{i2} \cdot \ldots \cdot B_{ij} \cdot T_{ij}$	$НП_2/П_2$
	…	…	…	…	….	…
	$НП_{im}$	T_{im}	B_{im}	$B_{i1} \cdot B_{i2} \cdot \ldots \cdot B_{ij} \cdot \ldots \cdot B_{im}$	$B_{i1} \cdot B_{i2} \cdot \ldots \cdot B_{ij} \cdot \ldots \cdot B_{im} \cdot T_{im}$	$НП_m/П_m$
	Ризик від небезпеки-*i*		$R_i = B_{i1} \cdot T + B_{i1} \cdot B_{i2} \cdot T_{i2} + \ldots + B_{i1} \cdot B_{i2} \cdot \ldots \cdot B_{ij} \cdot T_{ij} + + \ldots + B_{i1} \cdot B_{i2} \cdot \ldots \cdot B_{ij} \cdot \ldots \cdot B_{im} \cdot T_{im}$		$НП_i/П_i$

раннє гасіння чи попередження; а проєктний збій (єдиний вихід) заблокував усіх усередині. Пожежа стала неминучим наслідком цього ідеально вибудуваного ланцюга недбалості, тобто смертельного причинно-наслідкового ланцюга від небезпеки до втрат життя і здоров'я людей. ***Перший небезпечний чинник*** – легкозаймиста акустична піна. Стеля клубу була оздоблена пінополіуретаном для звукоізоляції. Цей матеріал при займанні швидко горить і виділяє густий, токсичний дим, що містить ціанід і чадний газ. Саме ця піна стала основним паливом, що дозволило вогню поширитися з дивовижною швидкістю. Клуб встановив цю нову підвісну стелю з легкозаймистим оздобленням у листопаді 2012 року, не повідомивши про це владу. ***Другий небезпечний чинник*** – критичні невідповідності в системах пожежної безпеки закладу: шляхи евакуації. У клубі був лише один функціонуючий вихід для відвідувачів – вхідні двері. Хоча в пожежному сертифікаті було неправдиво зазначено про наявність двох аварійних виходів, насправді це було не так. Металеві бар'єри, що використовувалися для організації черги, додатково перекривали цей єдиний вихід. Крім того, системи пожежогасіння та виявлення були відсутні у закладі, як і аварійне освітлення, що посилило паніку й дезорієнтацію. ***Третій небезпечний чинник*** – регуляторні

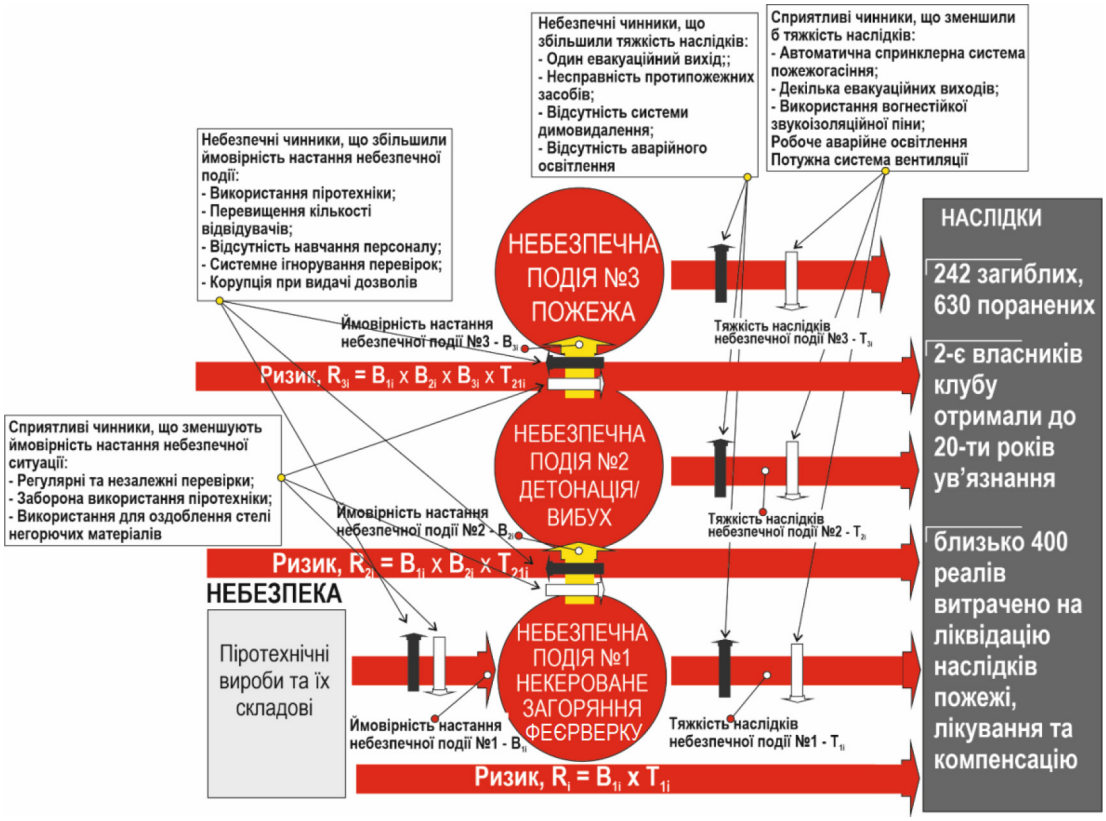

Рис. 4. Модель керування ризиками феєрверків в нічному клубі «Kiss»

Таблиця 6

Фрагмент ідентифікації та оцінювання ризику в нічному клубі «Kiss»

Визначення						Оцінка ризику
Н	**Небезпечна подія**	**Тяжкість наслідків НП**	**Ймовірність настання НП**		**Рівень ризику R_{ij} від $НП_j$**	
феєрверк	$НП_1$ Некероване використання піротехніки	$T_1 = 10$	$B_1 = 0{,}5$	$B1 = 0{,}5$	$R_1 = 0{,}5 \cdot 10 = 5{,}0$	НПн
	$НП_2$ Займання декоративних матеріалів	$T_2 = 10$	$B_2 = 1{,}0$	$B_{12} = 0{,}5 \cdot 1{,}0 = 0{,}5$	$R_{12} = 0{,}5 \cdot 1{,}0 \cdot 10 = 10$	НПз
	$НП_3$ пожежа	$T_3 = 10$	$B_3 = 1{,}0$	$B_{123} = 0{,}5 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}0 = 0{,}5$	$R_{123} = 0{,}5 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}0 \cdot 10 = 10$	НПп
	Ризик від небезпеки – феєрверку		$R_ф = R_1 + R_{12} + R_{123} = 25$			$НП_ф$

та ліцензійні порушення. Дозвіл на експлуатацію клубу був відсутній. ***Четвертим небезпечним чинником*** стала відсутність справних протипожежних засобів. Вогнегасник, який було знайдено для ліквідації загоряння, не спрацював, а система, яка б могла завчасно загасити пожежу, була відсутня. Крім того, відсутність потужної системи димовиведення призвело до отруєння токсичним димом (асфіксія + синильна кислота HCN від горіння поліуретанової піни). Близько 90 % + загиблих померли саме від цього, а не від опіків чи вогню (в табл. 6 наведено розрахунок ризику за матрицею 10 на 10, де ймовірність представлена за шкалою від 0 до 1, а тяжкість наслідків від 1 до 10; при цьому, коли від 5 і більше балів ризик є неприйнятним).

Пропонується розглядати два фундаментально різні типи ризиків, пов'язаних з феєрверками – «Місце виробництва/зберігання» та «Місце використання/споживання», бо вони мають різні небезпечні чинники, сценарії, причино-наслідковий зв'язок та вимагають різних запобіжних і захисних заходів. Історично за останні роки ризик, пов'язаний з феєрверками, змістився з виробничої сфери у споживчу. Найбільш смертоносні інциденти XXI століття відбуваються не на заводах, а в місцях масового скупчення людей. Найбільш катастрофічні інциденти сталися в країнах Латинської Америки та Азії, що може свідчити про системні проблеми з регулюванням та культурою безпеки як з «виробничою» та «споживацькою». Пожежі в нічних клубах, ініційовані піротехнікою, є глобальним, повторюваним сценарієм в світі, що вказує на системний провал у застосуванні базових норм пожежної безпеки [17]. Визначення зон ризику допомагає вжити необхідні заходи для здоров'я та безпеки працівників [22].

На основі виявлених небезпечних чинників ризику можна запропонувати наступні рекомендації з пожежної безпеки, яка є важливою складовою повоєнної безпекової моделі України, для зацікавлених сторін, а також для міжнародних організацій та асоціацій.

Для регуляторних органів щодо промислової безпеки:

- посилити процедури ліцензування та частоту інспекцій на підприємствах, що виробляють та зберігають піротехніку;
- впровадити та суворо контролювати дотримання вимог до зонування, що передбачають створення обов'язкових буферних зон навколо небезпечних об'єктів для захисту житлових районів.

Для регуляторних органів щодо громадської безпеки:

- розглянути можливість введення повної заборони на використання будь-яких піротехнічних виробів (включаючи «сценічні» та «холодні фонтани») у закритих громадських приміщеннях (нічних клубах, ресторанах, концертних залах), які не мають спеціалізованих систем пожежогасіння та димовидалення, сертифікованих для таких заходів;
- посилити кримінальну та адміністративну відповідальність власників розважальних закладів за порушення пожежних норм, особливо щодо використання легкозаймистих матеріалів в оздобленні та забезпечення функціонування аварійних виходів;
- жорстко регулювати роздрібний продаж піротехніки, особливо на відкритих ринках, забороняючи її зберігання у великих кількостях у місцях скупчення людей.

Для організаторів публічних заходів та власників закладів:

- проводити обов'язкову, документовану оцінку ризиків перед використанням будь-яких піротехнічних засобів;
- залучати до роботи виключно сертифікованих піротехніків та віддавати перевагу безпечнішим альтернативам (наприклад, світловим ефектам).

Для міжнародних організацій та асоціацій:

• створити та підтримувати глобальну відкриту базу даних інцидентів для аналізу та обміну досвідом;

• розробити та просувати міжнародні стандарти безпеки для розважальних закладів, щоб уроки, винесені з трагедій в одній країні, ставали обов'язковими для виконання в інших, розриваючи таким чином цикл повторюваних катастроф.

Висновки. Розроблена модель керування ризиками комплексних небезпечних подій (інцидентів) є багаторівневою та ескалаційною, що відрізняє її від класичних однорівневих моделей (наприклад, стандартної Bow-Tie), оскільки враховує ланцюг небезпечних подій, які характеризуються зростанням тяжкості наслідків.

Розроблена модель інтегрує кількісну оцінку ризиків від комплексних небезпечних подій з урахуванням зростання ймовірності їх настання від впливу небезпечних чинників, що дозволяє переходити від реактивного до проактивного підходу запобігання небезпечним подіям.

Проведений аналіз інцидентів з феєрверками за останні 50 років виявив ключову закономірність, що полягає у зростанні рівня ризику настання небезпечної події (пожежі) в місцях масового скупчення людей через використання горючих матеріалів для оздоблення приміщень, переповненість місць відпочинку, накопичення токсичного диму та недостатню кількість евакуаційних виходів.

Запропоновано розрізняти два типи ризиків комплексних небезпечних подій (інцидентів) з феєрверками – це «місце виробництва/зберігання», де відбувається детонація маси піротехніки, та «місце використання/споживання», де відбуваються пожежі в закритих приміщеннях.

Розроблені рекомендації для регуляторів ринку щодо посилення ліцензування, заборони використання піротехніки, забезпечення умов для оцінка ризиків настання комплексних небезпечних подій (інцидентів), створення глобальної бази даних причин настання небезпечних подій з феєрверками.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Chen X. L., Wang Y. J., Wang C. R., Hu D. L., Sun Y. X., Li S. S. Burns due to gunpowder explosions in fireworks factory: a 13-year retrospective study. *Burns*. 2002. Vol. 28, No. 3. P. 245–249. DOI: https://doi.org/10.1016/s0305-4179(01)00122-x

2. León D., Castells B., Amez I., Casín J., García-Torrent J. Experimental quantification of fire damage inside pyrotechnic stores. *Applied Sciences*. 2023. Vol. 13, No. 10. Art. 6181. DOI: https://doi.org/10.3390/app13106181

3. León D., Amez I., Radojević M., Manić N., Stojiljković D. Emissions and fire risk assessment of nitrocellulose as a sustainable alternative in pyrotechnic compositions. *Fire*. 2024. Vol. 7, No. 8. Art. 265. DOI: https://doi.org/10.3390/fire7080265

4. U.S. Consumer Product Safety Commission. (2024). *2023 Fireworks Annual Report*. URL: https://www.cpsc.gov/s3fs-public/2023-Fireworks-Annual-Report.pdf

5. Nallathambi I., Savaram P., Sengan S., et al. Impact of fireworks industry safety measures and prevention management system on human error mitigation using a machine learning approach. *Sensors*. 2023. Vol. 23, No. 9. Art. 4365. DOI: https://doi.org/10.3390/s23094365

6. Ajith S., Sivapragasam C., Arumugaprabu V. A review on hazards and their consequences in firework industries. *SN Applied Sciences*. 2019. Vol. 1, No. 1. Art. 120. DOI: https://doi.org/10.1007/s42452-018-0129-1

7. Vermeij E., Duvalois W., Webb R., Koeberg M. Morphology and composition of pyrotechnic residues formed at different levels of confinement. *Forensic Science International*. 2009. Vol. 186, No. 1–3. P. 68–74. DOI: https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2009.01.019

8. Zwicky F. *Discovery, invention, research through the morphological approach*. New York : Macmillan, 1969. URL: https://archive.org/details/discoveryinventi0000zwic/page/n5/mode/2up

9. Surianarayanan M., Sivapirakasam S. P., Swaminathan G. Accident data analysis and hazard assessment in fireworks manufacture. *Technology of Energetic Materials*. 2008. Vol. 69, No. 6. P. 161–168.

10. Zhao J.-Q., Cheng Y.-C., Hou H.-Y., Chen W.-C. Applications of intrinsic safety characteristic parameters of propellant dust: Commercial multi-tube pyrotechnic hazard assessment. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2021. Vol. 69. Art. 104381. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jlp.2020.104381

11. Lin W.-C., Chen W.-C., Shu C.-M. Thermal stability evaluation of multiple tubes of fireworks by calorimetry approaches. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 2019. Vol. 138. P. 2883–2890. DOI: https://doi.org/10.1007/s10973-019-08496-y

12. Shams Vahdati S., Hemmate Gadim J., Mazouchian H. Fireworks-related injuries in Iran: a survey following the 2014 New Year's festival in Tabriz. *Trauma Monthly*. 2016. Vol. 21, No. 3. e20013. https://doi.org/10.5812/traumamon.20013

13. van Kamp I., van der Velden P. G., Stellato R. K., et al. Physical and mental health shortly after a disaster: first results from the Enschede firework disaster study. *European Journal of Public Health*. 2006. Vol. 16, No. 3. P. 252–258. DOI: https://doi.org/10.1093/eurpub/cki188

14. Wikipedia contributors. List of fireworks accidents and incidents. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_fireworks_accidents_and_incidents

15. Grosshandler W., Bryner N., Madrzykowski D., Kuntz K. *Report of the technical investigation of The*

Station nightclub fire (NIST NCSTAR 2). Gaithersburg: NIST, 2005. URL: https://www.nist.gov/publications/report-technical-investigation-station-nightclub-fire-nist-ncstar-2-volume-1

16. CROSS UK. Fires in nightclubs started by pyrotechnics. *CROSS Feature Article*. 2025. URL: https://www.cross-safety.org/uk/safety-information/cross-feature-article/fires-nightclubs-started-pyrotechnics

17. Monzón F. Post-incident egress analysis of the Kiss nightclub fire using network modeling. In: *Proceedings of University of Canterbury Fire Engineering Conference*. Christchurch, 2016.

18. Manea F., Ilia G., Ghicioi E., Pupazan D. G., Prodan M., Nicola A. H. The experimental study of flame behavior of flexible polyurethane foam as a sound-absorbing element. *Fire*. 2025. Vol. 8, No. 4. Art. 127. DOI: https://doi.org/10.3390/fire8040127

19. Pirii L. E., Friedrich A. W., Rossen J. W., et al. Extensive colonization with carbapenemase-producing microorganisms in Romanian burn patients: infectious consequences from the Colectiv fire disaster. *European Journal of Clinical Microbiology & Infectious Diseases*. 2018. Vol. 37. P. 175–183. DOI: https://doi.org/10.1007/s10096-017-3118-1

20. Lu P., Li Y. Agent-based fire evacuation model using social learning theory and intelligent optimization algorithms. *Reliability Engineering & System Safety*. 2025. Vol. 260. Art. 111000. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ress.2025.111000

21. Ajith S., Arumugaprabu V., Ajith V., et al. Hazard identification and risk assessment in firework industry. *Materials Today: Proceedings*. 2025. Vol. 56, No. 3. P. 1083–1085. DOI: https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.10.102

REFERENCES

1. Chen, X. L., Wang, Y. J., Wang, C. R., Hu, D. L., Sun, Y. X., & Li, S. S. (2002). Burns due to gunpowder explosions in fireworks factory: A 13-year retrospective study. *Burns, 28*(3), 245–249. https://doi.org/10.1016/s0305-4179(01)00122-x

2. León, D., Castells, B., Amez, I., Casín, J., & García-Torrent, J. (2023). Experimental quantification of fire damage inside pyrotechnic stores. *Applied Sciences, 13*(10), 6181. https://doi.org/10.3390/app13106181

3. León, D., Amez, I., Radojević, M., Manić, N., & Stojiljković, D. (2024). Emissions and fire risk assessment of nitrocellulose as a sustainable alternative in pyrotechnic compositions. *Fire, 7*(8), 265. https://doi.org/10.3390/fire7080265

4. U.S. Consumer Product Safety Commission. (2024). *2023 fireworks annual report*. Retrieved from: https://www.cpsc.gov/s3fs-public/2023-Fireworks-Annual-Report.pdf

5. Nallathambi, I., Savaram, P., Sengan, S., et al. (2023). Impact of fireworks industry safety measures and prevention management system on human error mitigation using a machine learning approach. *Sensors, 23*(9), 4365. https://doi.org/10.3390/s23094365

6. Ajith, S., Sivapragasam, C., & Arumugaprabu, V. (2019). A review on hazards and their consequences in firework industries. *SN Applied Sciences, 1*(1), 120. https://doi.org/10.1007/s42452-018-0129-1

7. Vermeij, E., Duvalois, W., Webb, R., & Koeberg, M. (2009). Morphology and composition of pyrotechnic residues formed at different levels of confinement. *Forensic Science International, 186*(1–3), 68–74. https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2009.01.019

8. Zwicky, F. (1969). *Discovery, invention, research through the morphological approach*. Macmillan. Retrieved from: https://archive.org/details/discoveryinventi0000zwic/page/n5/mode/2up

9. Surianarayanan, M., Sivapirakasam, S. P., & Swaminathan, G. (2008). Accident data analysis and hazard assessment in fireworks manufacture. *Technology of Energetic Materials, 69*(6), 161–168.

10. Zhao, J.-Q., Cheng, Y.-C., Hou, H.-Y., & Chen, W.-C. (2021). Applications of intrinsic safety characteristic parameters of propellant dust: Commercial multi-tube pyrotechnic hazard assessment. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 69*, 104381. https://doi.org/10.1016/j.jlp.2020.104381

11. Lin, W.-C., Chen, W.-C., & Shu, C.-M. (2019). Thermal stability evaluation of multiple tubes of fireworks by calorimetry approaches. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 138*, 2883–2890. https://doi.org/10.1007/s10973-019-08496-y

12. Shams Vahdati, S., Hemmate Gadim, J., & Mazouchian, H. (2016). Fireworks-related injuries in Iran: A survey following the 2014 New Year's festival in Tabriz. *Trauma Monthly, 21*(3), e20013. https://doi.org/10.5812/traumamon.20013

13. van Kamp, I., van der Velden, P. G., Stellato, R. K., et al. (2006). Physical and mental health shortly after a disaster: First results from the Enschede firework disaster study. *European Journal of Public Health, 16*(3), 252–258. https://doi.org/10.1093/eurpub/cki188

14. Wikipedia contributors. (2026). List of fireworks accidents and incidents. Retrieved from: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_fireworks_accidents_and_incidents

15. Grosshandler, W., Bryner, N., Madrzykowski, D., & Kuntz, K. (2005). *Report of the technical investigation of The Station nightclub fire (NIST NCSTAR 2)*. National Institute of Standards and Technology. Retrieved from: https://www.nist.gov/publications/report-technical-investigation-station-nightclub-fire-nist-ncstar-2-volume-1

16. CROSS UK. (2025). Fires in nightclubs started by pyrotechnics. *CROSS Feature Article*. Retrieved from: https://www.cross-safety.org/uk/safety-information/cross-feature-article/fires-nightclubs-started-pyrotechnics

17. Monzón, F. (2016). Post-incident egress analysis of the Kiss nightclub fire using network modeling. In *Proceedings of University of Canterbury Fire Engineering Conference*. Christchurch, New Zealand.

18. Manea, F., Ilia, G., Ghicioi, E., Pupazan, D. G., Prodan, M., & Nicola, A. H. (2025). The experimental study of flame behavior of flexible polyurethane foam (sponge) as a sound-absorbing element. *Fire, 8*(4), 127. https://doi.org/10.3390/fire8040127

19. Pirii, L. E., Friedrich, A. W., Rossen, J. W., et al. (2018). Extensive colonization with carbapenemase-producing microorganisms in Romanian burn patients: Infectious consequences from the Colectiv fire disaster. *European Journal of Clinical Microbiology & Infectious Diseases, 37*, 175–183. https://doi.org/10.1007/s10096-017-3118-1

20. Lu, P., & Li, Y. (2025). Agent-based fire evacuation model using social learning theory and intelligent optimization algorithms. *Reliability Engineering & System Safety, 260*, 111000. https://doi.org/10.1016/j.ress.2025.111000

21. Ajith, S., Arumugaprabu, V., Ajith, V., et al. (2025). Hazard identification and risk assessment in firework industry. *Materials Today: Proceedings, 56*(3), 1083–1085. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.10.102

© В. А. Цопа, С. І. Чеберячко, Ю. І. Чеберячко, О. В. Дерюгін, Г. І. Туровська

Оглядова стаття

Дата першого надходження статті до видання: 08.03.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 24.04.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 29.05.2026