

Криворізький національний університет
Кафедра охорони праці та цивільної безпеки

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**Тема: «Аналіз пожежних ризиків та розробка заходів по їх зниженню на
об'єкті захисту»**

Виконала з во групи ЗЦБ-22
БОНДАРЧУК Анастасія
Керівник
Професор ШВАГЕР Наталія

Кривий Ріг
2026

КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Гірничо-металургійний факультет
Кафедра охорони праці та цивільної безпеки
спеціальність 263 «Цивільна безпека»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. каф. _____

«___» _____ 2026 р

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Здобувачі Бондарчук Анастасії Дмитрівні. Група ЗЦБ-22

1. Тема випускної роботи: «Аналіз пожежних ризиків та розробка заходів по їх зниженню на об'єкті захисту».

2. Вихідні данні: інформація зі звітів підприємства та нормативної документації щодо забезпечення пожежної безпеки на об'єкті захисту.

3. Перелік обов'язкового графічного матеріалу:

графічні схеми, залежності, таблиці відповідно до результатів проведення досліджень і встановлених висновків

4. Етапи виконання випускної роботи

№ з/п	Етапи і розділи проектування	ТИЖНІ					
		1,2	3,4,5,6	7,8,9	10,11,12,13	14	15
1	Розділ 1	+					
2	Розділ 2		+				
3	Розділ 3			+			
4	Розділ 4				+		
5.	Висновки				+		
6.	Підготовка до захисту та захист роботи				+	+	+

5. Дата видачі завдання

«___» _____ 20__ р.

Керівник _____
(підпис)

(посада, прізвище)

Консультанти:

Найменування частини	Підпис	Консультант (посада, прізвище, ініціали)
РОЗДІЛ 1		проф. Швагер Н.Ю.
РОЗДІЛ 2		проф. Швагер Н.Ю.
РОЗДІЛ 3		проф. Швагер Н.Ю.
РОЗДІЛ 4 ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАПРОПОНОВАНИХ РЕКОМЕНДАЦІЙ		проф. Швагер Н.Ю.

Календарний план виконання роботи

№	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання	Примітка виконання
1	Співбесіда зі здобувачем за темою роботи, видача переліку рекомендованої нормативної, наукової літератури		
2	Групування та аналіз зібраного матеріалу, уточнення завдань кваліфікаційної роботи		
3	Підготовка 1 розділу кваліфікаційної роботи та подання його керівникові на перевірку		
4	Підготовка 2 розділу кваліфікаційної роботи та подання його керівникові на перевірку		
5	Підготовка 3 розділу кваліфікаційної роботи та подання його керівникові на перевірку		
6	Підготовка 4 розділу «Оцінка ефективності запропонованих рекомендацій» та подання його консультанту від кафедри ОПЦБ		
7	Підготовка висновків		
8	Перевірка роботи керівником		
9	Отримання відгуку керівника та рецензії		
10	Захист роботи у ДЕК		

Завдання видав:

керівник кваліфікаційної роботи

: _____
науковий ступінь, вчене звання, прізвище і ініціали керівника роботи

Завдання отримав:

Здобувач вищої освіти

_____ прізвище і ініціали здобувача

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

- ПР – пожежний ризик;
- ТС – технічна система
- АСПГ — автоматична система пожежогасіння;
- ГР — горюча речовина;
- ГС — горюче середовище;
- ДЗ — джерело запалювання;
- НЧП — небезпечні чинники пожежі;
- ОК — окислювач;
- ПЗ — система протипожежного захисту;
- ТВ — теплове випромінювання.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи містить: 52 сторінки; 21 рисунок; 2 таблиць; 19 літературних джерел.

Тема дослідження кваліфікаційної роботи бакалавра полягає в аналізі пожежних ризиків та розробці заходів по їх зниженню на об'єкті захисту

Метою роботи є аналіз сучасних підходів до оцінки пожежної небезпеки та практики їх використання

Актуальність теми зумовлена тим, що, незважаючи на розробку систем протипожежного захисту, обладнання автоматики пожежогасіння, підвищення рівня контролю за пожежною безпекою та вимог до дотримання працівниками норм і правил пожежної безпеки, ситуація з виникненням надзвичайних ситуацій техногенного характеру, зокрема через пожежі, практично не зменшується. Пожежі мають величезний негативний вплив не тільки на людей, а й на рослинний і тваринний світ, інфраструктуру, навколишнє середовище в цілому.

Розглянуто існуючі методи оцінки можливих наслідків пожеж. Виконаний огляд сучасних методів аналізу пожежних ризиків, як міру можливості реалізації пожежної небезпеки, що враховує по суті як ймовірність виникнення небезпечної ситуації, і тяжкість його наслідків.

Методи досліджень: аналітичний, статистичний, застосування системного підходу для оцінки безпеки праці, соціально-економічний.

Ключові слова: БЕЗПЕКА, ПОЖЕЖНИЙ РИЗИК, ПЕРСОНАЛ, НЕБЕЗПЕЧНИЙ ФАКТОР, ПОЖЕЖА, ТЕХНІЧНА СИСТЕМА ЕФЕКТИВНІСТЬ.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	4
РЕФЕРАТ.....	5
ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1	11
РОЗДІЛ 2	16
2.1 Основні положення.	16
2.2. Особливості ймовірнісного аналізу	17
2.3 Програма FiRECAM	19
РОЗДІЛ 3	21
3.1 Конструктивна особливість будівлі та матеріали об'єкта захисту	25
3.2 Розрахунок пожежного ризику	27
3.3 Побудова полів небезпечних факторів пожежі	30
РОЗДІЛ 4 ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАПРОПОНОВАНИХ РЕКОМЕНДАЦІЙ	45
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	48
ЛІТЕРАТУРА.....	50

					КНУ.КР.20.263.03.68су			
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата				
Розробив	Бондарчук А.Д.				Аналіз пожежних ризиків та розробка заходів по їх зниженню на об'єкті захисту	Літ.	Аркуш	Акрушів
Перевірив	Швагер Н.Ю.						6	58
						ЗЦБ – 22		
Н. Контр.								
Затвердив	Швагер Н.Ю.							

ВСТУП

Актуальність теми зумовлена тим, що, незважаючи на розробку систем протипожежного захисту, обладнання автоматики пожежогасіння, підвищення рівня контролю за пожежною безпекою та вимог до дотримання працівниками норм і правил пожежної безпеки, ситуація з виникненням надзвичайних ситуацій техногенного характеру, зокрема через пожежі, практично не зменшується. Пожежі мають величезний негативний вплив не тільки на людей, а й на рослинний і тваринний світ, інфраструктуру, навколишнє середовище в цілому.

Говорячи про необхідність покращення протипожежного захисту виробничих (промислових) та адміністративних об'єктів, слід звернутися до даних статистики (рис.1).

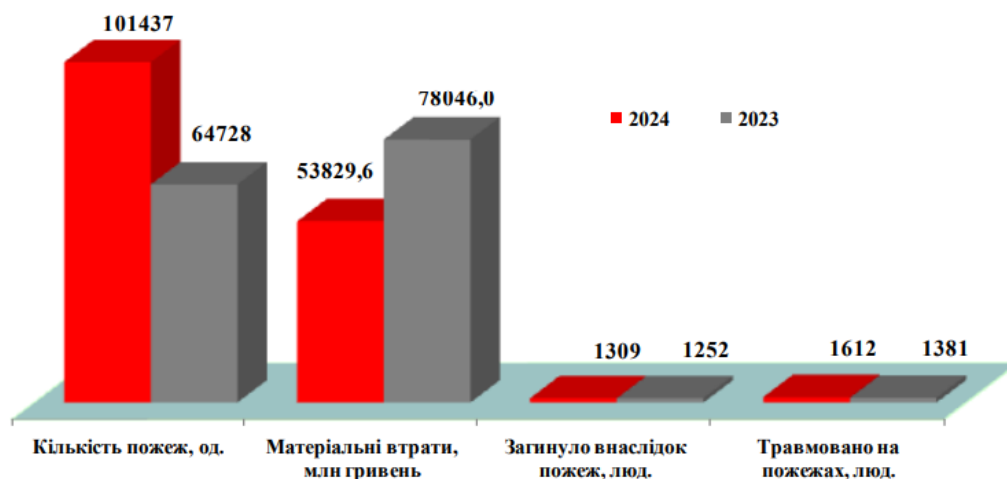
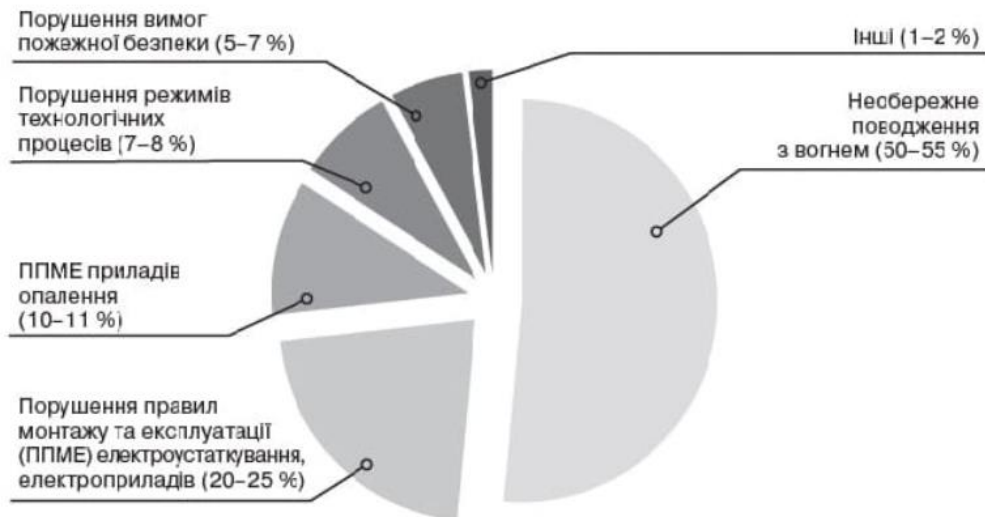


Рис.1.1. Основні показники пожеж в порівнянні 2024-2023р.р.

Техногенні причини складають понад 15% усіх пожеж, що виникли. На підприємствах, де приділено недостатньо уваги питанню протипожежних заходів, поширення такої проблеми зазвичай призводить до більш серйозних наслідків. Ключові причини – порушення трудової дисципліни та дотримання технології, техніка безпеки при роботі з механізмами, машинами, електрообладнанням. Грає роль і людський фактор.

Основні причини пожеж у виробничій сфері



Основні вимоги пожежної безпеки містять такі нормативно-правові акти:

Правила пожежної безпеки України від 30.12.2014 № 1417; НАПБ А.01.001-2014[1]; Правила улаштування електроустановок, затверджені наказом Міненерговугілля від 21.07.2017 № 476; Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів, затверджені наказом Мінпаливенерго від 25.07.2006 № 258; НПАОП 40.1-1.32-01 «Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок»; НАПБ В.01.056-2013/111 «Правила будови електроустановок. Пожежна безпека електроустановок. Інструкція»; Правила експлуатації та типові норми належності вогнегасників, затверджені наказом МВС від 15.01.2018 № 25; ДБН В.2.5-56:2014 «Системи протипожежного захисту»; ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги»; ДСТУ ISO 23601:2019 «Ідентифікація безпечності. Знаки на планах евакуації»; ДСТУ EN ISO 7010:2019 «Графічні символи. Кольори та знаки безпеки. Зареєстровані знаки безпеки».

Кожна адміністративна будівля є комплексною багатофункціональною будівлею. Планування кожної будівлі походить від її призначення. Також кожна адміністративна будівля несе навантаження у вигляді оргтехніки, електроприладів, комп'ютерів, твердих легкозаймистих речовин та матеріалів (меблі, тканини, папір, оздоблювальні матеріали). Якщо додати значну кількість людей, то велика небезпека і ймовірність виникнення пожежі.

Документи з пожежної безпеки підприємств та організацій

№ з/п	Найменування документа	Нормативне обґрунтування
1	Інструкції про заходи пожежної безпеки для кожного приміщення об'єкта	п. 4 розд. II Правил пожежної безпеки
2	Наказ про призначення відповідальних за пожежну безпеку окремих приміщень, діляниць, технологічного та інженерного устаткування, а також за утримання й експлуатацію засобів протипожежного захисту	п. 2 розд. II Правил пожежної безпеки
3	Наказ про призначення посадової особи з питань цивільного захисту	ч. 2 ст. 20 КЦЗ
4	Наказ про встановлення протипожежного режиму	п. 3 розд. II Правил пожежної безпеки
5	Наказ про визначення спеціальних місць для куріння	п. 1.19 розд. III Правил пожежної безпеки
6	Інструкція для працівників охорони, в якій визначені їхні обов'язки щодо контролю за дотриманням протипожежного режиму, огляду території і приміщень, порядок дій у разі виявлення пожежі, спрацювання систем протипожежного захисту, а також зазначено, кого з посадових осіб об'єкта потрібно викликати в нічний час у разі пожежі. Додаток до Інструкції — список посадових осіб із зазначенням їх місць проживання, службових, домашніх/ мобільних телефонів	п. 10 розд. II Правил пожежної безпеки
7	Посадові інструкції, обов'язки, положення з визначеними обов'язками посадових осіб щодо забезпечення пожежної безпеки	п. 2 розд. II Правил пожежної безпеки
8	Плани евакуації на випадок пожежі	п. 5 розд. II Правил пожежної безпеки
9	Наказ про порядок проведення навчання, перевірки знань із питань пожежної безпеки та інструктажів	п. 5 розд. I Порядку затвердження програм навчання та інструктажів з питань пожежної безпеки, організації та контролю за їх виконанням, затвердженого наказом МВС від 05.12.2019 № 1021 (далі — Порядок № 1021)

10	Журнал реєстрації інструктажів із питань цивільного захисту, пожежної безпеки та дій у надзвичайних ситуаціях	п. 7 розд. IV Порядку № 1021
11	Посвідчення про проходження навчання з питань пожежної безпеки	п. 5 розд. III Порядку № 1021
12	Технічний звіт із протоколами заміру опору ізоляції і перевірки спрацювання приладів захисту електричних мереж та електроустановок	п. 1.20 розд. IV Правил пожежної безпеки
13	Документ щодо визначення необхідної кількості первинних засобів пожежогасіння окремо для кожного поверху та приміщення	п. 3.8 розд. V Правил пожежної безпеки
14	Договір з пунктом технічного обслуговування вогнегасників	п. 12 розд. III Правил експлуатації та типові норми належності вогнегасників, затверджених наказом МВС від 15.01.2018 № 25 (далі — Правила № 25)
15	<u>Журнал обліку вогнегасників</u>	п. 3 розд. III Правил № 25
16	План реагування на надзвичайні ситуації	ст. 130 КЦЗ
17	Журнал обліку перевірок джерел зовнішнього протипожежного водопостачання	п. 3 розд. II Інструкції про порядок утримання, обліку та перевірки технічного стану джерел зовнішнього протипожежного водопостачання, затвердженої наказом МВС від 15.06.2015 № 696
18	Журнал обліку технічного обслуговування пожежних кран-комплектів	п. 2.2 розд. V Правил пожежної безпеки
19	Журнал перевірок теплових мереж	п. 2.1 розд. IV Правил пожежної безпеки
20	Інші документи щодо забезпечення пожежної безпеки, договір на технічне обслуговування, проектна й експлуатаційна документація систем протипожежного захисту, паспорти на вогнегасники, акти перевірок, приписи, листування з органами державного нагляду у сфері пожежної та техногенної безпеки тощо	

Метою роботи є аналіз сучасних підходів до оцінки пожежної небезпеки та практики їх використання.

Об'єкт дослідження - є пожежі в будівлях різного призначення (житлові, адміністративні, громадські та ін.).

РОЗДІЛ 1

ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ

Щоб зрозуміти, що таке пожежна небезпека на виробництві, необхідно вивчити такі поняття, як «безпека», «небезпека» і «ризик» відповідно до вимог міжнародних стандартів та нормативних документів [1].

Забезпечення пожежної безпеки будь-якого об'єкта складається зі створення певних умов, які дають можливість протистояти небезпечним ситуаціям. Для забезпечення безпеки будь-якого об'єкта, що охороняється, повинні бути створені такі умови, які б дозволили йому протистояти небезпечній ситуації.

Особливою актуальністю є освоєння, розробка та впровадження у вітчизняну практику науково обґрунтованих методів кількісної оцінки пожежної небезпеки, що дозволяють встановити відповідність фактичного рівня ризику законодавчо встановленому граничному значенню.

В останні десятиліття більшість промислово розвинутих країн пройшли перехідний період від жорсткого регламентування вимог пожежної безпеки при проектуванні будівель і споруд у бік гнучкої або об'єктно-орієнтованої стандартизації [2-5]. Суть цього підходу полягає в тому, що встановлюються цілі, яким повинна відповідати протипожежна система безпеки об'єкта (це відображено в прийнятій в англomовній літературі термінології -performance-based codes, у дослівному перекладі означає стандартизацію на основі виконання завдання), але проектні рішення не регламентуються для їх досягнення. Це зводить до мінімуму обмеження в проектуванні об'єкта та стимулює використання нових підходів до забезпечення пожежної безпеки і в кінцевому результаті забезпечує більш високу економічну ефективність проектних рішень.

Якщо при традиційному підході проектні рішення систем пожежної безпеки жорстко регламентовані, то при гнучкому регулюванні, коли можливі альтернативні проектні рішення, істотно зростає потреба в розвитку та практичному використанні методів оцінювання пожежної небезпеки об'єктів і

пожежного ризику. Ці методи повинні дозволяти, виходячи з наведеної характеристики об'єкта (конструкція, призначення, кількість присутніх, наявні засоби протипожежного захисту) прогнозувати виникнення та розвиток пожежі, евакуації людей, оцінити можливі збитки та наслідки.

Тільки з кількісними даними про поведінку такої складної системи в умовах пожежі можливо встановити ступінь відповідності використовуваних для цього об'єкта проектних рішень нормативним вимогам пожежної безпеки. Крім того, методи кількісного прогнозу розвитку і наслідків пожежі необхідні для оцінки економічної ефективності різних проектних рішень, а також для визначення тарифів на страхування відповідальності та майна на випадок пожеж.

Як показує аналіз літератури, в даний час у світі не існує єдиного методу оцінки пожежної небезпеки, який би був прийнятий як обов'язковий в нормативній документації, що регламентує питання пожежної безпеки [6, 7].

У промислово розвинених країнах метод аналізу ризику (зазвичай на основі логічних дерев) та конкретні методи його юридичної оцінки встановлюються для об'єктів, що представляють об'єкти підвищеної небезпеки – атомні електростанції, сховища та термінали зрідженого газу, виробництво вибухових речовин. Для інших об'єктів законодавством встановлені лише загальні принципи, за якими слід оцінювати пожежну небезпеку, а методи розрахунків опубліковані як рекомендації, для відповідних стандартів [8, 9].

Як методи розрахунку допускається застосовувати як якісний, так і кількісний аналіз, включаючи індексні методи та повний імовірнісний аналіз. Вибір методу слід здійснювати відповідно до цілей аналізу ризиків, наявними даними про об'єкт, матеріальними та людськими ресурсами, з урахуванням часових та фінансових можливостей. В Україні здійснюється поступове наближення до практики гнучкого регулювання у сфері пожежної безпеки. Методи оцінювання пожежних ризиків визначаються державними стандартами [1].

Таким чином, аналіз ризиків швидко стає одним із необхідних інструментів при проектуванні об'єктів та їх експлуатації та пожежному аудиті. Тому виникає нагальна потреба проаналізувати сучасний стан проблеми кількісної оцінки пожежної небезпеки, досягнутий рівень знань у цій сфері та порівняти прийняті в нашій в країні підходи з тими, що використовуються у світі.

1.1. Пожежна небезпека та ризик

Поняття «небезпека» і «ризик» дуже різні та багатогранні, а їх визначення значною мірою залежать від контексту та галузі знань, у яких вони представлені та розглядаються [10].

По відношенню до пожежної небезпеки і пожежного ризику, термінологія, що використовується в науковій літературі та нормативних документах, на даний час набула загального розвитку. Так, за даними [1] пожежна небезпека об'єкта, що захищається - стан об'єкта, що характеризується можливістю виникнення і розвитку пожежі, а також впливу на людей і майно через небезпеку пожежі, тоді як пожежний ризик - визначає рівень можливості виникнення пожежі на об'єкті захисту та тяжкості її впливу на людей і матеріальні ресурси.

Ці визначення загалом узгоджуються з тими, що використовуються у зарубіжній літературі та нормативних документах з поняттями fire hazard и fire risk [7-9].

Існуючі методи оцінки можливих наслідків пожеж діляться на дві категорії. До першої з них (аналіз пожежонебезпечної ситуації, або hazard analysis) можна включати методи аналізу, спрямовані на вивчення особливостей пожежі і її впливу на людей і майно за заданим сценарієм (який включає набір початкових даних про геометрію приміщення, параметри джерела горіння, стан вентиляційних отворів, вихідне положення людей у будівлі, тощо). При такому підході, як правило, використовують

детерміновані математичні (інтегральні або диференціальні) або фізичні (повномасштабний або зменшені розмірі) вогняні моделі пожежі.

До другої категорії (аналіз ризику, або risk analysis) включають методи, в яких центральне місце займає аналіз факторів випадкового характеру - від розташування місця загоряння і кількість матеріалів, що беруть участь у горінні до спрацювання або виходу з ладу систем оповіщення та пожежогасіння, обвалення елементів конструкції, виникнення паніки, тощо. Кожна реалізація перерахованих станів по суті визначає сценарії пожежі, тому аналіз небезпек і наслідків окремих сценаріїв є комплексним та частково входить в аналіз ризиків [7, 11].

Залежно від розглянутих наслідків існує декілька видів ризику [12]. Індивідуальний ризик характеризує ймовірність отримання травми окремою особою в результаті впливу на неї пожежі, колективний ризик - це очікувана кількість жертв або загиблих за певний період часу, тоді як соціальний ризик являє собою ймовірність одночасного травмування групи людей заданого розміру та виражається як відповідна F/N діаграма. Матеріальний ризик характеризує очікувані соціально-економічні збитки від пожежі та виражається як математичне сподівання економічного збитку, так і у вигляді F/G діаграм. Розглядають також ризик непрямих матеріальних втрат (наприклад, від переривання виробничого процесу) та екологічний ризик.

Метою аналізу ризику може бути встановлення абсолютного рівня ризику для його порівняння з гранично допустимим значенням та оцінкою достатності рівня протипожежного захисту, так і визначення відносного рівня ризику для порівняння рівнів пожежної безпеки різних об'єктів або вибір альтернативного проектних рішень на одному об'єкті.

Пожежний ризик, як міра можливості реалізації пожежної небезпеки, враховує по суті як ймовірність виникнення небезпечної ситуації і тяжкість його наслідків. Залежно від рівня опису кожного з цих елементів існує ціла низка методів оцінки ризику. Для аналізу пожежної небезпеки застосовуються загальні правила та методи оцінки ризику технологічних систем [13], з

урахуванням специфіки пожежі як виду аварії. Відповідно до [8] доступні методи класифікуються наступним чином.

1. У якісних методах як ймовірність, так і наслідки виражені на рівні якісного опису. Прикладом може бути заповнення контрольних листів (у вигляді відповідей на запитання «Що станеться, якщо...?»), складання «матриць ризиків» [7-9]. Якісні методи також включають аналіз логічного дерева події, якщо результат аналізу сформульовано в описовий рівень (високий або низький рівень ризик, незначний ризик тощо) [6].

2. У напівкількісних методах деякі аспекти розглядаються кількісно, а інша частина є на якісному рівні. Такі методи можуть включати побудову логічних дерев подій при пожежі та розрахунок ймовірності виникнення різних сценаріїв без вивчення наслідків кожного сценарію. Прикладом може бути побудова логічного дерева подій з метою визначення ймовірності самовільного затухання пожежі, гасіння пожежі за допомогою ручних засобів тощо. Вибрані способи оцінюються в окремих внутрішніх балах з подальшим виведенням остаточної оцінки та її інтерпретацією з точки зору достатньої пожежної охорони об'єкта.

3. Методи кількісної оцінки ризику включають розрахунок обох компонентів ризику (ймовірність і наслідки). Ризик визначається як ймовірність настання окремих небезпечних наслідків пожежі (загибель людей, матеріальні збитки, економічні збитки) на од. часу - зазвичай рік (тому разом з терміном «ймовірність» часто використовується поняття «частота реалізації»). Таке кількісне визначення ризику є загальновизнаним і широко використовується при аналізі різноманітних техногенних небезпек [11].

РОЗДІЛ 2

ІМОВІРНІСНИЙ ПІДХІД ДО АНАЛІЗУ РИЗИКІВ

2.1 Основні положення. Аналіз логічного дерева

Кількісна оцінка ризику на основі ймовірнісного підходу є основою значної кількості сучасних методів аналізу пожежного ризику. Ці методи представляють особливий інтерес відповідно до прийнятого закону [1], який вимагає оцінки абсолютного індивідуального ризику.

При ймовірнісному підході ризик будь-якої події R визначається як

$$R = P \cdot U,$$

де P – ймовірність настання цієї події,

U — очікуваний збиток від цієї події.

Якщо збиток може виникнути через N різних подій, то загальний ризик визначається шляхом підсумовування всіх можливих подій:

$$R = \sum_{i=1}^N P_i \cdot U_i.$$

Отже, під час кількісної оцінки ризику здійснюється аналіз потенційних сценаріїв перебігу небезпечної ситуації. та визначення наслідків кожного сценарію. Кількісні методи аналіз ризиків успішно використовується для оцінки небезпеки в різних сферах технічної діяльності, наприклад машинобудування, космонавтика, атомна енергетика. На сьогодні розроблений і успішно застосовується апарат аналізу ризиків, який включає побудову логічних дерев (дерево несправностей дозволяє аналізувати сукупність подій, що призвели до моменту досягнення очікуваного результату; дерево подій, за допомогою якого можна проаналізувати наслідки певної ініціюючої події) тощо. При оцінці ймовірності окремих подій P_i базою розрахунків слугують статистичні дані, а ймовірні збитки оцінюються окремо для кожного сценарію U_i можна визначити методами математичного моделювання.

Що стосується проблем пожежовибухобезпеки, то ймовірнісні методи найбільш широко використовуються для оцінки ризиків техногенних аварій на виробничих об'єктах, пов'язаних зі зберіганням і переробкою небезпечних речовин, в тому числі зовнішні технологічних установок (вибухи резервуарів високого тиску і трубопроводів, викиди отруйних речовин, пожежі розливи тощо) [13,14]. На рис. 2.1 наведено приклад дерева подій для аварії на заводі первинної переробки нафти



Рис.1.1. Дерево аварійних подій на заводі первинної переробки нафти [14]

2.2 Особливості ймовірнісного аналізу пожежної небезпеки для будівель

Техніка аналізу ризику на основі логічних дерев також може бути застосовна для аналізу ризику пожежі в будівлях і спорудах. Залежно від типу небезпеки можна побудувати кілька дерев подій. Таким чином, при оцінці ризику найбільш адекватним для життя людей є дерево подій, яке включає характер пожежі, активацію або збій системи пожежної сигналізації та оповіщення, а також роботу систем автоматичного пожежогасіння та димовидалення, які безпосередньо впливають на поширення задимлення всієї

будівлі та можливість своєчасної евакуації людей. Якщо оцінюється матеріальний ризик, то доцільно будувати дерево подій з урахуванням вогнестійкості огорожень та можливості поширення вогню на суміжні приміщення.

Можливий приклад дерева подій під час пожежі в приміщенні показано на рис. 2.2 [19], де вибух пилу розглядається як початкова подія, однак подібні дерева подій можуть бути побудовані для інших джерел займання.



Рис.2.2. Приклад дерева подій для пожежі, викликаній вибухом пилу [13]

Безсумнівна перевага імовірнісних підходів до кількісної оцінки ризиків у задачах пожежовибухобезпеки – формалізована процедура системного аналізу, на основі логічних дерев які дозволяють візуалізувати можливі події та зв'язок між ними. Однак, проведення аналізу з високою деталізацією процесів, що розглядаються також містить головний недолік методу – його високу трудомісткість.

Інша проблема полягає в розрахунку наслідків кожного сценарію. Успішне застосування імовірнісних методів у задачах промислової пожежовибухобезпеки значною мірою зумовлено тим, що для аварій такого типу зони впливу вражаючих факторів (ударна хвиля, теплове

випромінювання, токсична хмара) можуть бути описані відносно простими аналітичними моделями, які легко використовувати в контексті розрахунку ризику окремих сценаріїв та визначення загального ризику. Результати аналізу ризиків зазвичай представлені у формі одновимірних профілів ризику або двовимірних карт ризику, що показує розподіл значення ризику від небезпечного об'єкта в прилеглій зоні

Специфічною ознакою є необхідність урахування дії або виходу з ладу систем протипожежного захисту та розрахунку часу евакуації з урахуванням поведінкових особливостей людей (затримка початку евакуації в залежності від контингенту, типу системи оповіщення, можливість виникнення паніки тощо). На початковій стадії пожежі, найважливішій з точки зору евакуації людей, є необхідність враховувати утворення і опускання димового шару. Тому повна імовірнісна оцінка ризику може бути проведена лише у вигляді спеціального дослідження для окремих об'єктів, при умові наявності відповідного програмного забезпечення та висококваліфікованого персоналу з досвідом виконання розрахунків.

Зараз у світі існує велика кількість програмних пакетів для аналізу ризиків, наприклад, CRISP2 (Великобританія), FRAMEworks (США), Probabilistic Fire Simulator (Фінляндія), Fire Risk Evaluator (Швеція), CESARE-RISK [3] (Австралія), FIERASystem [15] і FiRECAM [4] (Канада).

2.3 Програма FiRECAM

Програма FiRECAM дозволяє оцінити два основні види ризику - ризик для життя людей, що знаходяться в будівлі, і очікуваного матеріального збитку від пожежі (що дозволяє уникнути необхідності використовувати вираз вартість людського життя). На рис. 2.3 представлено набір моделей, включених у FiRECAM, і зв'язки між ними [16].

Концепція FiRECAM полягає в розрахунку можливих сценаріїв розвитку пожежі, оцінці небезпеки кожного сценарію та оцінці загального ризику шляхом підсумовування індивідуальних ризиків кожного сценарію.

Наслідки кожного сценарію описуються сукупністю моделей: 1) розвиток пожежі, 2) поширення задимлення, 3) евакуація людей із будівлі, 4) реагування пожежних підрозділів, 5) оцінка кількості загиблих, 6) оцінка матеріальних збитків.



Рис. 2.3. Структура програми FiRECAM для оцінки пожежного ризику в будівлях [16].(пунктирна лінія окреслює моделі, що використовуються для кожного сценарію пожежі)

Розглянуті сценарії передбачають три можливі види пожежі в приміщеннях, де сталося загоряння: 1) тліюча пожежа, 2) пожежа, що не призводить до об'ємного спалаху, 3) пожежа, що супроводжується об'ємним

спалахом. Для всіх видів пожежі ймовірність кожної з яких оцінюється за статистичними даними.

Цей приклад наочно ілюструє, наскільки складним на практиці є завдання кількісної оцінки пожежного ризику з урахуванням поточного стану пожежної науки не тільки в нашій країні, а й у світі. Розрахунки абсолютних ризиків на основі імовірнісних аналізу, через його трудомісткість, можливі тільки для окремих будівель і споруд, і достовірність результатів, отриманих на цьому етапі не завжди можна адекватно оцінити.

РОЗДІЛ 3

РОЗРАХУНОК ІНДИВІДУАЛЬНОГО ПОЖЕЖНОГО РИЗИКУ

Для індивідуального ризику під час пожежі в будівлях розглядається найважчий випадок – смерть людей. Як правило, прийнято вважати, що смерть людини настає при порушенні середовища, що оточує людину, коли будь-який із стандартизованих показників (температура, концентрація токсичних продуктів горіння, знижена концентрація кисню, видимість в диму) досягає критичного значення. Випадки шкоди здоров'ю, що не призводять до смерті (наприклад, опіки, отруєння токсичними продуктами горіння, травми тощо) зазвичай враховуються в аналізі надзвичайних ситуацій на виробничих об'єктах.

Оскільки індивідуальний ризик визначається тим, як швидко люди можуть евакуюватися в умовах пожежі, що розвивається, першорядне значення мають характерні терміни протікають процесів, схематично зображені на рис. 3.1.

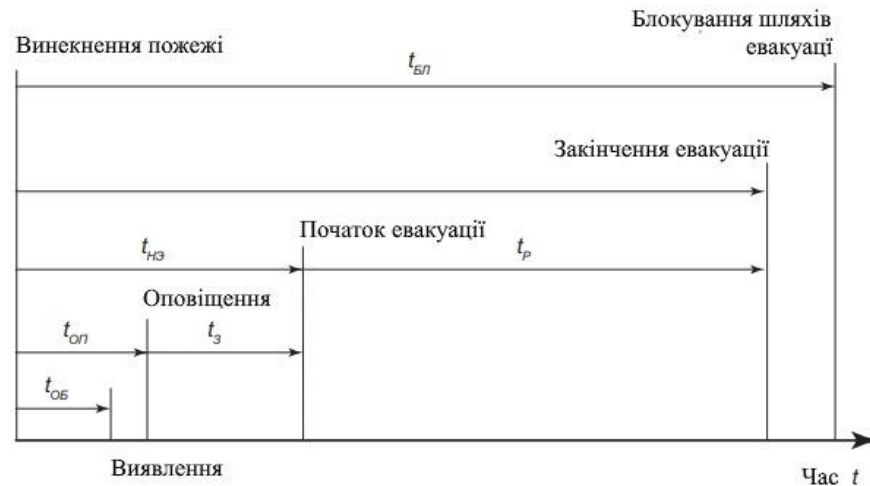


Рис.3.1. Характерні терміни розвитку пожежі та процеси евакуації

Виникнення та розвиток пожежі супроводжується поширенням полум'я та диму, що призводить до виникнення небезпечного стану навколишнього середовища як в кімнаті, де виникла пожежа, так і в сусідніх приміщеннях і на шляхах евакуації. Через певний час після виникнення пожежі показники небезпечного стану навколишнього середовища можуть досягати критичних значень, що унеможлиблює подальшу евакуацію людей (блокування шляхів евакуації). Відповідний часовий інтервал $t_{БЛ}$ (див. рис. 3.1) у зарубіжній літературі отримав аббревіатуру ASET (available safe egress tim). Цей час залежить від геометрії приміщення, характеристик джерела вогню, роботи вентиляції тощо. Іншим важливим часом є необхідний час евакуації t_E (в літературі цей час має усталену аббревіатуру RSET, required safe egress time). Перелічені вище компоненти часу евакуації істотно залежать від особливостей поведінки, психофізіологічного стану людей тощо, тому їх моделювання піддається значним невизначеностям.

Для кожного i -го сценарію розвитку пожежі умовою безпечної евакуації людей є умова, що необхідний час евакуації t_E , повинен бути менше часу блокування шляхів евакуації $t_{БЛ,i}$ (можливо, з деяким коефіцієнтом запасу). Інакше частина евакуйованих може піддаватися шкідливому впливу факторів. Кількість жертв за i -м сценарієм (тобто для фіксованого планування будівлі кількості і розташування аварійних виходів, пожежних характеристик, роботи систем протипожежного захисту тощо) є функцією, помноженою на $t_{БЛ,i}$ і $t_{E,i}$,

а також загальної кількості людей, які перебували в будівлі на момент початку пожежі.

Перше питання, яке потрібно вирішити, при проведенні імовірнісного аналізу ризиків – вибір репрезентативних сценаріїв та побудова відповідного логічного дерева подій. Кількість «гілок» дерева подій, з одного боку, має відображати найбільш значущі ситуації, які можуть виникнути під час пожежі. Одночасно повинні бути враховані положення джерела займання, шляхи поширення вогню і диму, можливість виникнення критичних рівнів вражаючих факторів на шляхах евакуації та вплив систем протипожежного захисту з урахуванням можливих збоїв, евакуація людей і можливість блокування шляхів евакуації тощо. З іншого боку, кількість сценаріїв не повинна бути занадто великою, щоб не призводити до надмірних часових і матеріальних витрат на проведення імовірнісного аналізу. Перегляд результуючого дерева подій у сильно залежить від особливостей розглянутого об'єкту, а процедуру ідентифікації «кластерів» сценаріїв важко формалізувати.

Розглянемо будівлю, в якій встановлені системи протипожежного захисту, зазначений у методиці [17,18]: 1) система виявлення пожежі (пожежна сигналізація) (ОБН) з вірогідністю ефективної роботи $R_{\text{ОБН}}$; 2) система оповіщення людей та пожежно-евакуаційний контроль (СОУЕ) з ймовірністю ефективного реагування у разі спрацювання пожежної сигналізації $R_{\text{СОУЕ}}$; 3) система протидимного захисту (ПДЗ) з ймовірністю ефективного реагування у разі спрацювання пожежної сигналізації $R_{\text{ПДЗ}}$.

На рис.3. 2 показано відповідне логічне дерево подій, де через R_i показані умовні ймовірності ефективної роботи i -ї системи протипожежного захисту, а через $R_i = 1 - R_i$ — відповідні ймовірності відмови

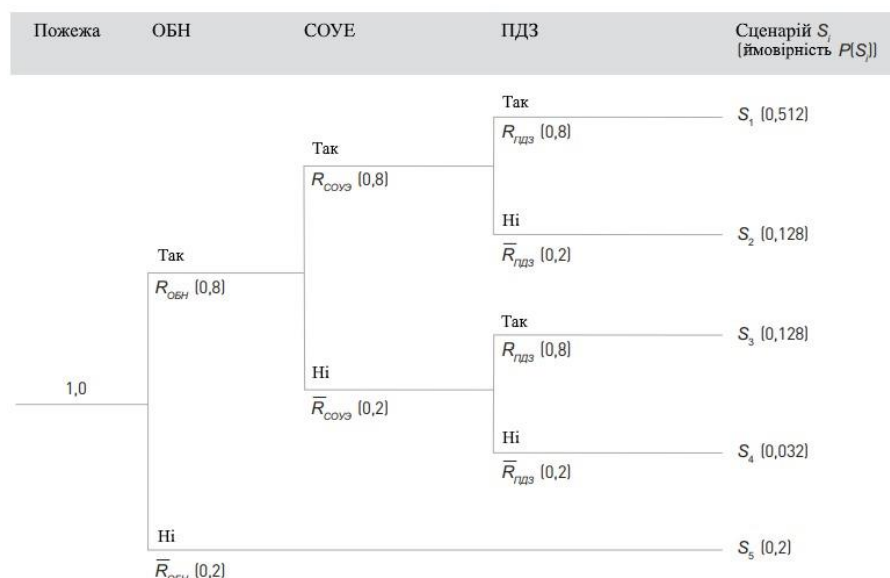


Рис.3.2. Логічне дерево подій при пожежі в будівлі, обладнаній системами пожежної сигналізації (ОБН), оповіщення та управління евакуацією (СОУЕ) та протидимного захисту (ПДЗ).

Сценарії розвитку пожежі та їх умовні вірогідності				
Сценарій	ОБН	СОУЕ	ПДЗ	Ймовірність $P(S_i)$
S_1	Так	Так	Так	$R_{\text{ОБН}} \cdot R_{\text{СОУЕ}} \cdot R_{\text{ПДЗ}}$
S_2	Так	Так	Ні	$R_{\text{ОБН}} \cdot R_{\text{СОУЕ}} \cdot \bar{R}_{\text{ПДЗ}}$
S_3	Так	Ні	Так	$R_{\text{ОБН}} \cdot \bar{R}_{\text{СОУЕ}} \cdot R_{\text{ПДЗ}}$
S_4	Так	Ні	Ні	$R_{\text{ОБН}} \cdot \bar{R}_{\text{СОУЕ}} \cdot \bar{R}_{\text{ПДЗ}}$
S_5	Ні	—	—	$\bar{R}_{\text{ОБН}}$

Після побудови логічного дерева подій (рис.3.2) та визначення ймовірностей сценаріїв $P(S_i)$ (табл. 3.1) необхідно визначити кількісну міру наслідків кожного сценарію $U(S_i)$. При розрахунку індивідуального пожежного ризику смерть людей розглядається як збиток, тому природною мірою шкоди в i -му сценарію пожежі – кількість загинувших n_i , це є кількість людей, які не встигли евакуюватися до моменту перекриття шляхів евакуації. При підрахунку кількості загинувших на пожежі в ряді випадків, необхідно враховувати, що в залежності від часу виникнення пожежі в будівлі різна кількість людей N .

Припустимо, що на момент пожежі в будівлі перебуває $N=100$ осіб, при спрацюванні обох систем протипожежного захисту (сценарій S_1 у таблиці 3.1) усі люди безпечно евакуюються ($n_1 = 0$), якщо система СОУЕ вийшла з ладу

при спрацюванні системи аварійного захисту число загиблих буде прийнято рівним $n_2 = 2$, при спрацюванні системи аварійного захисту і відмові системи ПДЗ - $n_3 = 4$, при одночасному виході з ладу обох систем - $n_{4-5} = 6$.

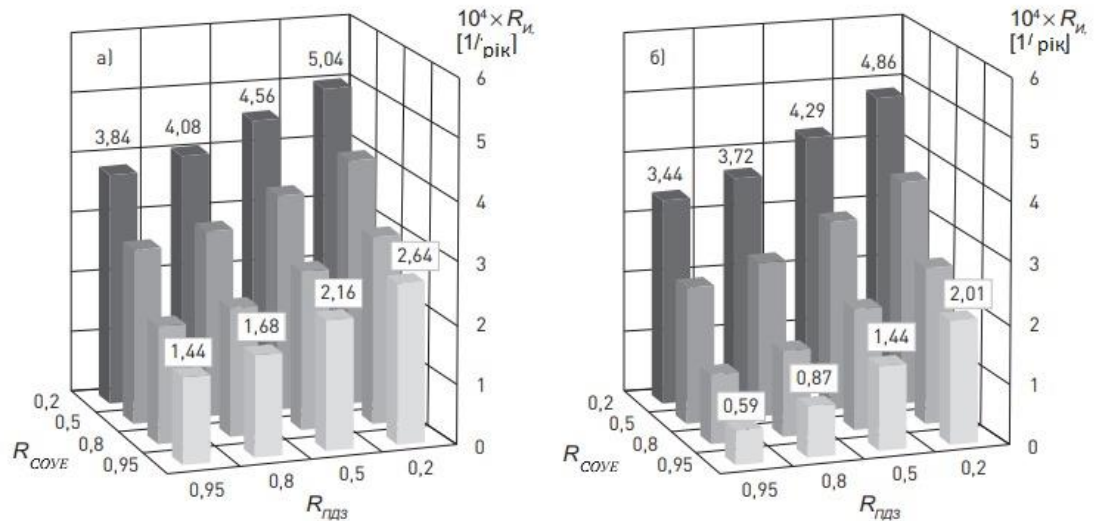


Рис.3.3. Індивідуальний ризик R , розрахований на основі логічного дерева подій при різній надійності систем протипожежного захисту: а) $R_{обн} = 0.8$; б) $R_{обн} = 0.95$.

При оцінці ризику важливий як адекватний аналіз сценаріїв пожежі, так і облік роботи або відмови кожної системи протипожежного захисту.

3.1. Конструктивна особливість будівлі та матеріали об'єкта захисту

Триповерхова промислова будівля побудована в 1962 році. Зовнішні стіни цегляні завтовшки 700 мм. Внутрішні стіни цегляні, завтовшки 420 мм, перегородки цегляні завтовшки 280 мм. Перекриття та покриття із збірних залізобетонних плит. Покрівля будівлі азбестоцементна з водостоками. Сходи – збірні залізобетонні майданчики та марші. Підлоги – лінолеумні, дощаті, керамічні та бетонні. Фундамент збірний залізобетонний. Вимощення асфальтовані. Пожежне навантаження у будівлі є; меблі, обладнання, інвентар, виконані з матеріалів, що горять. Двері усередині будівлі – дерев'яні.

В будівлі використовуються основні конструкції та матеріали, пожежно-технічні характеристики яких відповідають установленим межам вогнестійкості та вимогам необхідного ступеня вогнестійкості будівлі.

Клас конструктивної пожежної небезпеки:

- зовнішні стіни складаються з цегли товщиною 700 мм (межа вогнестійкості становить >5,5 год);
- внутрішні капітальні стіни цегляні, завтовшки 420 мм (межа вогнестійкості >5,5 год);
- перекриття та покриття із збірних залізобетонних плит, завтовшки 200 мм (межа вогнестійкості >3 год).

Межі вогнестійкості будівельних конструкцій будівлі відповідають 2 ступеню вогнестійкості. Сходи – збірні залізобетонні, внутрішні стіни сходових клітин цегляні, завтовшки 420 мм (межа вогнестійкості >5,5 годин).

Евакуація людей здійснюється за сходами та сходовими клітинами. Евакуаційні виходи ведуть назовні на прилеглу до будівлі територію. Для забезпечення безпечної евакуації людей на даному об'єкті є 5 евакуаційних виходів на 1 поверсі та 1 евакуаційний вихід є на другому поверсі - відкриті зовнішні сходи із ухилом 60 градусів.

Сповіщення людей про пожежу здійснюється за допомогою звукової автоматичної пожежної сигналізації. Управління рухом людей по евакуаційним шляхам організовано за допомогою світлових покажчиків зі словом «ВИХІД», а також за допомогою стрілок, спрямованих у бік найближчого евакуаційного виходу.

У будівлі розроблено та на видних місцях вивішено плани евакуації людей під час пожежної небезпеки, крім плану який схематично зображує рух під час евакуації людей під час пожежі розроблено інструкцію, що корегує послідовність дій працівників для організації безперебійної евакуації персоналу, на основі якої не рідше ніж раз на шість місяців відбуваються практичні навчання працівників, відповідальних за евакуацію.

3.2 Розрахунок пожежного ризику

Розрахунок оцінки пожежного ризику проводиться на підставі:

-ДСТУ ISO 16732-1:2018 «Інжиніринг пожежної безпеки. Оцінювання пожежного ризику. Частина 1. Загальні положення» [17]. Цей документ є базовим міжнародним стандартом, адаптованим для використання в Україні.

-ДСТУ 8828:2019 «Пожежна безпека. Загальні положення» [19]. Встановлює загальні вимоги щодо пожежної безпеки для різних об'єктів.

-ДСТУ ISO 23932:2018 «Інжиніринг пожежної безпеки. Загальні принципи». Документ, що надає загальні принципи інжинірингу пожежної безпеки;

-Наказу МВС України від 13.10.2023 № 836, яким затверджена Методика оцінювання ризиків виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру та пожеж;

- Наказу МВС України від 31.07.2023 № 627, яким затверджено Порядок управління ризиками виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру та пожеж.

Розрахунок різних значень ризику пожежі на підприємстві проводиться на основі:

- а) аналізування небезпеки пожежі промислового підприємства;
- б) розрахунку частоти реальних небезпечних пожежних випадків;
- в) побудови сценаріїв шкідливих актів пожежі для різних вірогідностей їх прояву;
- г) визначенню ефектів дії різних результатів пожежі на персонал;
- д) існування системи гарантування протипожежного захисту підприємства.

Програмне забезпечення для оцінки можливих наслідків пожежі:

1. Vision Pro Fire Risk Assessment Software
 - Призначена для професійних оцінювачів пожежного ризику, керівників об'єктів, команд з безпеки. Vision Pro Software

- Можливості: ідентифікація, документування та моніторинг ризиків; шаблони відповідно до стандарту PAS 79. Vision Pro Software

- Підходить для різних типів об'єктів: житлові, комерційні, промислові. Vision Pro Software

2. Aurora Fire Risk Assessment Software

- Онлайн (веб-додаток) для проведення та управління оцінками пожежного ризику. auroradataltd.co.uk

- Особливості: адаптивні шаблони, робота на різних пристроях (мобільних, планшетах), відмітки на планах поверхів, призначення дій підрядникам. auroradataltd.co.uk

- Гарно підходить для об'єктів, де важлива точкова фіксація місця ризику на плані.

3. Risk Assessor Pro

- Платформа, яка використовує штучний інтелект для допомоги в оцінці пожежного ризику — фото, аналіз простору, автоматизовані звіти. riskassessorpro.com

- Орієнтована більше на фахівців, що потребують аналітики й автоматизації.

4. Fenix+ 3 від MST Software

- Спеціалізоване рішення для «перформанс-базованого» проєктування пожежної безпеки: тривимірне моделювання пожежі, димового руху, евакуації. MST Software

- Підходить, коли потрібно досліджувати сценарії: як швидко люди евакуюються, як розповсюджується дим тощо.

5. Lumiform Fire Risk Assessment Software

- Універсальний інструмент для цифрових перевірок, збору доказів, фото, автоматизованих звітів. Lumiform

- Хороший варіант для тих, хто хоче простий мобільний/таблет-варіант для регулярних оглядів безпечного оснащення будівель.

Ризик для персоналу відповідає вимогам, якщо

$$Q_B \leq Q_B^H, \quad (1)$$

де $Q_B^H = 10^{-6} \text{ год}^{-1}$; нормативна цифра для особового ризику пожежі;

Q_B – значення, що розраховано.

Значення ризику пожежі Q_B в кожній будівлі розраховується за формулою

$$Q_B = Q_{\Pi} \cdot (1 - R_{\text{ап}}) \cdot P_{\text{пр}} \cdot (1 - P_3) \cdot (1 - P_{\text{п.з}}), \quad (2)$$

де Q_{Π} - частота прояву пожежі в споруді за відповідний термін, приймається на основі табличних цифр. За відсутністю інформації зі статистики можна брати $Q_{\Pi} = 4 \cdot 10^{-2}$ для кожної будівлі;

$R_{\text{ап}}$ – вірогідність ефективного спрацювання устаткування автоматичного пожежегасіння (УАП). Значення параметрів $R_{\text{ап}}$ залежить від технічної надійності складових, що наводиться в технічній документації. За відсутністю даних по параметрам можна вибирати $R_{\text{ап}} = 0,8$. При відсутності в будівлі УАП, $R_{\text{ап}} = 0$;

$P_{\text{пр}}$ – вірогідність присутності людей в будівлі, визначається з виразу $P_{\text{пр}} = t_{\text{функц}}/24$, де $t_{\text{функц}}$ – термін знаходження людей в будівлі в годинах;

P_3 – вірогідність евакуації людей;

$P_{\text{п.з}}$ – вірогідність якісної придатності системи захисту від пожежі.

Вірогідність евакуації людей P_3 розраховують за формулою

$$P_3 = \begin{cases} \frac{0,8 \cdot t_{\text{бл}} - t_p}{t_{\text{нз}}}, & t_p < 0,8 \cdot t_{\text{бл}} < t_p + t_{\text{нз}} \quad t_{\text{ск}} \leq 6 \\ 0,999, & t_p + t_{\text{нз}} \leq 0,8 \cdot t_{\text{бл}} \quad t_{\text{ск}} \leq 6 \\ 0,000, & t_p \geq 0,8 \cdot t_{\text{бл}} \quad t_{\text{ск}} > 6 \end{cases}, \quad (3)$$

де t_p – час, що розраховано хв.;

$t_{\text{нз}}$ – час початку евакуації.;

$t_{\text{бл}}$ – час до блокування шляхів виходу персоналу за рахунок розповсюдження НФП, хв.;

$t_{\text{ск}}$ – час існування скупчення людей на відрізку евакуації (кількість людей на шляху евакуації перевищує 0,5).

3.3.Розробка видів та різних наслідків небезпечних проявів пожежі для промислових підприємств

Розробка плану прояву складається з наступних етапів:

- вибір місця знаходження осередку пожежі та закономірності її розвитку;
- вибір системи приміщень, визначення їх внутрішньої структури;
- урахування значень факторів як навколишніх обставин так і початкових параметрів внутрішнього середовища.

Потім розробляється модель проявів пожежі та відбувається моделювання розвитку в динаміці.

Оцінка наслідків дії небезпечних факторів пожежі на людей при різних сценаріях її розвитку.

Оцінка наслідків дії пожежних факторів небезпеки на персонал при різних сценаріях її розвитку складається з визначення вірогідності виходу працівників з приміщення під час пожежі.

Вірогідність евакуації розраховується по формулі (3) за рахунок співставлення значень розрахункового часу евакуації та часу захарашення доріг для евакуації вторинними факторами.

Потім проводиться розрахунок значень ризику пожежі для індивідуума та співставлення його з нормативним значенням.

Порядок впровадження різних заходів проти пожежі при розрахунку значень ризику пожежі для працівника

Якщо розраховані дані ризику пожежі більше ніж значення норми, в приміщенні необхідно передбачити додаткові протипожежні заходи.

До числа протипожежних заходів для безпечної евакуації людей відносять:

- використання додаткових рішень та заходів що не дозволяють розповсюджуватись пожежі;
- облаштування додаткових шляхів евакуації;
- облаштування систем сповіщення персоналу;

- використання систем захисту від диму та від різних загрозливих пожежних факторів; обмеження кількості людей у приміщенні до кількості, що забезпечує безпеку при евакуації з будівлі.



Було проведено моделювання розвитку пожежі в будівлі. Модель поверху представлена на рис. 3.4. Припускається, що осередок пожежі знаходиться в осях А-Б, 13-14.

Горюче навантаження в приміщенні осередку пожежі представлено офісними меблями, книгами, паперами. Оздоблення меблів – синтетичні оздоблювальні матеріали, полімерні матеріали, деревина.

В рамках моделювання наведений елемент облаштування офісного приміщення (приміщення в зоні пожежі) – стілець, стіл, комп'ютер, які безпосередньо знаходилися в зоні горіння.

Розглядалась система, яка складається з приміщень осередку пожежі та коридорів поверхів будівлі в осях А-Б, 10-14 та А-В, 10-13. Двері з приміщень осередку пожежі в коридор відкрита. Двері з коридорів на сходи закриті. Геометричні розміри приміщень прийняті відповідно до представлених даних.

Значення параметрів небезпечних факторів пожежі (окису вуглецю, диоксиду вуглецю), зменшення концентрації кисню та оптична щільність диму вимірювалась в точках 1, 2, 3 и 4, рис. 3.4.

Модель, що використовувалась для прогнозування динаміки пожежі складається з наступних рівнянь :

- рівняння збереження маси

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot \rho \mathbf{u} = 0$$

- рівняння нерозривності

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho Y_I) + \nabla \cdot \rho Y_I \mathbf{u} = \nabla \cdot \rho D_I \nabla Y_I + \dot{m}_I'''$$



Умовні позначення  КТ 2 - місце розташування контрольної точки та її номер.

Рис.3.4. Схема розташування контрольних точок для визначення небезпечних факторів пожежі.

- рівняння збереження руху

$$\rho \left(\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + (\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} \right) + \nabla p = \rho \mathbf{g} + \mathbf{f} + \nabla \cdot \boldsymbol{\tau}$$

- рівняння збереження енергії

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho h) + \nabla \cdot \rho h \mathbf{u} = \frac{Dp}{Dt} - \nabla \cdot \mathbf{q}_r + \nabla \cdot k \nabla T + \sum_i \nabla \cdot h_i \rho D_i \nabla Y_i$$

Аналіз отриманих результатів дозволяє зробити висновок, що критичні значення небезпечних факторів пожежі досягають раніше для температури та оптичної щільності диму (втрата видимості).

Температура.

Розподіл температури в продольному перетині приміщення осередку пожежі, яке проходить через коридор, а також температурні поля поперечному вертикальному перетині на висоті робочої зони (1,7м).

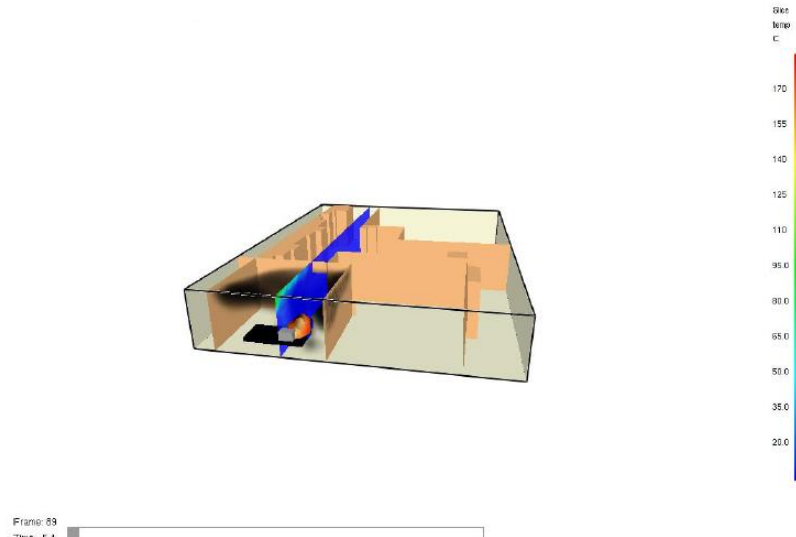


Рис. 3.5. Температура в поздовжньому перетині осередку пожежі через 5с після початку пожежі.

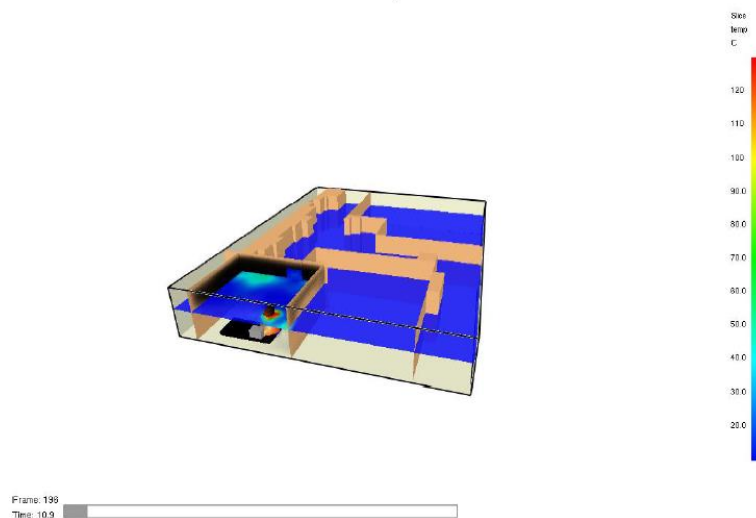


Рис. 3.6. Температура в приміщенні осередку пожежі на висоті робочої зони через 10 с після початку пожежі.

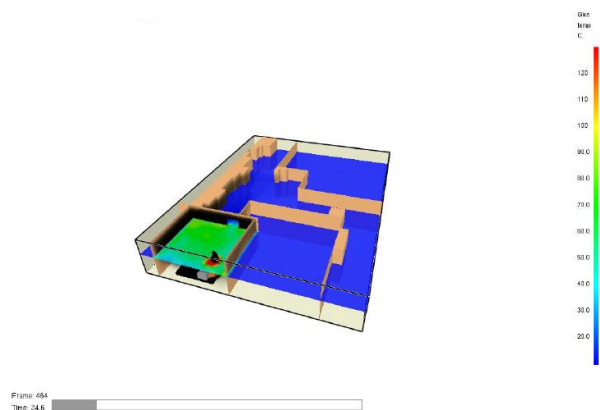


Рис. 3.7. Температура в приміщенні осередку пожежі на висоті робочої зони через 25 с після початку пожежі.

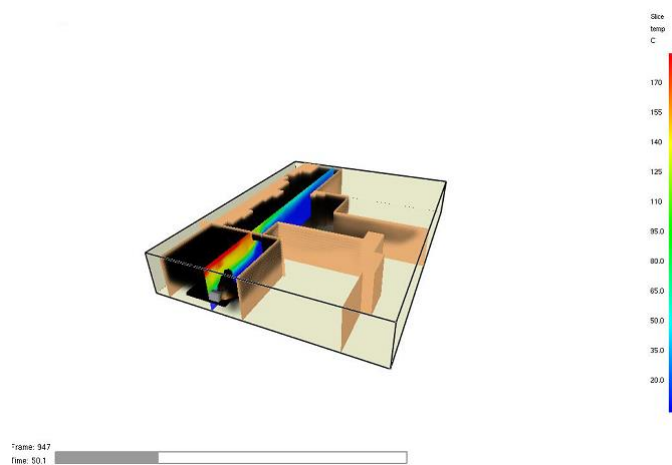


Рис. 3.8. Температура в поздовжньому перетині приміщення осередку пожежі та коридору в осях А-Б, 10-14 через 50с після початку пожежі.

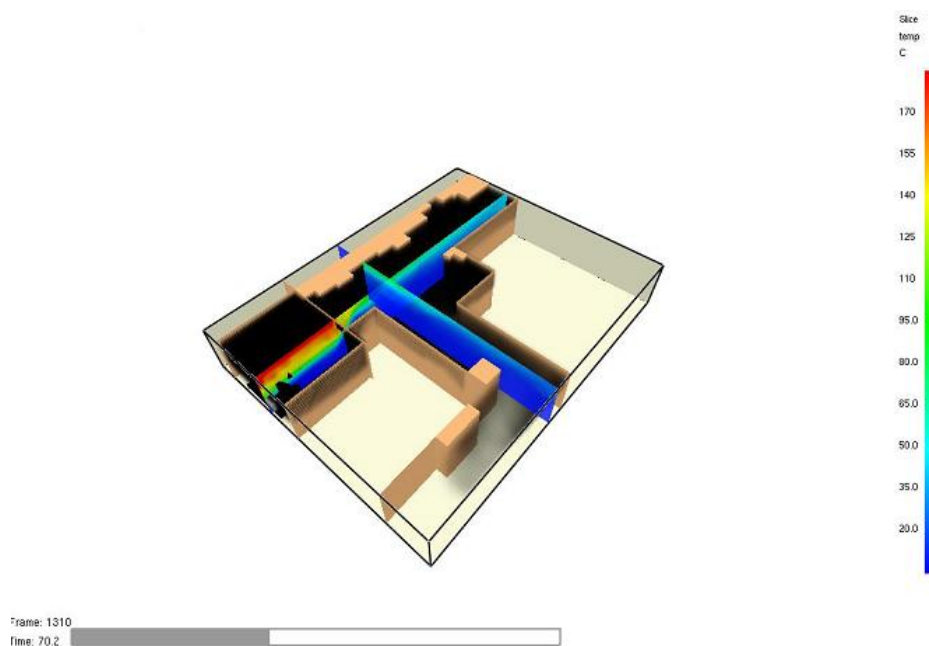


Рис. 3.9. Температура в поздовжньому перетині коридорів через 70с після початку пожежі.

Дані ,що представлені на рис. дозволяють зробити висновки що температура повітря буде досягати критичних значень тільки в приміщенні осередку пожежі. Навіть через 150с після виникнення пожежі температура повітря продуктів горіння в коридорах не буде досягати значних значень на висоті робочої зони.

Втрата видимості.

Графіки втрати видимості залежно від динаміки розвитку пожежі в точках 1,2,3 та 4 наведені на рис. 3.10 – 3.13.

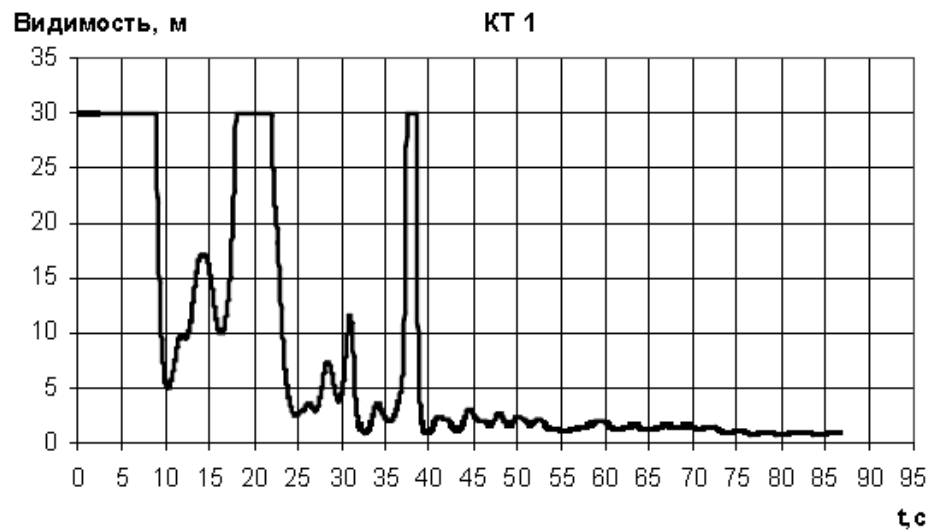


Рис.3.10. Графік втрати видимості залежно від динаміки розвитку пожежі в точці 1.

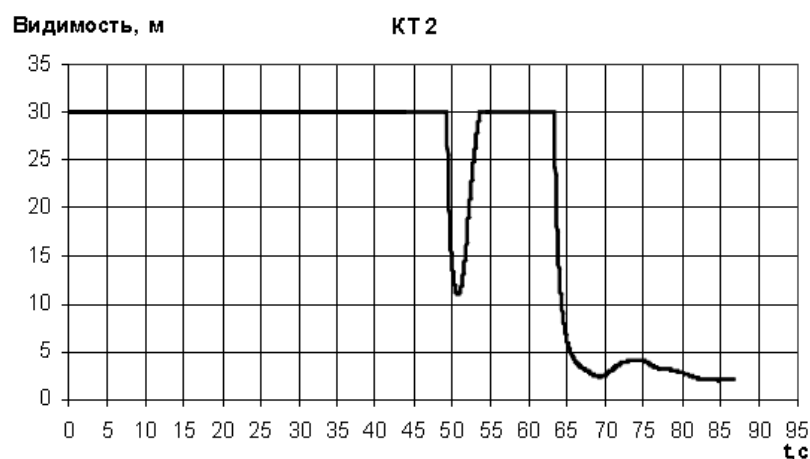


Рис.3.11. Графік втрати видимості залежно від динаміки розвитку пожежі в точці 2.

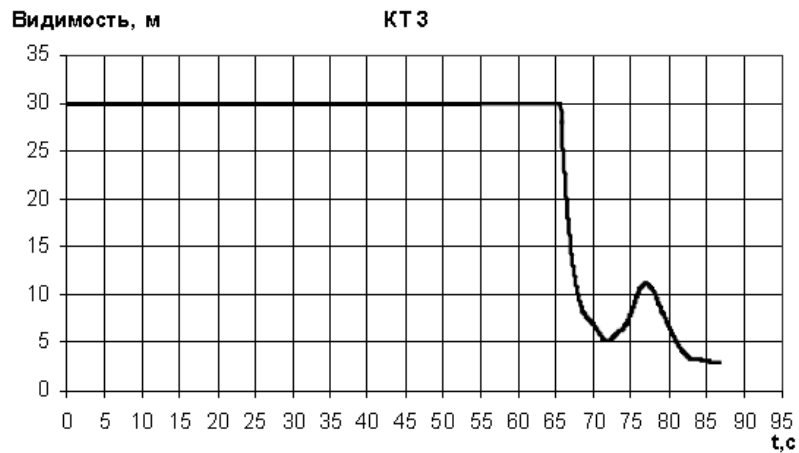


Рис.3.12. Графік втрати видимості залежно від динаміки розвитку пожежі в точці 3.

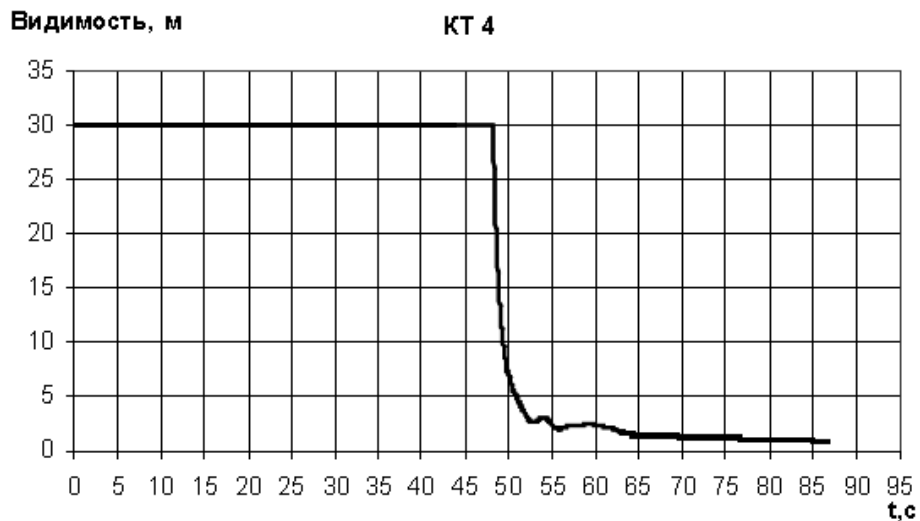


Рис.3.13. Графік втрати видимості залежно від динаміки розвитку пожежі в точці 4.

Дані приведені на рис. дозволяють зробити висновок, що необхідний час евакуації $t_{нб}$ для людей, що евакуюються через сходи в осях А-Б, 10-11 повинен складати 62с, а для людей, що евакуюються через сходи в осях Г-Д, 13-14 повинен складати 76с.

Цікаво відмітити, що $t_{нб}$ для точки 4 менше, ніж для точки 3. Це пов'язано з тим, що нагріті димові гази (висока температура, низька щільність) піднімаються вгору та переміщаються під стелею. В кінці коридору гази починають займати більш низький шар, переміщаються в зворотному напрямку.

На рис. 3.14-3.16 представлена візуальна характеристика задимлення приміщень в моменти часу 70с та 180с.



Frame: 1320
Time: 70.7

Рис. 3.14. Характеристика задимлення через 70с після початку пожежі. Вихід з коридору в осях А-В, 10-13.



Frame: 1320
Time: 70.7

Рис. 3.15. Характеристика задимлення через 70с після початку пожежі. Вихід з коридору в осях А-Б, 10-14.

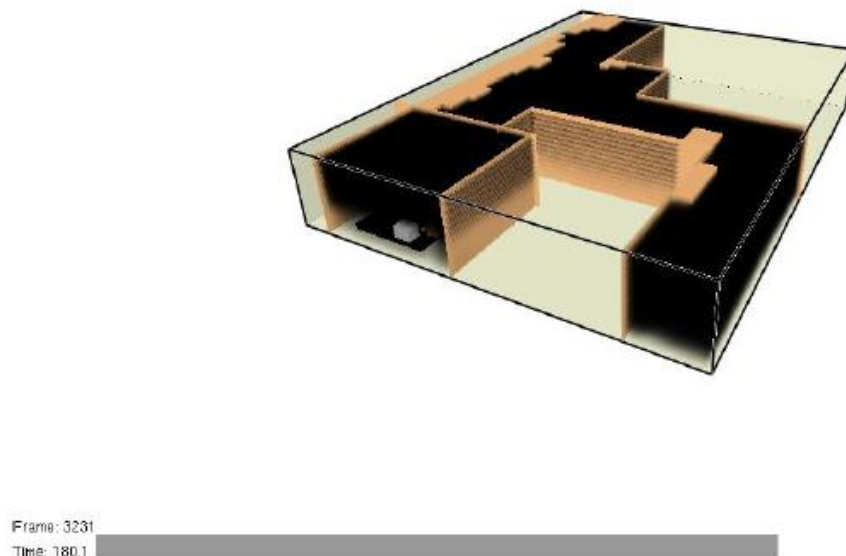


Рис. 3.16. Характеристика задимлення через 180с після початку пожежі.

Наведені дані (рис. 3.14-3.16) дозволяють зробити висновки, що в момент часу 70с приблизно 1/2 висоти коридору в осях А-Б, 10-14 заповнена димом. Для коридору в осях А-В, 10-13 ситуація більш м'яка - приблизно 1/3 висоти коридору заповнено димом. Через 180с після виникнення пожежі вся об'єми коридорів повністю заповнені димом.

Відмітимо, що якщо останній евакуйований з приміщення з осередком пожежі закриє двері, то процес заповнення димом коридорів суттєво знизиться і $t_{нб}$ буде мати високі значення, приблизно 5-10хв.

В цілому значення такого критичного фактору, як втрата видимості, значно перевищує всі інші небезпечні фактори пожежі. Наприклад, температура на висоті робочої зони, а також зниження концентрації кисню, підвищення концентрації окису вуглецю, діоксиду вуглецю не досягнуть критичних значень навіть через 180с після початку пожежі.

Основні етапи розвитку пожежі та висновки за результатами розрахунків

25 с – досягнення критичних температур (70°C) по всьому перетину на висоті робочої зони 1,7м в приміщенні осередку пожежі;

10-40с – вихід продуктів горіння з приміщення осередку пожежі. Періодична втрата видимості в точці 1;

40 с - критична втрата видимості в точці 1;

47 с – задимлення коридору в осях А-Б, 10-14. Критична втрата видимості в точці 4;

62 с – задимлення коридору в осях А-В, 10-13. Критична втрата видимості в точці 2.

76 с – задимлення коридору в осях А-В, 10-13. Критична втрата видимості в точці 3.

Нормативні документи вимагають завершення евакуації людей до настання критичних значень небезпечних факторів пожежі.

Таким чином, необхідний час евакуації для людей, що евакуюються через сходи в осях А-Б, 10-11 повинен складати не більше **47с**, а для людей, що евакуюються через сходи в осях Г-Д, 13-14 повинен складати не більше **76 с**.

Визначення часу перешкоджання шляхам виходу людей

Час блокування – це період від початку пожежі до часу перешкоджання шляхам виходу людей внаслідок поширення на них небезпечних факторів пожежі, що мають перевищення гранично допустимих для працівників значень, (хв), їх розраховують як значення допустимих концентрацій диму та інших небезпечних факторів пожежі на шляхах виходу у різний період часу. Дозволяється цей час дорівнювати часу необхідної евакуації.

Прийнятний період евакуації розраховують як множення шкідливої для працівника протяжності пожежі на коефіцієнти безпечності. Вважається, що будь який небезпечний фактор впливає на працівника окремо.

Небезпечний час пожежі для працівників, що перебувають в приміщенні осередка пожежі, приймається при визначенні із небезпечних факторів пожежі гранично допустимого значення.

Розрахунок періоду від початку пожежі до захаращення шляхів виходу
внаслідок поширення в просторі шкідливих факторів пожежі

Найменування параметра	Значення
Меблі + папір	
Найнижча теплота згоряння матеріалу (Q), МДж/кг	13.800
Питома масова швидкість вигорання рідини (ψ _F), кг/(м ² с)	0,015
Димоутворююча здатність палаючого матеріалу (Dm), (Hn·м ²)/кг	270.000
Питомий вихід токсичних газів при згорянні 1 кг матеріалу (L _{O2}), кг/кг	1.030
Питомий вихід токсичних газів при згорянні 1 кг матеріалу (L _{CO2}), кг/кг	0.203
Питомий вихід токсичних газів при згорянні 1 кг матеріалу (L _{CO}), кг/кг	0.002
Питомий вихід токсичних газів при згорянні 1 кг матеріалу (L _{HCl}), кг/кг	0.014
Лінійна швидкість поширення полум'я, м/с	0.011
n	2
A, кг/с ²	5.9508E-5
B, кг	12.16
Z	3.61
за підвищеною температурою, с	92.6
$t_{кр}^T = \left\{ \frac{B}{A} \cdot \ln \left[1 + \frac{70 - t_o}{(273 + t_o) \cdot Z} \right] \right\}^{1/n}$	
за втратою видимості, с	25.1
$t_{кр}^{n.в.} = \left\{ \frac{B}{A} \cdot \ln \left[\left(1 - \frac{V \cdot \ln(1,05 \cdot \alpha \cdot E)}{l_{np} \cdot B \cdot D_m \cdot Z} \right)^{-1} \right] \right\}^{1/n}$	
за зниженим вмістом кисню, с	83.1
$t_{кр}^{O_2} = \left\{ \frac{B}{A} \cdot \ln \left[\left(1 - \frac{0,044}{\left(\frac{B \cdot L_{O_2}}{V} + 0,27 \right) \cdot Z} \right)^{-1} \right] \right\}^{1/n}$	

за підвищеним вмістом CO ₂ , с	Фактор є безпечним
$t_{кр}^{m.з.} = \left\{ \frac{B}{A} \cdot \ln \left[\left(1 - \frac{V \cdot X}{B \cdot L \cdot Z} \right)^{-1} \right] \right\}^{1/n}$	
по підвищеному содержанию СО, с	Фактор є безпечним
$t_{кр}^{m.з.} = \left\{ \frac{B}{A} \cdot \ln \left[\left(1 - \frac{V \cdot X}{B \cdot L \cdot Z} \right)^{-1} \right] \right\}^{1/n}$	
за підвищеним вмістом HCl, с	31.5
$t_{кр}^{m.з.} = \left\{ \frac{B}{A} \cdot \ln \left[\left(1 - \frac{V \cdot X}{B \cdot L \cdot Z} \right)^{-1} \right] \right\}^{1/n}$	
$\tau_{бл} = \min \{ t_{KP}^T, t_{KP}^{П.В}, t_{KP}^{O2}, t_{KP}^{Г.Г} \}$	21,5
меблі + лінолеум ПВХ	
Найнижча теплота згоряння матеріалу (Q), МДж/кг	14.000
Питома масова швидкість вигорання рідини (ψ _F), кг/(м ² с)	0,014
Димоутворююча здатність палаючого матеріалу (Dm), (Hn·м ²)/кг	47.700
Питомий вихід токсичних газів при згорянні 1 кг матеріалу (L _{O2}), кг/кг	1.369
Питомий вихід токсичних газів при згорянні 1 кг матеріалу (L _{CO2}), кг/кг	1.478
Питомий вихід токсичних газів при згорянні 1 кг матеріалу (L _{CO}), кг/кг	0.030
Питомий вихід токсичних газів при згорянні 1 кг матеріалу (L _{HCl}), кг/кг	0.006
Лінійна швидкість поширення полум'я, м/с	0.015
n	2
A, кг/с ²	7.809E-5
B, кг	18.72
Z	3.61
за підвищеною температурою, с	100.3

$t_{кр}^T = \left\{ \frac{B}{A} \cdot \ln \left[1 + \frac{70 - t_o}{(273 + t_o) \cdot Z} \right] \right\}^{1/n}$	
за втратою видимості, с $t_{кр}^{н.в.} = \left\{ \frac{B}{A} \cdot \ln \left[\left(1 - \frac{V \cdot \ln(1,05 \cdot \alpha \cdot E)}{l_{np} \cdot B \cdot D_m \cdot Z} \right)^{-1} \right] \right\}^{1/n}$	56.0
за зниженим вмістом кисню, с $t_{кр}^{O_2} = \left\{ \frac{B}{A} \cdot \ln \left[\left(1 - \frac{0,044}{\left(\frac{B \cdot L_{O_2}}{V} + 0,27 \right) \cdot Z} \right)^{-1} \right] \right\}^{1/n}$	86.5
за підвищенням вмістом CO ₂ , с $t_{кр}^{m.з.} = \left\{ \frac{B}{A} \cdot \ln \left[\left(1 - \frac{V \cdot X}{B \cdot L \cdot Z} \right)^{-1} \right] \right\}^{1/n}$	245.8
по підвищеному содержанию СО, с $t_{кр}^{m.з.} = \left\{ \frac{B}{A} \cdot \ln \left[\left(1 - \frac{V \cdot X}{B \cdot L \cdot Z} \right)^{-1} \right] \right\}^{1/n}$	171.7
за підвищенням вмістом HCl, с $t_{кр}^{m.з.} = \left\{ \frac{B}{A} \cdot \ln \left[\left(1 - \frac{V \cdot X}{B \cdot L \cdot Z} \right)^{-1} \right] \right\}^{1/n}$	53.5
$\tau_{\text{бл}} = \min \{ t_{кр}^T, t_{кр}^{П.В}, t_{кр}^{O_2}, t_{кр}^{Т.Г} \}$	53.5

Було розраховано індивідуальні ризики виникнення пожежі. Отримана розрахункова величина індивідуального пожежного ризику перевищує нормативне значення $Q_v = 6,1 \cdot 10^{-4}$.

За результатами аналізу системи забезпечення пожежного захисту було встановлено ряд недоліків:

1. Елементи автоматичної системи пожежної сигналізації потребують обслуговування (сильне запилення), фізично застаріли, що може призвести до неспрацювання під час пожежі;
2. Пожежні сповіщувачі можуть давати помилкове спрацювання, через запилення та попадання всередину камери сповіщувача різних комах;
3. Організаційні заходи щодо пожежної безпеки проводяться формально.

Очевидно, що крім технічних заходів та розробки інженерно-технічних рішень на об'єкті захисту знадобиться і ряд організаційних заходів.

Таким чином, за результатами аналізу стало очевидним, що система протипожежного захисту на об'єкті спостереження задовільна, але потребує доопрацювання та змін. Найбільш доцільними представляються заходи:

- удосконалення автоматичної установки пожежної сигналізації;
- встановлення системи оповіщення зі звуковим оповіщенням;
- встановлення автоматичної системи пожежогасіння

тонкорозпорошеною водою.

Зазначені заходи будуть впливати на підвищення ефективності системи протипожежного захисту.

РОЗДІЛ 4 ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАПРОПОНОВАНИХ РЕКОМЕНДАЦІЙ

Оцінка ефективності запропонованих рекомендацій полягає у визначенні:

1. Розрахунок економічної шкоди підприємства у разі пожежі;
2. Розрахунок витрат на придбання та установку комплектуючих для монтажу установки автоматичного водяного пожежогасіння та автоматичної пожежної сигналізації;
3. Розрахунок витрат на монтаж автоматичної установки водяного пожежогасіння та автоматичної пожежної сигналізації;
4. Розрахунок експлуатаційних витрат на обслуговування установки автоматичного водяного пожежогасіння.

Збитки від пожежі будуть виражатися формулою

$$П_{\text{п}} = П_{\text{в}} + П_{\text{вл}} + П_{\text{се}} + П_{\text{вм}} + П_{\text{екол}} + П_{\text{втр}};$$

де: $П_{\text{п}}$ - повні збитки від аварії, грн.;

$П_{\text{в}}$ - прямі втрати організації, грн;

$П_{\text{вл}}$ - витрати на локалізацію/ліквідацію та розслідування аварії, грн.;

$П_{\text{се}}$ - соціальні втрати (втрати, через загибель та травмування людей), грн.;

$П_{\text{вм}}$ - втрати (збитки) через невикористані виробничі можливості (або втрачена економічна вигода), грн.;

$П_{\text{екол}}$ - екологічні збитки, грн.;

$П_{\text{втр}}$ - втрати через зменшення кількості працюючих через загибель або втрату працездатності, грн.;

Прямі витрати від пожеж можна визначити за формулою

$$П_{\text{в}} = П_{\text{ф}} + П_{\text{тм}} + П_{\text{то}}$$

$П_{\text{ф}}$ - втрати підприємства через руйнацію основних фондів (як виробничих так і невиробничих), грн.;

$П_{\text{тм}}$ - втрати внаслідок знищення або (пошкодження) продукції, сировини, грн.;

$П_{\text{то}}$ - втрати внаслідок знищення (пошкодження) майна мешканців, грн.

Втрати підприємства внаслідок знищення та пошкодження пожежею його основних фондів – виробничих та невиробничих Π_{ϕ} визначають - сума витрат у під час знищення ($\Pi_{\phi з}$) та пошкодження ($\Pi_{\phi п}$) основних фондів

$$\Pi_{\phi} = \Pi_{\phi з} + \Pi_{\phi п}$$

Витрати на локалізацію / ліквідацію та розслідування пожежі

$$\Pi_{вл} = \Pi_{лок} + \Pi_{р} + \Pi_{лік}$$

де « $\Pi_{лок}$ – витрати, які утворюються при локалізації або ліквідації результатів пожежі, грн.;

$\Pi_{р}$ – витрати розслідування виникнення пожежі, грн.;

$\Pi_{лік}$ – витрати, пов'язані з ліквідацією пожежі, грн.

Наступна група витрат – на організаційні заходи, пов'язані з розслідуванням причини пожежі ($\Pi_{р}$), які будуть включати:

-оплата праці членів комісії з розслідування пожежі, грн.;

-витрати на проектно-дослідні роботи з дослідження можливостей технічних змін у системі забезпечення пожежної безпеки, грн.;

-вартість послуг експертів, залучених до розслідування пожежі, грн.

Економічна ефективність заходів розраховується

$$\mathfrak{E}_r = \frac{Y}{3}$$

де Y - величина втрат організації при пожежі, грн.;

3 – витрати на реалізацію заходів, грн.

Розрахунок чистого економічного ефекту за формулою

$$\text{ЧЭЭ} = \sum \mathfrak{E}_t - 3_t$$

де $\mathfrak{E}_t$ – результати, досягнуті на t -му етапі розрахунку;

3_t - витрати, що здійснюються на цьому кроці, включаючи капітальні вкладення.

Чистий дисконтований дохід становитиме

$$\text{ЧДД} = \sum_{t=0}^T (\mathfrak{E}_t - 3_t + A_i) \frac{1}{(1+E)^t},$$

де $\mathfrak{E}_t$ – результати, досягнуті на t -му етапі розрахунку;

$Зt$ - витрати, що здійснюються на цьому кроці, включаючи капітальні вкладення.

Також слід розрахувати термін окупності за формулою

$$T_{ок} = T - \frac{ЧДД_T}{ЧДД_{T+1} - ЧДД_T}$$

де -ЧДД – чистий дисконтований дохід.

Індекс прибутковості розраховуємо за формулою

$$ИД = \frac{\sum_{t=0}^T (\Delta_t + A_t)(1+E)^{T-1}}{\sum_{t=0}^T K_t(1+E)^{T-1}}$$

де « Δt – результати, на t -ом етапі розрахунку.

Інтегральні показники ефективності заходу

Таблиця 4.1

Показники	Значення показників за роками, грн.				
	0	1	2	3	4
Капітальні вкладення	681986	0	0	0	0
Річні витрати	-	25000	25000	25000	25000
Амортизація	-	5000	5000	5000	5000
Ефект	531014	531014	531014	531014	531014
ЧЕЕ	-150972	501014	501014	501014	501014
ЧДД	-150972	350042	851056	1352070	1853084
Термін окупності	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Індекс прибутковості	1,78				

Таким чином, своєчасна зміна у конструкції системи протипожежного захисту дозволить заощадити кошти, а ефект буде досягнуто за рахунок зниження пожежного ризику в будівлі.

ВИСНОВКИ

Велике значення під час здійснення заходів пожежної безпеки має оцінка пожежної небезпеки будівель та споруд. Пожежний ризик – величина вірогідності реалізації пожежної небезпеки для підприємства та їх впливу на людей і матеріальні цінності. Розраховані значення пожежного ризику це кількісні заходи вірогідності реалізації небезпеки пожежі для об'єкта та вірогідність впливу на людей.

Визначення та оцінка ризику пожежі визначається під час зіставлення отриманих значень ризику пожежі з відповідними нормативами значень пожежних ризиків, визначеними нормативними документами.

Проведений огляд існуючих способів аналізу ризиків пожежі говорить про те, що і вірогіднісні та індексні способи є дуже потужними інструментами, кожен із яких займає власне місце у варіативності імовірнісних підходів до задач оцінки ризиків кількісно. Ймовірнісні методи вимагають проведення вельми трудомісткого та кропіткого аналізу з використанням складних математичних розрахунків та програмних засобів. Їх застосування для розрахунку пожежного ризику в будинках становить значні труднощі через необхідності проводити розрахунки розвитку пожежі та евакуації людей на основі диференціальних моделей для багатьох сценаріїв.

Індексні способи, що використовують евристичний спосіб до визначення ризику, відповідно, дозволяють розраховувати величину небезпеки пожежі та ризику з невеликими розрахунками, але ефективність їх впровадження дуже залежить від правильної оцінки в балах усіх факторів та пояснень результату. Для значно ефективного користування різними методами важливо чітко представляти їх область застосування, а також сильні та слабкі сторони. Зараз, коли розрахунки індивідуального ризику входять у повсякденну практику при проектуванні нових об'єктів та оцінці пожежонебезпечності існуючих об'єктів, надзвичайно важливо використовувати правильний методологічний базис ймовірнісних методів, що враховує світовий досвід аналізу ризику, та позбутися спрощених підходів, не здатних давати об'єктивні дані для

прийняття проектних та експлуатаційних рішень у галузі пожежної безпеки будівель. На жаль, у нашій країні індексні методи оцінки пожежної небезпеки до теперішнього часу не набули належного поширення.

Першим кроком на шляху створення та впровадження таких методів у практику оцінки пожежонебезпеки об'єктів могла б стати адаптація існуючих у світі індексних методів та відповідного програмного забезпечення для врахування вимог вітчизняної нормативної документації та реалій ситуації з пожежними ризиками в країні із залученням фахівців найширшого кола від дослідників та інженерів у галузі пожежної безпеки до осіб, які на практиці здійснюють аудит та оцінку пожежної небезпеки реальних об'єктів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Правила пожежної безпеки України від 30.12.2014 № 1417; НАПБ А.01.001- 2014.
2. Rasbash, D., Ramachandran, G., Kandola, B., Watts, J., Law, M. (2004). Evaluation of Fire Safety. — N.Y.: J. Wiley & Sons.
3. Hasofer, A. M., Beck, V. R., Bennetts, I. D. (2007). Risk Assessment in Building Fire Safety Engineering. — Oxford: Butterworth-Heinemann.
4. Yung, D. (2008). Principles of Fire Risk Assessment in Buildings. — N.Y.: J. Wiley & Sons.
5. Meacham, B. J. (2008). A Risk-Informed PerformanceBased Approach to Building Regulation. 7th International Conference on Performance-Based Codes and Fire Safety Design Methods, pp. 1—13.
6. Hall, J. R. (2006). Overview of Standards for Fire Risk Assessment. Fire Science and Technology, 25, pp. 55—62.
7. Hall, J. R., Watts, J. M. (2008). Fire Risk Analysis. In: Fire Protection Handbook, Cote, A. E. (ed.), NFPA, Ch. 8, pp. 3—135 — 3—143.
8. NFPA 551. (2007). Guide for the Evaluation of Fire Risk Assessments. National Fire Protection Association.
9. ISO TS 16732. (2005). Fire Safety Engineering — Guidance on Fire Risk Assessment. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
10. Meacham, B. J. (2004). Understanding Risk: Quantification, Perceptions, and Characterization. Journal of Fire Protection Engineering, 14, pp. 199—227.
11. Hurley, M. J., Bukowski, R. W. (2008). Fire Hazard Analysis Techniques. In: Fire Protection Handbook. Cote, A. E. (ed.). — NFPA, Ch. 7, pp. 3—121 — 3—134.
12. Акімов В. А., Лапін В. Л., Попов В. М. та ін. (2002). Надійність технічних систем і техногенний ризик. — К: «Бізнес Експрес».

- 13.ДСТУ IEC/ISO 31010:2013 Керування ризиком. Методи загального оцінювання ризику (IEC/ISO 31010:2009, IDT).
https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=66723
- 13.AIChE/CCPS. (1989). Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Assessment. — New York: Amer. Inst. Chem. Engineers.
14. AIChE/CCPS. (1995). Guidelines for Evaluating the Characteristics of Vapor Cloud Explosions, Flash Fires, and BLEVEs. — New York: Amer. Inst. Chem. Engineers.
- 15.Bénichou, N., Kashef, A. H., Reid, I., Hadjisophocleous, G. V., Torvi, D. A., Morinville, G. (2005). FIERAsystem: a fire risk assessment tool to evaluate fire safety in industrial buildings and large spaces. Journal of Fire Protection Engineering, 15, pp. 145—172.
- 16.Yung, D., Hadjisophocleous, G. V., Proulx, G. (1999). A description of the probabilistic and deterministic modelling used in FiRECAM™. International Journal on Engineering Performance-Based Fire Codes, 1, pp. 18—26
- 17.ДСТУ ISO 16732-1:2018 «Оцінювання пожежного ризику. Частина 1. Загальні положення».
- 18.ДСТУ ISO 16732-2:2018 «Оцінювання пожежного ризику. Частина 2. Приклад офісної будівлі».
- 19.ДСТУ 8828:2019 «Пожежна безпека. Загальні положення»