

## **БУДІВНИЦТВО**

УДК 614.841

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.1/50>

**Ніжник В.В.**

Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту

**Савченко О.В.**

Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту

**Добряк Д.О.**

Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту

### **КРИТЕРІЇ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СИСТЕМ ПРОТИПОЖЕЖНОГО ЗАХИСТУ НА ІНДИВІДУАЛЬНИЙ ПОЖЕЖНИЙ РИЗИК**

*За результатами аналізу наукових праць щодо дослідження ефективності технічних систем встановлено перелік показників їх надійності: безвідмовність, ефективне функціонування, довговічність, збереження, ремонтпридатність.*

*Обґрунтовано, що під час досліджень впливу систем протипожежного захисту (далі – СПЗ) на рівень індивідуального пожежного ризику, слід використовувати такий показник надійності, як ефективне функціонування.*

*Обґрунтовано критерії, які обумовлюють закономірності впливу систем протипожежного захисту на рівень індивідуального пожежного ризику. Встановлено, що під час дослідження доцільно розглянути два можливі варіанти розвитку подій, а саме відповідна система протипожежного захисту не функціонує та коли відповідна система протипожежного захисту функціонує. При цьому для таких можливих варіантів розвитку подій значення індивідуального пожежного ризику можливо встановити щонайменше двома шляхами: із використанням методів теорії ймовірності та із використанням польових моделей, які засновані на повній системі диференціальних рівнянь Нав'є-Стокса. В роботі запропоновано алгоритм дослідження закономірності впливу систем протипожежного захисту на рівень індивідуального пожежного ризику та розроблено відповідний порядок. Розглянуті сценарії пожеж, під час яких доцільно досліджувати закономірність впливу систем протипожежного захисту на значення індивідуального пожежного ризику. Сформульовані напрямки для подальших досліджень.*

**Ключові слова:** критерії надійності систем протипожежного захисту, індивідуальний пожежний ризик, системи протипожежного захисту, системи протипожежного захисту, показники надійності.

**Постановка проблеми:** у роботі [1] встановлено актуальність роботи щодо удосконалення СПЗ та методології з управління індивідуальним пожежним ризикам шляхом виявлення коефіцієнтів ефективного функціонування систем протипожежного захисту як підґрунтя такого удосконалення.

Однією із задач вирішення, якої допоможе досягти поставленої мети є обґрунтування критеріїв із використанням яких можливо дослідити вплив систем протипожежного захисту на рівень індивідуального пожежного ризику.

Тому актуальним є розроблення порядку дослідження впливу систем протипожежного захисту на рівень індивідуального пожежного ризику із

використанням відповідних критеріїв, які обумовлюють закономірності зазначеного впливу.

**Аналіз основних досліджень і публікацій.** За результатами наукових досліджень встановлено, що під час встановлення надійності та працездатності будь-якої технічної системи дослідниками [2-4] використовуються різні комбінації показників, що можуть описувати процеси надійного функціонування технічних систем, серед них зокрема можна виділити такі показники: безвідмовність, ефективне функціонування, довговічність, збереження, ремонтпридатність.

Показник безвідмовності характеризується такими критеріями, як імовірність, відсоток нароби-

ток, середнє напрацювання до відмови, інтенсивність відмов. Даний показник дає можливість встановити кількісні дані щодо спрацювання чи не спрацювання певної системи протипожежного захисту [5].

Показник ефективного функціонування характеризується кількісним впливом функціонування відповідного типу системи протипожежного захисту на значення індивідуального пожежного ризику, тобто визначається співвідношенням значення індивідуального пожежного ризику без функціонування відповідної системи протипожежного захисту до значення індивідуального пожежного ризику із функціонуванням відповідної системи протипожежного захисту. Даний показник є важливим під час оцінювання впливу систем протипожежного захисту на індивідуальний пожежний ризик, оскільки саме за допомогою цього показника можна встановити кількісні дані щодо ефективного функціонування певної системи протипожежного захисту [6]. Тому саме цей показник надійності використовуємо під час дослідження впливу систем протипожежного захисту на рівень індивідуального пожежного ризику. Крім того, саме такий показник реалізований національним стандартом [6].

Показник довговічність характеризується таким критерієм, середній термін служби. Даний показник не має прямого впливу під час оцінювання впливу систем протипожежного захисту на індивідуальний пожежний ризик, але пов'язаний із показником безвідмовності [7].

Показник збереження характеризується таким критерієм, як термін зберігання. Даний показник не має прямого впливу під час оцінювання впливу систем протипожежного захисту на індивідуальний пожежний ризик, але пов'язаний із показником безвідмовності [8].

Показник ремонтпридатності характеризується такими критеріями, як ймовірність відновлення, середній час відновлення. Даний показник також не має прямого впливу під час оцінювання впливу систем протипожежного захисту на значення індивідуального пожежного ризику, але пов'язаний із показником безвідмовності системи [9].

**Постановка завдання.** Метою даної роботи є обґрунтувати порядок дослідження впливу систем протипожежного захисту на рівень індивідуального пожежного ризику та критерії, які обумовлюють закономірності впливу систем протипожежного захисту на рівень індивідуального пожежного ризику.

Для досягнення поставленої мети сформовані та вирішені наступні задачі:

– проведено аналіз досліджень і публікацій, щодо показників надійності, які використовують під час оцінки надійного функціонування технічних систем;

– встановлено критерії, які обумовлюють закономірності впливу систем протипожежного захисту на рівень індивідуального пожежного ризику;

– обґрунтовано порядок дослідження впливу систем протипожежного захисту на рівень індивідуального пожежного ризику.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Відповідно до [6] розрахункове значення індивідуального пожежного ризику  $R_{i,i}$  розраховується за формулою:

$$R_{i,i} = Q_{п,i} \cdot P_{пр,i} \cdot (1 - P_{с,i}) \cdot (1 - K_{спз,i}) \cdot (1 - K_{о.з.}) \cdot (1 - K_{п.ф.}), \quad (2.1)$$

Отже такі параметри, як частота виникнення пожежі, ймовірність перебування людей у будівлі та споруді, ймовірність евакуації людей із будівлі чи споруди, коефіцієнт запровадження організаційних заходів протипожежного захисту та коефіцієнт наявності протипожежних формувань у розрізі індивідуального пожежного ризику пов'язані із коефіцієнтом ймовірної ефективності спрацювання систем протипожежного захисту.

Частота виникнення пожежі залежить від ефективності функціонування систем протипожежного захисту і є лише елементом перевірки того, на скільки ефективно вплинула під час функціонування та чи інша система протипожежного захисту на наслідки від пожежі. Тому під час обґрунтування впливу систем протипожежного значення на індивідуальний пожежний ризик зміною частоти виникнення пожежі можна знехтувати, а його значення можна прийняти сталим для всіх випадків, що розглядаються під час досліджень.

Ймовірність перебування людей у будівлі та споруді залежить від часу продовж якого можливе перебування людей у будівлі чи споруді. І хоч параметр ймовірність перебування людей у будівлі та споруді та коефіцієнт ймовірної ефективності спрацювання систем протипожежного захисту пов'язані між собою через значення індивідуального пожежного ризику, на рівні залежності один від одного спільних критеріїв не мають. Тому під час обґрунтування впливу систем протипожежного значення на індивідуальний пожежний ризик зміною параметра, а ймовірність перебування людей у будівлі та споруді також можна знехтувати.

Ймовірність евакуації людей із будівлі чи споруди залежить від співвідношення трьох проміжків часу це: тривалість евакуації людей із будинку чи споруди

у разі пожежі, тривалості початку евакуації людей та тривалості настання критичних значень для життя людини небезпечними чинниками пожежі.

Імовірність евакуації людей  $P_e$  із будівлі чи споруди залежно від значень проміжків часу, які розраховують за формулою:

$$P_e = \begin{cases} 0,999 \cdot \frac{0,8 \cdot t_{\text{ба}} - t_p}{t_{\text{пе}}}, \text{ якщо } t_p < 0,8 \cdot t_{\text{ба}} < t_p + t_{\text{пе}} \text{ та } t_{\text{ск}} \leq 6 \text{ хв} \\ 0,999, \text{ якщо } t_p + t_{\text{пе}} \leq 0,8 \cdot t_{\text{ба}} \text{ та } t_{\text{ск}} \leq 6 \text{ хв} \\ 0,000, \text{ якщо } t_p \geq 0,8 \cdot t_{\text{ба}} \text{ або } t_{\text{ск}} > 6 \text{ хв} \end{cases}, \quad (2.2)$$

Тривалість евакуації людей із будинку чи споруди у разі пожежі залежить від об'ємно-планувальних рішень, зокрема довжини ширини евакуаційних шляхів та виходів, а також від кількості людей, які перебувають в будівлі чи споруді та підлягають евакуації, на даний параметр ефективність спрацювання СПЗ не впливає. Тривалість початку евакуації людей залежить від наявності таких систем протипожежного захисту, як автоматичні системи пожежної сигналізації (далі АПС) та системи оповіщення про пожежі та управління евакуацією людей (далі – СО), що залежить від інерційності спрацювання зазначених систем, як наслідок зазначений параметр (тривалість початку евакуації людей) залежить від ефективності спрацювання СПЗ, зокрема таких як АПС та СО. Тривалість настання критичних значень для життя людини небезпечними чинниками пожежі залежить як від об'ємно-планувальних рішень об'єкту (площа, висота будівлі, особливостей його планування так і від конструктивних і технологічних особливостей об'єкту (характеристика за пожежною безпекою речовин і матеріалів, які використані в будівельних конструкціях, оздоблювальних матеріалах, вид та кількість пожежної навантаги як постійної так і тимчасової, яка використовується на об'єкті), як наслідок зазначений проміжок часу залежить від наявності на об'єкті, таких систем протипожежного захисту як: автоматичні системи пожежогасіння, системи внутрішнього та зовнішнього протипожежного водопостачання, системи протидимного захисту. Таким чином зазначений параметр (тривалість настання критичних значень для життя людини небезпечними чинниками пожежі) залежить від ефективності спрацювання СПЗ, зокрема таких як автоматичні системи пожежогасіння (далі – АСПГ), системи внутрішнього та зовнішнього протипожежного водопостачання (далі – СВЗП) та системи протидимного захисту (далі – СПДЗ).

Отже, час настання небезпечних для життя людини значень відповідними чинниками пожежі також можна використати під час оцінювання впливу СПЗ на значення ІПР. Зокрема, стандартом

[6] визначений такий перелік небезпечних чинників пожежі: полум'я і іскри, підвищена температура оточуючого середовища, токсичні продукти згоряння і термічного розкладання, дим, знижена концентрація кисню. При цьому, стандартом [6] встановлені гранично допустимі значення за кожним з небезпечних чинників пожежі.

За досвіду проведених численних розрахунків [10-12] встановлено, що найбільш швидким по настанню гранично допустимих значень є критерій втрати видимості. Тому саме критерій втрати видимості використовуємо в подальших наших дослідженнях щодо впливу СПЗ на значення ІПР.

Такі параметри, як коефіцієнт запровадження організаційних заходів протипожежного захисту та коефіцієнт наявності протипожежних формувань залежать від організації керівником суб'єкта господарювання належного виконання встановлених [13] вимог пожежної безпеки та створення ним на об'єкті протипожежних формувань. І хоча параметри таких коефіцієнтів пов'язані із коефіцієнтом ймовірної ефективності спрацювання СПЗ через значення ІПР, на рівні залежності один від одного спільних критеріїв не мають.

Таким чином вплив на значення ІПР мають такі СПЗ: АПС, СО, АСПГ, СПДЗ, а також такі інженерні системи, як СВЗП.

Згідно із [6] значення коефіцієнту ймовірної ефективності спрацювання для відповідних систем протипожежного захисту ( $K_{\text{спз}}$ ) розраховується за формулою:

$$K_{\text{спз}} = (1 - K_{\text{спс}}) \cdot (1 - K_{\text{аспг}}) \cdot (1 - K_{\text{со}}) \cdot (1 - K_{\text{спдз}}) \cdot (1 - K_{\text{свзп}} \cdot K_{\text{со}}), \quad (2.3)$$

Отже суттєвими показниками надійності СПЗ є їх ефективність функціонування. При цьому, такий показник надійності СПЗ під час оцінювання їх впливу на ІПР можна виразити через тривалість досягнення граничного стану для життя людини таким небезпечним чинником пожежі, як втрата видимості.

Під час дослідження впливу систем протипожежного захисту на значення ІПР слід порівняти між собою два можливі варіанти розвитку подій, а саме: перший варіант, коли пожежа відбувається і відповідна СПЗ не функціонує при цьому кількісно оцінюють наслідки від такої пожежі встановлюється значення ІПР та другий варіант, коли пожежа відбувається та спрацьовує відповідна СПЗ при цьому також кількісно оцінюються наслідки від пожежі (встановлюється значення ІПР). Шляхом порівняння кількісних значень наслідків від пожеж (ІПР) за двома варіантами сценаріїв їх розвитку можна отримати коефіцієнт ймовірної ефективності спрацювання СПЗ.

Значення ІПР для двох варіантів розвитку подій (відповідна СПЗ функціонує та не функціонує) визначаємо двома шляхами: із використанням методів теорії ймовірності реалізація яких здійснюється за рахунок статистичних даних та із використанням польових моделей, які засновані на повній системі диференціальних рівнянь Нав'є-Стокса реалізація яких здійснюється за рахунок комп'ютерного моделювання.

Статистичні дані, які потрібні для реалізації методів теорії ймовірності повинні давати відповідні по таким питанням:

- кількість об'єктів, які оснащені відповідною СПЗ;
- кількість об'єктів, які згідно із нормативних документів повинні оснащуватися відповідною СПЗ;
- кількість відповідних СПЗ, по яким дотримуються регламенти технічного обслуговування;
- кількість спрацювань під час пожеж відповідних СПЗ;
- кількість пожеж, які ліквідуються на їх початковій стадії;
- кількість пожеж, які ліквідуються із залученням пожежно-рятувальних підрозділів;
- кількість пожеж на ліквідаціях, яких залучаються додаткові сили і засоби;
- кількість пожеж в наслідок, яких гинули люди.

Із отриманих значень коефіцієнтів ймовірної ефективності спрацювання СПЗ під час реалізації методів теорії ймовірності та польової моделі для

остаточного рішення обираємо значення, яке найменше знижує значення ІПР для кожної СПЗ.

Алгоритм дослідження закономірності впливу СПЗ на рівень ІПР наведено на рисунку 1.

Розглянемо більш детально можливі шляхи досліджень кожного із двох варіантів можливих подій для відповідних СПЗ.

АПС та СО – в даному випадку для дослідження порівняльним критерієм є час виявлення людьми пожежі та початок ними процесу евакуації. Як зазначалося вище граничним критерієм слід прийняти втрату видимості, яка фіксується на рівні 1,7 м від рівня підлоги. У разі відсутності системи для фіксації часу виявлення людьми пожежі слід прийняти час, коли ознаки пожежі (дим) з'являються у суміжному приміщенні відносно приміщення де розташовується джерело горіння (модельне вогнище пожежі) на рівні нижче від підвісної стелі, що легко візуально спостерігати. При цьому простір над підвісною стелею доцільно прийняти таким що є спільним для приміщення де знаходиться модельне вогнище пожежі та приміщення де фіксуються наявність ознак пожежі (диму).

У разі наявності системи для фіксації часу виявлення людьми пожежі слід прийняти час спрацювання зазначених систем та подавання відповідного сигналу тривоги про пожежу. При цьому сигнал тривоги про пожежу слід запрова-

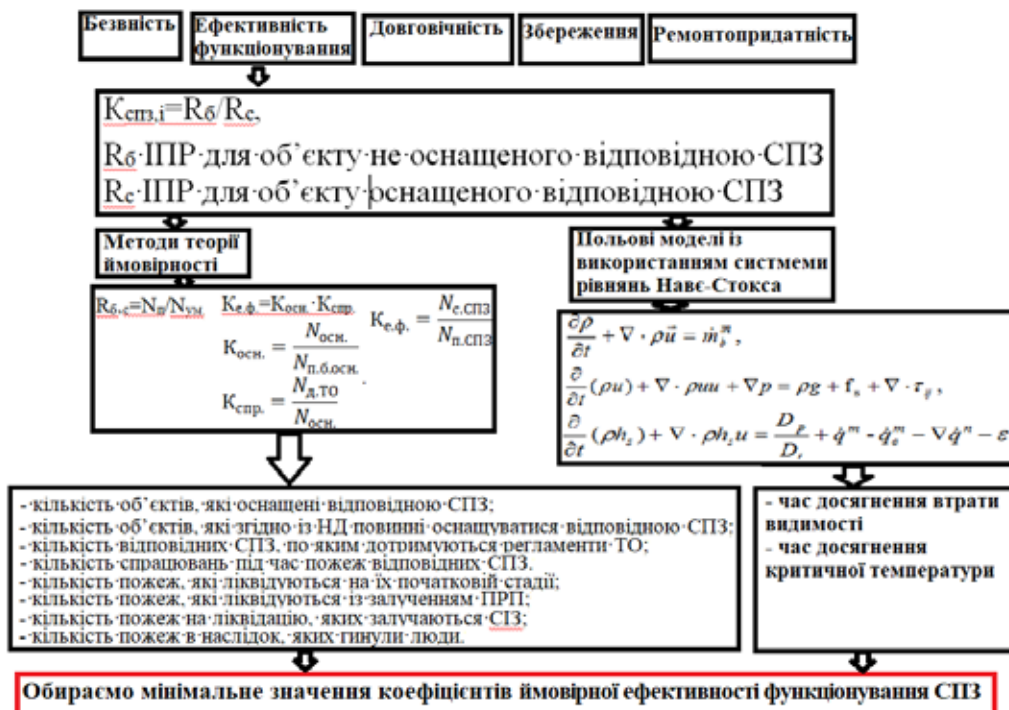


Рис. 1. Алгоритм дослідження закономірності впливу СПЗ на рівень ІПР

## Сценарії розвитку пожеж під час, яких доцільно досліджувати вплив СПЗ на значення ІПР

№ п/п	Сценарій пожежі	Критерій для дослідження
1.	АПС, СО, СЗВП, СПДЗ	Час виявлення людьми пожежі та початок процесу евакуації. Без системи – ознаки пожежі фіксують у суміжному приміщенні, із приміщенням розташування осередку пожежі, нижче рівня підвісної стелі.
	АСПГ	Із системою – ознаки пожежі фіксують за часом спрацювання системи пожежної сигналізації. Зміна показника видимості в часі. Даний показник видимості фіксується на рівні 1,7 м від рівня приміщення у двох частинах випробувального боксу. Здійснюється порівняння закономірності зміни зазначеного показника для варіанту із системою пожежогасіння та без системи пожежогасіння

дити за алгоритмом «і» спрацювання пожежного сповіщувача у частині приміщення де розташовується модельне вогнище пожежі «і» у просторі над підвісною стелею.

АСПГ – в даному випадку для дослідження порівняльним критерієм є зміна показника видимості в просторі як для приміщення де знаходиться модельне вогнище пожежі так і суміжного приміщення.

СВЗП та СПДЗ – ефективність впливу зазначених систем доцільно порівняти до таких систем як АПС та СО, оскільки функціонування таких систем без оператора в автоматичному режимі не можливо. А обслуговуючий персонал може приступити до гасіння пожежі тільки у разі його оповіщення про пожежу.

З урахуванням зазначеного розроблено опис сценаріїв розвитку пожеж під час, яких можливо здійснити дослідження закономірності впливу СПЗ на значення ІПР, що наведено у таблиці 1. Зазначені сценарії слід обирати під час постановки розрахункових задач, а в подальшому під час планування експериментальних досліджень.

На підставі вищезазначеного порядок дослідження закономірності впливу СПЗ на рівень ІПР повинен містити такі процедури:

1. Встановлюємо перелік параметрів, які характеризують вплив СПЗ на значення ІПР.
2. Розробляємо опитувальну анкету для збору статистичних даних.
3. Проводимо узагальнення зібраних статистичних даних.
4. Обираємо математичний метод для обробки статистичних даних.
5. Будуються геометричні моделі з прикладанням граничних умов та обґрунтовуємо сценарії розрахунку.
6. Організовується цикл в ході якого змінюється чинник, які характеризують вплив СПЗ на значення ІПР.
7. Визначаємо та обробляємо зазначені чинники.

8. Під час розгляду різних сценаріїв пожежі фіксуємо наявність чи відсутність впливу відповідної СПЗ.

9. Здійснюється порівняння результатів дослідження наслідків від пожежі, які отримані із урахуванням наявності відповідної СПЗ із результатами дослідження наслідків від пожежі без урахуванням впливу СПЗ.

10. Встановлення коефіцієнтів впливу СПЗ на значення ІПР.

**Висновки.**

1. Показником надійності для випадку дослідження впливу СПЗ на значення ІПР є ефективність функціонування СПЗ. Зазначений показник можна виразити через тривалість настання граничних значень для життя людини небезпечними чинниками пожежі, найшвидший із них який досягається під час пожеж втрата видимості, який можна дослідити через коефіцієнт задимленості.

2. Обґрунтовано, що дослідження коефіцієнту ймовірної ефективності спрацювання СПЗ, який встановлює кількісне значення їх впливу на значення ІПР слід здійснювати під час розгляду паралельної реалізації двох варіантів розвитку пожежі та наслідків від неї: із функціонуванням відповідної СПЗ, без функціонування відповідної СПЗ.

3. Обґрунтовані сценарії розвитку пожежі, які доцільно застосовувати під час дослідження закономірності впливу СПЗ на значення ІПР.

4. Показано, що оцінювання впливу СПЗ на значення ІПР можна здійснити двома шляхами із використанням теорії ймовірності на основі статистичних даних та із використанням методу, який заснований на польових моделях та засобів обчислювальної газодинаміки.

5. Запропоновано алгоритм дослідження впливу СПЗ на значення ІПР та встановлення відповідних коефіцієнтів ймовірності ефективного спрацювання СПЗ та розроблено відповідний порядок.

6. В подальших дослідженнях необхідно дослідити коефіцієнти ймовірних ефектів спрацювання СПЗ шляхом реалізації методу теорії ймовірності та польових моделей.

## Список літератури:

1. Ніжник В., Савченко О., Добряк Д., Кравченко Н. Аналіз сучасного стану управління індивідуальним пожежним ризиком із використанням систем протипожежного захисту Науковий журнал «Вчені записки таврійського національного університету імені В.І. Вернадського Серія: Технічні науки», Том 33 (72) № 1. Київ: 2022. – С. 328-333.
2. Stephen G. Badger, Thomas Johnson. 1999 Large Loss Fires and Explosions. NFPA Journal. November / December 2000. – p.79-82.
3. В.В. Холщевников, Б.Б. Серков / Значимость автоматических систем протиповожежной защиты для обеспечения безопасности людей в высотных зданиях / Журнал Пожаровзрывобезопасность – 2017. – Т.26 №9 С. 44 – 49.
4. Фан А. Ле Н. З. Анализ мероприятий по снижению пожарной опасности в высотных жилых зданиях // Журнал пожарной безопасности ИПБ Республики Вьетнам. -2015. – Т. 77. С. 20 – 23.
5. Kallenberg O. Foundation of Modern Probability – Springer – Verlag, 1997.
6. Оценка надежности технических систем: учеб. пособие /А.С. Ширшиков, В.В. Лянденбургский, А.М. Белоковылский. –Пенза: ПГУАС, 2015. – 240 с.
7. Gray R.M. Probability, Random Processes and Ergodic Properties-Springer-Verlag, 1987.
8. Durrett R. Probability, Probability, Theory and Examples – Wadsworth Publishing, 1996.
9. Брушлинский Н.Н. Снова о рисках и управлении безопасностью систем. Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях ВИНТИ. 2002, № 4. С. 230-234.
10. Дишкант О.В., Дивень В.І., Доценко О.Г., Савченко О.В. Чинники, які впливають на швидкість евакуації ХХІІ-ий том міжнародної колективної монографії "MODERNÍ ASPEKTY VĚDY" ("Сучасні аспекти науки"), Київ: 2022. – С.516-526.
11. О. М. Тесленко, С. З. Цимбалістий, Н. В. Кравченко, О. Г. Доценко, О. М. Крикун Аналіз існуючих програмних комплексів для розрахунку часу евакуації людей під час пожежі. Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека № 1 (7), 2019. – С. 33-39.
12. М. В. Білошицький, Н. В. Кравченко, О. М. Тесленко, Д. О. Добряк, С. З. Цимбалістий Деякі питання токсичної дії продуктів горіння на людину ІХ Всеукраїнська науково-практична конференція з міжнародною участю «Надзвичайні ситуації: безпека та захист», НУЦЗУ ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля: 2019. С. 19 – 24.
13. Наказ МВС України від 06.06.2017 № 470 зареєстрований в Міністерстві юстиції України 29 червня 2017 р. за № 795/30663 Про затвердження Правил пожежної безпеки на ринках України.

#### Nizhnyk V.V., Savchenko O.V., Dobriak D.O. CRITERIA FOR STUDYING THE INFLUENCE OF FIRE PROTECTION SYSTEMS ON INDIVIDUAL FIRE RISK

*Based on the results of the analysis of scientific works on the study of the effectiveness of technical systems, a list of their reliability indicators was established: infallibility, efficient functioning, durability, preservation, maintainability.*

*It is substantiated that during studies of the impact of fire protection systems (hereinafter – FPS) on the level of individual fire risk, such a reliability indicator as effective functioning should be used.*

*The criteria were substantiated, determining patterns of influence of fire protection systems on the level of individual fire risk. It has been established that in the study it is advisable to consider two possible scenarios for the development of events, namely, when the corresponding fire protection system is not functioning and when the corresponding fire protection system is functioning. At the same time, for such possible variants of the development of events, it is possible to establish the value of individual fire risk in at least two ways: using the methods of probability theory and using field models, which are based on the complete system of Navier-Stokes differential equations. The paper proposes an algorithm for studying the regularity of the influence of fire protection systems on the level of individual fire risk and develops an appropriate procedure. Scenarios of fires were considered, during which it is advisable to investigate the regularity of the influence of fire protection systems on the value of individual fire risk. Directions for further research were formulated.*

**Key words:** *reliability criteria of fire protection systems, individual fire risk, fire protection systems, fire protection systems, reliability indicators.*