

Львівський державний університет безпеки життєдіяльності  
Державна служба України з надзвичайних ситуацій

Національний університет «Львівська політехніка»  
Міністерство освіти і науки України

*Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису*

**РУДИК ЮРІЙ ІВАНОВИЧ**

УДК 006.86+614.841.33;620; 628.34; 658.56

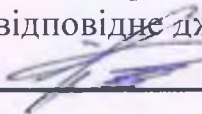
**ДИСЕРТАЦІЯ**

**ОЦІНЮВАННЯ БЕЗПЕКИ СКЛАДНИХ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНІЧНИХ  
СИСТЕМ КВАЛІМЕТРИЧНИМИ МЕТОДАМИ З УРАХУВАННЯМ  
РИЗИКІВ**

05.01.02 – стандартизація, сертифікація та метрологічне забезпечення  
05 «Технічні науки»

Подається на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,  
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

 Ю.І. Рудик

Науковий консультант –  
доктор технічних наук, професор  
Микийчук Микола Миколайович

*Ідентичність всіх примірників дисертації*

**ЗАСВІДЧУЮ:**

*Вищий секретар спеціалізованої  
вченої ради*

*ms*  
/Т. Бубела/



Львів – 2021

## АНОТАЦІЯ

*Рудик Ю. І.* Оцінювання безпеки складних організаційно-технічних систем кваліметричними методами з урахуванням ризиків. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.01.02 – стандартизація, сертифікація та метрологічне забезпечення. Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Державна служба України з надзвичайних ситуацій. Національний університет «Львівська політехніка», Міністерство освіти та науки України, Львів, 2021.

Дисертація присвячена вирішенню науково-прикладної проблеми, яка полягає у необхідності створення процедури оцінювання безпеки складних організаційно-технічних систем кваліметричними методами з урахуванням ризиків. Проведення досліджень стосовно розроблення теоретичних, технічних, організаційних, методичних та нормативних засад для проведення такого оцінювання, має значне наукове і практичне значення.

**Наукова новизна** отриманих результатів полягає у розвитку теоретичних, технічних, організаційних, методичних та нормативних засад для оцінювання безпеки складних організаційно-технічних систем кваліметричними методами з урахуванням ризиків, систематизації показників якості та їх оптимізації на основі теорії систем та експертних оцінок, експериментальному дослідженні елементів СОТС за критеріями внеску в загальну оцінку безпеки.

В дисертаційній роботі отримано такі наукові результати:

1. Вперше на основі матриці структурування безпекового показника якості за функцією втрат і ступенем ризику складних організаційно-технічних систем запропоновано оцінювати кількісні характеристики комплексного безпекового показника якості, які дають можливість визначати миттєвий стан безпеки системи та її стан за певний період часу.

2. Удосконалено математичну багатокритеріальну модель оцінювання безпеки складних організаційно-технічних систем у вигляді цільової функції, яка заснована на залежності комплексного безпекового показника якості від значень

окремих характеристик стану безпеки об'єкта щодо ризику, та сформовано її оптимізаційні умови за допомогою функції втрати якості.

3. Вперше систематизовано процедуру отримання інтегрального безпекового показника якості з використанням математичних залежностей побудови матриць функції безпеки, що забезпечує отримання неупередженої та об'єктивної оцінки безпеки в системі технічного регулювання на основі зворотного зв'язку в інфраструктурі якості.

4. Вперше запропоновано встановити шкалу комплексного безпекового показника якості за відносними параметрами (частоти, довжини хвилі, часу взаємодії і відстані впливу) у вигляді математичного співвідношення, що дало фізичне обґрунтування співставності оцінок безпеки СОТС.

5. Отримало подальший розвиток представлення складних систем як об'єкта оцінювання функціонування і розвитку систем безпеки, з допомогою чого здійснюється структуризація процесу створення і побудови СОТС та формуються критерії, що використовуються при прийнятті рішень щодо вибору елементів безпеки.

6. Набула подальшого розвитку методологія отримання нормативного оцінювання безпеки складних організаційно-технічних систем уведенням коефіцієнта регульовальної функції та доведено доцільність їх ймовірнісного аналізу за рівнем ризику, що підвищує результативність оцінювання безпеки.

7. Вперше на основі опрацювання закону розподілу ймовірності наслідків небезпечних ситуацій запропоновано визначення рівня точності оцінювання безпеки складних організаційно-технічних систем, сумісного з точністю використання даних і методів аналізування, що підвищує відтворюваність результатів визначення безпекового показника якості.

8. Отримали подальший розвиток методи оперативного визначення безпеки складних організаційно-технічних систем, для яких методи кваліметрії є нетиповими, що підвищує ефективність функціонування інформаційної системи моніторингу безпеки в умовах швидких змін вимог.

**Практичне застосування отриманих результатів.** Проведені дослідження дозволили отримати такі практичні результати.

Результати виконаних теоретичних і експериментальних досліджень можуть знайти застосування при модернізації інфраструктури якості в системі технічного регулювання; на підприємствах та установах під час оцінювання їх продукції, послуг та систем управління, підвищенні вірогідності результатів оцінювання безпекових показників якості. Зокрема, методологію отримання нормативного оцінювання безпеки складної організаційно-технічної системи та обґрунтування аналізу оцінюваних об'єктів за рівнем ризику, що дає підвищення результативності оцінювання безпеки.

За запропонованим визначенням рівня точності оцінювання безпеки СОТС, сумісного з точністю використання даних і методів аналізу визначається ефективність витрат на вибір методу оцінювання чи на покращення засобів безпеки СОТС.

Запропонований метод оцінювання безпеки об'єктів кваліметрії з безпосередньою участю користувача на основі геоінформаційних інструментів забезпечує ефективне функціонування інформаційної системи моніторингу безпеки СОТС. Запропоновані та науково-обґрунтовані принципи досягнення фахової компетентності у підготовці освітніх програм з оцінювання ризику блискавки, інжинірингу пожеженої безпеки.

Отримані математичні моделі залежності температурних параметрів об'єкта досліджень від умов проведення випробувань охоплюють необхідний діапазон змін параметрів контрольованого об'єкта, що також було застосовано при випробуванні за пожежонебезпечними показниками покрівельного теплоізоляційного матеріалу.

Розроблено концепцію експрес-контролю показників безпеки СОТС (типу «чек-лист») та визначено шляхи їх нормування, що сприяє підвищенню ефективності функціонування інформаційної системи моніторингу безпеки. Запропонована оптимізована інфраструктура якості з додаванням елементів, які

перебувають у сфері впливу владних органів і фахових об'єднань, яка формує об'єктивну та вірогідну інформацію щодо безпеки СОТС.

Теоретичні положення, що розглядаються в дисертаційній роботі, використовуються в навчальному процесі при вивченні дисциплін «Стандартизація та експертиза у галузі цивільної безпеки», «Основи охорони праці» для підготовки фахівців спеціальностей 263 «Цивільна безпека (Цивільний захист)», 263 «Цивільна безпека (Охорона праці)» у Львівському державному університеті безпеки життєдіяльності.

Акти впровадження подані у додатках.

У *першому розділі* проаналізовано стан нормативних вимог та технічного регулювання у галузі безпеки складних організаційно-технічних систем (СОТС), визначено їх дублюючі та недостатні місця, описано прогалини в їх науковому забезпеченні, які можуть бути заповнені з використанням кваліметричних методів і засобів.

Опрацьовано питання встановлення і досягнення прийнятного рівня безпеки в технічному регулюванні СОТС, розглянуто інфраструктуру якості та участь у її розвитку органів запобігання та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій. Запроваджена дерегуляція контролю суб'єктів господарування вимагає забалансування механізмами ліцензування, сертифікації, державного ринкового нагляду та контролю, які у сфері безпеки СОТС далекі від гарантування прийнятного рівня, що і може бути виправлено застосуванням системного оцінювання безпекових показників якості.

Показано приклади множин одиничних безпекових показників якості СОТС стосовно евакуації персоналу та відвідувачів, стосовно вимог до проектування та вибору матеріалів і конструкцій промислового об'єкта. Проведено наукове обґрунтування розв'язання проблеми кваліметричного оцінювання суперадитивності властивостей СОТС за елементами безпеки через нульовий приріст комплексного безпекового показника якості.

Аналізом особливостей складної системи для неї визначено математичне формулювання функції безпеки через цільові параметри, які в загальному

випадку описуються вектором  $ZX = (zx_1, \dots, zx_k)$ , де кожен цільовий параметр ступеня небезпеки  $zx_i$ ,  $i=1, k$  однозначно визначається ситуацією  $SS$ . Тобто  $ZX = f(SS)$ , де  $f(SS) = (f_1(SS), f_2(SS), \dots, f_k(SS))$  – деяка визначена вектор-функція. У  $k$ -вимірному просторі БПЯ  $\{ZX\}$  можна задати критерії їхнього досягнення, які можуть бути подані як цільові функції, так і як обмеження. Також проведено огляд методів оцінювання ризиків, застосованих для СОТС при формуванні комплексного БПЯ кваліметричними методами.

У другому розділі запропоновано формулювання та визначено складові термінів та понять кваліметрії безпеки СОТС, зокрема, безпековий показник якості, що може бути комплексним і складатися з одиничних, та підніматися до інтегрального, з врахуванням економічних показників витрат.

Запропонований метод кількісного оцінювання безпеки дозволяє застосувати систему залежностей між різнорозмірнісними показниками небезпек та їх оцінками на безрозмірній шкалі, з врахуванням важливості небезпечного чинника залежно від оцінки ризику. Визначено числові характеристики оцінок безпекових показників та запропоновано обґрунтування вибору управлінських дій для зниження рівня ризику.

Розвинуто методологію отримання нормативного оцінювання якості на основі безпекового підходу (кваліметрія безпеки), яким доведено доцільність аналізу оцінюваних СОТС за рівнем ризику, що дає підвищення ефективності оцінювання якості. Показана концептуальна модель, що фактичні джерела ризику, події та наслідки  $(RS, X, IC)$  та  $(RS', X' \text{ та } IC')$  – джерела ризику, події та наслідки, зазначені в оцінці ризику.

Відповідно до впливу ризиків та ймовірності їх виникнення, для складання ієрархії ризиків використовувалася бальна формула. Встановлена ієрархія ризиків залежно від впливу та ймовірності виникнення та узагальнена схема валідації ймовірнісного аналізу ризиків. Спосіб присвоєння оціночного ризику відповідно до ймовірності виникнення та впливу здійснюється на основі аналізу матриці ризиків.

У третьому розділі через розгляд впливу на елементи життєвого циклу системи безпеки СОТС запропоновано графо-аналітичну модель декомпозиції функції якості системи безпеки, що створює підстави для отримання оцінок. Запропонована математична модель визначення числових характеристик стану безпеки об'єкта з врахуванням оцінювання ризику дозволяє удосконалити послідовність отримання оцінки стану безпеки СОТС. Запропоновано методіку вибору параметру форми залежності матриці безпекових показників, зважаючи на ступінь негативного впливу небезпечного чинника.

У цьому розділі реалізовано концепцію побудови моделі безпеки СОТС, яка повинна охоплювати:

- вимоги до заходів безпеки та їх функцій;
- опис елементів безпеки СОТС, їх функцій та суттєвих взаємозв'язків між ними;
- перелік критеріїв безпеки СОТС;
- зв'язок параметрів елементів оцінювання із критеріями безпеки СОТС.

Представлено графічну модель системи безпеки, що дозволяє здійснити декомпозицію функцій елементів за ієрархічними рівнями та забезпечити обґрунтований аналіз та встановлення раціональних значень та співвідношень між показниками якості окремих елементів системи безпеки на стадії виготовлення продукції. Відображено умову максимізації функції якості  $J_{sq}$  шляхом прийняття ефективних управляючих рішень.

Також для оцінювання ефективності безпеки та її окремих елементів можна використовувати метод структурування їх функції якості, а оцінку неточності відображення функції БПЯ моделлю (10) можна оцінити за результатами послідовних досліджень її відповідності за показниками ефективності.

У четвертому розділі представлено науково-прикладні результати, які стосуються застосування оцінювання елементів систем безпеки СОТС, у т.ч. під час їх випробувань за показниками безпеки. За запропонованим визначенням рівня точності оцінювання безпеки СОТС, сумісного з точністю використання

даних і методів аналізу визначається ефективність витрат на вибір методу оцінювання чи на покращення засобів безпеки СОТС.

Нормування показників пожежної безпеки є для стадії виробництва продукції, тобто до виробів (КПВ), та для стадії експлуатації, у вигляді кабельних ліній (КЛ). В усіх випадках присутня частка горючих матеріалів з властивостями, які створюють цілий ряд небезпечних факторів пожежі, що й визначає необхідність дослідження показників пожежної безпеки кабельно-провідних виробів і ліній як безпекового показника якості кабелів (БПЯК). Це обґрунтовує актуальність розвитку комплексного оцінювання БПЯК.

Отримані математичні моделі залежності температурних параметрів об'єкта досліджень від умов проведення випробувань охоплюють необхідний діапазон змін параметрів контрольованого об'єкта, що також було застосовано при випробуванні за пожежонебезпечними показниками покрівельного теплоізоляційного матеріалу.

Розроблено концепцію експрес-контролю показників безпеки СОТС (типу «чек-лист») та визначено шляхи їх нормування, що сприяє підвищенню ефективності функціонування інформаційної системи моніторингу безпеки. Запропонована оптимізована інфраструктура якості з додаванням елементів, які перебувають у сфері впливу владних органів і фахових об'єднань, яка формує об'єктивну та вірогідну інформацію щодо безпеки СОТС.

*У п'ятому розділі* наведено результати досліджень, які стосуються реалізації запропонованих підходів для оцінювання безпекового показника якості та стандартизації їх методик на підставі розв'язку оптимізаційних задач щодо підвищення ефективності функціонування систем безпеки СОТС.

Розроблені математичні моделі у вигляді систем лінійних диференційних рівнянь, які дозволяють визначити частоту (ймовірність) виникнення у перевищення гранично допустимих рівнів (ГДР), застосовні і для визначення необхідної періодичності контролю стану безпеки СОТС.

Запропонована модель оцінювання результативності системи безпеки СОТС, заснована за трьома ієрархічними рівнями показників: комплексний,



групові та одиничні. Одиничні показники складають перший рівень оцінювання і вважаються рівнозначними.

Результати виконаних теоретичних і експериментальних досліджень можуть знайти застосування при модернізації інфраструктури якості в системі технічного регулювання; на підприємствах та установах під час оцінювання їх продукції, послуг та систем управління, підвищенні вірогідності результатів оцінювання безпекових показників якості. Зокрема, методологію отримання нормативного оцінювання безпеки складної організаційно-технічної системи та обґрунтування аналізу оцінюваних об'єктів за рівнем ризику, що дає підвищення результативності оцінювання безпеки.

Запропонований метод оцінювання безпеки об'єктів кваліметрії з безпосередньою участю користувача на основі геоінформаційних інструментів забезпечує ефективне функціонування інформаційної системи моніторингу безпеки СОТС. Запропоновані та науково-обґрунтовані принципи досягнення фахової компетентності у підготовці освітніх програм з оцінювання ризику блискавки, інжинірингу пожежої безпеки.

**Ключові слова:** безпека складної системи, показник якості, відповідність, стандартизація, оцінювання ризиків, ефективність, метрологічне забезпечення, невизначеність (непевність) вимірювання, моделювання, лабораторне дослідження, контроль якості, регуляторний орган, пожежна безпека, система блискавкозахисту.

## **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

**Наукові праці, в яких опубліковано основні наукові результати дисертації**

**Публікації у виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз даних (Scopus, Web of Science, Index Copernicus International)**

1. Rudyk Yu., Kuts V., Nazarovets O., Zdeb V. Complex tools for surge process analysis and hardware disturbance protection. *Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*. 2021. Vol. 69. P. 205–227.
2. Maciuk K., Rudyk Yu. Usage of the global navigation satellite systems in

safety and protection issues. *Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport*. 2020. Vol. 109. P. 93–102.

3. Bondarenko I. V., Kutnyashenko O. I., Rudyk Yu. I., Solyonyj S. V. Modeling the efficiency of waste management. *News of National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences*. 2019. Vol. 2, № 434. P. 120–130.

4. Концур А. З., Рудик Ю. І., Сиса Л. В., Кирилів Я. Б. Вплив мікрохвильового опромінення на процес сорбції іонів цинку бентонітом із концентрованих водних розчинів. *Екологічна безпека*. 2018. Вип. 1. С. 38–45.

#### **Публікації у закордонних наукових виданнях**

5. Menshykova O., Rak T., Rudyk Yu. Expanding of compliance assessment for preventive measures of fire safety as a local facilities with high risk level in Ukraine. *Przedsiębiorczość i Zarządzanie*. 2018. T. 19, z. 1, cz. 3. S. 181–194.

6. Рудик Ю., Куць В. Ризики енергетичної безпеки в умовах впровадження в Україні оцінювання відповідності. *Współczesne problemy bezpieczeństwa państwa : księga pamiątkowa ku czci Tomasza Jana Biedronia / red. Olga Wasiuta, Przemysław Mazur*. Stalowa Wola, 2017. S. 313–335.

7. Рудик Ю. Розвиток оцінювання гуманітарних і технічних показників якості безпеки життя і діяльності. *Bezpieczeństwo w administracji, gospodarce i biznesie. Aksjologia zjawisk kryzysowych w administracji i sektorze publicznym*. Gdynia, 2013. S. 375–392.

#### **Публікації у наукових фахових виданнях України**

8. Мукуйчук М., Rudyk Yu. Material test and results estimation by safety indexes. *Вимірювальна техніка та метрологія*. 2021. Вип. 82, № 2. С. 38–45.

9. Рудик Ю. І., Шунькін В. М. Відповідність показників систем грозопеленгації для оцінювання ризику, запобігання втратам, розслідування причин подій. *Пожжежна безпека : зб. наук. пр.* Львів, 2019. № 35. С. 54–62.

10. Рудик Ю. І., Шунькін В. М. Визначення обсягу горючого матеріалу кабельних виробів при випробуванні за показниками пожежної безпеки. *Пожжежна безпека : зб. наук. пр.* Львів, 2019. № 34. С. 78–83.

11. Рудик Ю. І. Назаровець О. Б. Головатчук І. С. Сучасні підходи до влаштування системного блискавкозахисту споруд з урахуванням пожежної небезпеки та особистого ризику. *Пожежна безпека* : зб. наук. пр. Львів, 2018. № 33. С. 88–94.
12. Сиса Л. В., Рудик Ю. І., Концур А. З. Аналіз ізотерм адсорбції іонів цинку на бентоніті після обробки його надвисокочастотним випромінюванням. *Екологічна безпека*. 2017. Вип. 2. С. 45–51.
13. Bondarenko I. V., Anischenko L. Ya., Rudyk Yu. I. Substantiation for enhancement of environmental safety of waste management systems through forecasting efficiency of specialized equipment. *Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності*. 2017. № 16. С. 119–128.
14. Ємельяненко С. О., Рудик Ю. І., Рак Т. Є. Геоінформаційний портал як платформа для візуалізації та оцінювання пожежних ризиків у житловому секторі. *Пожежна безпека* : зб. наук. пр. Львів, 2017. № 30. С. 83–90.
15. Гичпан В. М., Петровський В. Л., Рудик Ю. І. Стандартизація випробувань характеристик світлодіодних модулів. *Пожежна безпека* : зб. наук. пр. Львів, 2016. № 28. С. 29–35.
16. Бондаренко І. В., Сольона О. Я., Рудик Ю. І. Сольоний С. В. Енергорекуперація та іскробезпека при експлуатації електроламп. *Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності*. 2015. № 11. С. 116–125.
17. Сольоний С. В., Рудик Ю. І., Сольона О. Я., Демченко Г. В. Система запобігання вибухопожежонебезпечним ситуаціям в об'єктах, пов'язаних із життєдіяльністю людини. *Пожежна безпека* : зб. наук. пр. Львів, 2015. № 26. С. 144–149.
18. Горбань В. Б., Рудик Ю. І. Оцінювання ефектів від впровадження проектів для українських ЗМІ у контексті європейської інтеграції. *Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності*. 2014. № 10. С. 76–85.
19. Рудик Ю. І., Юзьків Т. Б., Юзьків Ю. Т. Визначення межі

вогнестійкості ділянок електромереж *Пожежна безпека* : зб. наук. пр. Львів, 2012. № 21. С. 148–153.

20. Ємельяненко С. О., Кузик А. Д., Рудик Ю. І. Оцінка пожежного ризику з електротехнічних причин у житлових будинках. *Пожежна безпека* : зб. наук. пр. Львів, 2012. № 20. С. 105–110.

21. Рудик Ю. І., Улинець Е. М. Принципи побудови систем управління якістю підготовки персоналу для галузі безпеки життєдіяльності. *Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності*. 2011. № 5, ч. 1. С. 78–82.

22. Сольоний С. В., Рудик Ю. І., Демченко Г. В., Бенніс Юсеф А. Аналіз сигналів для попередження займання ізоляції низьковольтної електричної мережі. *Пожежна безпека* : зб. наук. пр. Львів, 2011. № 19. С. 149–155.

23. Рудик Ю. І. Вимірювання експлуатаційних параметрів безпеки електроінсталяцій. *Вісник Національного технічного університету „Харківський політехнічний інститут”*. *Нові рішення в сучасних технологіях*. 2010. № 46. С. 166–170.

24. Ковалев А. П., Солений С. В., Демченко Г. В., Рудик Ю. І. О проблемах возгорания изоляции в сетях 0, 4 кВ объектов жилого сектора. *Коммунальное хозяйство городов*. 2010. Вып. 95. С. 373–379.

25. Рудик Ю. І., Столярчук П. Г. Оцінка пожежної небезпеки зростання перехідного опору контактних з'єднань електроустановок. *Вісник Національного університету "Львівська політехніка"*. *Автоматика, вимірювання та керування*. 2010. № 665. С. 101–107.

26. Рудик Ю. І., Сольоний С. В. Аналіз схем захисту електроустановок від імпульсних грозових і комутаційних перенапруг. *Пожежна безпека* : зб. наук. пр. Львів, 2010. №17. С. 20–25.

27. Рудик Ю. І. Аналіз змісту і нормативного відтворення поняття «безпека життєдіяльності». *Строительство, материаловедение, машиностроение. Безопасность жизнедеятельности* : сб. науч. тр. Днепропетровск, 2010. Вып. 52, ч. 2. С. 149–153.

28. Рудик Ю. І. Вимірювання опору електропроводок як метод визначення їх пожежної небезпеки. *Методи та прилади контролю якості*. 2009. № 23. С. 133–137.

29. Рудик Ю. І., Журавель О. А. Вибір інтервалу часу між вимірюванням параметрів електропроводки для підвищення їх пожежної безпеки. *Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія «Електротехніка і енергетика»*. 2009. № 9 (158). С. 207–210.

30. Рудик Ю.І. Захист електроустановок від імпульсних грозових і комутаційних перенапруг. *Пожежна безпека* : зб. наук. пр. Львів, 2009. № 15. С. 89–95.

31. Рудик Ю., Столярчук П. Г. Гармонізація з міжнародними стандартами нормативно-технічного регулювання вимог безпеки в Україні. *Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Автоматика, вимірювання та керування*. 2009. № 639. С. 196–202.

32. Гудим В. І., Столярчук П. Г., Ванько В. М., Рудик Ю. І. Технічне забезпечення нормативного рівня безпеки побутових електромереж. *Пожежна безпека* : зб. наук. пр. Львів, 2009. № 14. С. 39–44.

33. Рудик Ю. І. Дослідження резистансу побутових електромереж. *Науковий вісник УкрНДІПБ*. Київ, 2008. № 2 (18). С. 191–196.

34. Рудик Ю., Столярчук П. Аналіз схем введення електропостачання побутових мереж. *Вимірювальна техніка та метрологія* : міжвідом. зб. наук. пр. 2007. Вип. 67. Львів, 2007. С. 141–145.

### **Праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації**

#### **Публікації апробаційного характеру, які входять до науко-метричної бази**

#### **Scopus**

35. Rudyk Yu., Kuts V., Nazarovets O. Means for measuring control of impulsive overvoltage caused by thunderstorms. *2019 IEEE International Scientific-Practical Conference: Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T)*. IEEE, 2019. P. 694–697.

36. Yemelyanenko S., Rudyk Yu., Ivanusa A. Geoinformational system for

risk assessment visualization. *IEEE 13th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT 2018)*. IEEE, 2018. Vol. 1. P. 17–20.

37. Yemelyanenko S., Rudyk Yu., Kuzyk A., Yakovchuk R. Geoinformational system of rescue services. *MATEC Web Conferences*. 2018. Vol. 247.

### **Публікації апробаційного характеру**

38. Рудик Ю.І. Верифікація захисних споруд цивільного захисту, з урахуванням сучасних викликів, ризиків і небезпек. *Міжнародна наукова конференція «Сучасний цивільний захист: виклики, ризики, небезпеки»* Краківської Академії ім. Анджея Фрича Модржевського, Університету Яна Кохановського з філією в Пйотркові Трибунальським, 23-24 листопада 2017.

39. Rudyk Yuriy, Victor Kuts, Mykola Mykyichuk Assessment of compliance due energy safety factors *III Міжнародна наукова конференція «Сучасні детермінанти безпеки держави»*, м. Краків, 2018. (21-22 травня 2018 року на базі Інституту безпеки і громадянської освіти Педагогічного університету ім. Комісії народної освіти у Кракові, Республіка Польща).

40. Рудик Ю.І. Метрологічний аспект встановлення показника пожежної безпеки кабелів *VI Всеукраїнська науково-технічна конференція у царині метрології «Technical Using of Measurement-2020»*, 4-7 лютого 2019 року: тези доповідей Відп. за вип. Володарський Є.Т. Академія метрології України - Львів: ТЗОВ «Галицька видавнича спілка», 2020. С.103-104.

41. Рудик Ю.І., Борачок О.М. Оцінювання ризику та обґрунтування заходів блискавкозахисту громадської будівлі *V Всеукраїнська науково-технічна конференція у царині метрології «Technical Using of Measurement-2019»*, тези доповідей Відп. за вип. Володарський Є.Т. Академія метрології України - Львів: ТЗОВ «Галицька видавнича спілка», 2019. – С.63-64. 102 с.

42. Рудик Ю.І. Назаровець О.Б., Куць В.Р. Обґрунтування підстав і меж застосування безпекового показника якості, *Управління якістю в освіті та промисловості: досвід, проблеми та перспективи*: тези доповідей IV

Міжнародної науково-практичної конференції до 100-річчя кафедри інформаційно-вимірювальних технологій, 16–17 травня 2019 року / Відп. за випуск М. М. Микийчук – Львів: ЛА «Піраміда», 2019. – С.131-132.

43. Рудик Ю.І. Назаровець О.Б., Куць В.Р. Розвиток стандартизації випробування кабелів за показниками безпеки, *Міжнародна конференція метрологів МКМ'2019: Тези доповідей XXIII Міжнародного семінару метрологів (МСМ'2019) до 100-річчя кафедри інформаційно-вимірювальних технологій*, Відп. за випуск М. М. Микийчук. – Львів, 2019. – С.61-64.

44. Dominik A.M., Rudyk Yu.I. Considering of Temperature Component Parameters by Metrological Characteristics of Safety Production, *XVI International Conference Physics and Technology of Thin Films and Nanosystems (dedicated to memory Professor Dmytro Freik)*. Materials. Ed. by Prof. Prokopiv V.V. – Ivano-Frankivsk : Publisher Vasyl Stefanyk Precarpathian National University, 2017. – P.91.

45. Рудик Ю., Фурдь М., Когут С. Метод випробувань на поширення полум'я по вертикальних поверхнях у горизонтальному напрямку *Управління якістю в освіті та промисловості: досвід, проблеми та перспективи: тези доповідей III Міжнародної науково-практичної конференції пам'яті професора Петра Столярчука, 11–12 травня 2017 року / відп. за вип. М. М. Микийчук. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2017. –С. 227-228.*

46. Богданець Б. В., Рудик Ю. І. Нормативна практика забезпечення вимірювань у дослідно-випробувальних лабораторіях ДСНС України *Всеукраїнська науково-технічна конференція у царині метрології «Technical Using of Measurement-2015»* Відп. за вип. Володарський Є.Т.: тези доповідей – Київ: Академія метрології України, 2015. С. 99-100.

47. Домінік А.М., Рудик Ю.І., Сольоний С.В. Застосування принципів культури безпеки в технічному регулюванні вимог до потенційно-небезпечних об'єктів. *Інформаційно-комунікаційні технології в сучасній освіті: досвід, проблеми, перспективи*. Збірник наукових праць. Випуск 5. За ред. М.М. Козяра, Н.Г. Ничкало. – Львів: ЛДУ БЖД, 2017. С.374-376.

48. Корольов Р.А., Рудик Ю.І., Штайн Б.В. Застосування комбінованих вогнегасних речовин для ліквідації пожеж в резервуарах з нафтопродуктами, Збірник матеріалів доповідей 8-ої науково-технічної конференції «Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики машинобудівного і нафтогазопромислового обладнання», 14-16 листопада 2017р., м. Івано-Франківськ 2017. С. 67-69.

49. Рудик Ю.І. Оцінювання співвідношення понять безпеки і ризику для управління якістю *Управління якістю в освіті та промисловості: досвід, проблеми та перспективи*: тези доповідей III Міжнародної науково-практичної конференції пам'яті професора Петра Столярчука, відп. за вип. М. М. Микийчук. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2017. С. 125-126.

50. Рудик Ю.І., Гичпан В.М., Семенов С.А. Стандартизація вимірювань безпекових параметрів у випробувальних лабораторіях *IV Всеукраїнська науково-технічна конференція у царині метрології «Technical Using of Measurement-2018»*, тези доповідей, Відп. за вип. Володарський Є.Т. – Київ: Академія метрології України, 2018. С.103-104. ISBN 978-617-397-170-4

51. Maksymiv Oleksii, Rudyk Yuriy Common vulnerabilities in modern hosting *III Міжнародна наукова конференція "Інформаційна безпека в сучасному суспільстві"*. Львів, ЛДУБЖД, 2018.

52. Рак Т.Є., Рудик Ю.І., Рудик А.Ю. Засоби оперативного управління діяльністю підрозділів ДСНС з використанням ІТ-технологій на базі геоінформаційного комплексу — збірник матеріалів науково-практичної конференції «Перспективи розвитку автоматизованих систем управління військами та геоінформаційних систем», АСВ, Львів, 2015р. – С. 267-270.

53. Івахов А.В., Рудик Ю. І., Метрологічні вимоги до визначення межі вогнестійкості ділянок електромереж, Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції *"Термографія і термометрія, метрологічне забезпечення вимірювань та випробувань"*, Львів, 2013;

54. Ivahov A. Rudyk Y. Practical improvement of access to audio information, *2nd International Virtual Conference of Informatics and Management*



*Sciences*», Proceedings of The 2nd International Conference of Informatics and Management Sciences edited by K. Matlaško, Anton Lieskovský and Michal Mokryš, pp. 310-313, Zilina, Slovak Republic, March 2013. ISBN 978-80-554-0648-0, ISSN 1339-231X. Refereed.

55. Кузнецов П. А., Рудик Ю. І., Сольоний С. В. Нові методи регулювання системами когенераційної переробки шахтного метану, зб. наук. пр. Міжнародної науково-технічної конференції “Сучасні проблеми систем електропостачання промислових та побутових об’єктів”, Донецьк, 2013. С. 174-178.

56. Рудик Ю. І. Підвищення безпеки електрообладнання автономних об’єктів, зб. наук. пр. Міжнародної науково-технічної конференції “Проблеми підвищення ефективності електромеханічних перетворювачів в електроенергетичних системах” Севастополь, СевНТУ, 2009.

#### **Праці, які додатково відображають наукові результати дисертації**

##### **Патенти**

57. Патент України на винахід «Спосіб діагностики низьковольтної електричної мережі та пристрій для його здійснення». Пат. № 101560 С2, МПК Н02Н 3/16, G08В 17/00– Заявники: Сольона О.Я., Ковальов О.П., Заболотний І.П., Демченко Г.В., Рудик Ю. І., Бенніс Ю.А.; патентовласник Державний ВНЗ Донецький національний технічний університет – Заявлено 31.10.2011 – № а 2011 12756 – Опубл. 10.04.2013, Бюл. № 7. – С. 7.

##### **ABSTRACT**

Rudyk Y.I. Safety assessment of complex organizational and technical systems by risk-based qualimetric methods. - Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

Dissertation for the degree of a doctor of technical sciences (doctor of sciences) in specialty 05.01.02 - standardization, certification and metrological support. – Lviv State University of Life Safety, State Emergency Service of Ukraine. National

University "Lviv Polytechnic", Ministry of Education and Science of Ukraine, Lviv, 2021.

The dissertation is devoted to the decision of a scientific and applied problem which consists in creation of procedure of an estimation of safety of complex organizational and technical systems (COTS) by qualimetric methods taking into account risks. Conducting research on the development of theoretical, technical, organizational, methodological and regulatory frameworks for such an assessment is of significant scientific and practical importance.

**The scientific novelty** of the obtained results is the development of theoretical, technical, organizational, methodological and normative bases for safety assessment of complex organizational and technical systems by qualimetric methods taking into account risks, systematization of quality indicators and their optimization on the basis of systems theory and expert assessments. in the overall safety assessment.

The following scientific results were obtained in the dissertation:

1. For the first time on the basis of the matrix of structuring the safety index by the function of losses and the degree of risk of complex organizational and technical systems, it is proposed to assess the quantitative characteristics of the complex safety index, which allow to determine the instantaneous state.

2. Improved mathematical multicriteria model of safety assessment of complex organizational and technical systems in the form of an objective function, which is based on the dependence of complex safety quality index on the values of individual safety characteristics of the object on risk, and formed its optimization conditions using the quality loss function.

3. For the first time, the procedure for obtaining an integrated safety quality index using mathematical dependences of the safety function matrices is systematized, which provides an unbiased and objective safety assessment in the technical regulation system based on feedback in the quality infrastructure.

4. For the first time it is proposed to establish a scale of complex safety quality index by relative parameters (frequency, wavelength, interaction time and distance of

influence) in the form of a mathematical ratio, which gave a physical justification for comparability of safety assessments of COTS.

5. The presentation of complex systems as an object of evaluation of the functioning and development of security systems has been further developed, through which the process of creating and building SOTS is structured and the criteria used in making decisions on the choice of security elements are formed.

6. The methodology of obtaining normative safety assessment of complex organizational and technical systems by further introduction of the coefficient of regulatory function was further developed and the expediency of their probabilistic analysis by risk level was proved, which increases the effectiveness of safety assessment.

7. For the first time, based on the elaboration of the law of distribution of probability of consequences of dangerous situations, it is proposed to determine the level of accuracy of safety assessment of complex organizational and technical systems, compatible with the accuracy of data and analysis methods.

8. Methods of operative determination of safety of difficult organizational and technical systems for which methods of qualimetry are atypical that increased efficiency of functioning of information system of monitoring of safety in the conditions of fast changes of requirements received the further development.

**Practical application of the obtained results.** The results of theoretical and experimental studies can be used in the modernization of quality infrastructure in the system of technical regulation; at enterprises and institutions during the evaluation of their products, services and management systems, increasing the reliability of the results of the evaluation of safety quality indicators. In particular, the methodology for obtaining regulatory safety assessment of a complex organizational and technical system and justification of the analysis of assessed objects by risk level, which increases the effectiveness of safety assessment.

The proposed definition of the level of accuracy of COTS security assessment, compatible with the accuracy of the use of data and methods of analysis, determines

the cost-effectiveness of the choice of assessment method or to improve the security of SOTS.

The proposed method of assessing the safety of qualimetry objects with the direct participation of the user on the basis of geographic information tools ensures the effective functioning of the information system for monitoring the security of COTS. The principles of achievement of professional competence in preparation of educational programs on risk assessment of lightning, engineering of fire safety are offered and scientifically-proved.

The obtained mathematical models of the dependence of the temperature parameters of the object of study on the test conditions cover the required range of changes in the parameters of the controlled object, which was also used in testing fire-hazardous roof insulation material.

The concept of express control of security indicators of COTS (type "checklist") is developed and the ways of their rationing are defined that promotes increase of efficiency of functioning of information system of monitoring of safety. An optimized quality infrastructure with the addition of elements that are under the influence of government agencies and professional associations is proposed, which generates objective and reliable information on the security of COTS.

Theoretical provisions considered in the dissertation are used in the educational process in the study of disciplines "Standardization and examination in the field of civil safety", "Fundamentals of labor protection" for training specialists in specialties 263 "Civil Security (Civil Defense)", 263 "Civil Security ( Occupational Safety) "at Lviv State University of Life Safety.

Implementing acts are presented in the annexes.

The *first chapter* analyzes the the state of normative requirements and technical regulation in the field of safety of complex organizational and technical systems (COTS) is analyzed, their duplicating and insufficient places are defined, gaps in their scientific support which can be filled with use of qualimetric methods and means are described. The issues of establishing and achieving an acceptable level of safety in the technical regulation of COTS are considered, the quality infrastructure and

participation in its development of the bodies of prevention and liquidation of consequences of emergency situations are considered. The introduced deregulation of control of economic entities requires balancing with mechanisms of licensing, certification, state market supervision and control, which in the field of security of COTS are far from guaranteeing an acceptable level, which can be corrected by systematic assessment of safety quality indicators.

Examples of sets of single safety indexes of quality of COTS concerning evacuation of the personnel and visitors, concerning requirements to designing and a choice of materials and designs of industrial object are shown. The scientific substantiation of the decision of a problem of qualimetric estimation of superadditiveness of properties of COTS on safety elements because of zero increase of a complex safety index of quality is carried out.

The analysis of the features of a complex system for it determines the mathematical formulation of the safety function through the target parameters, which in the general case are described by the vector  $ZX = (zx_1, \dots, zx_k)$ , where each target parameter of the degree of danger  $zx_i$ ,  $i = 1, k$  is unique. determined by the situation of the SS. That is,  $ZX = f(SS)$ , where  $f(SS) = (f_1(SS), f_2(SS), \dots, f_k(SS))$  is some definite vector function. In the  $k$ -dimensional space of the SQI  $\{ZX\}$ , you can specify the criteria for their achievement, which can be given as objective functions and as constraints. There is also a review of risk assessment methods applicable to COTS in the formation of complex SQI by qualimetric methods.

In the *second chapter*, the formulation and components of terms and concepts of security qualimetry of COTS are offered, in particular, the safety index of quality which can be complex and consist of individual, and to rise to integral, taking into account economic indexes of expenses.

The proposed method of quantitative safety assessment allows to apply a system of relationships between different indexes of hazards and their assessments on a dimensionless scale, taking into account the importance of the dangerous factor depending on the risk assessment. Numerical characteristics of safety indexes assessments are determined and the substantiation of the choice of managerial actions

for risk reduction is offered. A methodology for obtaining normative quality assessment based on a safety approach (safety qualimetry) has been developed, which proves the feasibility of analyzing the assessed COTS by the level of risk, which increases the effectiveness of quality assessment. The conceptual model is shown that the actual sources of risk, events and consequences (RS, X, IC) and (RS', X' and IC') are the sources of risk, events and consequences indicated in the risk assessment.

According to the influence of risks and the probability of their occurrence, a point formula was used to compile a risk hierarchy. The hierarchy of risks depending on the impact and probability of occurrence is established and the scheme of validation of probabilistic risk analysis is generalized. The method of assigning the estimated risk in accordance with the probability of occurrence and impact is based on the analysis of the risk matrix.

In the *third chapter*, through consideration of the impact on the elements of the life cycle of the security system COTS proposed graph-analytical model of the decomposition of the quality function of the security system, which creates a basis for obtaining estimates. The proposed mathematical model for determining the numerical characteristics of the security status of the object, taking into account the risk assessment allows to improve the sequence of obtaining the security status assessment of the COTS. The method of choosing the parameter of the form of dependence of the matrix of safety indexes is offered, taking into account the degree of negative influence of the dangerous factor.

This section implements the concept of building a security model of COTS, which should include:

- requirements for security measures and their functions;
- a description of the security elements of the COTS, their functions and the significant relationships between them;
- list of COTS security criteria;
- connection of parameters of assessment elements with security criteria of COTS.

A graphical model of the security system is presented, which allows to decompose the functions of elements by hierarchical levels and provide sound analysis

and establishment of rational values and relationships between quality indexes of individual elements of the security system at the stage of production. The condition of maximizing the quality function by making effective management decisions is reflected.

Also, to assess the effectiveness of safety and its individual elements, you can use the method of structuring their quality function, and the assessment of the inaccuracy of the SQI function model can be assessed by successive studies of its compliance with performance indexes.

The *fourth chapter* presented scientific and applied results related to the application of assessment of elements of security systems COTS, including during their safety tests. The proposed definition of the level of accuracy of COTS security assessment, compatible with the accuracy of the use of data and methods of analysis, determines the cost-effectiveness of the choice of assessment method or to improve the security of COTS.

Standardization of fire safety indexes is for the stage of production, ie to products (CWP), and for the stage of operation, in the form of cable lines (CL). In all cases, there is a share of combustible materials with properties that create a number of fire hazards, which determines the need to study the fire safety of cable-conducting products and lines as a safety index of cable quality (SQIC). This justifies the relevance of the development of a comprehensive assessment of SQIC.

The obtained mathematical models of the dependence of the temperature parameters of the object of study on the test conditions cover the required range of changes in the parameters of the controlled object, which was also used in testing fire-hazardous roof insulation material.

The concept of express control of security indexes of COTS (type "checklist") is developed and the ways of their rationing are defined that promotes increase of efficiency of functioning of information system of monitoring of safety. An optimized quality infrastructure with the addition of elements that are under the influence of government agencies and professional associations is proposed, which generates objective and reliable information on the security of the COTS.

The fifth section presents the results of research related to the implementation of the proposed approaches for assessing the safety quality index and standardization of their methods based on the solution of optimization problems to improve the efficiency of security systems COTS.

Developed mathematical models in the form of systems of linear differential equations, which allow to determine the frequency (probability) of occurrence in excess of the maximum allowable levels (GDR), are applicable to determine the required frequency of monitoring the security status of COTS.

A model for evaluating the effectiveness of the security system COTS, based on three hierarchical levels of indexes: complex, group and individual. Individual indexes constitute the first level of evaluation and are considered equivalent.

The results of theoretical and experimental studies can be used in the modernization of quality infrastructure in the system of technical regulation; at enterprises and institutions during the evaluation of their products, services and management systems, increasing the reliability of the results of the evaluation of safety quality indexes. In particular, the methodology for obtaining regulatory safety assessment of a complex organizational and technical system and justification of the analysis of assessed objects by risk level, which increases the effectiveness of safety assessment.

The proposed method of assessing the safety of quality objects with the direct participation of the user on the basis of geographic information tools ensures the effective functioning of the information system for monitoring the security of COTS. The principles of achievement of professional competence in preparation of educational programs on risk assessment of lightning, engineering of fire safety are offered and scientifically-proved.

**Key terms:** complex system safety, quality index, conformity assessment, standardization, risk assessment, efficiency, metrological support, measurement uncertainty, effectiveness, quality control, technical regulation, fire safety, lightning protection system, occupational safety.



## Зміст

<b>ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ</b> .....	27
<b>ВСТУП</b> .....	30
<b>Розділ 1. АНАЛІЗ ТА СИСТЕМАТИЗАЦІЯ ВИМОГ ДО БЕЗПЕКИ СКЛАДНИХ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ</b> .....	40
<b>1.1. Аналіз нормативного і технічного регулювання стану безпеки складних організаційно-технічних систем</b> .....	40
<b>1.2. Систематизація стану безпеки і класифікація рівнів безпеки складних організаційно-технічних систем</b> .....	61
<b>1.3. Стан проблеми встановлення і досягнення прийнятного рівня безпеки в технічному регулюванні складних організаційно-технічних систем</b> .....	72
<b>1.4. Формулювання напрямів дослідження</b> .....	81
<b>Висновки до розділу 1</b> .....	84
<b>Розділ 2. НАУКОВО-ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ОЦІНЮВАННЯ БЕЗПЕКИ СКЛАДНИХ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ З УРАХУВАННЯМ ЗАСОБІВ УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ</b> .....	86
<b>2.1. Понятійно-категорійний апарат у сфері управління безпекою</b> .....	86
<b>2.2. Теоретичні основи розгляду складових безпеки в показниках якості та класифікація безпекових показників якості для складних організаційно-технічних систем</b> .....	96
<b>2.3. Ризик-орієнтовані підходи до оцінювання безпеки складних організаційно-технічних систем</b> .....	128
<b>2.4. Науково-методологічні засади управління безпекою в процесах розвитку складних організаційно-технічних систем</b> .....	148
<b>Висновки до розділу 2</b> .....	156
<b>Розділ 3. МОДЕЛЮВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ДЛЯ ВСТАНОВЛЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ШКАЛИ БЕЗПЕКИ СКЛАДНИХ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ</b> .....	159
<b>3.1. Моделі оцінювання безпеки протягом життєвого циклу складної системи</b> .....	159
<b>3.2. Ідентифікація складових безпекового показника якості складної системи</b> .....	174
<b>3.3. Формалізація компонентів управління безпекою складної системи</b> .....	186
<b>3.4. Перевірка дійсності методу оцінювання безпеки</b> .....	198

3.5 Модель досягнення фахової компетентності для підготовки освітніх програм з оцінювання безпеки .....	201
Висновки до розділу 3.....	209
<b>Розділ 4. ЗАСТОСУВАННЯ БЕЗПЕКОВОГО ПОКАЗНИКА ЯКОСТІ В ПРОЦЕСІ ВИПРОБУВАННЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕЛЕМЕНТІВ СКЛАДНИХ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ .....</b>	<b>212</b>
4.1. Прикладні аспекти реалізації процесів оцінювання безпекового показника якості для кабельно-провідних виробів і кабельних ліній....	212
4.2. Реалізація методу оцінювання безпекового показника якості при випробуваннях показників пожежної безпеки.....	227
4.3. Проведення оцінювання ефективності заходів безпеки складних організаційно-технічних систем.....	239
4.4. Оптимізація діяльності складних організаційно-технічних систем в умовах ризику .....	245
Висновки до розділу 4.....	251
<b>Розділ 5. ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ БЕЗПЕКОВОГО ПОКАЗНИКА ЯКОСТІ В СИСТЕМАХ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ СКЛАДНИХ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ .....</b>	<b>252</b>
5.1. Застосування запропонованих підходів для оцінювання безпекового показника якості (для систем управління якістю атомних електростанцій) .....	252
5.2. Реалізація методу оцінювання ризику блискавки в системі управління безпекою .....	259
5.3. Реалізація системи моделювання оцінювання ризик-орієнтованого підходу .....	264
5.4. Оптимізація діяльності з оперативного визначення безпеки та підвищення ефективності функціонування інформаційної системи моніторингу безпеки.....	270
Висновки до розділу 5.....	273
<b>ВИСНОВКИ .....</b>	<b>275</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....</b>	<b>277</b>
<b>ДОДАТКИ.....</b>	<b>296</b>

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

- $\$$  – значення матеріальних втрат;  
 A – потенціал працівників;  
 B – нормативно-інформаційний стан;  
 C – матеріально-фінансовий стан;  
 CEN – Європейський комітет стандартизації;  
 CO(W) – потенціал дієвості систем безпеки COTS, (стан управляючих входів);  
 CQ – функція витрат на безпеку;  
 D – порядок прийняття управлінських рішень;  
 E – здатність до втручання в надзвичайній ситуації;  
 EN – європейські стандарти;  
 EOQ – європейська організація з якості;  
 G – значення моральних втрат (жертви і постраждалі);  
 H – частота появи гранично допустимого рівня значення БПЯ елемента системи безпеки COTS;  
 HZ – вектор рівня небезпек;  
 ISO (International Organization for Standardization) – міжнародна організація зі стандартизації;  
 I – міра дескриптивної складності;  
 IC –наслідки негативної події;  
 IV – ушкодження цінностей;  
 J<sub>SQ</sub> – функція якості;  
 J<sub>SS</sub> – функція безпеки;  
 K – відносний безпековий показник якості;  
 L – значення сумарних втрат і пошкоджень;  
 $\left| \left( (M_{sq})_o \right)_{pr} \right|$  матриця множини одиничних показників  
 m. – коефіцієнт вагомості групового показника якості;  
 N – граничний прийнятний рівень значення технологічного параметра;  
 OS – здатність (потенціал) COTS до захисту від небезпеки;

$p$  – ймовірність настання небезпеки;  
 $P$  – узагальнений інтегральний показник безпеки об'єкта;  
 $q_1, q_2, q_3 \dots q_n$  – коефіцієнти вагомості відносного показника якості;  
 $Q_1, Q_2, Q_3 \dots Q_n$  – одиничні показники якості продукції / безпеки;  
 $R$  – ризик прояву небезпек, (стан неуправляючих входів);  
 $RS$  – джерело ризику;  
 $SIL$  (Safety integrity level) – рівень цілісності безпеки;  
 $SAr$  – результативність процесу оцінювання БПЯ;  
 $SKf$  – критерій виявлених невідповідностей БПЯ;  
 $SKt$  – критерій присутності допустимих рівнів БПЯ;  
 $SoK$  – якісна міра суми знання, що підтверджують  $P$ ;  
 $SQ$  – комплексний безпековий показник якості;  
 $SS$  – стан безпеки COTC;  
 $SS()$  – процес досягнення безпеки COTC;  
 $SSo$  – початковий стан безпеки об'єкта;  
 $T$  – зв'язок між елементами;  
 $TQM$  (Total Quality Management) – загальне управління якістю;  
 $u$  – міра невизначеності;  
 $U$  – невизначеність прояву ризику;  
 $V$  – показник якості технологічного процесу;  
 $W$  – COTC як одне ціле (сукупність параметрів стану COTC);  
 $X$  – вхідна подія;  
 $X(t)$  – потенціал небезпеки;  
 $ZX$  – ступінь інтенсивності небезпеки;  
 $\Psi(SS)$  – вектор-функція ступеня інтенсивності небезпеки;  
 $АЕС$  – атомна електростанція;  
 $ВЛ$  – випробувальна лабораторія;  
 $ГДК$  – гранично допустима концентрація;  
 $ДСНС$  – Державна служба України з надзвичайних ситуацій;  
 $ДСТУ$  – національний стандарт України;

ЗВТ – засіб вимірювальної техніки;  
ЙАР/Б (PRA) – ймовірнісний аналіз ризиків / безпеки;  
КЦЗУ – кодекс цивільного захисту України;  
НД – нормативна документація;  
НДЛ – науково-дослідна лабораторія;  
НДР – науково-дослідна робота;  
НС – надзвичайні ситуації;  
ОПН – об’єкт підвищеної небезпеки;  
ОРН – органи державного ринкового нагляду;  
ПКМУ – постанова Кабінету Міністрів України;  
ПНО – потенційно-небезпечний об’єкт;  
ПТБ – правила техногенної безпеки;  
СВС – спортивно-видовищна споруда;  
СЗІ система захисту інформації;  
СОТС – складна організаційно-технічна система;  
СПЗ – система протипожежного захисту;  
СППР – система підтримки прийняття рішень;  
СУБД – система управління базами даних;  
СУЯ – система управління якістю;

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Сприяння сталому розвитку стало принципом світової політики. Підвалиною його заснування і водночас орієнтиром на перспективу є певний рівень якості життя людей, їх занять, середовища, технологій, та іншого. Досягнення цього певного рівня якості стосовно продукції, процесів, послуг відбувається завдяки її покращенню, контролюванню та керуванню нею, що обумовлено міжнародними стандартами ISO серії 9000 та інших галузевих серій. Складовою частиною цього процесу є формування кількісних оцінок якості, науковим забезпеченням якого є теоретичні засади кваліметрії. Методи і засоби об'єктивної процедури оцінювання якості складних організаційно-технічних систем (СОТС) для їх порівняння або встановлення відповідності до вимог безпеки потребують подальшого розвитку.

У зв'язку з цим актуальною є проблема визначення рівня прийнятності шкоди і втрат та ефективності його досягнення. Одним із шляхів її вирішення є розвиток науково-технічних засад створення нормативних документів з питань безпеки продукції (процесів, робіт, послуг) для життя, здоров'я, майна громадян, охорони довкілля та безпеки об'єктів економіки з урахуванням ризику виникнення природних і техногенних катастроф. Повне кількісне оцінювання рівня безпеки такої системи не завжди може бути можливим через недостатність інформації про аналізовану систему, вплив людських чинників або економічну неефективність витрат на досягнення належного рівня. За таких умов ефективним є застосування порівняльних кваліметричних методів напівкількісного чи якісного ранжування.

Об'єктивність та оперативність результатів оцінювання однотипних об'єктів у тій чи іншій галузі повинні досягатися незалежно від місця, часу та суб'єкта проведення оцінювання, що на сьогодні відсутнє.

За останні роки у гарантуванні безпеки об'єктів різного ступеня ризику і складності з'явилося чимало підтверджень неефективності підходів, які засновані на адміністративному моноекторному впливі та відсутності

прозорості в управлінні ними. Цією проблемою виявляється необхідність запровадження системного оцінювання безпеки на основі принципів кваліметрії, встановлення системних взаємозв'язків між показниками якості, їх структурування, методів визначення коефіцієнтів вагомості, методик формування загального результату оцінювання якості.

На сьогодні практично відсутні методики оцінювання безпеки для багатьох типів складних організаційно-технічних систем, а вже існуючі часто містять недоліки та невідповідності з міжнародними нормами, що не дозволяє однозначно й повно тлумачити отримані результати. Оснащення технічними засобами та застосування сучасних методів визначення безпекових показників якості об'єктів неможливе через відставання розвитку і запровадження нормативної документації, неналагоджений механізм організаційної структури. Застосування стандартизованих вимог здійснюється через управління безпекою, яке полягає у розробленні системи заходів, що забезпечують отримання об'єктивної інформації про об'єкт управління, для розробки і прийняття управлінського рішення щодо зміни його стану на більш безпечний. Тому виникає нагальна потреба у дослідженнях і розробленні сучасних методів оцінювання стану безпеки СОТС, у тому числі й за рахунок методів кваліметрії, пошуку нових їх критеріїв.

Таким чином, наявна науково-прикладна проблема, яка полягає у необхідності створення процедури оцінювання безпеки складних організаційно-технічних систем кваліметричними методами з урахуванням ризиків. Отже, проведення досліджень стосовно розроблення теоретичних, технічних, організаційних, методичних та нормативних засад для проведення такого оцінювання, має значне наукове і практичне значення.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Робота виконана в рамках наукових досліджень у Львівському державному університеті безпеки життєдіяльності, зокрема, за темами «Оптимізація технологічних параметрів процесів очистки стічних вод природними сорбентами з використанням надвисокочастотного електромагнітного випромінювання»

№держреєстрації 0117 U 007019; «Аналіз пожежної небезпеки машинного залу за умови викиду водню з корпусу турбоагрегату енергоблоку № 2 ВП ЗАЕС» № держреєстрації 0116U 003475; «Розроблення геоінформаційного комплексу підрозділу ДСНС України на основі web-технологій картографії «геопортал», № держреєстрації 0114U004182. У їх проведенні дисертант брав участь як відповідальний виконавець.

**Мета і завдання дослідження.** Метою дослідження є систематизація вимог безпеки до складних організаційно-технічних систем на підставі кваліметричних методів і засобів отримання параметрів безпекових показників якості (БПЯ) та наукове обґрунтування методу комплексного оцінювання рівня безпеки складних організаційно-технічних систем.

Для реалізації окресленої мети необхідно виконати такі завдання:

- провести аналіз вимог законодавчих та нормативних документів щодо оцінювання небезпечних чинників СОТС, провести аналіз наукових публікацій на предмет теоретичних підходів щодо поставленої мети;
- сформулювати принципи визначення номенклатури БПЯ та загальної оцінки безпеки;
- дослідити основні підходи до структурування характеристик об'єктів оцінювання безпеки;
- запропонувати математичну модель визначення числових характеристик стану безпеки об'єкта з врахуванням оцінювання ризику;
- застосувати систему залежностей між різномірними показниками небезпек та їх оцінками на відносній шкалі, які би враховували важливість небезпечного чинника залежно від оцінки ризику;
- запропонувати числові характеристики оцінок безпекових показників з метою визначення управлінських дій;
- запропонувати метод валідації оцінювання безпеки;
- застосувати метод експертних оцінок для вибору параметру форми залежності, зважаючи на ступінь негативного впливу небезпечного чинника;



- запропонувати метод визначення величини поглиненої дози в залежності від частоти проходження імпульсів, швидкості і геометричних параметрів об'єкта.

**Об'єктом дослідження** є процеси оцінювання безпеки складних організаційно-технічних систем.

**Предметом дослідження** є науково-технічні засади створення і стандартизації кваліметричних методів оцінювання безпеки складних організаційно-технічних систем.

**Методи дослідження.** У дисертації використано теоретичні основи метрології й кваліметрії, вимірювальної техніки й математичного моделювання, теорії систем та експертних оцінок. Теоретичні дослідження базуються на фундаментальних принципах кваліметрії для вибору математичних залежностей різнорозмірнісних показників шкідливих та небезпечних чинників та їх відносними оцінками та визначення числових характеристик процесу розсіювання оцінок в часі. Теорія вимірювань застосована для моделювання точності оцінювання стану безпеки об'єкта. Теорія математичної статистики застосовується для оброблення результатів оцінювання. Застосування методів математичної фізики дозволило визначити математичну модель величини енергетичного безпекового показника якості.

Експериментальні дослідження з використанням електричних та вогневих методів виконувалися за допомогою лабораторних вимірювань та випробувань окремих елементів безпеки складних організаційно-технічних систем.

**Наукова новизна** отриманих результатів полягає у розвитку теоретичних, технічних, організаційних, методичних та нормативних засад для оцінювання безпеки складних організаційно-технічних систем кваліметричними методами з урахуванням ризиків, систематизації показників якості та їх оптимізації на основі теорії систем та експертних оцінок, експериментальному дослідженні елементів СОТС за критеріями внеску в загальну оцінку безпеки.

В дисертаційній роботі отримано такі наукові результати:

1. Вперше на основі матриці структурування безпекового показника якості за функцією втрат і ступенем ризику складних організаційно-технічних систем запропоновано оцінювати кількісні характеристики величини комплексного безпекового показника якості, які дають можливість визначати миттєвий стан безпеки системи та її стан за певний період часу.

2. Удосконалено математичну багатокритеріальну модель оцінювання безпеки складних організаційно-технічних систем у вигляді цільової функції, яка заснована на залежності комплексного безпекового показника якості від значень окремих характеристик стану безпеки об'єкта щодо ризику, та визначено її оптимізаційні умови за допомогою функції втрати якості.

3. Вперше розроблено методологічні засади отримання інтегрального безпекового показника якості з використанням математичних залежностей побудови матриць функції безпеки, що забезпечує отримання неупередженої та об'єктивної оцінки безпеки в системі технічного регулювання на основі зворотного зв'язку в інфраструктурі якості.

4. Вперше запропоновано встановити шкалу комплексного безпекового показника якості за відносними параметрами – частоти, довжини хвилі, часу взаємодії і відстані впливу у вигляді математичного співвідношення, що дало фізичне обґрунтування співмірності оцінок безпеки СОТС.

5. Отримало подальший розвиток представлення складних систем як об'єкта оцінювання функціонування і розвитку систем безпеки, з допомогою чого здійснюється структуризація процесу створення і побудови СОТС та формуються критерії, що використовуються при прийнятті рішень щодо вибору елементів безпеки.

6. Набула подальшого розвитку методологія отримання нормативного оцінювання безпеки складних організаційно-технічних систем уведенням коефіцієнта регулювальної функції та доведено доцільність їх ймовірнісного аналізу за рівнем ризику, що підвищує результативність оцінювання безпеки.

7. Вперше на основі опрацювання закону розподілу ймовірності наслідків небезпечних ситуацій запропоновано визначення рівня точності оцінювання

безпеки складних організаційно-технічних систем, сумісного з точністю використання даних і методів аналізування, що підвищує відтворюваність результатів визначення безпекового показника якості.

8. Отримали подальший розвиток методи оперативного визначення безпеки складних організаційно-технічних систем, для яких методи кваліметрії є нетиповими, що підвищує ефективність функціонування інформаційної системи моніторингу безпеки в умовах швидких змін вимог.

**Практичне значення отриманих результатів.** Виконані дослідження дозволили отримати такі практичні результати.

За запропонованим визначенням рівня точності оцінювання безпеки СОТС, сумісного з точністю використання даних і методів аналізу визначається ефективність витрат на вибір методу оцінювання чи на покращення засобів безпеки СОТС (акт впровадження у виробничий процес підприємства ТзОВ «Автономні джерела струму» від 12.05.2021).

Запропонований метод оцінювання безпеки об'єктів кваліметрії з безпосередньою участю користувача на основі геоінформаційних інструментів забезпечує ефективне функціонування інформаційної системи моніторингу безпеки СОТС. Запропоновані та науково-обґрунтовані принципи досягнення фахової компетентності у підготовці освітніх програм з оцінювання ризику блискавки, інжинірингу пожежої безпеки (акт впровадження у виробничий процес підприємства ТзОВ «Торговий Дім «Системи Безпеки»» від 18.12.2020).

Отримані математичні моделі залежності температурних параметрів об'єкта досліджень від умов проведення випробувань охоплюють необхідний діапазон змін параметрів контрольованого об'єкта, що також було застосовано при випробуванні за пожежонебезпечними показниками покрівельного теплоізоляційного матеріалу (довідка про впровадження у виробничий процес ВП «Хмельницька АЕС» від 29.06.2021).

Розроблена методика розрахунку невизначеності результатів експертного оцінювання показників безпеки дозволяє оцінити ступінь вірогідності

інформації, отриманої експертним шляхом (довідка про впровадження у виробничий процес ВП «Запорізька АЕС» від 02.07.2021).

Розроблено концепцію експрес-контролю показників безпеки СОТС (типу «чек-лист») та визначено шляхи їх нормування, що сприяє підвищенню ефективності функціонування інформаційної системи моніторингу безпеки. Запропонована оптимізована інфраструктура якості з додаванням елементів, які перебувають у сфері впливу владних органів і фахових об'єднань, яка формує об'єктивну та вірогідну інформацію щодо безпеки СОТС.

Результати виконаних теоретичних і експериментальних досліджень можуть знайти застосування при модернізації інфраструктури якості в системі технічного регулювання; на підприємствах та установах під час оцінювання їх продукції, послуг та систем управління, підвищенні вірогідності результатів оцінювання безпекових показників якості. Зокрема, методологію отримання нормативного оцінювання безпеки складної організаційно-технічної системи та обґрунтування аналізу оцінюваних об'єктів за рівнем ризику, що дає підвищення результативності оцінювання безпеки (довідка про впровадження у виробничий процес ВП «Южно-Українська АЕС» від 18.06.2021)..

Теоретичні положення, що розглядаються в дисертаційній роботі, використовуються в навчальному процесі при вивченні дисциплін «Стандартизація та експертиза у галузі цивільної безпеки», «Основи охорони праці» для підготовки фахівців спеціальностей 263 «Цивільна безпека (Цивільний захист)», 263 «Цивільна безпека (Охорона праці)» у Львівському державному університеті безпеки життєдіяльності (акт впровадження від 12.05.2021 р.).

**Особистий внесок здобувача.** Основні теоретичні та прикладні дослідження виконані автором самостійно. Серед публікацій зі співавторами здобувачу належить: [1] – аналіз методів випробування та розрахунку показників безпеки імпульсних перенапруг та їх оцінювання; [2] – обґрунтування моделі застосування супутникових навігаційних систем для цілей безпеки та запобігання надзвичайним подіям; [3] – моделювання системи менеджменту та

оцінювання її ефективності у застосуванні до екологічних показників безпеки; [4] – побудова випробувальної установки для дослідження процесів зниження небезпеки забруднення зовнішнього середовища; [5] – оцінювання відповідності заходів запобігання у складних об’єктах підвищеної небезпеки на місцевому рівні; [6] – обґрунтування економічної ефективності витрат на безпеку АЕС та порівняння з іншими видами електрогенерації; [8] – аналіз безпеки технічної складової складної організаційно-технічної системи з дослідженням функціональної залежності між параметрами елементів безпеки: температурою, часом, вогнезахистом; а також аналіз результатів випробувань при дослідженні теплової поведінки сталевого фрагмента; [9] – оцінювання відповідності територіальної системи безпеки до показників ризику грозової активності; [10] – визначення одиничного безпекового показника якості елемента складної організаційно-технічної системи; [11] – метод оцінювання особистого ризику за показником пожежної небезпеки у системі блискавкозахисту споруди; [12] – методика аналізу показників безпеки процесу зниження небезпеки забруднюючих речовин; [13] – застосування кваліметричних методів для оцінювання безпеки поводження з відходами та прогнозування ефективності спеціалізованого обладнання; [14] – засоби візуалізації картографічними інструментами результатів оцінювання ризику за комплексними показниками безпеки; [15] – реалізація методу випробувань та оцінювання показників пожежної безпеки електроосвітлювальних пристроїв; [16] – визначення проблеми вимірювання якості та безпечності та удосконалення енергоспоживальних параметрів електроламп; [17] – систематизація показників пожежної та вибухонебезпеки; [18] – методологія та математичний апарат оцінювання ефектів запровадження просвітніх проєктів у галузі безпеки життєдіяльності; [19] – оцінювання точності та результатів випробувань показників пожежної безпеки ділянок електромереж; [20] – параметризація одиничних показників безпеки електрообладнання житлових будинків; [21] – обґрунтування принципів формування показників та побудова систем управління якістю підготовки фахівців у сфері безпеки; [22] – аналіз існуючих

статистичних оцінок показників безпеки об'єктів, які оцінюються для нормального закону розподілу з урахуванням їх дисперсії; [24] – методика вимірювання температури та опрацювання результатів експериментального дослідження; [25] – обґрунтування застосування методу ідентифікації закону розподілу випадкових величин показників безпеки з використанням теорії порядкових статистик; [26] – ідентифікація показників безпеки для електрообладнання будівель у схемах захисту від перенапруг; [29] – обґрунтування методу розрахунку інтервалу часу для контролю безпекових технологічних параметрів; [31] – визначення нормативних і технічних показників взаємодії системи технічного регулювання у процесі гармонізації стандартизованих безпекових вимог; [32] – технічна складова досягнення прийняттого рівня безпеки в елементах складних систем; [34] – вибір одиничних показників безпеки за схемою енергопостачання. Роботи [7, 23, 27, 28, 30, 33] виконані здобувачем одноосібно. З робіт, що опубліковані у співавторстві, у роботі використовуються виключно результати, отримані особисто здобувачем.

**Апробація результатів.** Викладені в дисертаційній роботі наукові положення та результати досліджень доповідались та обговорювались на 24 міжнародних та національних наукових конференціях у період з 2009 по 2020 роки: 1–4-й Міжнародній науково-практичній конференції “Управління якістю в освіті та промисловості: досвід, проблеми та перспективи”, 2013, 2015, 2017, 2019рр. Львів; 2–6-й Всеукраїнській науково-технічній конференції молодих вчених у царині метрології «Technical Using of Measurement», 2015 – 2020 рр., м. Славське; International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T), Kyiv, Ukraine, 2019; IEEE 13th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies, CSIT 2018; Міжнародній конференції метрологів МКМ’2019: XXIII Міжнародного семінару метрологів (МСМ’2019) до 100-річчя кафедри інформаційно-вимірювальних технологій, Львів, 2019; 8-й науково-технічній конференції «Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики машинобудівного і

нафтогазопромислового обладнання», м. Івано-Франківськ, 2017; XVI International Conference Physics and Technology of Thin Films and Nanosystems (dedicated to memory Professor Dmytro Freik) Ivano-Frankivsk Publisher Vasyl Stefanyk Precarpathian National University, 2017; VII міжнародній науковій конференції «Безпека і кризове управління. Безпека місцевих громад», Суспільної Академії Наук в Лодзі, Республіка Польща, 2017; Всеукраїнській науково-практичній конференції «Перспективи розвитку автоматизованих систем управління військами та геоінформаційних систем», АСВ, Львів, 2015; Міжнародній науково-технічній конференції "Термографія і термометрія, метрологічне забезпечення вимірювань та випробувань", Львів, 2013; V Міжнародній науковій конференції «Bezpieczeństwo w administracji, gospodarce i biznesie. Aksjologia zjawisk kryzysowych», Гдиня, Республіка Польща, 2013; 2nd International Virtual Conference of Informatics and Management Sciences», Жиліна, Республіка Словаччина, 2013; Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми підвищення ефективності електромеханічних перетворювачів в електроенергетичних системах» Севастополь, СевНТУ, 2009.

**Структура та обсяг роботи.** Дисертаційна робота складається із переліку умовних позначень та скорочень, анотації, вступу, п'яти розділів, загальних висновків, додатків, списку використаних джерел та має 276 сторінок основного тексту, що містять 47 рисунків, 22 таблиці та 17 сторінок додатків. Список використаних джерел налічує 239 найменувань.

**Публікації:** За результатами виконаних у дисертаційній роботі досліджень опубліковано 56 наукових праць, в тому числі 32 статті (з них 6 одноосібно), а також 1 патент України на винахід, зокрема:

- 28 статей у наукових фахових виданнях України [4; 8-34];
- 4 статті [1–4] у міжнародних рецензованих періодичних виданнях, три з яких індексуються в наукометричних базах даних *Web of Science*, *Scopus*;
- 22 статті та матеріалів доповідей на міжнародних, всеукраїнських та регіональних конференціях і семінарах [35-56], з яких 3 включено до наукометричних баз даних *Scopus*.

## **Розділ 1. АНАЛІЗ ТА СИСТЕМАТИЗАЦІЯ ВИМОГ ДО БЕЗПЕКИ СКЛАДНИХ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ**

### **1.1. Аналіз нормативного і технічного регулювання стану безпеки складних організаційно-технічних систем**

Якісні й конкурентоспроможні товари та послуги, що реалізуються на внутрішньому та зовнішньому ринках, мають відповідати останнім досягненням науки, найвищим техніко-економічним, естетичним та іншим споживчим вимогам. Міжнародний досвід підтверджує, що ігнорування вимог безпеки підриває економічну ефективність підприємств і не може бути основою для сталої стратегії їх розвитку. У концепції ООН «Sustainable human development» безпека розглядається як одна із основних потреб людини [16]. Інтеграція України в Європейське Співтовариство вимагає швидкої адаптації до чинних європейських стандартів в галузі безпеки, як нормативних документів. Для цього необхідно документи з технічного регулювання, що діють в Україні, і систему в цілому наближати до вимог міжнародних стандартів. Місцем застосування технічного регулювання в загальному випадку є організаційно-технічна система, яка складається із взаємопов'язаних матеріальних об'єктів (технічних засобів і персоналу, який забезпечує їх функціонування і застосування за призначенням) [230], створених для безпосереднього виконання виробничої або іншої споживчої функції. Іншим рівнем є складна ОТС (СОТС) – це ієрархічний людино-машинний комплекс, що цілеспрямовано функціонує, реалізуючи його властивості, для досягнення мети відповідно до суспільної потреби [165].

1.1.1. Визначення інших понять і термінів, які застосовані у цьому розділі:  
аварійна ситуація – стан об'єкта, що характеризується порушенням меж та (або) умов безпечної експлуатації, але не перейшов в аварію, за якого всі несприятливі впливи джерел небезпеки на персонал, населення та навколишнє середовище утримуються в прийнятих межах за допомогою відповідних технічних засобів, передбачених проектом [187];

гранично-допустиме значення параметра – найбільше або найменше значення параметра режиму функціонування або зберігання, яке може мати



виріб, пристрій, об'єкт, речовина без порушення його нормального функціонування (стану) [187];

датчик (джерело первинної інформації) – вимірювальний пристрій у вигляді конструктивної сукупності одного або декількох вимірювальних перетворювачів величини, що вимірюється і контролюється, у вихідний сигнал для дистанційної передачі та використання в системах керування і має нормовані метрологічні характеристики [187];

докритичні значення параметрів – значення параметрів джерел первинної інформації, які не є небезпечними, проте у разі стійкої тенденції до їх зміни у напрямку критичних значень, потребують виконання певних дій щодо недопущення досягнення критичних значень [187];

небезпека – потенційне джерело шкоди. Термін небезпека може бути кваліфікований для визначення його походження або природи очікуваної шкоди (наприклад, небезпека ураження електричним струмом, небезпека подрібнення, небезпека різання, токсична небезпека, пожежна небезпека, небезпека потоплення) [187];

небезпечна ситуація – обставина, при якій люди, майно чи навколишнє середовище піддаються одній або декільком небезпекам [187];

необхідний час евакуації – час з моменту виникнення пожежі, протягом якого люди повинні евакуюватися в безпечну зону без заподіяння шкоди життю і здоров'ю людей в результаті впливу небезпечних факторів пожежі [187];

об'єкт підвищеної небезпеки - об'єкт, на якому використовуються, виготовляються, переробляються, зберігаються або транспортуються одна або кілька небезпечних речовин чи категорій речовин у кількості, що дорівнює або перевищує нормативно встановлені порогові маси, а також інші об'єкти як такі, що відповідно до закону є реальною загрозою виникнення надзвичайної ситуації техногенного та природного характеру [187];

оцінювання ризику – процес порівняння оціненого ризику з даними критеріями ризику з метою визначення значущості ризику [180];

пожежа – неконтрольований процес знищення або пошкодження вогнем майна, під час якого виникають чинники, небезпечні для істот та навколишнього природного середовища [145];

пожежна безпека – відсутність неприпустимого ризику виникнення і розвитку пожеж та пов'язаної з ними можливості завдання шкоди живим істотам, матеріальним цінностям і довкіллю [145];

пожежний ризик – міра можливості реалізації пожежної небезпеки об'єкта захисту і її наслідків для людей і матеріальних цінностей [138];

потенційно небезпечний об'єкт - об'єкт, на якому можуть використовуватися або виготовляються, переробляються, зберігаються чи транспортуються небезпечні речовини, біологічні препарати, а також інші об'єкти, що за певних обставин можуть створити реальну загрозу виникнення аварії [187];

прийнятний ризик - ризик, який не перевищує на території об'єкта підвищеної небезпеки і/або за її межами гранично допустимого рівня [187];

ризик - ступінь імовірності певної негативної події, яка може відбутися в певний час або за певних обставин на території об'єкта підвищеної небезпеки і/або за його межами [187]. Ризик – поєднання ймовірності події та її наслідків [40];

техногенна безпека – відсутність ризику виникнення аварій та/або катастроф на потенційно небезпечних об'єктах, а також у суб'єктів господарювання, що можуть створити реальну загрозу їх виникнення [145]. Техногенна безпека характеризує стан захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій техногенного характеру. Забезпечення техногенної безпеки є особливою (специфічною) функцією захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій;

цивільний захист – це функція держави, спрямована на захист населення, територій, навколишнього природного середовища та майна від надзвичайних ситуацій шляхом запобігання таким ситуаціям, ліквідації їх наслідків і надання допомоги постраждалим у мирний час та в особливий період [145];

шкідлива подія – проява, при якій небезпечна ситуація призводить до шкоди;

школа – фізична травма чи пошкодження здоров'я людей, або майна або навколишнього середовища.

#### 1.1.2. Нормативне регулювання стану техногенної безпеки.

Науково-технічний прогрес, швидкий розвиток різних галузей промисловості, використання людиною пожежонебезпечних, вибухових, токсичних і радіаційних речовин спричинили появу поняття «техногенна безпека». Техногенна безпека охоплює пожежо-, вибухонебезпечність, безпеку життєдіяльності, охорону праці, навколишнього середовища, причому розглядає їх не відокремлено, а в комплексі. Система техногенної безпеки розповсюджується на об'єкти різного призначення під час їх будівництва, реконструкції, технічного переоснащення, а також на об'єкти, що експлуатуються.

На сучасному етапі Уряд проводить політику щодо впровадження ризик-орієнтованого підходу до перевірок підприємств. Анонсується, що перевірки підприємств повинні відбуватися – за попереднім планом і спеціальними чек-листами, де чітко вказані ризики, які треба усунути. При цьому такі чек-листи мають бути і на підприємствах (у суб'єктів господарювання). У зв'язку з необхідністю спрощення та забезпечення зручності виконання законодавства у сфері техногенної та пожежної безпеки суб'єктами господарювання, з метою підвищення техногенної та пожежної безпеки досліджено основні вимоги техногенної та пожежної безпеки.

Пожежна безпека СОТС – стан об'єкта, за яким з регламентованою імовірністю виключається можливість виникнення і розвитку пожежі та впливу на людей її небезпечних факторів, а також забезпечується захист матеріальних цінностей [193].

Пожежна безпека СОТС забезпечується шляхом проведення організаційних заходів, спрямованих на запобігання пожеж, забезпечення безпеки людей, зниження можливих майнових втрат і зменшення негативних

економічних наслідків у разі їх виникнення, створення умов для швидкого виклику пожежних підрозділів та успішного гасіння пожеж [170]. Основними напрямками забезпечення пожежної безпеки СОТС є усунення умов виникнення пожежі та мінімізація її наслідків. Такі об'єкти повинні мати системи пожежної безпеки, спрямовані на запобігання пожежі, дії на людей та матеріальні цінності небезпечних факторів пожежі, в тому числі їх вторинних проявів.

Дотримання вимог техногенної та пожежної безпеки СОТС в країнах Європи та СНД ґрунтується на законодавчих актах цих країн. Дослідження основних вимог ґрунтується на аналізі основних чинників, які впливають на виникнення пожежі чи іншої надзвичайної події, чинників, що сприяють швидкому виявленню пожежі чи аварії та швидкій евакуації людей з цих приміщень, технічних засобів ліквідації пожеж тощо.

У країнах Європи при розроблені нормативних актів з пожежної безпеки використовується об'єктно-орієнтований підхід, тому правила пожежної безпеки розробляються для приміщень різного призначення. Наприклад, у Великобританії з метою забезпечення пожежної безпеки в офісних приміщеннях діє затверджений урядом Посібник з оцінки небезпеки пожежної безпеки: офіси та магазини [24]. Цей посібник дає поради щодо складання оцінки ризику пожежної безпеки для всіх роботодавців, керівників та власників СОТС, а також окремі приміщення, що знаходяться у складі інших комплексів (наприклад, в торгово-розважальному центрі). Посібник складається з розділів, в яких містяться основні вимоги щодо пожежної безпеки: попереджувальні заходи, системи виявлення пожежі та оповіщення людей, засоби пожежогасіння, евакуаційні шляхи та виходи, евакуаційне освітлення, сигнали та знаки небезпеки, навчання вимог пожежної безпеки та тренування дій працівників у разі виникнення пожежі, технічні засоби запобігання розповсюдження пожежі. Також в документі наявний зразок чек-листа, який дозволить власнику СОТС чи магазину перевірити стан пожежної безпеки на об'єкті [24].

Стосовно безпеки електрообладнання, в СОТС повинні використовуватися пристрої захисного вимкнення (ПЗВ), які є єдиним апаратом з автоматичним

вимикачем, що забезпечують захист від надструмів. Металеві оболонки кабелів, прокладені в СОТС, повинні бути заземлені. Світильники робочого та аварійного освітлення повинні забезпечувати освітленість відповідно до вимог будівельних норм і правил і повинні бути виключно заводського виготовлення відповідно до вимог державних стандартів і технічних умов. Світильники аварійного освітлення повинні відрізнятися від світильників робочого освітлення спеціально нанесеною літерою на плафоні світильника [174].

Система протипожежного захисту – це комплекс технічних засобів, що змонтований на об'єкті, призначений для виявлення, локалізації та ліквідації пожеж без втручання людини, захисту людей, матеріальних цінностей та довкілля від впливу небезпечних чинників пожежі [111]. СПЗ поділяються на:

- системи пожежної сигналізації;
- автоматичні системи пожежогасіння;
- автономні системи пожежогасіння локального застосування;
- системи оповіщення про пожежу та управління евакуаванням людей;
- системи протидимного захисту;
- системи централізованого пожежного спостереження;
- системи диспетчеризації СПЗ.

Однією із складових СПЗ, яка найбільше розповсюджена, є спеціалізовані системи пожежної сигналізації, які об'єднують в єдину мережу усі компоненти на об'єкті. При правильній роботі системи пожежної сигналізації, будь-яке загоряння визначається за лічені секунди. Така швидкість і точність дає змогу не лише запобігти можливій пожежі, але й ідеально організувати за необхідності евакуацію персоналу, уникнути паніки. На якісну роботу систем пожежної сигналізації значно впливає правильність її проектування і монтажу. Основні вимоги до проектування, монтажу, введення у експлуатацію і технічного обслуговування цих систем викладені у нормативних документах ДБН В.2.5-56:2014 та ДСТУ-Н СЕН/TS 54-14. Крім того, існує низка нормативних документів, де представлені вимоги до елементів системи пожежної сигналізації.

До одиничних БПЯ таких систем можна віднести:

- чутливість та можливість її зміни;
- “живучість”;
- постійний динамічний контроль всіх сповіщувачів;
- гнучкість налаштувань;
- можливість монтажу багатьох сповіщувачів в одній системі;
- відсутність помилкових тривог;
- витрати на обслуговування;
- можливість інтеграції в автоматичні системи управління технологічними процесами (АСУ ТП) будівлі.

Специфіка захисту людей від наслідків пожежі полягає в тому, що, на відміну від забезпечення збереження будівельних конструкцій, безпека людей повинна гарантуватися у всіх випадках і незалежно від економічних витрат. Вона досягається конструктивними і об'ємно-планувальними рішеннями [152], спрямованими на ізоляцію джерел задимлення і створення умов для вільного (комфортного) руху людей при евакуації, обмеженням застосування горючих матеріалів на шляхах евакуації.

Рух людей розглядається як важливий функціональний процес, характерний для будівель будь-якого призначення. У залежності від умов, він розділяється на нормальний і вимушений з метою покинути приміщення або будівлю через небезпеку, що їм загрожує при пожежі або аварії. Для кожного виду руху характерні свої особливості, які повинні враховуватися при проектуванні й експлуатації будівель [152].

До одиничних БПЯ евакуації людей з будівель відносяться:

Сходи типів:

С1 – внутрішні, які розміщуються в сходових клітках.

С2 – внутрішні відкриті (без стін, які огороджують).

С3 – зовнішні відкриті.

Звичайні сходові клітки типів:

СК1 – з природним освітленням через вікна в зовнішніх стінах.

СК2 – з природним освітленням через заскленні прорізи в покритті.

Незадимлювані сходові клітки типів:

Н1 – з виходом через зовнішню повітряну зону по балконах, лоджіях, відкритим переходам, галереям.

Н2 – з підпором повітря при пожежі.

Н3 – з виходом в сходову клітку через тамбур-шлюз з підпором повітря при пожежі та з природнім освітленням через вікна в зовнішніх стінах.

Н4 – без природного освітлення, з підпором повітря до сходової клітки в разі пожежі та із входом через тамбур шлюз з підпором повітря.

Зовнішні пожежні драбини:

П1 – вертикальна металева, що починається з висоти 2,5м від рівня землі, має ширину 0,7м та площадку перед виходом на покрівлю з огороженням заввишки не менш як 0,6м, дуги через кожні 0,7м з радіусом заокруглення 0,35м і з центром, віддаленим від драбини на 0,45м.

П2 – маршева металева, що починається з висоти 2,5м від рівня землі та має ухил маршів не більше за 6:1, ширину 0,7м, а також площадки не рідше ніж через 8м і поручні.

З будинку, з кожного поверху та із приміщення наявні не менше двох евакуаційних виходів, за винятком випадків, обумовлених НД. Кількість евакуаційних виходів з будинку повинна бути не меншою за кількість евакуаційних виходів з будь-якого його поверху. Евакуаційні виходи повинні розташовуватися роззосереджено [152].

Як показує практика, індивідуальна і колективна поведінка людей при пожежі значною мірою визначена страхом, викликаним розумінням небезпеки. Сильне нервово збудження мобілізує фізичні ресурси людини, але при цьому вужчає свідомість, втрачається здатність правильно сприймати ситуацію у всьому об'ємі, оскільки увага цілком направлена на події, що відбуваються. У такому стані зростає прищеплюваність, команди сприймаються без відповідного аналізу й оцінки, дії людей стають автоматичними, сильно проявляються схильності до наслідування. Панічні реакції проявляються в основному або в формі завмирання, нездатності до дії, або навпаки - в формі бігу, метушні,

нездатності орієнтуватися в обстановці.

На цей час у Технічному регламенті знаків безпеки і захисту здоров'я працівників та інших [183-184], нормативно-правових актах і державних будівельних нормах [107-112, 172] є посилання на скасовані міждержавні стандарти та неактуальні стандарти, що встановлюють вимоги до знаків пожежної безпеки та евакуації. У зв'язку з цим постала проблема оновлення нормативно-правового забезпечення у сфері пожежної безпеки.

Для реалізації в Україні нових вимог міжнародних та європейських стандартів щодо знаків пожежної безпеки та евакуації розроблено проекти національних стандартів ДСТУ EN ISO 7010:2019, ДСТУ ISO 23601, ДСТУ EN 1838, ДСТУ EN 50172 які прийняті наказом ДП «УкрНДНЦ» №174 від 24 червня 2019, як національні стандарти, гармонізовані з європейськими та міжнародними стандартами методом перекладу з наданням чинності з 01 липня 2020 року зі скасуванням чинності національних стандартів ДСТУ ISO 6309:2007, ДСТУ ISO 7010:2009 з 01 липня 2020 року. У рамках впровадження цих стандартів будуть вирішуватися питання щодо прийняття в Україні інших міжнародних і європейських стандартів, що стосуються знаків пожежної безпеки та систем керування евакуацією.

Актуальним залишається проведення робіт зі стандартизації щодо прийняття в Україні міжнародних і європейських стандартів ІЕС 60364-5-56:2018, HD 60364-5-56:2010, ISO 3864-3:2012, серії стандартів ISO 9186-2:2008, ISO 9186-3:2014, EN 13032-3:2007 [157].

Прикладом організаційних заходів щодо техногенної безпеки СОТС є:

1) розроблення та дотримання інженерно-технічних заходів цивільного захисту під час будівництва (реконструкції, технічного переоснащення) на об'єктах, включених до переліку об'єктів, що належать суб'єктам господарювання, проектування яких здійснюється з урахуванням вимог інженерно-технічних заходів цивільного захисту, затверджених постановою Кабінету Міністрів України від 09 січня 2014 року № 6 (ч.6 п. 2 розділу III ПТБ);



2) розроблення організаційно-розпорядчих документів щодо забезпечення техногенної безпеки, здійснення постійного контролю за їх дотриманням (ч.3 п.2 розділу III ПТБ) [175];

3) забезпечення відповідно до законодавства своїх працівників засобами колективного та індивідуального захисту (п. 2 розділу III ПТБ) [175];

4) організація та здійснення евакуаційних заходів щодо працівників та майна суб'єкта господарювання під час виникнення надзвичайних ситуацій (п. 4 ч.1 статті 20 КЦЗУ);

5) організація та здійснення навчання керівного складу, працівників з питань цивільного захисту, у тому числі правилам техногенної безпеки (п. 8 ч.1 статті 20 КЦЗУ; п. 2 розділу III ПТБ) [175];

6) здійснення допуску до роботи працівників тільки після проходження ними навчань, інструктажів і перевірки знань з питань цивільного захисту, зокрема з техногенної безпеки (п. 4 глави 6 розділу V ПТБ) [175];

7) створення об'єктових формувань цивільного захисту, готових до дій за призначенням та необхідної для їх функціонування матеріально-технічної бази, або наявність спеціально призначеної особи з питань цивільного захисту (п.5 ч.1 статті 20 КЦЗУ);

8) проведення оцінки ризиків виникнення надзвичайних ситуацій на об'єктах суб'єкта господарювання, здійснення заходів щодо неперевищення прийнятних рівнів таких ризиків (пункт 7 частини першої статті 20 КЦЗУ; абзац другий пункту 3 розділу III ПТБ) [175];

9) розміщення інформації про заходи безпеки та поведінку населення на випадок виникнення надзвичайної ситуації техногенного характеру на офіційних веб-сайтах, інформаційних стендах та в засобах масової інформації(п. 3 ч. 1 статті 20 КЦЗУ; п. 3 розділу III ПТБ) [175];

10) інформування органів влади, сил цивільного захисту про основні загрози на небезпечних об'єктах з метою вжиття ними ефективних заходів захисту населення, промислових і сільськогосподарських об'єктів від надзвичайних ситуацій техногенного характеру (п. 3 розділу III ПТБ) [175];

11) проведення об'єктових тренувань і навчань з питань цивільного захисту (пункт 11 частини першої статті 20 КЦЗУ);

12) забезпечення аварійно-рятувального обслуговування суб'єктів господарювання відповідно до вимог статті 133 Кодексу ЦЗУ (пункт 12 частини першої статті 20 КЦЗУ);

13) забезпечення дотримання вимог законодавства щодо створення, зберігання, утримання, використання та реконструкції захисних споруд цивільного захисту (пункт 15 частини першої статті 20 КЦЗУ);

14) створення і використання матеріальних резервів для запобігання та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій (п. 18 ч.1 статті 20 КЦЗУ).

В Україні наявна велика кількість документів, які регламентують вимоги до об'ємно-планувальних рішень СОТС, систем протипожежного захисту, планів евакуації, засобів пожежогасіння тощо. Однак, не існує єдиного документу, у якому викладено перелік вимог техногенної та пожежної безпеки до суб'єктів господарювання, які провадять господарську діяльність у СОТС.

Упродовж останніх років у світі пожежна безпека об'єктів визначається ризик-орієнтованим підходом як в рамках сертифікації якості, так і в рамках страхування об'єкта. В Україні водночас з державним контролем за виконанням вимог пожежної та техногенної безпеки актуальним має місце незалежна оцінка пожежного ризику [181]. Експертна оцінка протипожежного стану СОТС – це визначення кваліфікованим експертом відповідності приміщень, територій об'єкта вимогам нормативно-правових актів з питань пожежної та техногенної безпеки. Така оцінка протипожежного стану об'єктів є основним документом для отримання підприємцями й організаціями будь-якої форми власності Декларації відповідності матеріально-технічної бази суб'єкта господарювання вимогам законодавства з питань пожежної безпеки; визначення страхового платежу при страхуванні майна від пожеж; захисту керівника від неправомірних дій пожежного інспектора; визначення реального (фактичного) стану пожежної безпеки на об'єкті.

### 1.1.3. Технічне регулювання стану безпеки СОТС

Після прийняття Закону України «Про ратифікацію Угоди про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським співтовариством з атомної енергії і державами-членами, з іншої сторони» № 1678 від 16.09.2014 р. триває другий етап адаптації законодавства України до законодавства ЄС.

Одним із об'єктів адаптації законодавства є технічне регулювання, яким передбачено прийняття європейських технічних регламентів, стандартів і правил оцінки відповідності та ринкового нагляду нехарчової продукції. У рамках імплементації зазначеної угоди та відповідно до Угоди про технічні бар'єри у торгівлі ухвалено законодавство у сфері технічного регулювання, а саме: Закони України «Про технічні регламенти та оцінку відповідності», «Про державний ринковий нагляд і контроль нехарчової продукції», «Про загальну безпечність нехарчової продукції», 49 технічних регламентів та 4 нормативно-правових акти, що мають ознаки технічних регламентів.

Постановою Кабінету Міністрів України № 1057 від 16.12.2015 розширено сферу технічного регулювання Державної служби України з надзвичайних ситуацій (далі – ДСНС), зокрема в таких сферах діяльності, як цивільний захист, техногенна і пожежна безпека (у тому числі засоби протипожежного захисту), гідрометеорологічна діяльність; засоби цивільного захисту (окрім виробів медичного призначення та лікарських засобів); пожежобезпечність продукції (крім видів продукції, які включені до сфер діяльності, в яких функції технічного регулювання здійснюються іншими центральними органами виконавчої влади і стосовно яких встановлені вимоги щодо пожежобезпечності). З-поміж ухвалених нормативно-правових актів у сфері технічного регулювання 24 технічні регламенти стосуються засобів цивільного та протипожежного захисту, а також продукції з підвищеним техногенним і пожежним ризиком. Окремого технічного регламенту щодо засобів цивільного й протипожежного захисту в ЄС та Україні не прийнято.

У зв'язку з цим оцінка відповідності певних видів зазначеної продукції, зокрема гідравлічного пожежного обладнання, засобів рятування з висоти і на воді, систем протипожежного захисту, систем сигналізації про горючі й токсичні

гази, систем оповіщення про надзвичайні ситуації та систем захисту від блискавки, здійснюється у законодавчо неврегульованій сфері. Технічні регламенти на зазначену продукцію впроваджуються без погодження з ДСНС, органи з оцінки відповідності такої продукції призначаються без погодження з центральним органом виконавчої влади.

Крім цього, ринковий нагляд такої продукції здійснюється без участі ДСНС [150]. На сьогодні ДСНС відповідає усім критеріям європейського законодавства, що висуваються до органів ринкового нагляду, а саме: наявності у своєму складі висококваліфікованих фахівців з питань цивільного захисту, техногенної та пожежної безпеки, закладів вищої освіти, які здійснюють підготовку таких фахівців, науково-дослідних установ, що виконують і узагальнюють результати наукових досліджень у зазначених сферах, територіальних органів державного нагляду й дослідно-випробувальних лабораторій, які можуть забезпечувати здійснення державного ринкового нагляду зазначеної продукції на всій території України (рис.1.1), а також ведення статистики надзвичайних ситуацій та пожеж, травматизму особового складу і нещасних випадків невинуватого характеру, зокрема, пов'язаних із користуванням продукцією.

Для реалізації нового законодавства стосовно об'єктів підвищеної небезпеки (техногенно небезпечних об'єктів) необхідне прийняття Технічного регламенту засобів цивільного захисту, що розробляється ДСНС на основі Директиви 2012/18/ЄС, якою встановлено правила запобігання великомасштабним аваріям, пов'язаним із небезпечними речовинами. Особливістю цього проєкту Технічного регламенту є включення до нього процедур оцінки відповідності й декларування відповідності змонтованих на об'єктах будівництва технічних систем цивільного захисту, в тому числі й протипожежного захисту [150].

Слід зауважити, що Директивою 2012/18/ЄС визначено класифікацію небезпечних речовин, які можуть стати джерелом виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру і вносяться додаткові вимоги до методів

випробування цих речовин. Ця директива також вважається технічним регламентом для техногенно небезпечних речовин [233].



Рисунок 1.1 – Сфера технічного регулювання ДСНС

Зазначені процедури оцінки відповідності впроваджуються на заміну добровільної процедури оцінки відповідності систем протипожежного захисту, що установлена в ДБН В.2.5-56:2014 «Системи протипожежного захисту» і має бути вилучена з нього на виконання вимог Закону України «Про технічні регламенти та оцінку відповідності».

Нагальною залишається проблема оснащення випробувальних лабораторій сучасним випробувальним устаткуванням для оцінки відповідності продукції вимогам технічних регламентів. Адже Україною взято зобов'язання щодо обов'язкового застосування, починаючи з 2021 року, всіх технічних регламентів, визначених Угодою про асоціацію [150].

Окрім цього, потребує розв'язання питання щодо приведення оцінки відповідності захисних споруд цивільного захисту та протипожежного захисту будівель і споруд у відповідність до вимог європейського законодавства. Заважає цьому недосконале законодавство у сфері регулювання містобудівної діяльності,

яке в частині декларування та оцінки відповідності будівель і споруд не відповідає європейським актам, зокрема, Регламентові Комісії ЄС № 1303/2014, яким прийнято технічну специфікацію стосовно залізничних тунелів, що належать до об'єктів підвищеної небезпеки.

На сьогодні також не затверджено нову редакцію технічного регламенту будівельних виробів, що розробляється на основі Регламенту ЄС №305/2011 : 2019. Так, Міністерством регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України (далі – Мінрегіон) було розроблено проект Закону України «Про технічний регламент будівельних виробів та споруд» на заміну Технічному регламентові будівельних виробів, будівель і споруд, затвердженого постановою КМУ № 1764 від 20.12.2006 ще у 2012 році – не прийнятий до сьогодні.

На жаль, через незабезпечення належної адаптації процес щодо прийняття цього законопроекту затягнувся у часі. Остання редакція законопроекту була опублікована 03.10.2016 з новою назвою «Про основні вимоги до будівель та споруд, а також умови розміщення на ринку будівельних виробів, гармонізовані з нормами законодавства Європейського Союзу».

Найприйнятнішим виходом з цієї ситуації є ухвалення Технічного регламенту будівельних виробів постановою Уряду відповідно до «Правил розроблення проектів технічних регламентів, що затверджуються Кабінетом Міністрів України на основі актів законодавства Європейського Союзу» та внесення до Закону України «Про регулювання містобудівної діяльності» основних вимог до будівель і споруд, позаяк європейський регламент будівельних виробів не визначає процедури оцінки відповідності й декларування самих будівель і споруд та їх технічних систем.

Відповідно до статті 39 цього закону прийняття в експлуатацію будівель і споруд, що належать до об'єктів з незначними наслідками, здійснюється на основі декларації про готовність об'єкта до експлуатації, а будівель та споруд, що належать до об'єктів з середніми і значними наслідками – на підставі акта

готовності об'єкта до експлуатації шляхом видачі органами державного архітектурно-будівельного контролю сертифіката у порядку, визначеному КМУ.

Декларація або сертифікат мають визначати відповідність будівель і споруд основним вимогам, які не визначено у Законі України «Про регулювання містобудівної діяльності». Тому основні вимоги до будівель та споруд доцільно внести до цього закону.

Стосовно будівельних виробів декларується їх відповідність істотним характеристикам, визначеним через основні вимоги до будівель і споруд та установленим у регламентних (гармонізованих) технічних специфікаціях, тобто національних стандартах, які розроблюються технічними комітетами стандартизації і затверджуються національним органом стандартизації, та стандартах організації технічної апробації, які мають розроблюватися органами технічної апробації і затверджуватися національною організацією технічної апробації [150]. Надання цим стандартам статусу регламентних має здійснюватися Мінрегіоном.

Згідно із Прикінцевими положеннями Закону України «Про технічні регламенти та оцінку відповідності» протягом п'яти років від дня набуття чинності цього закону мають бути здійснені заходи щодо приведення технічних регламентів та інших нормативно-правових актів, розроблених центральними органами виконавчої влади, у відповідність до технічних регламентів, прийнятих законами України й актами КМУ.

Також про доцільність внесення основних вимог до будівель і споруд до Закону України «Про регулювання містобудівної діяльності» свідчить те, що в окремих актах ЄС визначено оцінку відповідності (сертифікацію) будівель і споруд та енергоспоживчих технічних систем вимогам щодо енергоефективності, яка є однією з основних вимог до будівель і споруд, та істотні вимоги до інфраструктури залізничного транспорту, канатних доріг для перевезення пасажирів та технічних систем цивільного і протипожежного захисту цих об'єктів. Також актами ЄС не передбачено сертифікацію органами державного контролю й нагляду енергоефективності будівель і споруд та

безпеки залізничних тунелів, що належать до споруд цивільного будівництва зі значними наслідками. Процедури оцінки відповідності, що застосовують для оцінки відповідності й декларування залізничних тунелів, у тому числі їх протипожежного захисту, можуть бути поширені на інші види будівель і споруд. Тому із Закону України «Про регулювання містобудівної діяльності» мають бути вилучені положення щодо сертифікації закінчених будівельних об'єктів та до нього внесені інші зміни, що забезпечать його належну адаптацію до вимог нормативно-правових актів ЄС.

У 2017 році з метою дерегуляції підприємницької діяльності Уряд скоротив перелік робіт та послуг протипожежного призначення, що підлягають ліцензуванню. Проте, цей перелік і ліцензійні умови потребують подальшого доопрацювання з метою наближення до європейського законодавства [233].

Так, Європейським комітетом стандартизації (CEN) на реалізацію положень Директиви 2006/123/ЄС стосовно надання послуг на внутрішньому ринку розроблений і гармонізований в Україні ДСТУ EN 16763:2017, яким визначено вимоги до персоналу й організацій, що здійснюють проектування, монтування і технічне обслуговування систем протипожежного захисту. Цим стандартом встановлено рівні кваліфікації персоналу, який має виконувати такі роботи, та вимоги щодо запровадження організаціями, що надають такі послуги, системи управління якістю.

Сертифікація системи управління якістю проектними і монтажними організаціями передбачена проектом Технічного регламенту засобів цивільного захисту [150]. Загалом для таких організацій ліцензування послуг не потрібне, оскільки вони вважаються виробниками і декларують відповідність змонтованих технічних систем. Стосовно таких суб'єктів господарювання здійснюється державний ринковий нагляд уведених в експлуатацію технічних систем.

На суб'єкти господарювання, що здійснюють технічне обслуговування таких систем, державний ринковий нагляд не поширюється. Тому для усунення суб'єктів господарювання з сумнівною репутацією, що виконують такі роботи, доцільно залишити ліцензування цього виду господарської діяльності. При



цьому ліцензування має бути поширене на технічне обслуговування усіх технічних систем цивільного захисту, зазначених у проекті Технічного регламенту засобів цивільного захисту без прив'язки до категорій складності об'єктів будівництва. Періодичний нагляд за діяльністю організацій, які надають такі послуги, здійснюватиме призначений орган з оцінки відповідності, що видає сертифікат на систему управління якістю, а орган ліцензування реагуватиме лише на скарги від користувачів технічних систем, призначеного органу та органів, що здійснюють інші види державного нагляду.

У країнах ЄС національні технічні регламенти на продукцію, яку не охоплено гармонізованим європейським законодавством, розробляються з дотриманням вимог Регламенту ЄС № 764/2008. За дотриманням вимог цього регламенту також розробляються національні технічні правила. В Україні до технічних правил належать будівельні норми, нормативні акти з пожежної безпеки та інші нормативні акти, що встановлюють технічні вимоги до продукції. У разі незабезпечення цього Мін'юстом за скаргою суб'єктів господарювання призупинятиметься дія нормативно-правових актів або їх окремих положень, які не відповідають законодавству у сфері технічного регулювання.

Згідно зі статтею 46 Закону України «Про технічні регламенти та оцінку відповідності» контроль відповідності продукції вимогам технічних регламентів здійснюється шляхом державного ринкового нагляду і контролю нехарчової продукції, що регулюється Законом України «Про державний ринковий нагляд та контроль нехарчової продукції».

Відповідно до вимог законодавства суб'єкти господарювання зобов'язані вводити в обіг лише безпечну продукцію. Контроль за безпечністю введеної в обіг продукції здійснюється органами державного ринкового нагляду (далі – ОРН) в межах сфери їх відповідальності з метою забезпечення відповідності продукції встановленим технічними регламентами вимогам, а також виявлення і захисту від загроз суспільних інтересів.

У разі виявлення факту невідповідності продукції встановленим вимогам ОРН невідкладно вимагає від суб'єкта господарювання вжиття протягом визначеного терміну відповідних заходів щодо приведення такої продукції у відповідність із встановленими вимогами та приймає рішення про вжиття обмежувальних (коригувальних) заходів, визначених законодавством.

Комплекс заходів, які вживаються ОРН під час здійснення заходів державного ринкового нагляду, зокрема застосування штрафних санкцій, спонукають до виробництва безпечної продукції.

Державний ринковий нагляд як одна зі складових системи технічного регулювання має важливе значення для виробництва безпечної продукції, оскільки забезпечує виявлення та запобігання введенню в обіг небезпечної продукції, захист споживачів від небезпечної продукції шляхом встановлення відповідності продукції вимогам технічних регламентів і загальній вимозі щодо безпечності продукції.

Крім того, створення державного механізму ринкового нагляду є зобов'язанням, узятим Україною, після підписання Угоди про асоціацію між Україною та Європейським Союзом (ЄС), Європейським Співтовариством з атомної енергії і їх державами-членами, з іншого боку, яка включає створення зони вільної торгівлі між Україною та ЄС, а також, передбачає поступове досягнення відповідності, зокрема, з ринковим наглядом ЄС та дотримання принципів та практик, викладених в актуальних рішеннях та регламентах ЄС. Україна фактично погодилася взяти на себе зобов'язання запровадити європейські принципи та підходи до здійснення державного ринкового нагляду в країні.

На сьогодні ПКМУ № 1069 від 28.12.2016 «Про затвердження переліку видів продукції, щодо яких органи державного ринкового нагляду здійснюють державний ринковий нагляд» визначено сім органів державного ринкового нагляду (рис.1.2), а саме:

Державна служба України з надзвичайних ситуацій (ДСНС);

Державна служба України з питань праці (Держпраці);

Державна служба України з безпеки на транспорті (Укртрансбезпека);  
 Державна архітектурно-будівельна інспекція України (з березня 2020 у стані реформування);  
 Державна служба України з лікарських засобів та контролю за наркотиками (Держлікслужба);  
 Державна екологічна інспекція України (Держекоінспекція);  
 Державна служба України з питань безпечності харчових продуктів та захисту споживачів (Держпродспоживслужба).

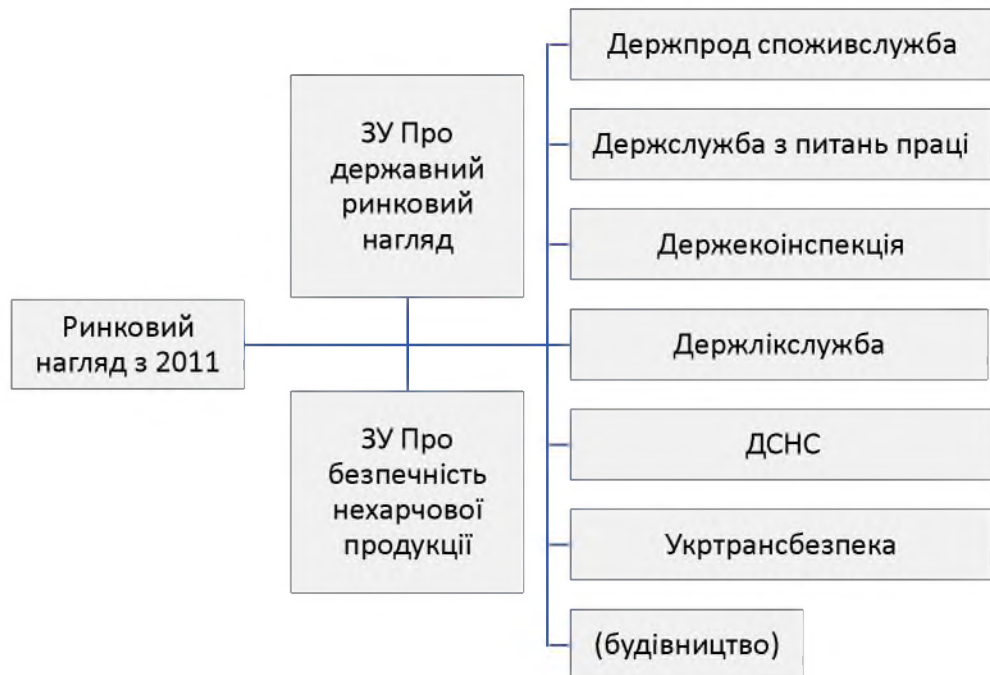


Рисунок 1.2 – Розмежування основних галузей безпеки у сфері технічного регулювання між ОРН в Україні

Законами України 530-IX та 533-IX на час карантину заборонені перевірки першої категорії, а отже, вищеназвані органи мають право на їх здійснення у сфері ринкового нагляду (друга категорія).

Законодавчі акти України в сфері державного ринкового нагляду розроблено на основі таких актів законодавства ЄС у цій сфері:

Регламенту (ЄС) № 765/2008 Європейського Парламенту та Ради від 09.07.2008, яким встановлюються вимоги щодо акредитації та ринкового нагляду стосовно реалізації продукції та скасовується Регламент (ЄЕС) № 339/93;

Рішення № 768/2008/ЄС Європейського Парламенту та Ради від 09.07.2008 про спільні рамки щодо реалізації продукції та щодо скасування Рішення Ради 93/465/ЄЕС;

Директиви 2001/95/ЄС Європейського Парламенту та Ради від 03.12.2001 про загальну безпеку продукції та повністю враховує положення цієї директиви;

Директиви Ради 85/374/ЄЕС від 25.07.1985 про наближення законів, підзаконних актів та адміністративних положень держав-членів щодо відповідальності за дефектну продукцію.



Рисунок 1.3 – Аналіз нормативної бази у сфері технічного регулювання безпеки

Відповідність національного законодавства у сфері державного ринкового нагляду зазначеному вище законодавству ЄС підтверджено результатами оцінювання, проведеного Європейською Комісією.

Тобто, на сьогодні досягнута гармонізація українського законодавства у сфері державного ринкового нагляду з відповідним законодавством ЄС (рис.1.3).

Також слід зазначити, що у зв'язку зі змінами у європейському законодавстві, відповідно до яких низку директив ЄС було переглянуто і викладено у новій редакції, здійснюється перегляд прийнятих технічних регламентів із метою максимального їх приведення у відповідність до нових версій директив ЄС.

Загалом в Україні прийнято 53 технічних регламенти, з них 50 розроблено на основі актів законодавства ЄС, у тому числі директив Нового та Глобального підходу, з яких 49 вже є обов'язковими до застосування.

## **1.2. Систематизація стану безпеки і класифікація рівнів безпеки складних організаційно-технічних систем**

У стратегії ISO 2021-2030 вказано, що міжнародні стандарти, у більшості малопомітні в щоденному житті, є найважливіший компонент, який робить речі безпечнішими та кращими. Досягнувши цього, можна сприяти покращенню якості щоденного життя людей у всьому світі. Щоб визначити небезпеки, оцінювання ризику проводиться з використанням низки методів, зокрема, аналіз і застосування вимог стандартів ДСТУ ISO 31000:2018, ДСТУ ISO 31010:2019, ІЕС 61649 та інших проведено у главі 2.4.

У стандарті ІЕС 60812:2018 пояснено, як планується, виконується, документується та підтримується аналіз режимів відмов та ефектів (FMEA), включаючи варіант відмов, ефектів та аналізу критичності (FMESCA). Метою аналізу режимів відмов та ефектів (FMEA) є встановити, як елементи або процеси можуть не виконувати свою функцію, щоб можна було визначити будь-які необхідні заходи втручання [131]. FMEA забезпечує систематичний метод виявлення способів відмов разом з їх наслідками для об'єкта або процесу, як локально, так і глобально. Це також може включати виявлення причин режимів відмов. Режими відмов можуть бути пріоритетними для підтримки рішень щодо втручання. Якщо рейтинг критичності включає принаймні ступінь тяжкості наслідків та часто інші важливі показники, тоді це аналіз режимів відмов, ефектів та критичності (FMESCA). Цей документ застосовується до обладнання, програмного забезпечення, процесів, включаючи дії людини, та їх інтерфейсів у будь-якій комбінації. FMEA може бути використаний в аналізі безпеки для регуляторних та інших цілей, але цей загальний стандарт не дає конкретних вказівок щодо застосувань безпеки. У третє видання [131] внесені такі суттєві зміни: є приклади програм для безпеки, автомобілебудування, програмного

забезпечення та (сервісних) процесів; додані альтернативні способи обчислення числа пріоритетів ризику (RPN); додано метод, заснований на матриці критичності; описано зв'язок з іншими методами аналізу надійності. Він має переваги в порівнянні зі старішою технікою аналізу “галстук-метелик” (BowTie).

Одними з найвідоміших методів є аналіз дерева відмов (FTA) [19] та дослідження небезпеки та працездатності (HAZOP) [82]. Це дедуктивний підхід, який здійснюється шляхом неодноразового запитання: як це може статися (конкретна небажана подія), і які причини цієї події? Він включає логічну схему, яка показує зв'язок між компонентами системи та їх відмовами. У [19] проведено огляд дослідження щодо FTA, з його перевагами та недоліками. Оскільки FMEA має право аналізувати лише одну причину ефекту, FTA збільшує можливість здійснення FMEA. Аналіз із використанням комбінації FTA із FMEA може підтримати оцінку, що враховує усі ризики безпеки [131]. HAZOP - це якісний прийом, який зазвичай використовується на етапі планування розвитку системи. Він визначає небезпеки, аналізуючи, як може виникнути відхилення від специфікації конструкції системи. Він використовується для виявлення критичних аспектів проектування системи для подальшого аналізу. Він також може бути використаний для аналізу операційної системи. Мультидисциплінарна команда з 5–6 аналітиків на чолі з керівником зазвичай проводить аналіз HAZOP. Команда HAZOP визначає різні сценарії, які можуть призвести до небезпеки або експлуатаційної проблеми, а потім визначаються та аналізуються їх причини та наслідки [82].

Існує багато методів оцінки ризику, не кажучи вже про моделі та варіації, розроблені для конкретних цілей. Чи повинна теорія нечіткої логіки відповідати тому, що оцінюється, залежить від багатьох факторів: джерела інформації для оцінки, історія відмов, оцінки експертів або і т. ін. У дослідженні ризиків та оцінюванні ризиків спочатку розглядаються основні елементи, такі як концепція ризику, перспектива ризику, невизначеність, неоднозначність та складність. Залежно від контексту, якщо невизначеність даних, причинно-наслідкове формулювання можуть бути описані та оцінені за допомогою імовірнісних

методів, можуть бути корисними байєсівські мережі або марковські процеси. У деяких випадках [28], немарківські процеси можна подавати марківськими за будовою за рахунок розширення концепції «поточного» і «майбутніх» станів: якщо  $X$  немарківський процес, то щоб визначити процес  $Y$  (при цьому кожен стан  $Y$  являє собою інтервал часу станів  $X$ ) математично рівняння приймає форму:  $Y(t)=\{X(s):s \in [a(t), b(t)]\}$  .

Однак, якщо ймовірнісні методи не відповідають описам СОТС, то нечіткі методи та моделювання з використанням нечітких контролерів можуть дати правдоподібні та захищені відповіді. Отже, якщо мова йде про опис невизначеності (а саме "ризик"), використовуються ймовірнісні методи. "Небезпека" - це стан (наприклад, підйом по сходах), і ризик виражає ймовірність (або іншу невизначеність), пов'язану з режимом відмови, наприклад, підслизання на сходах. Наслідки можуть бути серйозними, залежно від умов. В якості альтернативи викладенню ризику як ймовірності, є статті Лофті Заде, з використанням нечітких наборів, що стосуються нечітких методів [139]. Багато дослідників покладаються на поєднання методів (наприклад: дерево відмов, метелик, байєсівська мережа, нечіткі набори) [3, 15, 19, 57-61, 97, 155, 209, 234].

Новіші методи не обов'язково є ефективніші або надійніші, лише відносно старіші методи були широко перевірені та опробовані. Запропонований модельний формалізм поєднує байєсівські мережі (BN) та стохастичні мережі Петрі (SPN). BN потужний при оновленні даних, тоді як SPN може фіксувати динамічну поведінку складних систем. Поєднавши ці два, отримали можливість постійного оновлення прогнозу відмови [73].

Одна із надійних і зрозумілих моделей об'єктно-орієнтована байєсівська мережа (ООBN), тоді як одним із пізніших методів є STPA [49]. Метод STPA для аналізу небезпеки зосереджений на аналізі динамічної поведінки систем і призначений забезпечити переваги перед традиційними методами аналізу небезпеки [48]. STPA - це метод зверху вниз, як і метод дерева відмов. Однак STPA використовує модель системи, яка складається з діаграми функціонального контролю замість діаграми фізичних компонентів, що

використовується традиційними методами аналізу небезпеки. STPA базується на теорії систем на відміну від FMEA, яка базується на теорії надійності. Більше того, STPA розглядає безпеку як проблему контролю (обмеження) системи, а не проблему відмови компонента [49].

Серед найвагоміших переваг STPA є ефективність пізнішої фази STPA з аналізом ширших сценаріїв. За даними [225], STPA враховує взаємодії компонентів системи та розглядає оцінену систему та її компоненти як сукупність взаємодіючих контурів управління (контрольна дія та обмеження безпеки на поведінку компонентів). STPA вимагає схеми структури управління для аналізу небезпек, що складається з компонентів системи та їх шляхів управління та зворотного зв'язку, тобто підтвердження.

STPA застосовується у два етапи:

1. Визначення потенціалу неадекватного контролю за системою, який може призвести до небезпечного стану. Небезпечний стан - це стан, який порушує вимоги системи безпеки чи обмеження, а отже, може спричинити певні втрати щодо життя, мети чи фінансів.

2. Визначення того, як може відбуватися кожна потенційно небезпечна контрольна дія, визначена на кроці 1 (пошук причинних факторів). Неадекватна контрольна дія може призвести систему до небезпечного стану, і це може дати один із наслідків:

- Не застосовується необхідна контрольна дія.
- Застосовується небезпечна (неправильна) контрольна дія.
- Управлінська дія застосовується занадто рано або занадто пізно (неправильний час або послідовність).
- Дія керування зупиняється занадто рано або застосовується занадто довго. Вищезазначений термін " застосовується " означає правильну передачу дії управління або наказу від одного компонента до іншого компонента системи. Дія керування або команда може зіткнутися з вадами зв'язку, наприклад, із затримкою, помилкою та пошкодженням. Для застосування STPA необхідна функціональна структурна схема управління системою, і всі цикли управління в



системі ідентифікуються з неї. Після цього в кожному циклі управління ідентифікуються всі компоненти, що сприяють небезпечній поведінці досліджуваної системи. Проведено [69] застосування STPA на соціально-технічній системі з трьох контролерів. Вони є критично важливими компонентами системи, оскільки містять модель процесу [48]. Контролер отримує вхідні дані майже від усіх компонентів системи, наприклад, давачів та виконавчих механізмів, а потім виконує внутрішні обчислення для видачі команди.

Для оцінки таких факторів ризику використовується кілька методів, як: кількісна оцінка ризику (QRA), аналіз дерева подій (ETA), підхід матриці ризиків (RMA) та підхід на основі показників (IBA) та ін. Метод моделювання структурних рівнянь, що дозволяє оцінити складні моделі причинно-наслідкових зв'язків із прихованими змінними (Partial Least Square Structural Equation Modeling PLS SEM) є одним із ефективних методів оцінки факторів ризику [230].

Розвиток засобів зв'язку, інформаційних технологій стирають просторові межі між об'єктами взаємодії, з одного боку спрощуючи комунікаційні процеси, а з іншого – ускладнюючи їх організаційну і функціональну структуру [230]. Інтеграція технічної та організаційно-інформаційної структури призводить до ускладнення організаційно-технічних структур, якість та ефективність функціонування яких залежить як від технічної компоненти, так і від організації системи. Система (від гр. *σύντημα* – «сполучення», «ціле», «з'єднання») – множина взаємопов'язаних елементів, яка взаємодіє з середовищем як єдине ціле і відокремлена від нього. Систему в широкому сенсі розуміють як динамічно змінну сукупність пов'язаних об'єктів, яка має властивості організації, зв'язності, цілісності, роздільності [84].

Таким чином, системний підхід (табл. 1.1) до вирішення науково-технічної проблеми у цій роботі вимагає встановлення аналітичних залежностей та багатокритеріальної оптимізації параметрів безпеки СОТС. Питанню складних систем присвячено значну кількість наукових робіт як вітчизняних, так і зарубіжних авторів з системного аналізу, теорії катастроф, теорії складних

систем, теорії організації, теорії управління та менеджменту. Серед найбільш відомих є праці Л. А. Растригина, О. Г. Додонова, Дж. Касті, Е. Аткина, Є. Б. Смірнова, Джон ван Гіга, Г. В. Горєлової, Ю. Я. Бобала, О.Б.Зачка, Д. О. Новікова. Математичним підґрунтям дослідження процесів оцінювання складних організаційно-технічних систем стали теорія графів, теорія фракталів, алгебра топологій, теорія ймовірності, методи математичного моделювання. Незважаючи на те, що проблемним питанням теорії управління якістю кваліметрії у сфері безпеки присвячений ряд наукових праць В. П. Городнова, М.М. Микийчука, Т.З.Бубели, О. М. Загорки, Є. Б. Смірнова, В. І. Ткаченка, Г. А. Дробахи, С. П. Яроша, М. О. Єрмошина, які спрямовані на розвиток теоретичних основ формування системи забезпечення єдності оцінювання та усунення ризиків, у т.ч. метрологічних, дослідження не втрачають своєї актуальності щодо охоплення аспектів безпеки під час експлуатації складних технічних об'єктів.

Таблиця 1.1 – Порівняльний аналіз та систематизація показників стану безпеки СОТС

	<b>Критерій безпеки</b>	<b>Існуючий підхід</b>	<b>Вимоги систематизації</b>
1	Сфера поширення	Всі об'єкти і процеси як незалежні або адитивні комплекси	Довільний склад і наповнення системи із структурно залежних та функціонально самостійних елементів
2	Засоби досягнення	Аналіз і синтез на основі різних дисциплін з наступним поєднанням результатів	Синтез в межах одного наукового підходу за системотворчими принципами
3	Методи досягнення	Адитивне згортання показників безпеки	Оцінювання всіх показників безпеки з врахуванням їх системної взаємодії
4	Основні інструменти	Правила, норми, методичні рекомендації, розрахункові величини	Процес розвитку СОТС через аналітичні залежності та багатокритеріальну оптимізацію

Щодо обговорення поняття «складності» систем існують відомі міри складності систем Н. Гудмена, Дж. Кемени, К. Боулдинга, К. Шеннона, Р.

Акоффа, Е. А. Мамчура та А. І. Уємова [230]. Структурою системи є побудова і внутрішня форма організації системи, що виступає як єдність сталих взаємозв'язків між її елементами, а також законів цих взаємозв'язків [226]. Важливе теоретичне значення у розумінні категорії «складності» мають властивості системи. За цілями та функціями системи стосовно безпеки виділені такі властивості:

- ієрархічність системи задля пріоритету досягнення мети функціонування всієї системи над метою функціонування окремих частин (елементів) системи;
- мультиплікативність, що описує як позитивний, так і негативний ефект функціонування системи як результат множення, а не додавання;
- альтернативність у досягненні мети, що пов'язана з наявністю множини шляхів функціонування системи та породжує ентропію та задачу прийняття рішення.

Організаційні складові властивості СОТС:

- комунікативність – наявність складної ієрархічної системи комунікацій з зовнішнім середовищем;
- взаємодія і взаємозалежність системи та зовнішнього середовища;
- адаптивність – здатність системи змінюватися в результаті внутрішніх або зовнішніх управляючих впливів для досягнення мети функціонування в умовах невизначеності [92];
- надійність – здатність системи функціонувати за умови відмови однієї або декількох підсистем (збереження параметрів функціонування системи протягом запланованого періоду) [96];
- інтерактивність – мета її функціонування досягається шляхом обміну інформацією між елементами цієї системи та взаємодіючих систем, за допомогою яких відбувається взаємодія з іншою системою (середовищем) [226].

Мету функціонування складної системи подано у вигляді моделі стану зовнішнього середовища, яке є бажаним з точки зору системи. Сукупність таких станів є простором станів безпеки *SS*. Перехід до стану з простору бажаних станів здійснюється у СОТС в результаті внутрішнього або зовнішнього управління.

Мету функціонування складної системи зручно формулювати не в термінах стану середовища, а цільових параметрах, які в загальному випадку описуються вектором [230]

$$ZX = (zx_1, \dots, zx_k), \quad (1.1)$$

де кожен цільовий параметр ступеня небезпеки  $zx_i$ ,  $i=1, k$  однозначно визначається ситуацією  $SS$ . Тобто

$$ZX = \psi(SS), \quad (1.2)$$

де  $\psi(SS)$  ( $\psi_1(SS), \psi_2(SS), \dots, \psi_k(SS)$ ) – деяка визначена вектор-функція.

У  $k$ -вимірному просторі БПЯ  $\{ZX\}$  можна задати критерії їхнього досягнення, які можуть бути подані як цільові функції, так і обмеження.

Інше трактування поняття «складної системи» впливає з її особливих властивостей організації:

- відсутність необхідного математичного опису системи як функції  $F$  обчислення стану системи  $Y$  за станами її входів – управляючих  $C$  і неуправляючих  $R$ , тобто  $Y = f(R, C)$  [230];
- наявність невизначеності пов'язаної зі складністю. Система має настільки велику кількість об'єктів управління, таких як людина (колектив людей), частина з яких має власну думку, та зв'язків між ними, кожний з яких вносить невизначеність в її функціонування, так що загальна ентропія перевищує раціональність її управління;
- нестационарність (динамічність) системи, залежність алгоритмів управління та раціональних впливів від часу;
- інформаційна складність, яка характеризується відсутністю (недостатністю) інформації для побудови моделі системи та розрахунку параметрів стану системи;

– алгоритмічна (конструктивна) складність, яка характеризується складністю побудови алгоритму функціонування системи, реалізація якого призводить до досягнення її мети;

Розвиток кібернетичних підходів і теорії інформації визначили застосування міри описової складності та нечіткої міри складності [230]. Опис міри складності зводиться до оцінки кількості елементів і зв'язків між ними у складній системі. Інформацію, яка необхідна для опису даного виду оцінювання модифікації складності розуміють в синтаксичному змісті. Міра дескриптивної складності  $I$  має задовольняти такі умови ( $X_1, X_2$  – складні системи)

- $I(\emptyset) = 0$ ;
- $I(X_1) < I(X_2)$  при  $X_1 \subset X_2$  (1.3)
- $I(X_1) = I(X_2)$  при ізоморфності  $X_1$  та  $X_2$
- $I(X_1 \cap X_2) = I(X_1) + I(X_2)$ , якщо  $X_1 \cap X_2 = (\emptyset)$

Описова міра складності забезпечує оцінку складних детермінованих задач, однак для недетермінованих задач ця міра не може бути прийнятною, оскільки вона не здатна врахувати складність, яку вносить до системи нечіткість стохастичної системи.

Оцінка складності ґрунтується на мірах нечіткості, для ймовірнісного підходу міра складності системи співпадає з мірою ентропії К. Шеннона. Аналіз структури складної системи із застосуванням методів кластерного аналізу є необхідним етапом проведення досліджень. Ознаки класифікації в ході застосування кластерних підходів формалізації складних систем можуть бути як кількісні, так і якісні. Формалізація складних систем за допомогою моделей і методів кластерного аналізу з'єднує суб'єктивні і об'єктивні ознаки елементів систем, тому що людина при класифікаційних побудовах враховує лише обмежену кількість ознак з нескінченної кількості можливих.

Отже, для нескінченного набору властивостей елементів, яким володіє реальна складна система, існує також нескінченна множина варіантів вибору обмежених кластерів. Отже, якщо множина ознак, якими описуються елементи складної системи, є системою опису, а множина значень кожної з ознак, що

враховують, на конкретних об'єктах – описом цих складних систем, то аналогі- моделі складних систем (зокрема, системи-кластеризації) – це системи множин, кожна з яких є описом. Звідси можна зробити висновок, що система-модель, формалізована методами кластерного аналізу, має меншу кількість елементів і зв'язків, ніж складна система-оригінал, але всі елементи та зв'язки, які є у моделі, правильно копіюють прототип.

Для вимірювання ознак застосовуються шкали найменувань, порядку, відносин, бальні, інтервалів [18, 91, 100, 154, 168].

Множина образів варіантів складної систем може бути подана як матриця, що має  $q$  стовпців і  $p$  рядків (порядку  $p \times q$ ), причому номеру стовпця відповідає найменування подання складної системи  $S_j$  ( $j = 1, 2, \dots, q$ ), а номеру рядка – назва ознаки  $Z_i$  ( $i = 1, 2, \dots, p$ ). Інформаційним змістом матриць є відомість про присутність або відсутність кожної з ознаки, що враховуються, у розглянутому поданні системи. При цьому, якщо  $i$ -та ознака присутня в  $j$ -й формалізації складної системі, то на перетинанні  $i$ -го рядка та  $j$ -го стовпця міститься «1», в іншому випадку – «0».

Згідно з традиційним системним аналізом [45, 84, 88, 159, 190, 226], при побудові структури йдеться лише про функції (структуру процесу) без визначення об'єктів, що реалізують ці функції, тобто підсистеми.

Описані моделі дозволяють зробити висновок, що структура складної системи в дійсності не може бути тільки функціональною або тільки об'єктною (субстанційною). Це одна і та сама структура, а формалізація подання залежить від типу мислення аналітика та досліджуваних процесів. Кожна складна система характеризується наявністю певних видів зв'язків між підсистемами. Якщо зв'язки відсутні, то досліджувати складну систему взагалі не має ніякого сенсу. При цьому, з точки зору підсистем, кожна конкретна підсистема складної системи подається перехрестям, тобто вузлом, зв'язками, за якими щось надходить до неї («перетікає») від інших і що-небудь надходить від неї («витікає») до інших (рис. 1.4). Отже, необхідно враховувати, що будь-яка

система обов'язково є споживачем певних видів ресурсів (матеріальних, інформаційних) інших систем, і постачальником певних видів ресурсів для них.

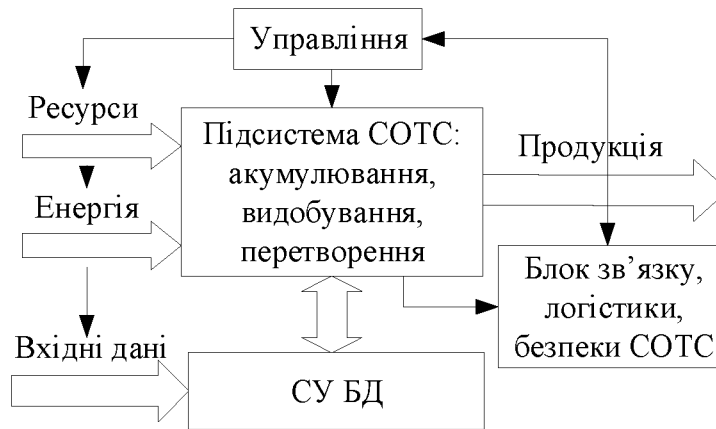


Рисунок 1.4 – Аналіз ділянки зв'язку підсистем СОТС

Виходячи з основних положень теорії систем, будь-яка система є сукупністю елементів, які мають зв'язки між собою й утворюють певну цілісність, єдність з метою досягнення певної мети. В цьому випадку мета є сукупністю результатів, які визначаються призначенням системи. Наявність мети пов'язує елементи в систему, тобто виникає потреба цілісності - найбільш важливої властивості системи. Елемент належить системі тому, що він зв'язаний з іншими її елементами, так що множину елементів, які складають систему, неможливо розділити на деяку підмножину. Усунення з системи елемента або сукупності елементів призводить до зміни її властивості в напрямку, відмінному від мети. При цьому вважається, що зв'язки між окремими елементами системи являють собою взаємодіючі в часі процеси, які певним чином об'єктивно організовані, тобто мають свій порядок [90, 139, 230]. Цей порядок базується на причинно-наслідкових зв'язках між явищами. В теорії систем причинний процес називають входом, а процес-наслідок – виходом.

Системний аналіз розвиває методи проєктування СОТС. Крім того, існує поняття "системний підхід", яке відображає деякі тенденції в створенні систем. В розвитку науки завжди пролягають дві лінії - аналіз і синтез, де аналіз – вивчення конкретних фактів, проникнення в глибину явища, розкриттю його

структури; тоді як синтез – дозволяє об'єднати різні факти, побачити перспективи того чи іншого процесу, його зв'язки з іншими явищами і т.д.

До характерних особливостей складних систем можна віднести [90, 230]:

велика кількість взаємозв'язаних між собою елементів і підсистем, які характеризуються їх різною фізичною сутністю;

багатовимірність системи, яка обумовлена наявністю великої кількості зв'язків між підсистемами;

взаємодія із зовнішнім середовищем і функціонування в умовах дії випадкових факторів;

різноманітність структури складної системи, яка обумовлена властивостями її підсистем, так і об'єднанням підсистем в єдину систему;

наявність керування, яке має ієрархічну структуру, а також розгалуженої інформаційної мережі і інтенсивних інформаційних потоків;

Наслідки наявності таких властивостей:

1) наявність великої кількості критеріїв оцінки якості функціонування системи і її підсистем;

2) існування ознак системи, які відсутні у кожного окремого елемента (наприклад, резервована система надійна, а її елементи можуть бути ненадійними; замкнена система, яка складається зі стійких елементів, може бути нестійкою);

3) відсутність можливості отримання достовірної інформації про властивості системи в цілому в результаті вивчення її окремих елементів.

### **1.3. Стан проблеми встановлення і досягнення прийняттого рівня безпеки в технічному регулюванні складних організаційно-технічних систем**

Критерії, за якими оцінюється ступінь ризику від провадження господарської діяльності встановлені Постановами Кабінету Міністрів України «Про затвердження критеріїв, за якими оцінюється ступінь ризику від провадження господарської діяльності та визначається періодичність здійснення



планових заходів державного нагляду (контролю) у сфері техногенної та пожежної безпеки Державною службою з надзвичайних ситуацій» [180, 181]:

1. Критеріями, за якими оцінюється ступінь ризику від провадження господарської діяльності у сфері техногенної та пожежної безпеки, є:

1) провадження суб'єктом господарювання діяльності на: потенційно небезпечних об'єктах, об'єктах підвищеної небезпеки (ОПН), ідентифікованих відповідно до Закону України «Про об'єкти підвищеної небезпеки» 18.01.2001 № 2245-III (далі — Закон № 2245), а також об'єктах, що мають стратегічне значення для економіки і безпеки держави, згідно з переліком, затвердженим постановою Кабінету Міністрів України від 4 березня 2015 р. № 83 (Офіційний вісник України, 2015 р., № 20, ст. 555), та метрополітенах (ДБН В.2.3-7-2010 «Споруди транспорту. Метрополітени»); та об'єктах, віднесених до відповідної категорії за вибухопожежною та пожежною безпекою (визначається відповідно до ДСТУ Б В.1.1 -36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною безпекою»);

2) клас наслідків (відповідальності) об'єкта відповідно до Закону України «Про регулювання містобудівної діяльності» від 17 лютого 2011 р. № 3038-VI (далі — Закон № 3038);

3) умовна висота будинку згідно з ДБН В. 1.1 -7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги»;

4) площа об'єкта;

5) наявність підземних та/або підвальних поверхів, приміщень, споруд;

6) належність об'єкта до пам'яток культурної спадщини національного та місцевого значення, що включені до Державного реєстру нерухомих пам'яток відповідно до Закону України «Про охорону культурної спадщини»;

7) показник ризику від провадження господарської діяльності суб'єкта господарювання, розрахунок якого здійснюється відповідно до затверджених методик (значення прийняттого, мінімального та гранично допустимого ризиків визначаються Концепцією управління ризиками виникнення надзвичайних

ситуацій техногенного та природного характеру, схваленою розпорядженням Кабінету Міністрів України від 22 січня 2014 р. № 37-р (Офіційний вісник України, 2014 р., № 10, ст. 333);

8) надання послуг, проведення аварійно-рятувальних та інших невідкладних робіт аварійно-рятувальними службами.

2. Відповідно до встановлених критеріїв суб'єкти господарювання, які провадять діяльність на території та/або в приміщеннях, що належать їм на правах власності, володіння, користування, відносяться до одного з трьох ступенів ризику — високого, середнього або незначного.

До суб'єктів господарювання з високим ступенем ризику належать суб'єкти [181]:

1) ОПН та об'єктів, що мають стратегічне значення для економіки і безпеки держави (у сфері оборони; паливно-енергетичному комплексі; транспортній галузі; підприємства, що забезпечують розміщення і зберігання матеріальних цінностей державного резерву; авіаційній та ракетно-космічній, машинобудівній, харчовій промисловості; металургійному, хімічному комплексах; поліграфії), та метрополітенів;

промислових, складських будівель (споруд) зовнішніх установок, які за категорією вибухопожежної небезпеки відносяться до категорії «А» чи «Б»;

промислових будівель (споруд), зовнішніх установок, які за категорією пожежної небезпеки відносяться до категорії «В», площею 5 тис. м<sup>2</sup> та більше;

складських будівель (споруд), зовнішніх установок, які за категорією пожежної небезпеки відносяться до категорії «В», площею 10 тис. м<sup>2</sup> та більше;

об'єктів, які за класом наслідків (відповідальності) належать до об'єктів зі значними наслідками (СС-3);

об'єктів, які є будинками та/або спорудами з умовною висотою понад 47м;

об'єктів, які є пам'ятками культурної спадщини національного значення;

об'єктів, для яких показник ризику від провадження господарської діяльності суб'єкта господарювання становить від  $5 \times 10^{-6}$  до  $1 \times 10^{-5}$  включно;

2) які є державною, регіональною, комунальною, об'єктовою чи громадської організації аварійно-рятувальною службою.

До суб'єктів господарювання із середнім ступенем ризику відносяться суб'єкти, які провадять діяльність на території та/або в приміщеннях, що належать їм на і праві власності, володіння, користування [181]:

1) потенційно небезпечних об'єктів, а також об'єктів, що мають стратегічне значення для економіки і безпеки держави (у сфері агропромислового комплексу, телекомунікацій та зв'язку, наукової діяльності, сфери стандартизації, метрології та сертифікації, гідрометеорологічної діяльності, промисловості будівельних матеріалів, фінансово-бюджетної сфери, легкої промисловості);

2) промислових, складських будівель (споруд), зовнішніх установок, які за категорією пожежної безпеки відносяться до категорії «В», площею до 5 тис. м<sup>2</sup> — для промислових будівель (споруд), зовнішніх установок; і до 10 тис. м<sup>2</sup> — для складських будівель (споруд);

3) об'єктів, які розташовані на підвальних та/або підземних поверхах, у приміщеннях, спорудах;

4) об'єктів, які за класом наслідків (відповідальності) належать до об'єктів із середніми наслідками (СС-2);

5) об'єктів, які є будинками та/або спорудами з умовною висотою від 26,5 до 47 м включно;

6) об'єктів, які є пам'яткою культурної спадщини місцевого значення;

7) об'єктів, для яких показник ризику від провадження господарської діяльності суб'єкта господарювання становить від  $1 \times 10^{-6}$  до  $5 \times 10^{-6}$  включно.

До суб'єктів господарювання з незначним ступенем ризику відносяться суб'єкти, що не належать до суб'єктів господарювання з високим і середнім ступенем ризику, а також суб'єкти, у власності, володінні, користуванні яких перебувають об'єкти, для яких показник ризику від провадження господарської діяльності суб'єкта господарювання становить менше ніж  $1 \times 10^{-6}$ . Зведення вимог НД до безпеки об'єктів економіки за ступенем ризику та класом наслідків

показано на рис. 1.5. Планові заходи державного нагляду (контролю) за додержанням суб'єктами господарювання вимог законодавства у сфері техногенної та пожежної безпеки здійснюються ДСНС з такою періодичністю: з високим ступенем ризику – не частіше ніж один раз на два роки; із середнім ступенем ризику – не частіше ніж один раз на чотири роки; з незначним ступенем ризику – не частіше ніж один раз на шість років. У разі коли за результатами не менш як двох останніх планових заходів державного нагляду (контролю) не виявлено фактів порушення вимог законодавства у сфері техногенної та пожежної безпеки, наступний плановий захід державного нагляду (контролю) щодо такого суб'єкта господарювання здійснюється не раніше ніж через установлений для відповідного ступеня ризику період, збільшений у 1,5 рази.

У разі коли суб'єкт господарювання може бути віднесений одночасно до двох або більше ступенів ризику, такий суб'єкт належить до більш високого ступеня ризику з них.

Стосовно безпеки будівель в Україні встановлюються класи наслідків. Згідно зі ст. 32 Закону № 3038 клас наслідків (відповідальності) будівель і споруд — це характеристика рівня можливої небезпеки для здоров'я і життя людей, які постійно або періодично перебуватимуть на об'єкті або які знаходитимуться зовні такого об'єкта, матеріальних збитків чи соціальних втрат, пов'язаних із припиненням експлуатації або з втратою цілісності об'єкта.

До значних наслідків (СС-3) належать такі об'єкти:

пам'ятки культурної спадщини, визначені відповідно до Закону України «Про охорону культурної спадщини» від 8 червня 2000 р. № 1805-III (далі — Закон № 1805);

ОПН, ідентифіковані відповідно до Закону № 2245;

житлові, громадські або багатофункціональні будівлі заввишки понад 100 м та/або з рівнем можливої небезпеки для здоров'я і життя людей понад 400 осіб, які постійно перебувають на об'єкті.

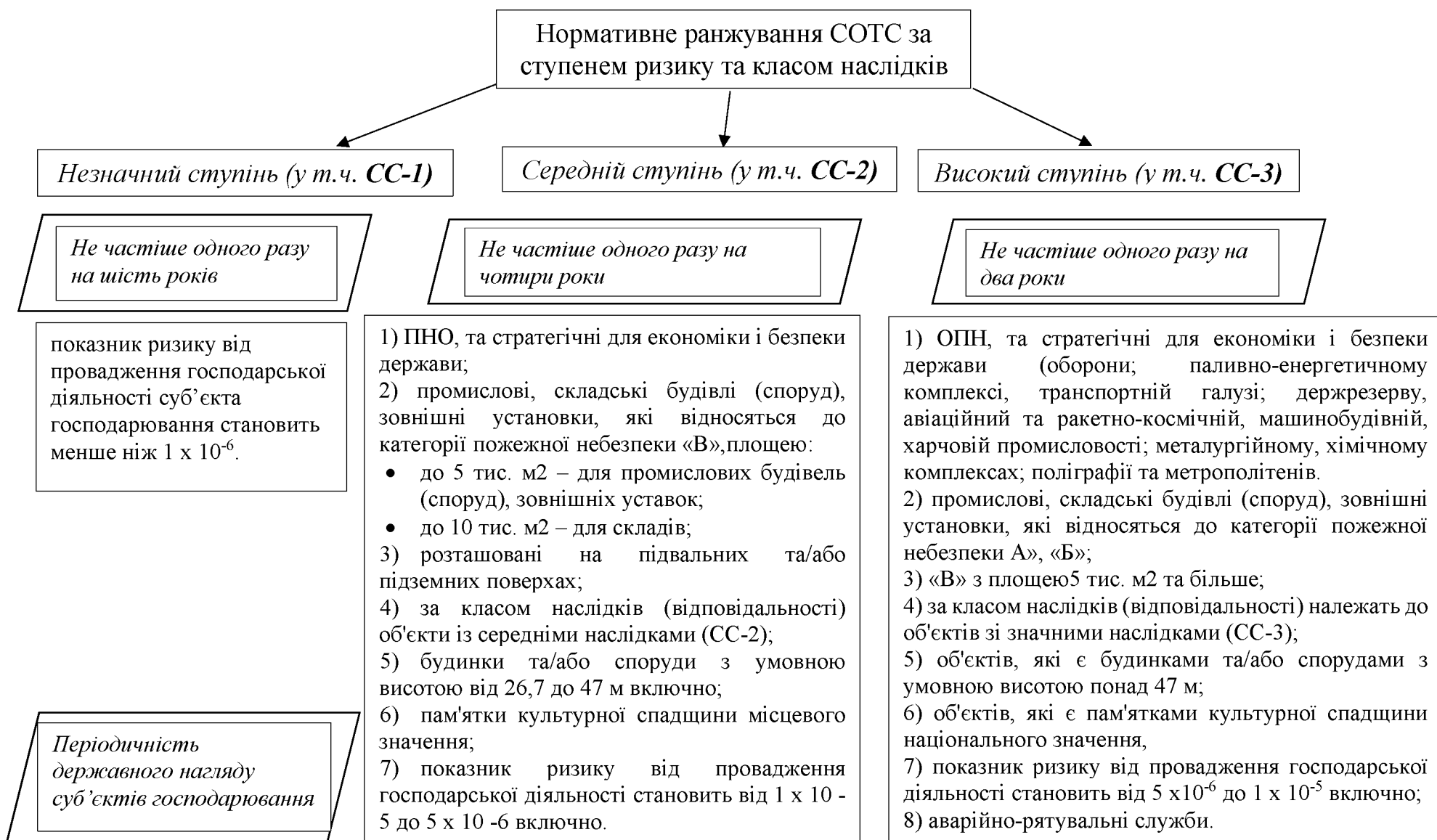


Рисунок 1.5 – Співвідношення вимог НД до безпеки об'єктів економіки за ступенем ризику та класом наслідків

Таблиця 1.2 – Клас наслідків (відповідальності) будівлі або споруди

Клас наслідків (відповідальності) будівлі або споруди	Характеристики можливих наслідків від відмови будівлі або споруди					
	Можлива небезпека для здоров'я і життя людей, кількість осіб			Обсяг можливого економічного збитку, м.р.з.п.	Втрата об'єктів культурної спадщини, категорії об'єктів	Припинення функціонування комунікацій транспорту, зв'язку, енергетики, інших інженерних мереж, рівень
	які постійно перебувають на об'єкті	які періодично перебувають на об'єкті	які перебувають поза об'єктом			
СС-3 значні наслідки	понад 300	понад 1000	понад 50 000	понад 150 000	національного значення	загальнодержавний
СС-2 середні наслідки	від 20 до 300	від 50 до 1000	від 100 до 50 000	від 2000 до 150 000	місцевого значення	регіональний, місцевий
СС-1 незначні наслідки	до 20	до 50	до 100	до 2000	—	—

До середніх наслідків (СС-2) можуть бути віднесені об'єкти:

характеристики можливих наслідків від відмови (стану об'єкта, при якому неможливо використовувати його або складову частину за функціональним призначенням) яких перевищують (таблиця 1):

- рівень можливої небезпеки для здоров'я і життя людей, які постійно перебуватимуть на об'єкті, — 50 осіб;

- рівень можливої небезпеки для здоров'я і життя людей, які періодично перебуватимуть на об'єкті, — 100 осіб;

- рівень матеріальних збитків чи соціальних втрат, пов'язаних із припиненням експлуатації або з втратою цілісності об'єкта, — 2500 мінімальних заробітних плат;

- пам'ятки культурної спадщини національного та місцевого значення, визначені відповідно до Закону № 1805;

- нове будівництво яких здійснюється в охоронній зоні пам'яток культурної спадщини національного та місцевого значення (розміри охоронної зони не можуть бути менші за два горизонтальні або два вертикальні розміри пам'ятки);

- ОПН, ідентифіковані відповідно до Закону № 2245;

- житлові будинки понад чотири поверхи;

- об'єкти, які підлягають оцінці впливу на довкілля відповідно до Закону України «Про оцінку впливу на довкілля» від 23 травня 2017 р. № 2059-VIII.

Згідно з ДБН В.1.2-14-2009 «Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ» класифікація будівель і споруд узгоджена з ДСТУ-Н Б В. 1.2-13 і виконується відповідно до вказівок таблиці 1.2 незалежно за кожною з наведених в її стовпцях характеристикою можливих збитків та втрат від відмови. Будівлі або споруди в цілому присвоюється найвищий з отриманих (найбільший за номером) клас.

Таким чином, в обох наведених нормативних документах щодо оцінювання ризику небезпеки, нормотворець виходить з принципу поглинання більшою небезпекою меншої та встановлення необхідної відповідності вимог безпеки до вищої оцінки ступеня ризику.

Стосовно безпеки, яка є обернено-пропорційною функцією до ризику і небезпеки, згідно з принципом відповідності вимог до більшої небезпеки, функція безпеки складових частин не додає суперадитивного нелінійного об'єднання, що запобігає негативному результату – переоцінки стану безпеки. Таким чином, для СОТС функція безпеки є сумою функцій її складових частин.

Відповідно до законодавства у сфері державного ринкового нагляду суб'єкти господарювання зобов'язані вводити в обіг лише безпечну продукцію. Права суб'єктів господарювання, а також особливості проведення перевірок характеристик продукції у її виробників визначено Законом України «Про державний ринковий нагляд і контроль нехарчової продукції» (далі – Закон про ринковий нагляд). Обов'язки суб'єктів господарювання під час здійснення ринкового нагляду та контролю продукції встановлюються Законом про ринковий нагляд, Законом України «Про загальну безпечність нехарчової продукції», виданими відповідно до них іншими нормативно-правовими актами, технічними регламентами. Так, суб'єкти господарювання зобов'язані надавати на вимогу органів ринкового нагляду документацію, що дає змогу ідентифікувати будь-який суб'єкт господарювання, який поставив чи якому вони

поставили їм відповідну продукцію. Також суб'єкти господарювання зобов'язані зберігати зазначену документацію, протягом строку, встановленого відповідним технічним регламентом, а якщо такий строк технічним регламентом не встановлено:

виробник – протягом десяти років від дня введення ним відповідної продукції в обіг;

уповноважений представник, імпортер або розповсюдjuвач – протягом десяти років від дня одержання ним відповідної продукції.



Рисунок 1.6 – Структурна схема інфраструктури якості у сфері технічного регулювання в Україні та відсутність дієвого зворотного зв'язку у ній

Водночас Законом України Про ринковий нагляд встановлено права посадових осіб, які здійснюють ринковий нагляд, відповідно до яких вони мають право вимагати від суб'єктів господарювання надання документів і матеріалів, необхідних для здійснення ринкового нагляду, одержувати копії таких документів і матеріалів. Також у разі, якщо під час проведення органами ринкового нагляду перевірок характеристик продукції суб'єктом господарювання надано висновки експертизи, протоколи випробувань



продукції, сертифікати відповідності або інші документи про відповідність, видані за результатами добровільної оцінки відповідності акредитованими органами з оцінки відповідності, органи ринкового нагляду належним чином ураховують ці документи.

Моніторинг продукції (рис.1.6) здійснюється органами ринкового нагляду після введення її в обіг. Таким чином, ринковий нагляд формально не здійснюється на стадіях проектування та виробництва, тобто до того, як виробник взяв на себе відповідальність за відповідність продукції, як правило, через складання декларації про відповідність та нанесення знака відповідності. Утім, співпраця на стадіях проектування та виробництва можлива між органами з оцінки відповідності та суб'єктами господарської діяльності. Таке співробітництво може допомогти у вжитті запобіжних заходів та у якомога ранішому виявленні проблем, пов'язаних із безпечністю та відповідністю, гармонізації сучасної системи технічного регулювання та споживчої політики України відносно норм та правил Європейського Союзу.

Це значною мірою залежить від стану та розвитку національної системи стандартизації та метрології, зокрема з питань проведення експериментальних досліджень і випробувань на необхідному технічному рівні.

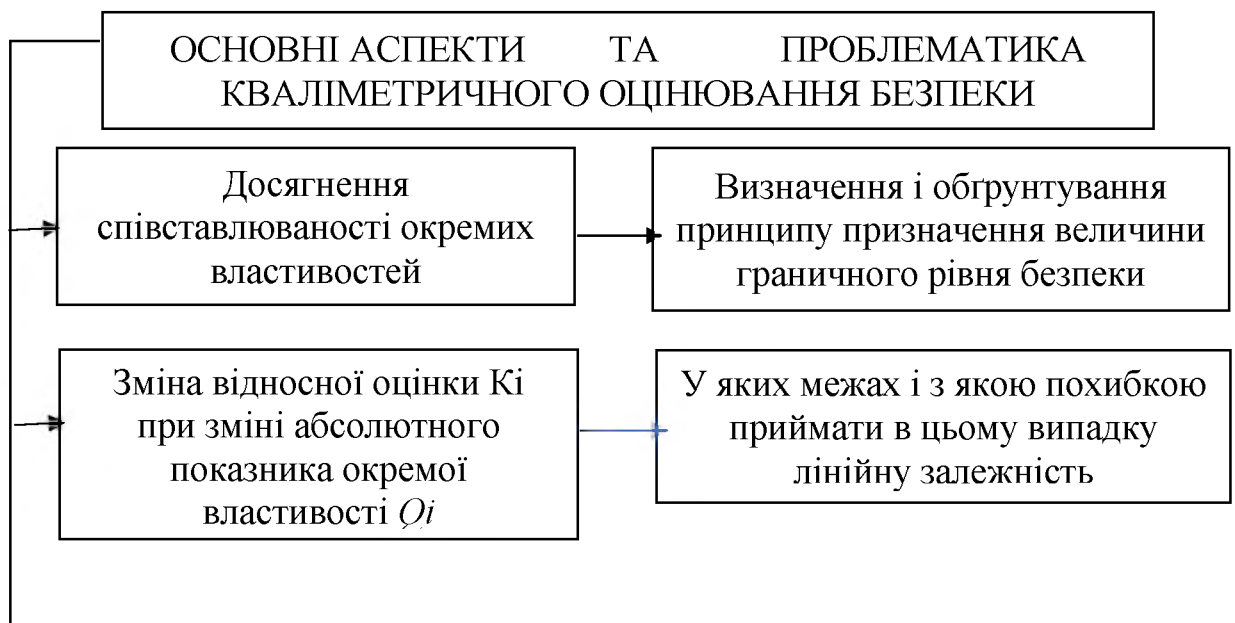
#### **1.4. Формулювання напрямів дослідження**

Для систематизації вимог безпеки до складних організаційно-технічних систем на підставі кваліметричних методів і засобів отримання параметрів безпекових показників якості (БПЯ) та наукового обґрунтування методу комплексного оцінювання рівня безпеки складних організаційно-технічних систем необхідно виконати завдання:

- провести аналіз вимог законодавчих та нормативних документів щодо оцінювання небезпечних чинників СОТС, провести аналіз наукових публікацій на предмет теоретичних підходів щодо поставленої мети;
- сформулювати принципи визначення номенклатури БПЯ та загальної оцінки безпеки;

- дослідити основні підходи до структурування характеристик об'єктів оцінювання безпеки;
- запропонувати математичну модель визначення числових характеристик стану безпеки об'єкта з врахуванням оцінювання ризику;
- застосувати систему залежностей між різнорозмірнісними показниками небезпек та їх оцінками на відносній шкалі, які би враховували важливість небезпечного чинника залежно від оцінки ризику;
- запропонувати числові характеристики оцінок безпекових показників з метою визначення управлінських дій;
- запропонувати метод валідації оцінювання безпеки;
- застосувати метод експертних оцінок для вибору параметру форми залежності, зважаючи на ступінь негативного впливу небезпечного чинника;
- провести визначення числових оцінок одиничних та комплексного безпекового показників якості елементів безпеки складних організаційно-технічних систем в залежності від параметрів об'єкта та застосувати метод валідації процесу оцінювання для отриманих значень.

Згідно з методами кваліметрії при оцінюванні якості визначення комплексного показника безпеки ( $SS$ ), задля співставлюваності властивостей, часто застосовують не абсолютні показники значень цих окремих властивостей ( $Qi$ ), а деякі відносні величини ( $Ki$ ), які характеризують ступінь наближення абсолютного показника  $Qi$  до граничного рівня безпеки  $Qigr$ . Звідси постає проблема визначення і обґрунтування принципу призначення величини граничного рівня безпеки  $Qigr$ .



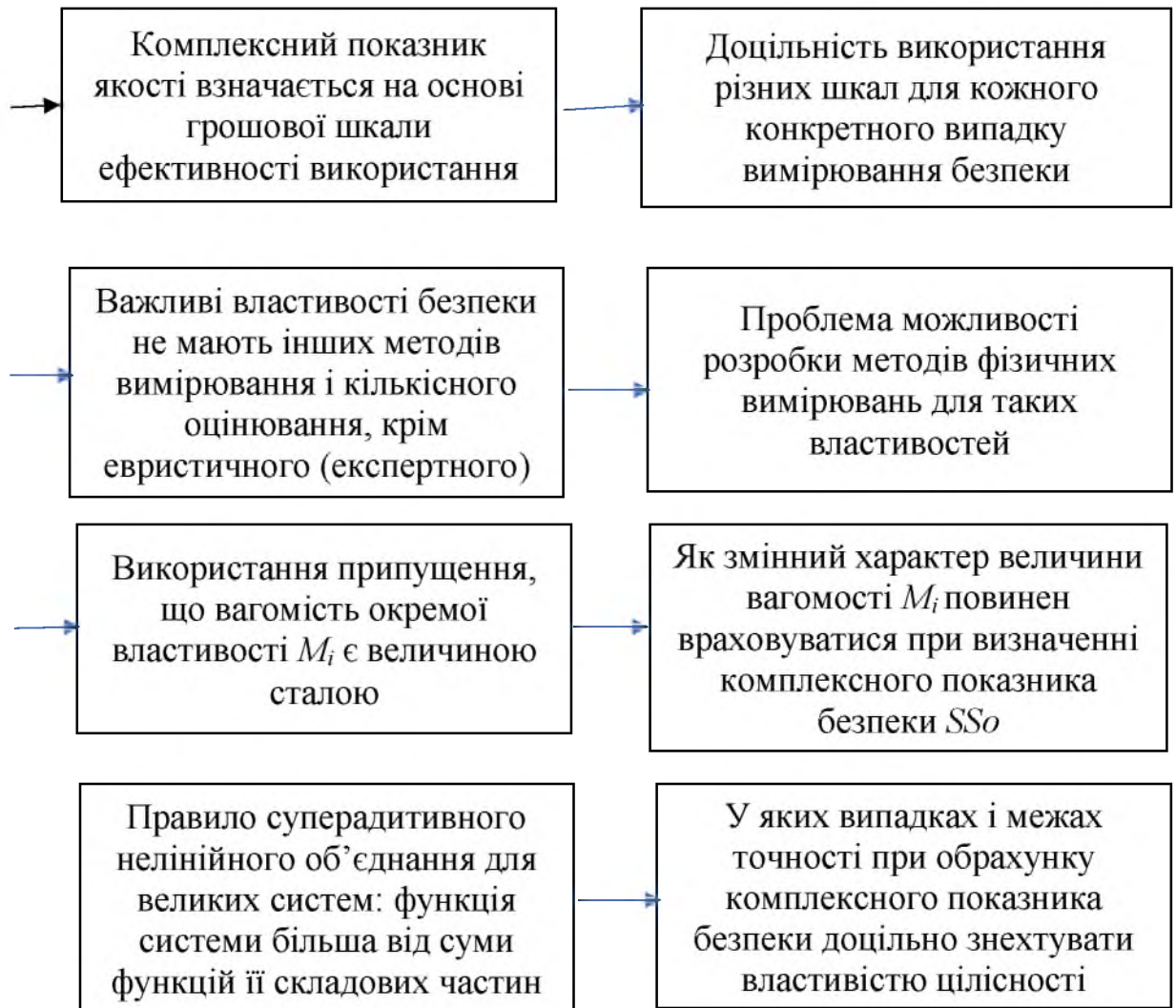


Рисунок 1.7 – Основна проблематика кваліметрії безпеки

При зміні абсолютного показника окремої властивості  $Q_i$  змінюється і його відносна оцінка  $K_i$ . За загальними принципами і методами безпеки при визначенні виду залежності цих величин стосовно СОТС проблематичним є вирішення індивідуально для кожного показника відносної оцінки і чи допустимо і в яких межах і з якою похибкою приймати в цьому випадку лінійну залежність, що дуже часто використовується на практиці.

У багатьох методиках кваліметрії комплексний показник, як і показники окремих властивостей якості ( $Q_i$ ), а так само і безпеки ( $SSo$ ), визначаються на основі грошової шкали ефективності використання цього продукту. В інших випадках використовують шкали, виражені, наприклад, в балах, відсотках і т. д.

Проблемою є доцільність використання різних шкал для кожного конкретного випадку вимірювання безпеки та оцінювання і вибору кращої з них.

До сьогоднішнього часу низка важливих властивостей безпеки ще не мають інших методів вимірювання і кількісного оцінювання, крім евристичного (експертного). Існує проблема можливості розробки методів фізичних вимірювань і для цих властивостей та визначення напрямку, де можна отримати практичні методики вимірювання і оцінювання цих властивостей.

Практично у всіх існуючих на даний час методиках оцінювання якості використовується припущення, що вагомість окремої властивості  $M_i$  є величиною сталою. Однак якщо вагомість  $M_i$  є величиною змінною, яка залежить від співвідношення показників ( $Q_i$ ) різних властивостей, то як цей змінний характер величини вагомості  $M_i$  повинен враховуватися при визначенні комплексного показника безпеки  $SSo(Q_i)$  і також те, що майже всі відносні ( $K_i$ ) показники безпеки є функцією часу. Врахування дії фактору часу при вимірюванні і оцінюванні якості є однією з проблем сьогодення.

Проблемою для деяких об'єктів, які можуть інтерпретуватися як складні, великі системи, є вірогідність виникнення перешкоди для використання сумуючих функцій. Вона формулюється як правило суперадитивного нелінійного об'єднання (властивість цілісності), згідно з яким для великих систем функція системи більша від суми функцій її складових частин:

$$f(x, y) > f(x) + f(y).$$

Виникає питання, в яких випадках і в яких межах точності при обчисленні комплексного показника безпеки доцільно знехтувати властивістю цілісності.

Також проблематичним є знаходження значення похибки отримання оцінок як окремих властивостей безпеки, так і якості загалом.

## Висновки до розділу 1

1. Ухвалення в Україні нормативних документів, що очікуються для заповнення прогалін у законодавстві, не розв'язує усіх проблем технічного регулювання у сфері цивільного захисту, техногенної і пожежної безпеки. Ці

проблеми пов'язані з неналежною адаптацією національних технічних регламентів до актів ЄС, відсутністю належного фінансування робіт з розроблення національних стандартів під технічні регламенти, запровадженням мораторію на здійснення державного ринкового нагляду.

2. Виходячи з принципу поглинання більшою небезпекою меншої та встановлення необхідної відповідності вимог безпеки до вищої оцінки ступеня ризику, стосовно безпеки, яка є обернено-пропорційною функцією до ризику і небезпеки, згідно з принципом відповідності вимог до більшої небезпеки, функція безпеки складових частин не дає суперадитивного нелінійного об'єднання.

3. Окреслено основні проблеми кваліметрії безпеки: визначення і обґрунтування принципу призначення величини граничного рівня безпеки  $Q_{igr}$ ; вирішення індивідуально для кожного показника відносної оцінки і чи допустимо і в яких межах і з якою похибкою приймати лінійну залежність; доцільність використання різних шкал для кожного конкретного випадку вимірювання безпеки та оцінювання і вибору кращої з них; розроблення методів фізичних вимірювань для комплексних властивостей та визначення напрямку, де можна отримати практичні методики вимірювання і оцінювання цих властивостей; як змінний характер величини вагомості  $M_i$  повинен враховуватися при визначенні комплексного показника безпеки  $SSo$ ; врахування дії фактору часу при вимірюванні і оцінюванні якості; в яких випадках і в яких межах точності при обрахунку комплексного показника безпеки доцільно знехтувати властивістю цілісності.

## **Розділ 2. НАУКОВО-ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ОЦІНЮВАННЯ БЕЗПЕКИ СКЛАДНИХ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ З УРАХУВАННЯМ ЗАСОБІВ УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ**

Оскільки норми законодавства України щодо якості та безпечності у сфері цивільної безпеки недостатньо наближені до норм міжнародного законодавства, трапляються прогалини та суперечності в законах та підзаконних актах, у нормах технічного регулювання і є чинними застарілі стандарти, істотно відмінні від міжнародних щодо класифікації за якістю, безпечністю та методами їх контролю, посилюється значення методологічних досліджень стосовно наукових, теоретичних, нормативних основ технічного регулювання оцінювання безпеки задля досягнення якості [98].

### **2.1. Понятійно-категорійний апарат у сфері управління безпекою**

Місцем застосування технічного регулювання в загальному випадку є організаційно-технічна система, яка складається із взаємопов'язаних матеріальних об'єктів (технічних засобів і персоналу, який забезпечує їх функціонування і застосування за призначенням), створених для безпосереднього виконання виробничої або іншої споживчої функції. Іншим рівнем є складна ОТС (СОТС) – це ієрархічний людино-машинний комплекс, що функціонує, реалізуючи його властивості, для досягнення мети відповідно до суспільної потреби. Тут під метою розуміється бажаний результат діяльності, що досягається в межах деякого інтервалу часу [88, 165, 190 ].

У системі необхідний результат отримують шляхом енергетичних та інформаційних перетворень деяких ресурсів, тобто за рахунок сукупності дій, у процесі виконання яких ресурси перетворюються у потрібну продукцію. Найпростішою (елементарною) ОТС є робоче місце із штатним персоналом. У загальному випадку реальна СОТС є ієрархічна система, утворена множиною найпростіших (елементарних) ОТС.

Організаційна складова тут охоплює спосіб взаємозв'язку і взаємодії між її елементами, що забезпечують їх об'єднання в дану СОТС, поділяється на

постійну (інваріантну) та змінні частини. Перша частина визначає структуру ОТС, а друга - програму її функціонування [165]. За вертикальним поділом ця складова має дві підсистеми: керуючу і керовану, елементи якої реалізують функції перетворення ресурсів у результат. Технічна складова містить матеріальні засоби виробництва, комунікування та ін., що так само поділяються на основні та допоміжні.

Об'єкти, що не входять в СОТС, є зовнішнім середовищем і можуть впливати на саму СОТС, ресурси або результат її функціонування. До зовнішнього середовища відносяться СОТС вищого рівня у порівнянні з розглянутою ОТС, навколишнє природне середовище. У цілому зовнішні фактори, що зумовлюють показники якості та надійності СОТС і її елементів, визначають випадковий характер умов її функціонування і застосування та подані на рис. 2.1 [27, 56, 88, 17].

На рис. 2.1 наведено матрицю взаємодії  $17 \times 13$  первинних небезпечних процесів на вертикальній осі з пов'язаними вторинними небезпечними процесами на горизонтальній осі. 17 типів небезпечних процесів на обох осях однакові, і кожен набір процесів розподілений на однакові 3 групи: надземні, підземні та об'єднані, представлених сірими смугами. Виявлені в процесі аналізу взаємозв'язки між первинним небезпечним процесом з вторинним небезпечним процесом, матриця взаємодії клітини затінена сірим. Взаємодія між "тим самим" процесом (чорний фон) не розглядається, тому загальна кількість клітин, де можна виявити взаємодію, становить  $17 \times 12 = 204$ . Загалом 63 клітини (31% з) мають взаємозв'язок між двома небезпечними процесами. Кожна з цих клітин включає часовий код, що описує, чи відбувається пов'язаний з цим вторинний небезпечний процес до (Д), під час (З) та / або після (П) первинного небезпечного процесу. У комірці, де ідентифіковані зв'язки, показано одна, дві або три з цих літер (див. рис. 2.1). Ця методологія виконана з грубою роздільною здатністю, але дає огляд небезпек для СОТС, що підходить для цього масштабу аналізу. Матриця взаємодії  $17 \times 13$ , подана на рис. 2.1, забезпечує візуальну перспективу щодо найбільш вірогідних взаємодій між небезпечними процесами. Обмеження

вибором 17 типів небезпечних процесів довільне, оскільки існують інші небезпечні процеси. Також можливо, що взаємодії між обраними небезпечними процесами можуть бути відсутніми. Це може бути пов'язано з: 1) низько імовірними взаємодіями, що існують між первинними та пов'язаними з ними вторинними антропогенними процесами, які не зафіксовані в літературі; 2) прогалинами в знаннях, що призводять до пропущених взаємодій; 3) видами деяких взаємодій, що існують лише у місцевому просторовому вимірі, але не в глобальному масштабі. Хоча ці обмеження можливі, та наслідки пропущених зв'язків низькі. Основна мета огляду та аналізу на рис. 2.1 - розглянути ступінь взаємодії та вплив цих взаємодій на побудову багатокритеріальної системи безпеки СОТС. Підсумки можуть бути підкріплені додатковими взаємодіями.

Кількість пов'язаних вторинних небезпечних процесів, що відбуваються до (д), під час (з) та після (п) первинних, відбувається у такій кількості випадків (у дужках наведено % від асоційованих вторинних взаємодій): [Д ] 32 (50%), [З] 47 (73%) та [П] 28 (44%) випадків. У 25 (41%) із 63 первинних асоційованих вторинних взаємодій часова поява є одинарна. У 32 (50%) із 63 первинних асоційованих вторинних взаємодій часова послідовність є або до та під час, або під час та після, а у 6 (9%) взаємодій часова послідовність є і до, і під час і після. Матриця взаємодії та часова класифікація взаємодій небезпек свідчать про те, що ці взаємодії є широко розповсюдженими і є важливим фактором, який слід враховувати при визначенні впливу небезпечних процесів на СОТС та взаємодії з природними небезпеками.

З огляду на все викладене вище, процес функціонування ОТС можна подати у вигляді схеми, наведеної на рис.2.2.

Під якістю СОТС розуміється тільки якість її будови. Це означає, що її властивості залежать тільки від властивостей об'єктів, що становлять СОТС і їх організації в єдине ціле, тобто від особливостей структури ОТС і програми її функціонування.

Антропогенні процеси можуть впливати на виникнення, частоту чи інтенсивність природних небезпек. Визначення та розуміння антропогенних



Види діяльності та небезпек		Вторинні прояви небезпек													
		Витяг підземних вод	Введення матеріалу (рідини)	Видалення рослинності	Зміна сільського	Урбанізація	Будівництво (навантаження) інфраструктури	Інфраструктура (навантаження)	Заповнення ґрунтом	Будівництво водосховища та дамб	Дренаж та зневоднення	Додавання води	Хімічний вибух	Горіння (пожежа)	
		1	5	6	7	8	9	11	12	13	14	15	16	17	
1.	Надземні	Первинні прояви небезпек													
		Витяг підземних вод													
		Видобуток нафти / газу	з	з			д, з	д, з	д, з					з	
		Будівництво підземної інфраструктури								з, п		д, з		з	
		Надземний видобуток	з				д, з	д, з	д, з	з, п	д, з	д, з		з	
5.	Введення матеріалу (рідини)						д, з	д, з							
6.	Використання площ	Видалення рослинності					п								
		Зміна сільського господарювання	з, п		д, з		п				д			д, з	
		Урбанізація	з, п	з, п	д, з	з, п		д, з, п	д, з, п	д	д, з, п	д	з, п		
9.	Видобування	Будівництво інфраструктури			д		п		з, п	п		д, з		з	
		Видобуток корисних копалин / поверхні	з		д			д, з	д, з	з, п	д, з, п	д, з		з	
11.	Завантаження	Інфраструктура (навантаження)			д		з, п	д, з, п							
		Заповнення ґрунтом					п		п						
		Будівництво водосховищ та дамб							д, з	д, з, п					
14.	Над і підземні	Дренаж та зневоднення	п				п		п				з, п		
		Додавання води										з, п			
		Хімічний вибух								п					
		Горіння (пожежа)													

Рисунок 2.1 – Фактори впливу на умови функціонування СОТС і її елементів, де

часовий код, що пов'язує вторинний небезпечний процес: до ( $D=6$ ), під час ( $Z=9$ ) та / або після ( $\Pi=10$ ) первинного; ( $D,Z=20$ ), під час і після – ( $Z,\Pi=12$ ); ( $D,Z,\Pi=6$ )

процесів та їх просторово-часової актуальності є важливими для: а) оцінювання потенціалу природних небезпек, б) розроблення цілісних рамок багатьох небезпек для даного регіону та в) визначення можливого зменшення ризику стихійних лих. Як приклад впливу [43, 63, 64, 80, 201, 205] антропогенних процесів на природні небезпеки є частота утворення блискавок. Множинні антропогенні процеси можуть змінити ступінь сприйнятливості атмосферних шарів до електризації і, таким чином, збільшити або зменшити загальну ймовірність появи блискавки.

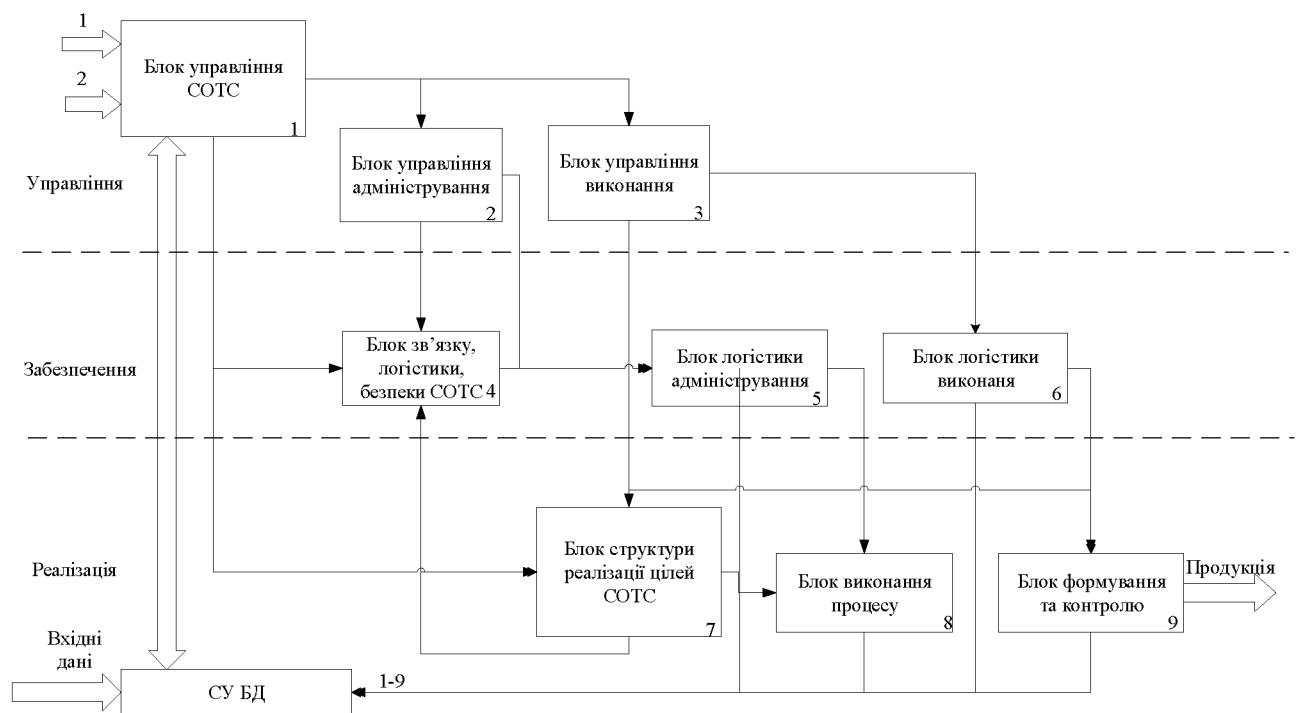


Рисунок 2.2 – Функціональна схема управління СОРС

Таким чином, якість СОРС - це властивість або сукупність властивостей, які обумовлюють її придатність для застосування за призначенням на різних етапах життєвого циклу [165, 204, 215, 217]. Призначення результату, перелік його істотних властивостей і вимоги до нього визначається ОТС, в інтересах якої планують і прагнуть отримати даний результат (див. рис.2.2).

У працях [194, 204, 215, 217] зроблена спроба знайти співвідношення понять безпеки і ризику для управління якістю, через розгляд понять «безпека,

безпеку, небезпека, ризик, загроза». Характеристикою безпечності продукції (тобто виробів, процесів, послуг з точки зору їх технічного забезпечення) є її якість як узагальнюючий критерій, а необхідний рівень безпеки життєдіяльності у всіх галузях досягається використанням адекватних систем управління якістю. Таким чином, проектування систем управління якістю в галузі безпеки життєдіяльності слід виконувати не лише через дотримання формальних вимог стандартів ISO щодо продукції, а й забезпечення роботи тих механізмів самоорганізації у виробничій структурі, які підвищують якість. Управління якістю проводиться із врахуванням певного рівня безпеки, балансу вигод і витрат в межах окремого об'єкта, території і держави в цілому.

ISO / IEC Guide 51 надає авторам стандартів рекомендації щодо включення аспектів безпеки при розробці та обговоренні стандартів. Він застосовується до будь-якого аспекту безпеки, пов'язаного з людьми, власністю або навколишнім середовищем, або комбінацією одного або декількох з них. У ньому застосовується підхід, спрямований на зменшення ризику, який виникає внаслідок використання продуктів, процесів або послуг. Розглядається повний життєвий цикл продукту, процесу або послуги, включаючи як передбачуване використання, так і обґрунтовано передбачуване зловживання, у світлі, що підвищує оцінку ризиків як важливий компонент аналізу безпеки [40].

Безпека має першочергове значення для споживачів. Стандарти, міжнародні та національні, для безпеки споживчих продуктів, технологій та інших суміжних галузей все частіше залежать від ризиків або ефективності. Більшість, якщо не всі з цих стандартів, вимагають від користувачів розробити та підтримувати оцінки ризиків для демонстрації відповідності безпеки, на відміну від вимог, що встановлюються узагальнено. Це дозволить користувачам стандартів застосовувати стандартизовані та послідовні визначення та рамки для оцінки ризиків для всіх стандартів, що стосуються безпеки.

Безпеку складної організаційно-технічної системи можна означити як стан, за якого ризик виникнення небезпек і спричинення ними шкідливих наслідків знаходиться на прийнятному рівні завдяки тому, що частина відомих небезпек

для об'єкта безпеки відсутня, а від наявних небезпек існує адекватний захист. Звідси гарантуванням безпеки слід вважати діяльність з усунення небезпек життєдіяльності та створення від них захисту. Важливим і першочерговим етапом цієї діяльності є оцінювання, що пропонується здійснювати кваліметричними методами.

Для оцінювання якості продукції використовується система показників, які групуються на узагальнюючі, комплексні та одиничні. Узагальнюючі показники характеризують загальний рівень якості продукції: обсяг і частку прогресивних видів виробів у загальному випуску, сортність (марочність), економічний ефект і додаткові витрати, пов'язані з поліпшенням якості. Комплексні показники характеризують кілька властивостей виробів, включаючи витрати, що пов'язані з розробкою, виробництвом і експлуатацією [152-154].

Одиничні показники якості характеризують одну з властивостей продукції (товарів) і класифікуються за групами, до однієї з яких відносять показники безпеки [141, 164, 232, 236].

Загальноприйнятим вважається групувати показники безпеки як одиничні. Метою роботи є обґрунтування і встановлення меж застосування безпекових показників якості, як комплексного ПЯ.

Як показано в роботах [55, 65, 86], досягнення достатнього рівня безпеки продукції можливе лише з врахуванням економічних витрат на необхідні заходи на усіх стадіях її життєвого циклу.

Показник якості (продукції) – це кількісна характеристика одного або декількох властивостей продукції, що входять до її якості, розглянута стосовно до певних умов її створення та експлуатації або споживання [118, 154, 232].

Комплексний безпековий показник якості (БПЯ) – це результат кількісного розрахунку ризиків, значення яких перевищує порогові рівні безпеки продукції (обрані до основних), включаючи оцінювання ефективності витрат, що пов'язані з розробкою, виробництвом і експлуатацією (споживанням).

Управління якістю [118, 39] - функції, які визначають політику, цілі та відповідальність у сфері якості, а також їх здійснення за допомогою планування,

оперативного управління, забезпечення якості та поліпшення якості в рамках системи якості, з врахуванням економічних аспектів. Окремо виділяють технічні аспекти управління якістю, до яких належить і контроль за виконанням норм екології і безпеки праці.

Безпека характеризується низкою складних властивостей, до числа найважливіших з яких відносяться економічність і ефективність.

Ефективність - властивість, що характеризує пристосованість процесу функціонування (застосування) СОТС до досягнення мети [9, 10, 165]. Якщо корисний ефект проявляється у формі настання деякої події (явища), тобто носить якісний характер, то і характерна його величина є якісною та оцінюється значеннями бінарної шкали (1-ефект має місце, 0- ефект відсутній). Якщо корисний ефект проявляється у формі речовини, енергії, інформації або настання сукупності подій, то характерна його величина є кількісною і вимірюється в шкалі відношень або в абсолютній шкалі.

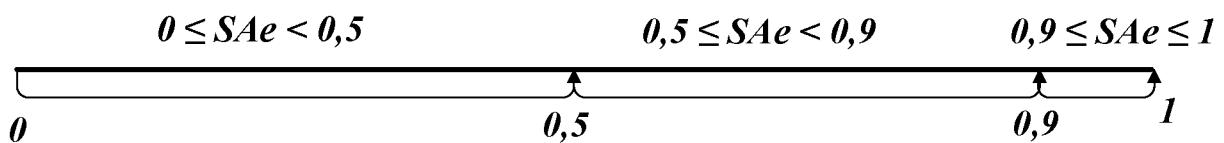


Рисунок 2.3 – Шкала відносних показників ефективності оцінювання БПЯ СОТС, де  $SAe = 0$  - процес оцінювання функціонує неефективно і потребує докорінного перегляду;

$0 < SAe \leq 0,5$  - процес оцінювання функціонує неефективно, необхідне втручання керівництва та розроблення значних КД;

$0,5 < SAe \leq 0,9$  - процес оцінювання функціонує ефективно, але для його покращення потрібно розробити незначні КД;

$0,9 < SAe \leq 1$  - процес оцінювання функціонує ефективно, але для його покращення потрібно розробити ЗД;

$SAe > 1$  - процес оцінювання функціонує ефективно і не потребує втручання.

Економічність - властивість, що характеризує раціональність використання ресурсів в процесі їх перетворення в результат [165].

Результативність процесу оцінювання БПЯ становить відношення сумарного критерію фактичного рівня виявлених відповідностей до сумарного критерію допустимого рівня:

$$SAr = (\sum_{i=1}^n SKf_i) / (\sum_{i=1}^n SKp_i) \quad (2.2)$$

Результативність оцінюється у величині якісного характеру і може бути відображена відносною шкалою:

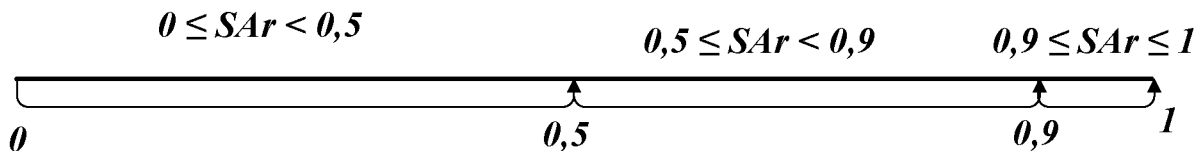


Рисунок 2.4 – Шкала відносних показників результативності оцінювання БПЯ СОТС, де  $SAr = 0$  - процес оцінювання не функціонує і потребує докорінного перегляду;

$0 < SAR < 0,5$  - процес оцінювання функціонує не результативно, необхідне втручання вищого керівництва та розроблення власником СОТС значних коригувальних дій (КД);

$0,5 \leq SAR < 0,9$  - процес оцінювання функціонує результативно, але вимагає розроблення незначних КД;

$0,9 \leq SAR < 1$  - процес оцінювання функціонує результативно, але вимагає розроблення запобіжних дій (ЗД);

$SAr = 1$  - процес оцінювання функціонує результативно і не потребує втручання.

У дослідженнях ризиків існують різні точки зору щодо природи концепції ризику, відповідних типів доказів, що характеризують ризик, і в загальному плані щодо відповідних наукових основ для аналізу ризиків [4, 38, 218, 221]. Це відоме як реалістично-конструктивістський розкол [1989 1996]. Взагалі кажучи, реалісти ризику працюють за умови, що ризик є фізичною властивістю, яку можна охарактеризувати об'єктивними фактами. Вони розуміють величини, отримані в результаті технічного аналізу, як уявлення про цю фізичну властивість, і розглядають ймовірнісний аналіз ризику (PRA) як інструмент для оцінки "справжнього" ризику. На відміну від цього, конструктивісти ризику відкидають ідею ризику, що існує як фізична властивість, незалежна від людей,

які його оцінюють, але відштовхуються від того, що ризик - це конструкція, якою наділяється певна соціальна група. PRA тут розуміється як інструмент формалізації суджень про ризик. Звідси є актуальними два погляди в контексті перевірки PRA: реалістичне тлумачення та суб'єктивне тлумачення. У першому вірогідність - це вимірювання властивості того, який є світ, тобто фізичної властивості. Наприклад, ядерні регулятори мають сильну інтуїцію бажаності реалістичної інтерпретації [2, 46]. Правила, що вимагають демонстрації ймовірності даної події, що не перевищує граничне значення, вимагають реалістичного тлумачення, щоб бути значущим, при цьому вірогідність є мірою ступеня переконань окремої людини). Отже, суб'єктивістський погляд на ймовірність розуміє PRA як вираз аргументу, а не інструмент для розкриття "правди" про ризик. Важливішими за ймовірності, як такі, є різні типи доказів, що лежать в основі суб'єктивної міри невизначеності, та аргументи, наведені для присвоєння певної ймовірності. Що стосується проблеми перевірки PRA, це означає, що основна увага приділяється забезпеченню суті аргументу, а не доказу того, що розрахунки точно відображають реальність.

У [3, 4, 8] підтримано пропозицію обмеження ризиків, які можуть бути об'єктивно визначені та перевірені науковими фактами, аналіз ризиків, що базуються, за необхідності, на основі інтуїції, досвіду, здогадки та правдоподібного припущення, якщо основа для прийняття рішень чітка: "будь-яке визначення того, що ризик "перевірено", саме по собі є судженням, яке виноситься на основі стандартів доказування, які є певною мірою довільними, спірними та суб'єктивними" [4].

## **2.2. Теоретичні основи розгляду складових безпеки в показниках якості та класифікація безпекових показників якості для складних організаційно-технічних систем**

На сучасному етапі розвитку кваліметрії широко застосовується низка властивих їй методів. Однак, окремі з них мають притаманні їм недоліки. Зокрема, у методах середньозважених показників якості, диференційному чи змішаному потрібно враховувати суб'єктивність встановлення коефіцієнтів вагомості показників якості. Залучення до оцінювання якості продукції і послуг споживачів до сьогодні не стандартизується. Нормативно-технічне визначення показників безпеки СОТС, у зв'язку з їх різноманітністю, перебуває на початковому етапі створення, а міжнародна стандартизація, у більшості, дозволяє застосувати лише загальні підходи (методологію) та якісні критерії оцінювання.

2.2.1. Підгрунття застосування кваліметричних підходів до оцінювання безпеки.

Для оцінювання безпеки необхідно визначити: перелік тих властивостей, сукупність яких достатньо її характеризує; числові значення шляхом вимірювання, випробування та підрахунку; аналітичний висновок з порівняння цих даних та прийнятним рівнем (допустимим рівнем, ГДК, часом спрацювання захисту та ін.). Одержаний результат буде з достатнім ступенем достовірності хаактеризувати безпеку СОТС. Разом з тим, одержаний результат оцінювання стає основою подальших досліджень. Оцінка безпеки – це відповідь на питання, наскільки повномасштабний результат оцінювання безпеки СОТС відповідає інтересам населення дотичної території.

Важливим етапом кваліметричних досліджень є створення методики побудови (вибору, знаходження) показника порівняння для отриманого безпекового показника якості, та подальше опрацювання результатів. Загалом безпека продукції (виробів, процесів, послуг) – багатофакторне поняття, тому при її оцінюванні бажано враховувати більшість цих складових.



Для розв'язання багатокритеріальних задач у кваліметрії застосовуються матричні методи [95, 141, 156, 160, 161]. З їх допомогою (рис.2.5) досягається оптимальне використання отриманої в результаті вимірювання сукупності показників якості стосовно продукції. Опрацювання вимірювальної інформації про безпекові показники якості надає можливість проведення моніторингу та управління безпекою досліджуваного об'єкта протягом усього його життєвого циклу. При цьому потрібно визначати стан безпеки та функціональний стан об'єкта у процесі проєктування, виробництва та експлуатації, а також рівень ризику технологічного процесу, методів та засобів вимірювання та контролю, інших характеристик діяльності СОТС.

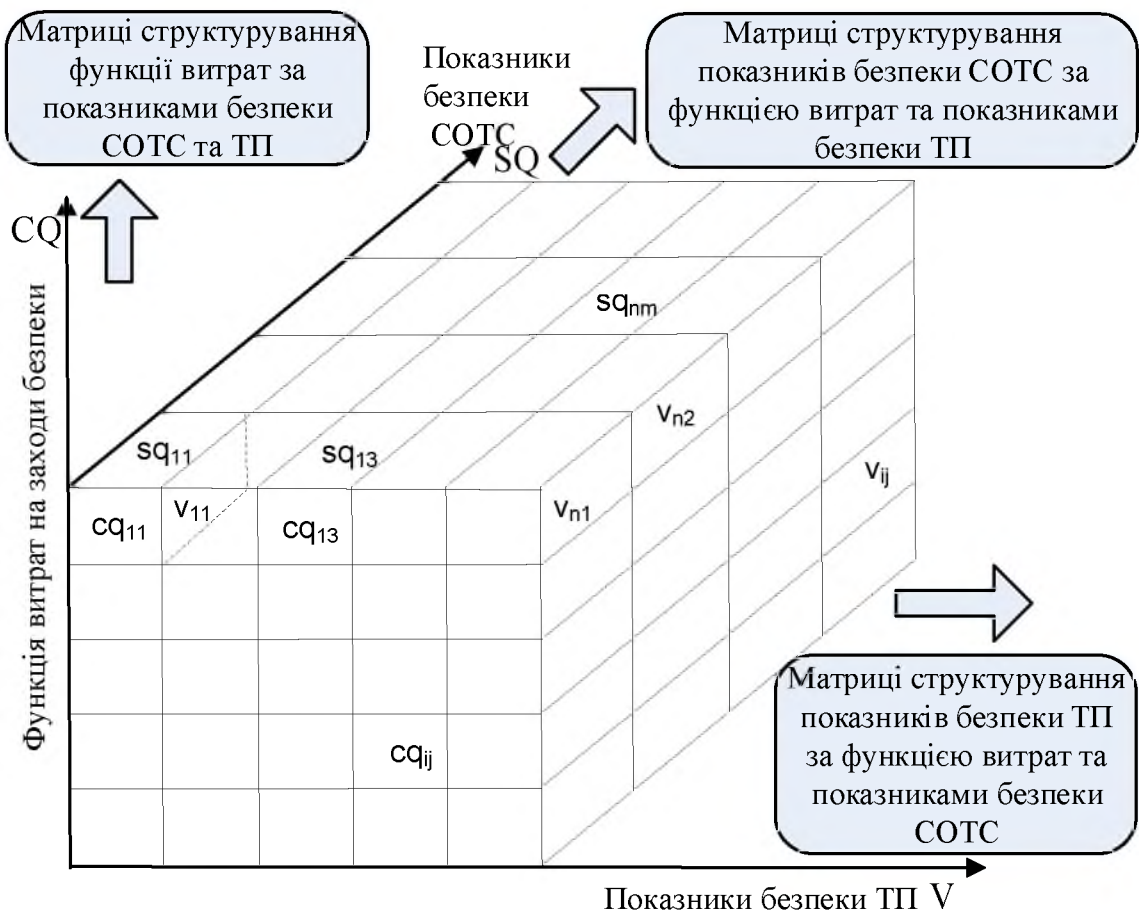


Рисунок 2.5 – Матричне розгортання функції безпеки СОТС

Для планування, контролю та стимулювання підвищення безпеки необхідно надійно оцінити безпеку, причому оцінити її за сукупністю усіх

показників, що її характеризують. Однак, крім вичерпності та надійності, інформація про безпеку повинна мати ще й кількісну форму вираження, як найбільш зручну для використання в сучасних системах управління. Отримання такої інформації проводиться за методами кваліметрії – наукової дисципліни, яка вивчає методологію та проблематику розроблення комплексних кількісних оцінок якості найрізноманітніших об’єктів – продукції та (або) процесів (у понятті “продукція” надалі вважається продукт будь-якого роду людської діяльності, який створено для задоволення певних потреб суспільства й пропонується йому для обміну).

Безпека готової продукції визначається двома факторами – якістю розроблення (якістю проєкту, за яким виготовляється продукція) та якістю створення продукції (тобто відповідністю використаних при виготовленні продукції технологічних операцій проєкту до норм, технічних умов і т. ін.). Разом з тим, на сьогодні, перш за все, мають на увазі безпеку роботи, створення продукції (а не безпеку розроблення). Дане положення в повній мірі може бути віднесено і до сфери нематеріального виробництва, яким є надання послуг та супровід процесів. Таким чином, проблема вимірювання та кількісного оцінювання показників безпеки продукції в наш час є вузловою проблемою усієї науки про якість продукції.

Для реалізації принципів процесного підходу до управління безпекою СОТС потрібно враховувати всі етапи її життєвого циклу (рис. 2.6). У цьому випадку можна прийняти існування трьох матриць безпеки: проєкту СОТС та її розроблення, що описується матрицею множини одиничних показників  $\left| \left( (M_{sq})_o \right)_{pr} \right|$ ; реально існуючого об’єкта –  $\left| \left( (M_{sq})_o \right)_{sa} \right|$  та стадії підвищення рівня безпеки або утилізації системи  $\left| \left( (M_{sq})_o \right)_{sd} \right|$ . Слід зважати на те, що вказані матриці показників безпеки змінюються і повністю складаються на моменти завершення відповідних інтервалів життєвого циклу досліджуваного об’єкта [26, 95].

Отже, враховуючи чинну нормативну базу, ефективне проєктування і діяльність об’єкта та його результа-тивне використання можна зобразити

моделлю життєвого циклу складної організаційно-технічної системи управління якістю (рис. 2.6).

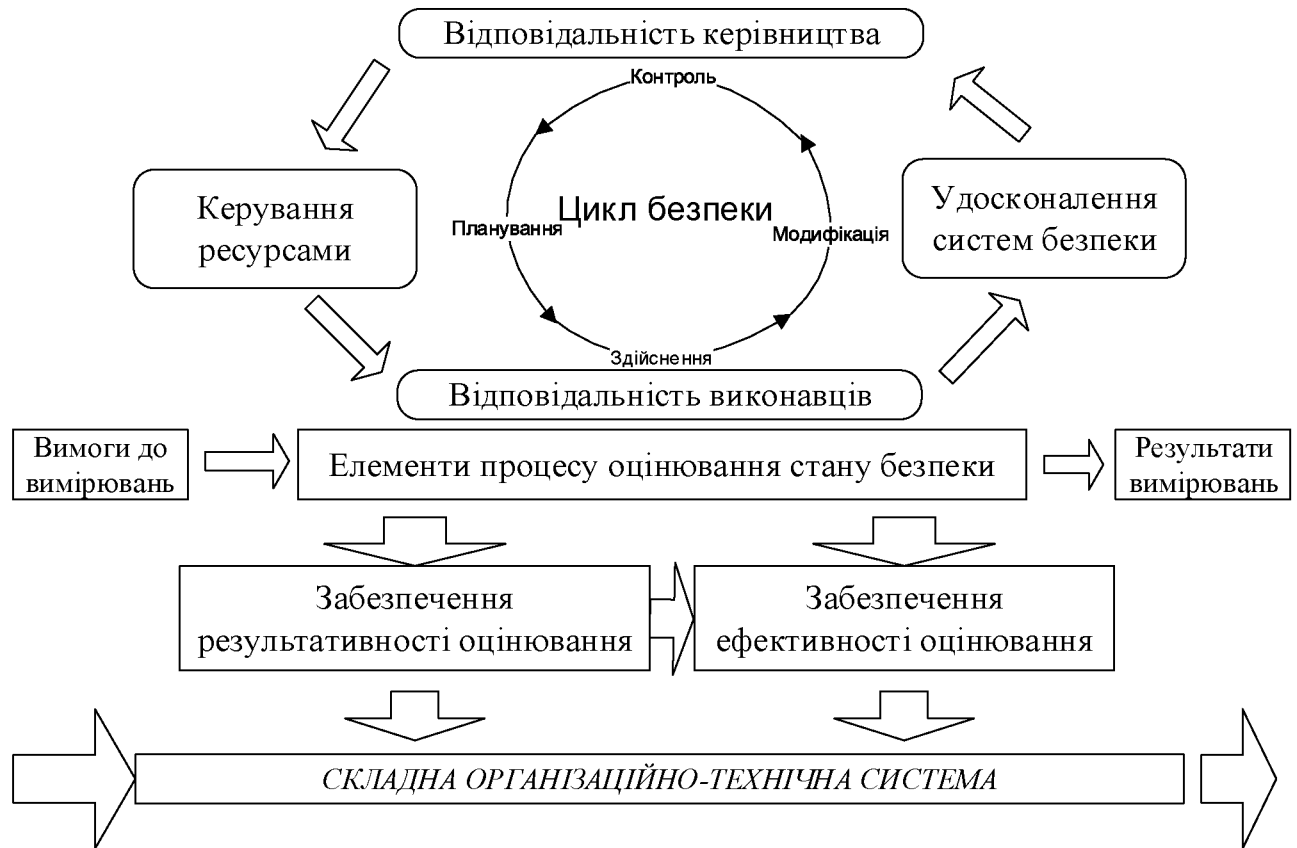


Рисунок 2.6 – Модель життєвого циклу безпеки складної організаційно-технічної системи

Основні процеси у моделі (рис.2.6) – це планування: ідентифікація і аналіз небезпек та ризиків, вибір методів і планування необхідних дій; здійснення: виконання запланованих заходів щодо системи безпеки; модифікація: розроблення рішення на основі отриманих оцінок та внесення коригуючих дій; контроль – оцінювання результатів здійснення заходів з безпеки та виявлення невідповідностей.

Принцип утворення і суть кожної з цих матриць безпеки є однаковим і полягає у складанні підмножин  $\left[ (M_{sq})_{o-1}, (M_{sq})_{o-2}, \dots, (M_{sq})_{o-n} \right] \cup (M_{sq})_o$ . [95].

Загалом кожна з цих підмножин є матрицею, як правило, неквадратна, що є комплексним ПЯ вищого рівня. Із них за допомогою їх поділу на менші матриці, які характеризують окремі групи властивостей чи окремі показники

безпеки, утворюються комплексні ПЯ нижчих рівнів. Такий розподіл триває доти, поки не отримають найнижчі комплексні БПЯ у вигляді матриць-рядків (векторів).

Отже, для будь-якого об'єкта з множини одиничних БПЯ, переважна більшість яких описується в нормативних документах, формується його матриця безпеки:

$$\left| (M_{sq})_o \right| = \begin{vmatrix} (s_{sq})_{o-11} & (s_{sq})_{o-12} & \dots & (s_{sq})_{o-1m_1} \\ (s_{sq})_{o-21} & (s_{sq})_{o-22} & \dots & (s_{sq})_{o-2m_2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ (s_{sq})_{o-m_1} & (s_{sq})_{o-m_2} & \dots & (s_{sq})_{o-mm_m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ (s_{sq})_{o-m_e1} & (s_{sq})_{o-m_e2} & \dots & (s_{sq})_{o-m_em_e} \end{vmatrix} \quad (2.3)$$

де  $(s_{sq})_{o-mm_m}$  - одиничний БПЯ, що належить до  $m$ -го рядка ( $m \in [1, 2, \dots, m_e]$ ) і  $m$ -го стовпця ( $m \in [1, 2, \dots, m_1, m_2, \dots, m_m, \dots, m_e, \dots, (m)_{max}]$ ) [92]. При цьому під час утворення  $(M_{sq})_o$  у вигляді (2.3) одиничні БПЯ об'єкта розміщуються спорідненими групами (рядками) [95] так, щоб з них отримати вектори – комплексні БПЯ нижнього рівня, починаючи з першого рядка

$$\left| (SQ_o)_1 \right| = \left| (s_{sq})_{o-11} (s_{sq})_{o-12} \dots (s_{sq})_{o-1m_1} \right| \quad (2.4)$$

Ці одиничні ПЯ описують окремі властивості безпеки СОТС та змінні характеристики його протягом виготовлення аж до заключних параметрів на етапі появи готового об'єкта або зміну властивостей під час споживання. Причому протягом виконання технологічних процесів виробництва об'єкта частина одиничних БПЯ може трансформуватись в інші одиничні чи комплексні БПЯ та відкидатись [92].

Після безпосереднього об'єднання в (2.3) комплексних БПЯ (наприклад, визначених за (2.4) або одиничних та комплексних БПЯ, також за принципом спільної характеристики подібних властивостей досліджуваного об'єкта, отримують комплексні БПЯ вищого рівня.

$$\left| (SQ_o)_{m_2 m_2} \right| = \left| (SQ_o)_m (SQ_o)_{m+1} \dots (SQ_o)_{m+p} \right| \quad (2.5)$$

Звідси отримують локальну характеристику об'єднаних властивостей об'єкта [95]. Прикладом таких властивостей можуть слугувати ПЯ - надійності, економічності, витрат сировини, матеріалів, палива, ергономічні, екологічні тощо. Надалі визначаються комплексні БПЯ, включно до найвищих рівнів.

Отже, з множини  $(M_{sq})_o$  одиничних БПЯ формуються комплексні БПЯ у вигляді векторів і матриць, включно з матрицею безпеки об'єкта (продукту, процесу чи послуги)  $\left| (M_{sq})_o \right|$ .

Задля досягнення єдності подання векторів  $\left| (SQ_o)_m \right|$ , матриць  $\left| (SQ_o)_{mm} \right|$  і  $\left| (M_{sq})_o \right|$ , з погляду оцінювання безпеки будь-якого об'єкта, для формування матриць доцільно скористатись принципом оцінювання якості продукції і послуг у вигляді шкали відношень. Тобто йдеться про принцип утворення векторів матриць на основі не абсолютних, а відносних одиничних БПЯ.

Для гарантування універсальності запропонованого методу застосовується підхід [92] для визначення відносних показників об'єкта з абсолютних, згідно з яким будь-який відносний одиничний БПЯ об'єкта, що входить до складу наведених векторів і матриць безпеки, визначається з виразу

$$\left( (s_{sq})_{o-mm} \right)_{rl} = \frac{\left( (s_{sq})_{o-mm} \right) - \left( (s_{sq})_{o-mm} \right)_{lmt}}{\left( (s_{sq})_{o-mm} \right)_{tlr} - \left( (s_{sq})_{o-mm} \right)_{lmt}} \quad (2.6)$$

де  $\left( (s_{sq})_{o-mm} \right)_{tlr}$ ,  $\left( (s_{sq})_{o-mm} \right)_{lmt}$  - поточне та прийнятне значення абсолютного одиничного БПЯ;  $\left( (s_{sq})_{o-mm} \right)_{lmt}$  - граничне значення цього абсолютного БПЯ, наведене в нормативній документації на досліджуваний об'єкт.

На основі (2.6) розраховують відносні вектори, а з них формують матриці безпеки  $\left| (SQ_o)_{mm} \right|$ , планування  $\left| (M_{sq})_o \right|_{pl}$ , впровадження  $\left| (M_{sq})_o \right|_{imp}$  та  $\left| (M_{sq})_o \right|_{mod}$

модифікації, що характеризують трансформацію безпеки об'єкта протягом його життєвого циклу відповідно до моделі циклу безпеки (рис. 2.6).

Крім того, з метою дослідження зміни у часі безпеки об'єкта можна аналогічно визначати на основі відповідної вимірювальної інформації матриці безпеки, які ілюструються графіками. В такий спосіб аналізують динаміку систем безпеки протягом окремих інтервалів чи усього життєвого циклу об'єкта.

З метою зменшення надлишкової інформації та забезпечення об'єктів під час здійснення показаних на рис. 2.2 процесів протягом їх проектування, виготовлення та використання [95] пропонується виконання додаткової операції проміжного порогоування векторів і матриць безпеки. Ця операція здійснюється стосовно множини наявних одиничних БПЯ, знайдених за (2.5). Наприклад, для  $m$ -го БПЯ така операція полягає у виконанні виразу

$$\left[ \begin{array}{l} \left( (s_{sq})_{o-mm} \right)_{lir} \\ \left( (s_{sq})_{o-mm} \right)_{lmt} \end{array} \rightarrow \text{var} \right] = \begin{cases} \left( (s_{sq})_{o-mm} \right)_{lir}, \text{ якщо } \left( (s_{sq})_{o-mm} \right)_{lir} + k_n \cdot \Delta \left( (s_{sq})_{o-mm} \right) - \left( (s_{sq})_{o-mm} \right)_{lmt} > 0, \\ 0, \text{ якщо } \left( (s_{sq})_{o-mm} \right)_{lir} + k_n \cdot \Delta \left( (s_{sq})_{o-mm} \right) - \left( (s_{sq})_{o-mm} \right)_{lmt} \leq 0 \end{cases} \quad (2.7)$$

стосовно граничного або порогового значення з урахуванням граничного значення абсолютної похибки  $\Delta \left( (s_{sq})_{o-mm} \right)$  визначення цього БПЯ та коефіцієнта безпекового запасу, що дорівнює  $k_n = 2 \dots 3$ .

З виразу (2.7) видно, що значення може змінюватись оцінювачем залежно від необхідної точності аналізу та потреби виявлення домінуючих погіршень безпеки об'єкта.

Запропонованому методу оцінювання безпеки продукції, процесів та послуг властиві деякі специфічні особливості. Для переважної більшості досліджуваних об'єктів сукупність БПЯ, що належать до  $(M_{sq})_o$ , характеризується їх розташуванням між одиничними та комплексними БПЯ всередині векторів і матриць безпеки та між ними. Тому у першому наближенні можна прийняти, що вагомість цих БПЯ є рівноцінною, тобто однаковою. Отже, при такому підході важливою перевагою цього методу оцінки якості об'єктів є відсутність потреби [95] у визначенні вагомості наведених БПЯ.

На основі цього методу оцінювання безпеки продукції, процесів та послуг можна здійснювати ефективне управління процесами, що виконуються протягом усього життєвого циклу безпеки СОТС. При цьому також може проводитись діагностика функціонального стану продукту (устаткування), оперативне виявлення причини погіршення встановлених вимог до безпеки досліджуваних об'єктів і методичне вдосконалення робіт.

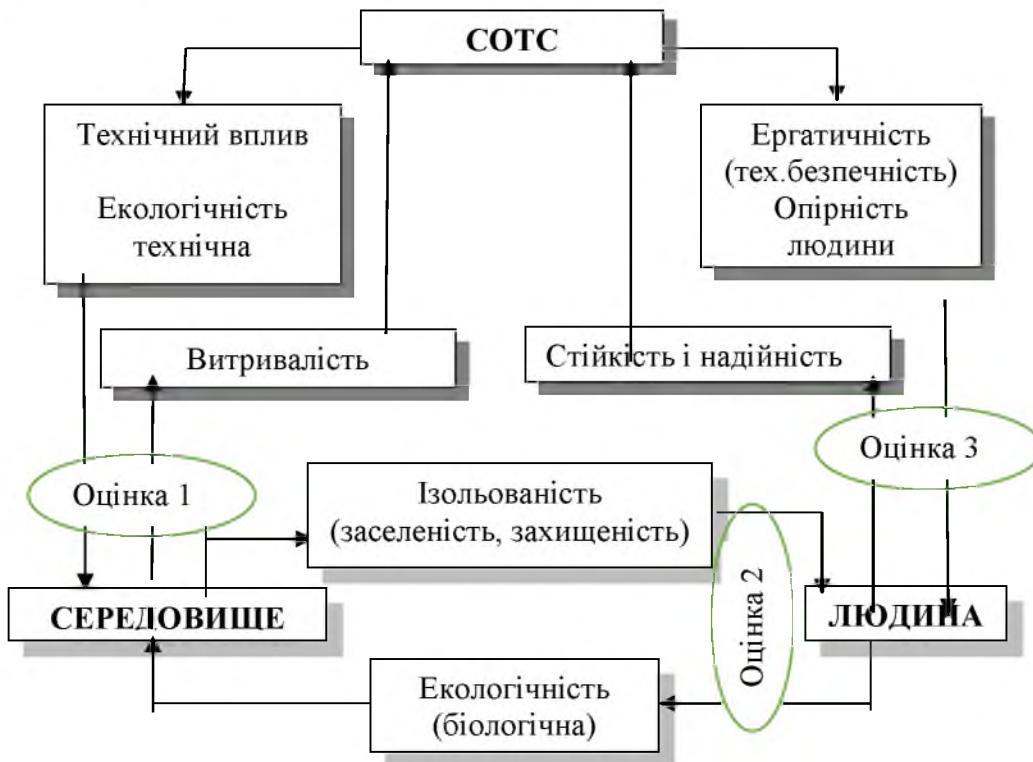


Рисунок 2.7 – Взаємозв’язок елементів системи “людина-середовище-об’єкт”

Будь-який об’єкт в процесі експлуатації (споживання) знаходиться у взаємозв’язку з середовищем та з людиною. Терміном “людина” охоплені люди, які пов’язані з функціонуванням (споживанням) об’єкта: хто забезпечує таке функціонування, і задля кого об’єкт функціонує). Крім того, в ході цього ж процесу у взаємозв’язок втручається і людина та середовище. Таким чином, будь-який елемент системи “людина-середовище-об’єкт” впливає на два інших складових системи, і сам відчуває вплив кожного з них. Взаємозв’язки цих елементів показані на рис. 2.7. Авторами [154] введено термін “людиностійкість”, який означає стійкість технічного устаткування до непередбачених впливів з боку людини-оператора, позначений на рис. 2.7 як

«стійкість та надійність». Сукупний вплив на середовище з боку і СОТС (екологічність технічна), і людини (екологічність біологічна) визначається як екологічність. Вплив на людину з боку СОТС (ергономічність – безпека) і з боку середовища (ізолюваність – захищеність) визначається як безпечність.

Такий комплекс зв'язків із цієї структурної схеми, що охоплений Оцінкою 3, виділяємо як основні напрями для оцінювання безпеки СОТС, хоча отримані результати частково застосовні і для Оцінки 1.

Згідно з принципами кваліметрії вимірювання окремих властивостей або самої якості в цілому в решті-решт повинно закінчуватися розрахунком відносного показника.

Оскільки оцінка дає найбільш закінчену та важливу інформацію про властивість взагалі і якість зокрема [154], то найчастіше кінцевим результатом кваліметрічних розрахунків є не абсолютний показник  $Q_{ij}$ , а відносний – оцінка  $K_{ij}$ . Оцінка  $K_{ij}$  являє собою функцію двох абсолютних показників – вимірюваного (оцінюваного)  $Q_{ij}$  та прийнятого за еталоний  $Q_{ij}^{em}$  (інколи  $Q_{ij}^{bas}$ ).

$$K_{ij} = f(Q_{ij}; Q_{ij}^{et}) \quad (2.8)$$

Часто  $K_{ij}$  є функцією відношень вказаних показників.

$$K_{ij} = \phi\left(\frac{Q_{ij}}{Q_{ij}^{em}}\right) \quad (2.9)$$

Таким чином, у кваліметрії безпеки застосовуються обидва види: абсолютне вимірювання властивостей, тобто знаходження абсолютного показника  $Q_{ij}$  та відносне вимірювання (оцінювання) – визначення відносного показника  $K_{ij}$ . Але якщо величина  $Q_{ij}$  є постійною характеристикою, що притаманна кожній властивості, то величина  $Q_{ij}^{em}$  залежить не тільки від самої властивості, але й від вибраної для порівняння бази (еталону), тобто при постійному значенні  $Q_{ij}$  можуть бути різні значення  $Q_{ij}^{em}$ . А це означає, що оцінка



будь-якої властивості  $K_{ij}$  залежить від вибраного еталонного показника  $Q_{ij}^{em}$ . Інакше кажучи, поза вибраним еталоном не можна говорити про оцінку якості. Важливість оцінювання безпеки полягає в тому, що відображається не індивідуальна потреба людини, а суспільна потреба, в ролі якої часто фігурує середня потреба більшості членів суспільства.

### 2.2.2. Шкали вимірювань показників властивостей.

Різні шкали вимірювання абсолютних показників властивостей СОТС обов'язково повинні бути трансформовані в одну загальну шкалу.

Прості властивості якості, які не поділяються на складові частини, мають свою специфічну шкалу вимірювання величини  $Q_{ij}$  та відповідну розмірність, яка часто виражається у фізичних одиницях вимірювання (шт., м., кг., сек., і т.ін.). Ця шкала вимірювання залишається незмінною на протязі довгих проміжків часу. Ось чому величини абсолютних показників простих властивостей  $Q_{mj}$  не залежать від моменту вимірювання, якщо не приймати до уваги точність вимірювання, яка підвищується з розвитком метрології.

*Шкала вимірювання* – це базове поняття метрології, яке дає змогу кількісно або іншим способом встановити властивість об'єкта. Шкала вимірювання є ширшим визначенням, ніж одиниця фізичної величини, яка відсутня у деяких видах вимірювань [116-118]. Шкала вимірювання необхідна як для кількісного (температура, довжина), так і для якісного (колір) виявлення властивостей об'єктів. Ці виявлення утворюють множину, елементи якої є у певних логічних співвідношеннях між собою, тобто становлять так звану систему з відношеннями. Тут застосовуються поняття “еквівалентність”, “більше”, “менше”, “накопичення” елементів або “ділення” одного елемента на другий. Шкала вимірювання отримується гомоморфним відображенням множини елементів такої системи з відношеннями на множину чисел або на знакову систему з аналогічними логічними відношеннями. Такими знаковими системами можуть бути множина назв кольорів, сукупність класифікаційних ознак, множина назв стану об'єкта, множина балів оцінки стану об'єкта. За такого відображення застосовується модель об'єкта, яка адекватно відображає логічну

структуру властивості цього об'єкта. Відповідно до логічної структури властивостей розрізняють 5 типів шкал вимірювання; назв, порядку, різниць (інтервалів), відношень, абсолютні шкали, згруповані у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Групові ознаки типів шкал стосовно до оцінювання безпеки

Ознака	Тип шкали					
	Назв	Порядку	Різниць (інтервалів)	Відношень		Абсолютні
				1-го роду	2-го роду	
Співвідношення між проявами властивостей	Еквівалентні	Еквівалентність, порядок	<b>Еквівалентність, порядок, пропорційність або підсумовування інтервалів</b>	Еквівалентність, порядок, пропорційність	Еквівалентність, порядок	Еквівалентність, порядок, пропорційність або підсумовування
Наявність нуля	Не має змісту	Не обов'язковою	<b>Встановлюється за згодою</b>	Вводиться природним способом		
Наявність одиниці вимірювань	Не має змісту	Не має змісту	<b>Встановлюється за згодою</b>			Наявна природна безрозмірна одиниця
Можливі перетворення шкали	Ізоморфне відображення	Монотонні	<b>Лінійні</b>	Множення на число		Відсутні

Шкала назв характеризується тільки відношенням еквівалентності якісного прояву властивості. Вимірювання здійснюються звірянням зразків за певною умовою з досліджуваною властивістю до їх співпадіння [168]. Шкала порядку описує властивості за відношенням еквівалентності та відношенням порядку за збільшенням або зменшенням кількісних проявів властивості. Приклади таких шкал – шкали твердості, шкали балів землетрусів, шкали балів вітру тощо. У таких шкалах у принципі неможливе введення одиниці вимірювань і не мають змісту твердження про те, у скільки разів більшим або меншим є прояв конкретних властивостей. У шкалі різниць (інтервалів) до відношення еквівалентності та порядку для властивості додається відношення пропорційності або підсумовування інтервалів (різниць) між різними кількісними проявами властивості. Прикладом може бути шкала часу: інтервали часу можна додавати або віднімати, але підсумовувати дати подій немає сенсу.

Шкали різниць мають умовний нуль, який спирається на певний репер. Шкала відношень описує властивості, де множини кількісних проявів можна застосувати як відношення еквівалентності, порядку, пропорційності або підсумовування. У такій шкалі наявний природний критерій нульового кількісного прояву властивостей, тобто нуль є не умовним, а має фізичний сенс. До таких належить Шкала термодинамічна. Абсолютним шкалам притаманні всі ознаки шкал відношень, але додатково в них наявне природне однозначне визначення одиниці вимірювань. Такі шкали відповідають відносним величинам - відношенням однойменних фізичних величин, які описуються шкалами відношень [168].

Кваліметричне оцінювання — приписування числових значень об'єктам чи подіям, яке здійснюється за певними визначеними правилами [68]. Метрологами взагалі під сумнів поставлена обґрунтованість застосування терміну «вимірювання» у випадку порядкових і особливо номінальних шкал, адже для цих шкал не може бути введена одиниця вимірювання і, таким чином, відсутня важлива для класичної метрології ознака вимірювання — порівняння величини, що вимірюється, з одиницею вимірювання із застосуванням спеціальних технічних засобів. Сучасні тенденції розвитку метрології характеризуються її поширенням на властивості, що в традиційній метрології вважалися такими, що не підлягають вимірюванню [35, 83, 116]. Прикладом можуть слугувати визначення кислотності, маслянистості, числа падіння борошна тощо.

У той час як деякі шкали повністю специфікуються визначенням її одиниці (шкали маси, довжини тощо), інші, навіть метричні, містять додаткові положення.

Для шкал інтервалів еталонами відтворюється деяка частина або точка шкали й умовний нуль. Для шкал відношень відтворюється частина або точка шкали. Для практичної реалізації шкали необхідна її специфікація, тобто визначення шкали та/або процедур і правил її відтворення. Основними елементами, необхідними для визначення шкали, в залежності від її типу та специфіки можуть бути класи еквівалентності (для номінальних шкал), нуль

(умовний нуль), одиниця вимірювання, діапазон вимірювання шкали тощо<sup>[21]</sup>. Шкала еквівалентних доз іонізуючого випромінювання з точки зору класифікації [68] такі шкали, як правило, відносяться до порядкових шкал. Їх практична цінність полягає в можливості прогнозування рівня чи характеру реакції біологічного об'єкта на вплив фактора за результатами вимірювання значення цього фактора. З типом шкали тісно пов'язані способи обробки і представлення результатів вимірювань. Обробка результатів вимірювань в метричних шкалах спирається на добре розвинений апарат прикладної статистики і принципи класичної метрології.

Більшість властивостей, які вивчаються практичною метрологією, можна описати одновимірними шкалами, але існують властивості, які в принципі необхідно описувати багатовимірними шкалами (тривимірні шкали у колориметрії). Таким чином, для оцінювання безпеки найбільш застосовна шкала різниць (інтервалів), де співвідношення між проявами властивостей виявляється через еквівалентність, порядок, пропорційність або підсумовування інтервалів, а вибір початку відліку, як і одиниці вимірювань встановлюється за згодою, а можливі перетворення шкали лінійні. Практична реалізація шкал конкретних властивостей забезпечується стандартизацією шкал та одиниць вимірювань, а також способів і умов їх однозначного відтворення еталонами та засобами вимірювань.

Розроблення та обґрунтування шкали БПЯ показано в гл. 3.3.

#### 2.2.3. Розроблення моделі оцінювання безпеки в кваліметрії

За допомогою трансформації шкал на єдиній метрологічній основі слід перевести всі прості властивості зі шкал з різними розмірностями до шкали, яка має єдину розмірність, в окремому випадку – в безрозмірну шкалу. В цьому випадку в математичну модель абсолютного показника узагальненої властивості  $Q_{(m-1)}$  абсолютні показники простих властивостей  $Q_{mj}$  входять у вигляді додатків, співмножників, показників степеня і т.ін.

Кожна властивість якості визначається двома числовими параметрами – відносним показником  $K$  та вагомістю  $M$ . Для сучасних методів кваліметрії

характерна така послідовність оцінювання: у першу чергу визначення вихідних умов безпеки СОТС, а тоді аналіз розрахованої оцінки якості і прийняття рішення (рис. 2.8). Об'єктивна особливість продукції, яка може проявлятися при її створенні, реалізації та споживанні чи експлуатації – це її властивість. Проста властивість вимірюється при допомозі одиничного показника якості.

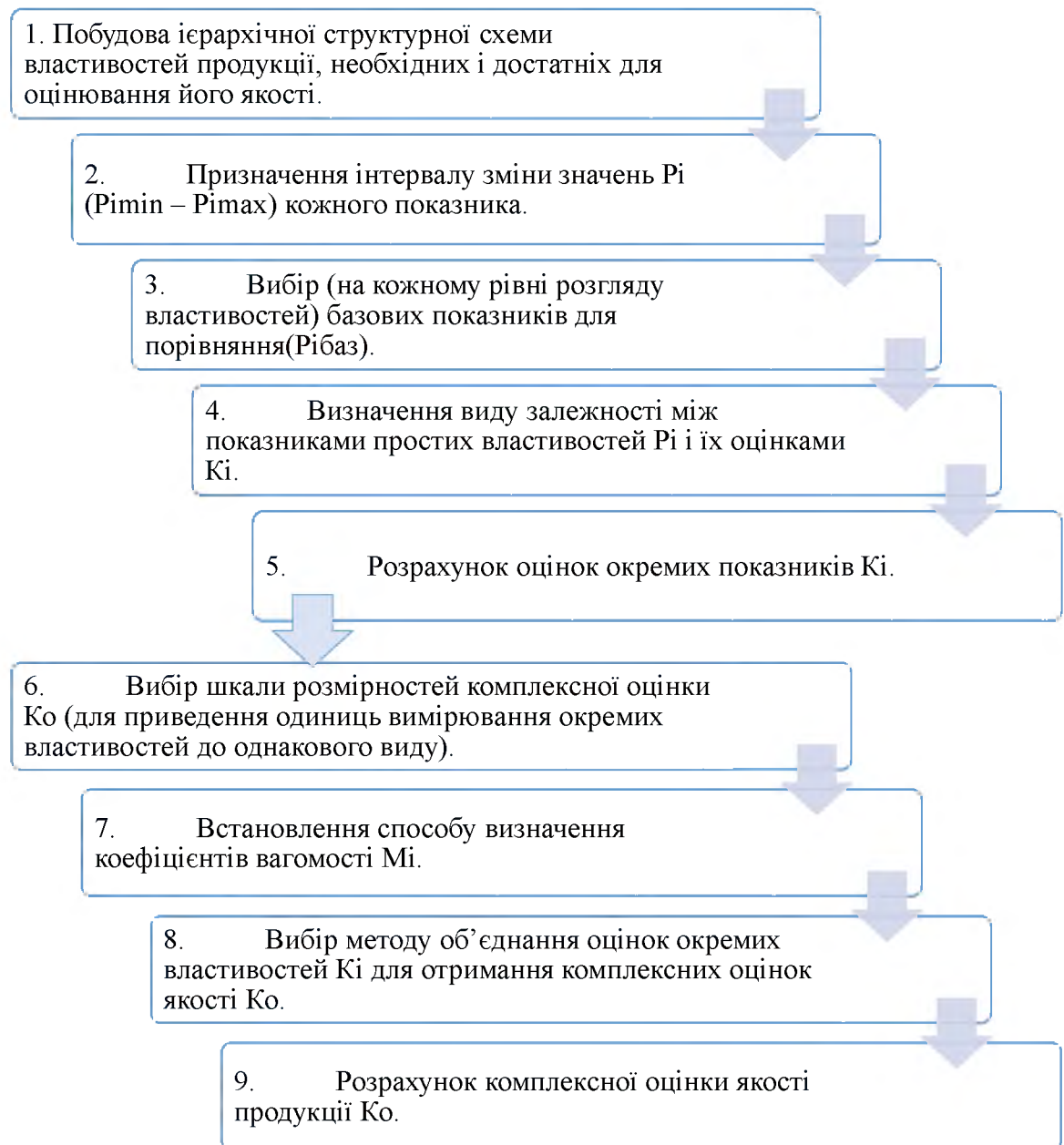


Рисунок 2.8 – Оцінювання простих і складних властивостей СОТС та її безпекового показника якості загалом

Складна властивість – це сукупність властивостей СОТС, які пов'язані певними відношеннями та розглядаються стосовно до даних умов їх виявлення,

як одна комплексна властивість, і вимірюється за допомогою комплексного показника якості.

За стандартом ДСТУ ISO 9000 якість – це ступінь, до якого сукупність власних характеристик задовольняє вимоги. Або сукупність характеристик продукції (процесу, послуги), які стосуються її здатності задовольняти встановлені і передбачені потреби. Безпечність – це складна властивість продукції, яка характеризує ступінь шкідливого впливу на оточуюче середовище [154].

Для формування запиту на отримання оцінки безпеки СОТС запропоновано модель (рис. 2.9), яка передбачає вибір форми подання на підставі зацікавлення стейкхолдерів за різними критеріями. Таким чином, для індивідуального споживача рекомендовано подавати оцінку безпеки окремим числом, зокрема, відносним БПЯ  $K_{SS}$ . Для контролюючих органів така форма є недостатньо інформативною при порівнянні кількох об'єктів, що, однак, задовольняється застосуванням рейтингового оцінювання. Отримання оцінки безпеки у вигляді множини  $Q$  груп БПЯ чи матриці  $\left| \left( (M_{sq})_{o,pr} \right) \right|$  множини одиничних показників, у якій кожна група БПЯ подана в розгорнутому вигляді, найвідповідніша інтересам власника. За цим підходом важливе врахування в оцінці безпеки пошуку критичних точок вразливості технологічного процесу та вибору економічно ефективніших заходів їх локалізації та убезпечення. Поряд із названими підходами, застосування напівкількісного ранжування, в т.ч. із використанням апарату нечіткої логіки, може бути ефективним для отримання розширеної оцінки стану безпеки СОТС з врахуванням більшої кількості випадкових впливних факторів.

2.2.4. Аналіз особливостей методів кваліметрії стосовно оцінювання безпеки.

При оцінюванні складної продукції, яка має широку номенклатуру показників якості, за допомогою диференційного методу практично неможливо

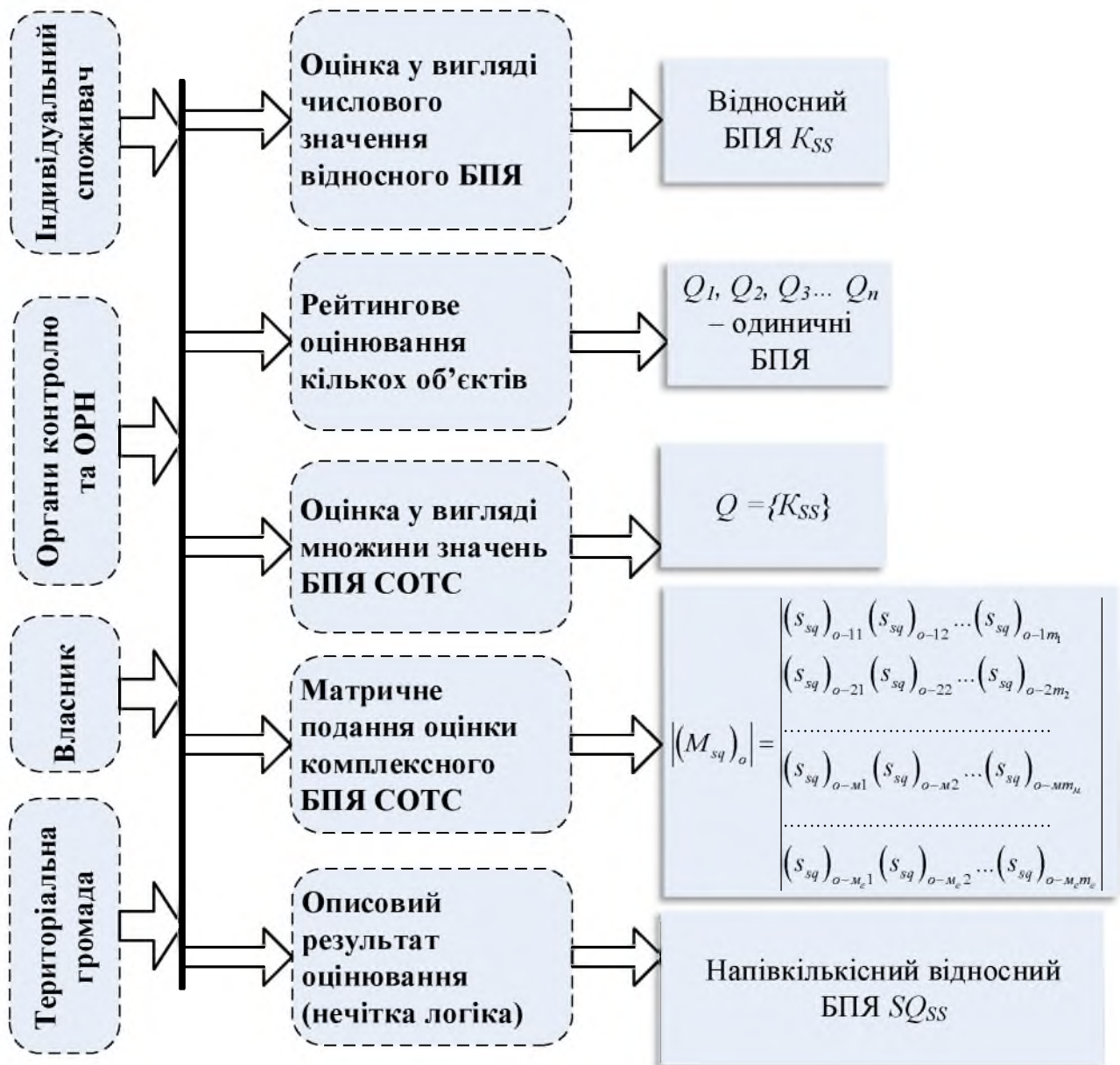


Рисунок 2.9 – Модель запиту на оцінювання безпеки СОТС в кваліметрії

зробити конкретний висновок про її рівень якості, а використання тільки одного комплексного методу не дозволяє об'єктивно врахувати всі значущі властивості оцінюваної продукції [154, 158, 232]. У цих випадках для оцінювання рівня якості продукції застосовують одиничні і комплексні показники якості, одночасно використовуючи і комплексний, і диференційний методи, тобто оцінювання проводять змішаним методом.

Отже, в процесі оцінювання, відкидаючи деякі властивості, ми спрощуємо дійсну картину, тим самим вводячи похибку в комплексну оцінку якості. Ця похибка завжди буде присутня при розрахунках, оскільки важко

уявити існування такої ситуації, коли будуть враховані всі властивості продукції, що характеризують її якість. Однак звідси не виникає висновок, що для підвищення точності комплексного оцінювання потрібно завжди прагнути врахувати якомога більше властивостей. Річ у тім, що при виборі властивостей, необхідних для оцінювання якості, вважається, що вагомість будь-якої з відкинутих властивостей менша від вагомості будь-якої з врахованих. При цьому сумарна вагомість відкинутих властивостей в порівнянні із сумарною вагомістю врахованих властивостей відносно невелика. А от складність роботи з великою кількістю властивостей вносить похибки на наступних операціях, які інколи можуть перевищити похибки, викликані врахуванням не всіх властивостей.

У залежності від джерела і способу отримання інформації ці методи поділяються на об'єктивні, евристичні, статистичні і комбіновані (змішані) (рис. 2.10).

Об'єктивні методи поділяють на вимірювальний, реєстраційний, розрахунковий і досвідченої експлуатації. Евристичні методи включають в себе органолептичний, експертний і соціологічний методи [132].

**Вимірювальний** (лабораторний, інструментальний) метод визначення значень показників якості ґрунтується на інформації, отриманій з використанням технічних засобів вимірювань (вимірювальних приладів, реактивів та ін.). Використання технічних засобів здійснюється відповідно до методики проведення вимірювань і передбачає використання приладів і реактивів.

Методика проведення вимірювань включає методи вимірювань; засоби і умови вимірювань, відбір проб, алгоритми виконання операцій з визначення показників якості; форми представлення даних і оцінювання точності та достовірності результатів, вимоги техніки безпеки [169, 231] і охорони навколишнього середовища [146]. Основними перевагами вимірювального методу є його об'єктивність і точність [154]. Цей метод дозволяє легко отримувати відтворювані числові значення показників якості, які виражаються у фізичних одиницях: грамах, літрах, амперах.





Рисунок 2.10 – Методи кваліметрії за видом ПЯ та джерелом отримання інформації

До недоліків цього методу слід віднести складність і тривалість деяких вимірювань, необхідність спеціальної підготовки персоналу, придбання складного, часто дорогого устаткування, а в ряді випадків і необхідність руйнування зразків. Вимірювальний метод у багатьох випадках вимагає виготовлення стандартних зразків для випробувань, суворого дотримання загальних і спеціальних умов випробувань, систематичної перевірки вимірювальних засобів [154].

До методів кваліметрії відносять диференційний – метод оцінювання якості продукції, що заснований на співставленні оцінюваної продукції та базових зразків за сукупністю одиничних та (або) комплексних показників якості та поданні кінцевого результату у формі набору оцінок за кожним оцінювальним показником.

Серед евристичних методів найбільше поширення в кваліметрії отримав метод експертних оцінок. Перший спосіб визначення кваліфікації експерта полягає в порівнянні його оцінки зі значенням середньої оцінки, що умовно приймається за істинну. Другий спосіб визначення кваліфікації експертів містить набір спеціальних тестових задач, які складені таким чином, щоб існувала досить тісна залежність між результатами вирішення цих і реальних задач. У результаті, експерти, що найкраще вирішили тестові задачі, дають найбільш правильні відповіді й при виборі оптимальних варіантів. Об'єктивним критерієм придатності експерта є значення похибки визначеної ним вагомості  $\Delta M$ , що рівна різниці між істинною (допустимою середньою) вагомістю  $M_{icm}$  та призначеною експертом –  $M$ , :

$$\Delta M = |M_{icm} - M| \quad (2.10)$$

Ця похибка складається з двох складових – систематичної  $\Delta M_{сист}$  і випадкової  $\Delta M_{випад}$  :

$$\Delta M = |\Delta M_{сист} \pm \Delta M_{випад}| \quad (2.11)$$

Систематичні й випадкові похибки викликаються різними причинами: інформаційними – недостатньою або зайвою інформацією, особистими – станом нервової діяльності, і т.д. Крім критеріїв кваліфікації експертів, важливим є питання визначення їх оптимальної кількості. Питання це й дотепер практично не розроблене, хоча окремі спроби його вирішення вже були [103, 141].

Вибір необхідної кількості досить кваліфікованих експертів – лише одна частина першого етапу роботи. Друга частина полягає в розробці карт опитування. У випадках, коли враховується більше семи показників безпеки, показники повинні бути представлені у вигляді ієрархічної структурної схеми, таким чином, щоб кількість показників, поєднаних у будь-яку групу, була не більше семи.

Процедура визначення коефіцієнтів вагомості показників якості розпочинається із вибору номенклатури самих показників якості. Основним обмеженням на вибір показників є наявність та доступність інформації для проведення розрахунків. Провівши відбір показників якості необхідно їх пронормувати – знайти відносні показники якості. Для цього потрібно вибрати відповідну функцію належності значень показника стандартному інтервалу (інтервал приймаємо [0...1]).

Коефіцієнти вагомості показників якості визначають за допомогою методу регресійних залежностей. Цей метод використовується, коли кількість варіантів безпеки дорівнює або перевищує кількість вибраних показників. Вибір виду функції узагальненого показника від одиничних показників якості безпеки здійснюється таким чином, щоб отримана при цьому лінійна залежність була б кращим наближенням до дійсної залежності узагальненого показника якості безпеки від одиничних показників.

Для визначення коефіцієнтів вагомості за експертно-статистичним методом визначення коефіцієнтів вагомості використовуємо середній зважений арифметичний показник і будуємо систему рівнянь:

$$\begin{cases} K_1 = M_1 \cdot K_{11} + \dots + M_n \cdot K_{n1}, \\ \dots \\ K_j = M_i \cdot K_{ij} + \dots + M_n \cdot K_{nj}, \\ \dots \\ K_r = M_1 \cdot K_{1r} + \dots + M_n \cdot K_{nr}, \end{cases} \quad (2.12)$$

де  $K_j$  – значення узагальненого показника  $j$ -го варіанту безпеки ( $j=1, \dots, r$ );

$r$  – кількість оцінюваних варіантів заходів безпеки;

$K_{ij}$  – значення відносного  $i$ -го показника якості  $j$ -го варіанту безпеки ( $i=1, \dots, n$ );

$n$  – кількість показників безпеки.

Невідомі коефіцієнти вагомості  $M_i$  визначаються як коефіцієнти регресії системи рівнянь за методом найменших квадратів, після чого їхні значення необхідно перетворити таким чином, щоб вони належали інтервалу [0...1],

приймаючи до уваги, що  $\sum_{i=1}^n M_i = 1$ .

Як зазначалося [114, 203], виникають труднощі при експертному визначенні узагальнених показників якості, тому експертам пропонується визначити лише ранги оцінюваної безпеки. Для встановлення числових значень узагальненого показника якості використовується їх лінійний рівномірний розподіл на проміжку [0...1].

Таблиця 2.3 – Значення розрахункових коефіцієнтів вагомості для розміру ризику [191, 235]

Розмір ризику	Значення розрахункового коефіцієнта вагомості, <i>Кст.р.</i>
Дуже високий	0,5
Високий	0,4
Середній	0,3
Низький	0,2
Дуже низький	0,1

Друге — це оцінка, що характеризує вірогідність його виникнення, якій теж присвоюється відповідний безрозмірний розрахунковий коефіцієнт вагомості (табл. 2.4).

Таблиця 2.4 – Значення розрахункових коефіцієнтів вагомості для вірогідності виникнення ризику [191, 235]

Вірогідність	Значення вірогідності	Значення розрахункового коефіцієнту вагомості, $K_{\text{ймов.}}$
Дуже висока	0,95	0,5
Висока	0,9	0,4
Середня	0,80	0,3
Низька	0,65	0,2
Дуже низька	0,5	0,1

Тоді загальний коефіцієнт вагомості для ризику ( $M_{KP}$ ) буде визначатися додаванням значення коефіцієнтів розміру ризику та оцінки вірогідності його виникнення, отже:

$$K_{\text{ст.р}} + K_{\text{ймов}} = M_{KP},$$

Тобто, чим значення загального коефіцієнту ризику ( $M_{KP}$ ) ближче до 1, тим ступінь описаного ризику і його ймовірність є вищими. Таким чином, даний загальний коефіцієнт ризику ( $M_{KP}$ ) дає можливість встановити числове значення будь-якого ризику.

Таким чином, БПЯ  $Q_1$  порівнюється з БПЯ базового рівня  $Q_1^{\text{баз}}$ ,  $Q_2$  – з  $Q_2^{\text{баз}}$ , ...,  $Q_n$  – з  $Q_n^{\text{баз}}$  ( $n$ - кількість порівнюваних показників).

Після встановлення значення БПЯ, прийнятого за базу для порівняння, переходять до визначення відносного безпекового показника якості.

Відносний безпековий показник якості в загальному випадку можна подати у вигляді (2.8) або (2.9).

З наближенням значення показника до базового значення витрати і трудомісткість збільшуються. Крім того, значну роль відіграє інтервал зміни значень показників якості [114, 154, 173]. Тому, окрім значення, до якого повинне наближатися значення БПЯ оцінюваного виробу, доцільно враховувати

граничне значення показника безпеки виробу, виходити за межі якого не дозволяється.

Для врахування нижньої межі зміни показників безпеки використовується формула:

$$K_i = \frac{Q_i - Q_i^{kp}}{Q_i^{баз} - Q_i^{kp}}; \quad (2.13)$$

Для врахування верхньої межі зміни показників безпеки використовується формула:

$$K_i = \frac{Q_i^{kp} - Q_i}{Q_i^{kp} - Q_i^{баз}} \quad (2.14)$$

де  $Q_i^{kp}$  – гранично прийнятне значення показника (рівень критичний).

Як приклад нелінійної залежності може бути наведена залежність, в якій оцінка показників безпеки здійснюється за експоненціальним законом:

$$K_i = e^{-|Q_o|^{m_i}}, \quad (2.15)$$

де  $m_i$  – додатне число в межах  $0 < m_i < \infty$ ;

$Q_o$ - лінійна функція від  $Q_i$ .

$$Q_o = \frac{2Q_i - (Q_i^{\max} + Q_i^{\min})}{Q_i^{\max} - Q_i^{\min}}, \quad (2.16)$$

де  $Q_i^{\max}$  і  $Q_i^{\min}$  – відповідно верхня і нижня межа значень показника, які передбачені технічним регламентом;

при  $Q_i = Q_i^{\min}$        $Q_o = -1$ ;

при  $Q_i = Q_i^{\max}$        $Q_o = 1$ .

До показників, які мають двосторонні обмеження, відносяться механічні зусилля, температурний режим і т. ін.

Однак найчастіше показники безпеки мають тільки нижні обмеження. У цьому випадку:

$$K_i = e^{-(e^{-Q_0})} \quad (2.17)$$

Як показали дослідження [94, 102, 113, 238], обґрунтованим є запровадження логарифмічної залежності між значеннями одиничних показників безпеки та їх оцінками для визначення відносних показників безпеки.

Комплексний метод оцінювання якості систем безпеки, заснований на співставленні СОТС, що оцінюється, та базових зразків за сукупністю одиничних та (або) комплексних показників якості та поданні кінцевого результату у формі єдиного узагальненого показника.

Інтегральний метод оцінювання безпеки, заснований на порівнянні безпеки СОТС, що оцінюється, та базових зразків за показником приведеної вартості витрат на систему безпеки СОТС і поданні кінцевого результату оцінювання у формі єдиного показника.

Комбінований метод оцінювання елементів СОТС, заснований на одночасному використанні різноманітних методів оцінювання (диференційного, комплексного, інтегрального) в їх різних комбінаціях та поданні кінцевого результату оцінювання у формах, прийнятних для методів оцінювання безпеки.

#### 2.2.5. Показники безпечності продукції.

Безпековим показником якості є кількісна характеристика однієї або декількох властивостей продукції, що складає її якість, яка розглядається відповідно до певних умов її створення та експлуатації або споживання.

Безпековий показник якості – це кількісна характеристика ризиків, значення результату розрахунку яких перевищує допустимі рівні безпеки продукції (обрані до основних), включаючи оцінювання витрат, що пов'язані з її споживанням, і є комплексним показником якості.

Безпековий показник якості СОТС – інтегральна характеристика безпеки системи в цілому з точки зору її загальної ефективності та визначається відношенням сумарного корисного ефекту від її експлуатації за призначенням до

сумарних витрат на її створення та застосування з врахуванням прийнятих обмежень за нормативно-правовими вимогами та технічним регулюванням.

Питомий безпековий показник якості продукції характеризує взаємозв'язок та взаємозалежність двох різнорідних властивостей за допомогою відношення розмірних величин (наприклад, питома радіоактивність матеріалу, Кі/кг; питома витрата палива двигуном внутрішнього згоряння, г/кВт·год).

У залежності від ролі, яку вони виконують при оцінюванні, розрізняють класифікаційні та оцінювальні показники якості продукції. Оцінювальні показники групують за порівняльними та обмежувальними, а також за однорідністю властивостей, які вони характеризують у три види: функціональні, ресурсощадні, природоохоронні.

Показники безпечності характеризують особливості продукції, що забезпечують безпеку людини у всіх режимах її споживання або експлуатації, а також транспортування, зберігання та утилізації. Номенклатуру показників безпеки встановлюють в залежності від специфіки продукції та умов її використання.

Показники безпеки продукції групують за однорідністю властивостей, що їх характеризують, та з врахуванням різних видів небезпеки [99, 132, 195-197]. Зокрема, розрізняють показники:

- травмонебезпечності;
- небезпеки ураження електричним струмом;
- термічної небезпеки;
- пожежо- та вибухонебезпеки;
- хімічної небезпеки;
- біологічної небезпеки;
- небезпеки випромінювань, що розповсюджується від продукції.

На практиці дотепер використовують в основному одиничні показники якості продукції, що характеризують її безпечність. До них, наприклад, належать: механічна міцність виробів, пластичність, твердість, ударна в'язкість



матеріалів; показники віброміцності, вібростійкості виробів; показники акустичного шуму; граничний рівень іонізуючого випромінювання; хімічна активність робочих середовищ і т.ін. [170, 191]

Показники екологічності характеризують властивості продукції, що визначають шкідливі впливи на оточуюче середовище, що виникає при виробництві, монтажі, споживанні або експлуатації продукції, а також при її зберіганні та утилізації [9, 140]. Вони, наприклад, визначають:

- рівень небезпечних та шкідливих хімічних викидів в оточуюче середовище;
- питому концентрацію шкідливих речовин, відпрацьованих газів, що викидаються в оточуюче середовище;
- рівень акустичних та віброакустичних впливів на оточуюче середовище;
- рівень руйнівних механічних дій на ґрунт;
- рівень електромагнітних, радіаційних та інших випромінювань;
- схильність до утворення шкідливих продуктів розпаду (або перетворення) в умовах зберігання, утилізації або використання продукції;
- здатність шкідливих речовин та викидів до акумуляції в ґрунті, воді, об'єктах флори та фауни, в організмі людини, а також здатність їх передачі по трофічному ланцюгу;
- можливість переносу шкідливих речовин продукції у воді та повітрі на значні відстані і т.ін.

В номенклатуру оцінювальних показників для попередження повторного розгляду одних і тих самих властивостей оцінюваної продукції не слід вводити показники, що функціонально пов'язані із вже вибраними до неї показниками. Цей коефіцієнт, що змінюється у межах від 0 до 1, перемножується на функцію середньозваженого геометричного показника, який об'єднує всі оцінювальні показники.

### 2.2.6. Обґрунтування вибору показників безпечності продукції

Для комплексного оцінювання якості продукції, якщо термін вислуги продукції перевищує один рік, використовують інтегральний показник [141, 153], який визначається за формулою:

$$J = \frac{E_{SQ}}{V_o \cdot \phi(t) + S(T)}, \quad (2.18)$$

де  $E_{SQ}$  – сумарний корисний ефект від експлуатації або споживання продукції за весь термін вислуги;

$V_o$  – сумарні капітальні (одночасні) витрати на створення продукції, грн;

$S_n$  – сумарні експлуатаційні (поточні) витрати за весь термін вислуги, грн;

$t$  – термін вислуги продукції, роки;

$$\phi(t) = \frac{(1 + E_n)^t}{\sum_{i=1}^t (1 + E_n)^i} ; i=1, \dots, t, \quad (2.19)$$

де  $E_n$  - нормативний коефіцієнт економічної ефективності, часто приймається рівним 0,15.

Вираз (2.18) справедливий при виконанні наступних умов:

- щорічний ефект від експлуатації продукції з року в рік залишається однаковим;
- щорічні експлуатаційні витрати також однакові;
- термін вислуги складає ціле число років.

Для випадку, коли ефект  $E_{SQ_i}$  і експлуатаційні витрати  $S(T_i)$  змінюються з часом, інтегральний показник визначається за формулою:

$$J_{CQ} = \frac{\sum_{i=1}^t E_{SQ_i} \cdot (1 + E_n)^i}{V_o \cdot (1 + E_n)^t + \sum_{i=1}^t S(T_i) \cdot (1 + E_n)^i} \quad (2.20)$$

У чисельник формул, для визначення інтегрального показника якості входить показник, який відображає відповідність функціональному призначенню, технологічному рівню, зручність використання виробів і т.д. Тому інтегральний показник дозволяє порівняти технічні, технологічні, ергономічні показники з показниками економічними.

#### 2.2.7. Проектування економічної ефективності безпеки СОТС

Незважаючи на всі вжиті в Україні заходи безпеки та постійне підвищення рівня надійності ядерної техніки і технології, виникнення аварійних ситуацій на АЕС з вивільненням радіонуклідів у навколишнє середовище ще залишається ймовірною подією. Тому держава, яка має атомну енергетику, повинна бути готовою до реагування на такі аварії. Це дасть змогу значно зменшити як ступінь тяжкості наслідків аварії, так і витрати на реагування, що набагато менші від вартості подолання її наслідків. На жаль, в Україні до теперішнього часу бракує більшості елементів системи аварійного реагування [7, 37, 147, 162, 212].

Світовий досвід показує, що витрати на будівництво нового блоку АЕС співмірні із витратами на зняття його з експлуатації за умови відсутності аварійного забруднення [2, 46, 66]. Для прикладу, за оцінками 2006 року зняття з експлуатації чотириблочної ЧАЕС становитиме приблизно 4 млрд. \$, двоблочної Ігналінської АЕС (Литва) з аналогічними блоками оцінено в 3,6 млрд. \$.

У проєкт АЕС, як безпечного енергоджерела, повинні закладатися витрати на будівництво нового та зняття його з експлуатації за умови відсутності аварійного забруднення [55, 65]. І це економічно обґрунтовано навіть за наближеним розрахунком. Для діючих АЕС України проєктний термін експлуатації  $t$  становив 30 років. Слід врахувати необхідність проведення щорічних планових ремонтів різного ступеня, що залишить близько 260 дів роботи за рік. Основним видом енергоблоків є ВВЕР-1000 потужністю  $W 10^6$  кВт.

Прийнявши усереднену відпускну ціну  $p$  для АЕС за проектний термін експлуатації рівну 0,05 \$, отримаємо загальний прибуток від цього проекту

$$C = W * t * p.$$

$$C = (1000000) \text{ [кВт]} \times 30 \times 260 \times 24 \text{ [год]} \times 0,05 \text{ [$/ (кВт \times год)]} \approx 10 \text{ млрд. \$}$$

У цю суму входять також експлуатаційні витрати і дохід. Спрощено прийнявши наближену суму вартості будівництва та виведення з експлуатації блоку АЕС рівну по 1 млрд. \$, можна встановити значення величини відрахувань на безпечне виведення з експлуатації об'єкта підвищеної небезпеки (у наведеному прикладі 1/10 від загального прибутку). Це значення можна використати під час проведення оцінювання відповідності технічних систем за вимогами технічних регламентів Євросоюзу [2, 50, 220]. За умови продовження терміну експлуатації, необхідно врахувати відповідні значення часу роботи та сум витрат на заміну обладнання. Стосовно четвертого блоку ЧАЕС, на якому в 1986 році сталася заprojektна аварія, витрати на перетворення його в екологічно чистий об'єкт досі точно не оцінені за відсутністю аналогій у світі. Сумарна маса забрудненого устаткування і будконструкцій оцінена в 1 450 000 тонн. Крім того, на території ЧАЕС розміщено сховища: рідких і твердих РАВ; відпрацьованого ядерного палива з понад 20 000 тепловиділяючих збірок, з них 68 пошкоджених. Ця катастрофа має як свою технічну сторону, так і найглибші моральні корені, що ґрунтується на недостатності культури загалом і культури безпеки зокрема [65, 115, 207-209, 222].

Згідно з методологією розслідування ядерних подій МАГАТЕ є чотири складових: проект, обладнання, процедури, персонал. У 90-х роках були проаналізовані реактори всіх конструкцій, за яким виявлений дефіцит безпеки. Також напрацьовані інструменти з аналізу як проектних, так і заprojektних аварій, та застосовано ймовірнісний аналіз безпеки, де на кожну подію побудовано дерево всіх інших та прораховано їх ймовірність. Паралельно розроблені симптомно орієнтовані інструкції для дій персоналу, які впроваджені

на повномасштабних тренажерах. На сьогодні оперативний персонал отримує персональні ліцензії на право керування реактором АЕС [32].

Станом на сьогодні в інженерній свідомості утверджене поняття культури безпеки [115, 207-209]. Оператори повинні знати принципові результати будь-яких ймовірнісних оцінок безпеки станції, які демонструють можливості та значення систем безпеки. До ефективних методів підготовки персоналу належать ті, у яких враховуються фізіологічні, інтелектуальні і соціальні особливості людей.

Ще задовго до катастрофи на ЧАЕС, у звіті Расмусена (1975) подано всебічний ймовірнісний аналіз ступеня ризику для двох видів реакторів: з водою під тиском і киплячого типу. Тепер практично всі реактори мають свої системи ймовірнісного аналізу ступеня ризику з врахуванням особливостей їх конструкцій. Ризик у понятійному і математичному апараті надійності, встановлений для РБМК, визначений як  $10^{-4}$  події на реактор за рік для проектних аварій, а для за проектних –  $10^{-6}$ . [2, 46, 65. 66].

Певне зацікавлення є і в порівнянні методів техніко-економічного оцінювання тих виробів, які використовуються і для виробничого, і для особистого споживання. І ті, й інші вироби можна оцінювати за однією методикою, використовуючи однаковий підхід при оцінюванні виробів без врахування умов їх експлуатації. З іншого боку, не порушуючи єдиних методичних принципів оцінювання, вносять деякі відмінності при оцінюванні товарів особистого і виробничого споживання. Наприклад, вибираються різні показники, які входять в узагальнений показник якості, можуть бути іншими коефіцієнти вагомості. Для виробів виробничого споживання найбільші коефіцієнти вагомості будуть мати показники продуктивності, а ті ж вироби, котрі використовуються для особистого споживання, будуть мати більш високі коефіцієнти вагомості естетичних показників.

Об'єктивний підхід до оцінювання рівня якості, який базується на встановленні коефіцієнта вагомості для БПЯ, якщо його буде прийнято в

міжнародних масштабах, дозволить абстрагуватися від інших другорядних моментів, що впливають на правильність визначення цінності товарів споживачем на міжнародних ринках.

Методи з використанням споживчих вартостей допускають “зваження” відношень ( $q$ ) кожного з параметрів нового та базового об’єктів техніки шляхом введення певної залежності у вигляді коефіцієнтів вагомості між змінами цих параметрів та змінами споживчої вартості усього об’єкта техніки для середнього споживача. Таким чином, коефіцієнти вагомості при  $K_{ij}$  у формулі (2.12) вибираються таким чином, щоб зміна в деяких межах кожного параметра окремо (при незмінних інших параметрах) призводила б до такої зміни кінцевого результату розрахунку рівня якості  $K$ , яка б відповідала дійсній зміні для споживача цінності об’єкта загалом.

Для прикладу розглянемо об’єкт, що характеризується трьома найбільш значущими параметрами  $a_1, a_2, a_3$ : масою, тягою та швидкістю [154]. Базовий об’єкт має ту саму номенклатуру параметрів, рівних за значенням  $A_1, A_2, A_3$ . Показники вагомості для кожного з параметрів обираються такими, що, якщо суспільство (середньостатистичний споживач) оцінює збільшення, наприклад, швидкості у 1,5 рази ( $q = a_3 / A_3 = 1,5$ ) як збільшення цінності всього об’єкту в 1,1 рази ( $K = 1,1$ ), то і в математичному записі показник вагомості параметра “швидкість” повинен бути таким, щоб від зміни швидкості у 1,5 рази розрахункові значення рівня якості змінилися у 1,1 рази, тобто:

$$K_3 = (q_3 - 1)k_{v_3} = (1,5 - 1)k_{v_3} + 1 = 1,1 \quad (2.21)$$

У даному випадку

$$k_{v_3} = (1,1 - 1) \div (1,5 - 1) = 0,1 \div 0,5 = 0,2 \quad (2.22)$$

Таким чином, у використаній формулі показники вагомості набувають чіткого фізичного змісту. А саме: їх значення показують, у скільки разів більше

(або менше) оцінюють споживачі приріст рівня якості у порівнянні зі зміною кожного параметру (при інших незмінних параметрах). У даному прикладі з  $KB = 0,2$  споживач оцінює приріст рівня якості в 5 разів менше, ніж приріст швидкості нового об'єкта.

До визначення коефіцієнтів вагомості методом споживчої корисності застосовують метод цінових кореляцій, який полягає в тому, що береться певний масив однорідних товарів, а саме – їх показники (параметри) та загальні оцінки споживачами їхнього рівня якості у вигляді встановлених на них цін, та шляхом математичної обробки (методом регресійного аналізу) знаходиться, у скільки разів більше споживач оцінює товар у порівнянні зі збільшенням кожного з його показників, а це і є значення коефіцієнта вагомості [90-92]. Як показник корисності товару використовують ціни на міжнародному ринку. У даному випадку визначені цим методом коефіцієнти вагомості дають змогу визначити не рівень якості  $K$ , а цінові коефіцієнти  $K^M = K / 2 + 0,5$  – адже на міжнародному ринку фігурують ціни, а не показники рівня якості. Тому коефіцієнт вагомості визначено тут як  $KB^M$ .

Достатньо жорстка залежність ціни від споживчих властивостей на світовому ринку дає змогу використовувати ці ціни для визначення коефіцієнтів вагомості за методом споживчої корисності. Таким чином, в даних розрахунках ціни мають допоміжне значення – тільки для розрахунків  $KB^M$ .

Перетворення в нуль БПЯ не прив'язується до використання певного виду середньої величини (середнього геометричного), а забезпечується введенням в структуру формули особливої функції  $\varphi(P_i)$ :

$$K'_o = \varphi(P_i) \cdot K_o \quad (2.23)$$

Ця функція при деяких умовах прямує до нуля, тим самим перетворюючи в нуль і комплексний показник якості  $K'_o$ . Цю регулювальну функцію  $\varphi(P_i)$  Ю.І.Поріш досить вдало запропонував назвати “коефіцієнтом вето” [153].

### **2.3. Ризик-орієнтовані підходи до оцінювання безпеки складних організаційно-технічних систем**

Для застосування аналізу ризиків визначено його наукові джерела, моделі та конкретні області застосування. Ймовірнісна оцінка ризику (PRA) включена в багато книг [4, 6, 19, 24, 48, 49] і статей [3, 12-15, 56-61, 69]. Важливими для навчання студентів технічних напрямів та фахівців з охорони праці вважаються також [13], [14], а також у багатьох сферах застосування, наприклад, [55]. Огляди методів аналізу ризиків у конкретних областях застосування вказують на те, що PRA застосовується в ядерних установках [2, 46], морських нафтових і газових платформах, хімічних установках [61] та відповідному плануванні землекористування [27], у будівельній галузі [19] та з питань кібербезпеки [53].

Сучасний стан наукових досліджень у галузі аналізу ризиків виявляє загальну відсутність уваги до валідації. Звідси випливає, що процедури контролю якості методів аналізу ризиків недостатньо розроблені, хоча це важлива проблема, яку потрібно розв'язувати. Щодо критеріїв якості для PRA [3, 4, 60] також відзначають обмежену увагу до обґрунтованості та валідації в аналізі ризиків. Щодо питання валідації PRA в системах із низьким ступенем ймовірності події та з високою шкодою, одним з підходів [60] є те, що модель ризику визначається контекстом рішення: якщо зацікавлені сторони в ситуації прийняття рішення не мають заперечень проти припущень моделювання, даних, експертних суджень та зроблених висновків, тоді аналіз ризиків можна вважати достатнім. Обов'язки та погляди щодо перевірки типових зацікавлених сторін у проєкті аналізу ризиків наведені в Таблиці 2.3. Тут відкинуто ідею справжнього основного ризику, а перевірка PRA полягає в переосмисленні концептуальних критеріїв дійсності V2, V3 і V4 [28]. Якщо експерт здатний перетворити сприйнятті невизначеності, пов'язані з величиною, у міру ймовірності (V2), якщо всі невідомі величини враховані в моделі ризику (V3), і якщо потрібні величини



адресовані для того, щоб застосувати прийнятну критерію ризику (V4), тоді PRA діє як інструмент системи підтримки прийняття рішень (СППР).

Отже, наслідком прийняття реалістичних або конструктивістських наукових основ для перевірки аналізу ризиків: для реалістів це зводиться до спроб підтвердити, що оцінки близькі до «істинного» значення; тоді як для конструктивістів ризику валідація фокусується на обґрунтуванні вибору, зробленого під час висловлення тверджень про ризик, який є напівформальним, розмовним та аргументованим процесом [3, 26, 61].

Таблиця 2.3 – Концептуальна обґрунтованість PRA за різних підходів [28].

Підхід до PRA	Критерій V1	V2	V3	V4
1 Традиційний статистичний аналіз, великий обсяг відповідних даних	Так	-	-	Так / Ні
2 Традиційний статистичний аналіз в інших випадках	Ні	-	-	Так / Ні
3 Ймовірнісний частотний та байєсівський підходи до оцінки неспостережуваних параметрів	Ні	Так / Ні	Так / Ні	Так / Ні
4 Баєсові підходи прогнозування спостережуваних параметрів	-	Так / Ні	Так / Ні	Так

Валідація ймовірнісного аналізу ризиків. У 90-х роках представлена концепція контролю якості при підтвердженні аналізу ризиків. Один з методів оцінювання якості аналізу ризику на основі контрольного списку, який прогресує відповідно до ідеалізованих фаз аналізу ризику Rouhiainen (1992, 1990-1996). Оцінка базується на документації аналізу, яка, отже, повинна бути досить детальною. Рішення про те, чи були належним чином враховані всі аспекти аналізу та чи було їх виконано належним чином, залишається за оцінювачем. Наприклад, не пропонуються конкретні методи, які можуть або повинні застосовуватися; передбачається, що оцінювач має необхідні знання застосованих методів та критеріїв для відбору. Інший метод стосується важливості спостережуваних недоліків: також слід оцінювати вплив відсутніх або

дефектних факторів на оцінку ймовірності аварії та її наслідків. Однак метод не включає жодного ранжування за значимістю аспектів, і рішення оцінювача базується на вираженні судженні [38-40].

У національних та міжнародних стандартах, включаючи ISO 9000, описаний підхід до забезпечення якості. Центральне питання ефективності їх застосування стосується зворотного зв'язку з клієнтами щодо наданих послуг, тобто зворотного зв'язку з PRA критичної ситуації, яку зазнавали користувачі. Одним із важливих питань є те, що PRA часто сприймають як надмірну концентрацію уваги на технічних питаннях аналізу, а занадто мало на виявленні потреб користувачів, об'єктивності та комунікації. Потрібен більш зважений підхід, як показано у третьому розділі на рис. 3.13. Баланс у діяльності, пов'язаний з дослідженням PRA, досягається завдяки процесам контролю якості, подібним до ISO 9000. Технічна система якості побудована як ієрархія документів, що є основою для забезпечення узгодженості аналізів PRA у різних підрозділах СОТС. Консультаційна політика - це короткий документ, що стосується таких питань, як філософія компанії, потреби споживача, методи роботи та культура безпеки [39]. Рекомендації стосуються методів та стратегій для проведення різних типів досліджень, тоді як технічні примітки визначають детальні інструкції щодо використання окремих інструментів PRA (моделі, дані та параметри). Нарешті, процедура відхилень встановлює, як діяти у випадках, коли конкретний проєкт хоче відхилитися від керівних принципів та технічних приміток, наприклад для врахування нових технологій або певних джерел невизначеності [40].

Одна з анкет для забезпечення якості та оцінювання валідності моделей для розрахунку наслідків основних небезпек базується на п'яти концепціях: наукове забезпечення якості, алгоритмічне забезпечення якості, забезпечення якості комп'ютеризації, забезпечення якості інтерфейсу людина-машина та перевірка моделі та аналіз чутливості [52]. Інша модель валідації [60] базується на моделі процесу для типового аналізу ризику, створеної на основі набору

стандартів та посібників для аналізу ризиків. Ці процеси включають: (i) надання ресурсів, (ii) встановлення контексту, (iii) виявлення небезпечних результатів, (iv) побудова моделей, (v) оцінка ризику, (vi) оцінка ризику, (vii) планування дій та (viii) передача результатів. Визначено чотири практично досяжні рівні, з категоріями вад, як визначено в Таблиці 2.3. Модель зрілості - це метод перегляду PRA, де вищий рівень зрілості відповідає кращому аналізу ризиків.

Поняття та принципи встановлення обґрунтованості, а також рамки та методи перевірки методів аналізу ризиків та їх результати є важливими елементами для зміцнення розуміння предмету аналізу ризику [26]. Наприклад, розглядаючи PRA як інженерний метод, обґрунтованість методу щодо його призначення, а також процедури його встановлення є важливими питаннями як для розробників систем, так і для національних регуляторних органів. Тим більше, що це важливо в нормативних документах, що стосуються аналізу ризиків, як, наприклад, Директива Севесо (Seveso III, 2012), - відсутність конкретних вимог щодо процедур контролю якості аналізу ризиків.

За темою дослідження слід розглядати PRA в контексті безпеки, тобто його використання в контексті великих аварій, інженерного проекту для безпеки або особистої безпеки.

### 2.3.1. Концептуальна обґрунтованість

Постає питання про те, наскільки PRA відповідає науковим вимогам надійності та обґрунтованості, згідно з визначенням ризику як «невизначеність щодо тяжкості подій та наслідків діяльності стосовно того, що цінують люди»[4], існує чотири підходи до PRA: традиційний статистичний аналіз, частота ймовірності [28] та байєсівські підходи (оцінка неспостережуваних параметрів, орієнтується на основний дійсний ризик [19]; та спостережуваних), не фокусуються на базовому справжньому ризику [3]. Для цього визначають чотири критерії дійсності підходу:

V1. Ступінь точності отриманих цифр у порівнянні з основним справжнім ризиком

V2. Ступінь, до якого призначені суб'єктивні ймовірності адекватно описують невизначеності оцінювача щодо невідомих розглянутих величин

V3. Ступінь завершення епістемічної оцінки невизначеності

V4. Ступінь, в якому аналіз враховує правильні величини (вигадані величини або спостережувані події).

Якщо прийняти традиційну інтерпретацію ризику безпеки, з акцентом на наслідки та ймовірності частоти появи, відмова від підходу щодо безпеки стає зрозумілою, оскільки такі ймовірності важко виправдати у багатьох контекстах безпеки, наприклад, пов'язаних із виникненням теракту. Густина розподілу ймовірності - це теоретичне поняття, що трактується якщо розглянута ситуація може повторюватися знову і знову. Така концепція, очевидно, недоречна в умовах безпеки, коли події часто мають унікальні характеристики. Відповідно, сучасне мислення щодо ризику, як, наприклад, відображено в новому словнику Товариства аналізу ризиків (SRA) [67], має набагато ширший погляд на ризик та ймовірність. Глосарій SRA охоплює як безпеку, так і охорону в цій ширшій інтерпретації.

Щоб проілюструвати різницю у визначеннях та інтерпретаціях ризику, що охоплюють як безпеку, так і охорону, використовують відомий приклад - випадок із валуном, вивчений [19]. Як різновид, розглядається лавина, яка може зрушитися з уступу і вдарити людину під ним [9] (див. рис. 2.11). Чи зрушиться валун з уступу, є невизначеністю, й існують сумніви щодо наслідків, якщо валун насправді може упасти. Валун являє собою джерело ризику (RS) або небезпеку людині, яка проходить під ним. Валун може зрушитись з уступу через природні, фізичні причини або через умисні дії. Отже, ситуація охоплює як безпеку, так і охорону.

Співвідношення стандартизації стосовно безпеки, охорони та ризику. Йдеться про узагальнюючі спільні ідеї та структури, які мають сильний вплив на спосіб подальшого оцінювання та управління ризиками, безпекою та охороною. Наприклад, у контексті охорони сутність суджень про знання завжди слід

подавати разом із судженнями про ймовірність; що не робиться відповідно до поточної практики. Представлену [1] настанову для розуміння ризиків, що охоплюють як безпеку, так і охорону, що є новим та оригінальним у порівнянні з загальним мисленням та практикою охорони. Публікація [26] ілюструє відмінності в мисленні. Тут аналіз ризиків охорони використовується для допомоги в захисті процесів критичної інфраструктури. Ризик осмислюється як трифакторна величина (цінність, небезпека та здатність до вразливості), але функціонує як продукт, очікувана цінність, для підтримки прийняття рішень.



Рисунок 2.11 – Аварійні роботи з ліквідації небезпеки під час експлуатації сміттєзвалища (1 - місця знаходження загиблих; екскаватори; 2 - напрямок переміщення сміттевої лавини, 3 - сміттева стінка висотою близько 80 м, 4 - місце горіння відходів, 5 - водойми з рідкими відходами, 6 - курсанти зміцнюють дамбу)

Для правильного розуміння трифакторної величини та чому не потрібно брати характеристики ризику, яка використовується в аналізі ризику охорони, розглянемо деякі цінності IV, наприклад, життя та здоров'я людини, навколишнє середовище та економічні активи. Одне або кілька джерел ризику (RS)

загрожують цим цінностям, наприклад терористична організація або валун у прикладі вище. RS - це елемент (дія, діяльність, компонент, система, подія тощо), який визначений, і сам по собі або в поєднанні може призвести до події (X) з наслідком IC, пов'язаним зі значеннями IV. Наслідки IC часто розглядаються стосовно деяких контрольних значень (запланованих величин, цілей тощо), і, як правило, увага приділяється негативним, небажаним наслідкам. Завжди є принаймні один потенційний результат, який вважається негативним або небажаним.

Іншим прикладом є людина, яка зазнає випромінювання урану з гірських порід. Уран безпосередньо можна вважати RS, як і гірські породи. Ця експозиція може призвести до раку (X) та вплинути на здоров'я людини (значення IV). Можливі суперечливі визначення компонентів: джерела ризику (уран, ґрунт та гірські породи), пов'язаної події X (рак) та наслідки IC (вплив на здоров'я). У прикладі валуна аналогічно: валун (джерело ризику RS, падіння валуна (подія X) та наслідки для людини (IC) або, якщо розглядати як випадок охорони, валун та нападників (джерело ризику RS), падіння валуна (подія X) та ефекти для людини (наслідки IC).

Також і RS може бути подією, як-от збій в системі безпеки СОТС. Також подію (X) можна вважати RS. Ці концепції відносні в тому сенсі, що їх можна позначити як джерелом ризику (RS), так і подією (X), залежно від умов, які хотіли б виділити. У спрощеному режимі можна використовувати лише RS.

Відповідно до глосарію SRA, у роботі використано термін «небезпека» в широкому розумінні, щоб охопити як джерела ризику RS, так і події X. У більшості випадків потрібно пов'язати ситуацію із системою, наприклад, людиною, технологічним процесом, заводом чи країною (з усім її населенням). Система може бути схильна до подій, в тому сенсі, що система впливає на ці події - відбувається фізичне перетворення енергії. Про визначення енергетичного безпекового показника йтиме мова у третьому розділі.

Події можуть бути ініційовані ззовні або всередині системи. Лише в першому випадку природно говорити про системи, що підлягають дії. Системи також можуть бути піддані дії RS, наприклад, людина, яка зазнала радіаційного випромінювання, або яка зазнала небезпеки лавини. Вводяться заходи захисту, наприклад, для зменшення впливу радіації або система попередження, коли лавина близька до зрушення, щоб уникнути негативних подій і зменшити їх наслідки, якщо вони дійсно мають статися. Виникнення подій (X) та наслідки (IC) залежать від ефективності цих бар'єрів.

Щоб концептуалізувати ризик, застосовується параметр часу. Невідомо, які події X насправді відбудуться і якими будуть наслідки IC, оскільки стосовно цього існують невизначеності U (рис.2.12). Джерела ризику також можуть піддаватися невизначеності, наприклад, наскільки сильною буде радіація. На рисунку 2 "U" виражає невизначеність того, які джерела ризику будуть реалізовуватися, і якщо так, то як вони відбуватимуться, або які події X відбуватимуться і які наслідки IC матимуть. Тобто, U посиляються на стан невизначеності щодо RS, X та IC. Реальний світ характеризується джерелами ризику RS, подіями X та наслідками IC.

Відповідно до теорії вимірювань та глосарію SRA16 розрізняють поняття ризику та спосіб вимірювання або опису ризику. В оцінці ризику ми хотіли б надати опис (характеристику) майбутнього, і нам потрібно вказати набори RS', X' і IC' джерел ризику, подій та наслідків, а також міру (u) для опису або вимірювання невизначеності (U), пов'язаних з ними. Прикладом RS', X' і IC' може бути потужність дози опромінення в певному часі і місці у випадку, коли людина захворіє на рак, і різні наслідки, якщо рак виникає, відповідно. Для прикладу валуна аналогічні величини такі: валун, валун падає та категорії альтернативних наслідків для людини, скажімо, загибель, серйозна травма, незначна травма та відсутність ефекту.

Звертається увага, що трифактор (RS', X', IC'), вказаний в оцінці ризику, може відрізнятися від фактичних джерел ризику, подій та наслідків (RS, X, IC).

Наприклад, у нас може статися подія  $X$ , яка не охоплюється  $X'$ . Розрізнення між концепцією ризику та його описом вважається важливим, оскільки це означає, що завжди буде обговорюватися те, наскільки якісними є інструменти, що використовуються для опису ризику, якими є їх обмеження та яким чином можна їх вдосконалити [1, 3, 12, 15, 57, 67].

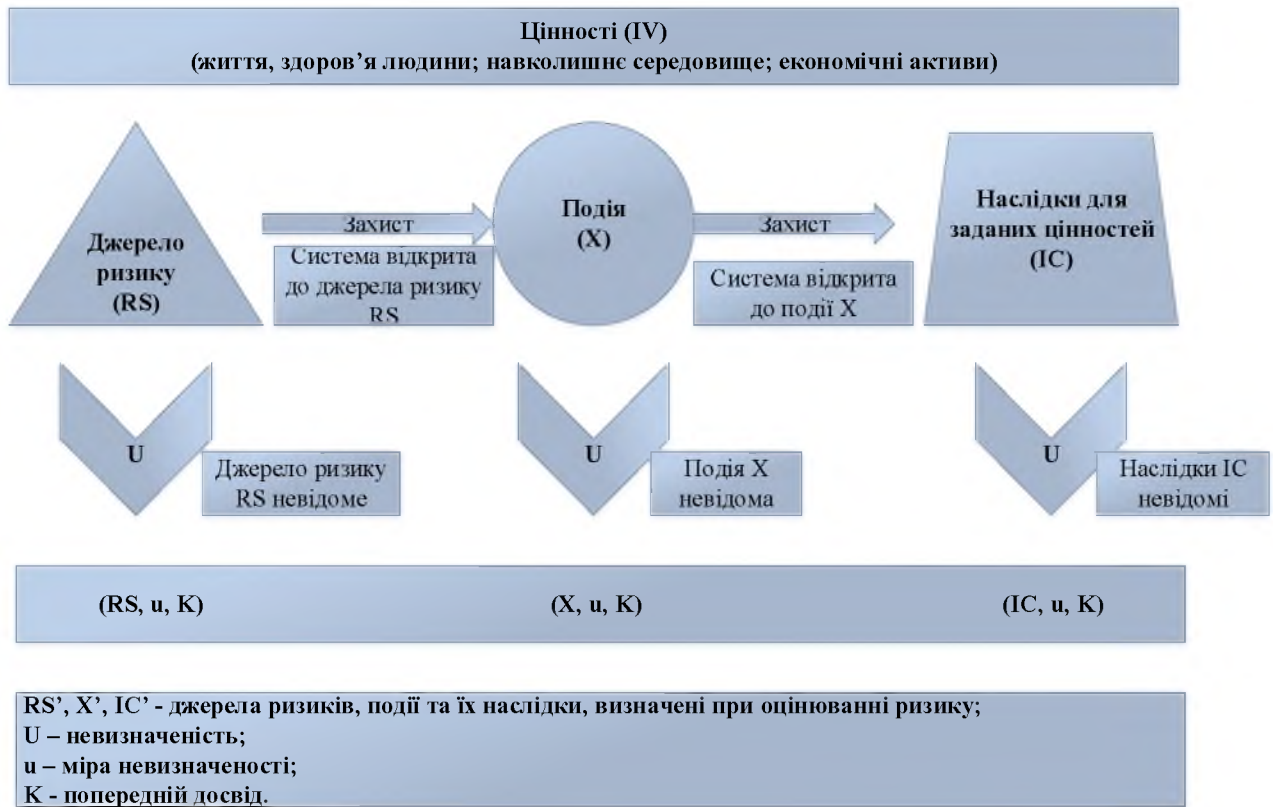


Рисунок 2.12 – Концептуальна модель, що пов'язує ризик, джерела ризику, події та наслідки ((RS, X, IC) – фактичні джерела ризику, події та наслідки та (RS', X' та IC') – джерела ризику, події та наслідки, зазначені в оцінці ризику. Наприклад, можлива подія  $X$ , яка не охоплюється  $X'$

Специфікація  $RS'$ ,  $X'$  і  $IC'$  та міра ( $u$ ) засновані на деяких попередніх знаннях (досвіді) ( $K$ ) у формі обґрунтованих переконань (встановлених на основі даних та інформації, тестування, аргументації, моделювання тощо). Підсумовуючи, ми отримуємо загальний опис ризику  $R = (RS', X', IC', u, K)$ , де  $u$  та  $K$  використовуються як загальні символи; вони не повинні бути однаковими



на різних етапах оцінок (наприклад, оцінки джерел ризику RS та оцінка наслідків IC). Конкретний формат цієї характеристики повинен бути адаптований до конкретного випадку, що розглядається, та необхідної підтримки прийняття рішень. Часто вводяться метрики, що з'єднують наслідки та ймовірності, наприклад, криві FC, що показують ймовірність події принаймні з втратою C або очікуваною втратою C. У [1] є приклади опису ризику, зокрема, при використанні очікуваних значень, як зазначено у наступному розділі. У будь-якому випадку, згідно з сучасними вимогами, слід відобразити вимір знань і, зокрема, значення цього знання, як вказано вище.

Якщо обмежуватись фактичною наявністю або появою RS чи події X, то говорять про вразливість. Відповідно до зазначеного розуміння ризику, вразливість – це сукупність наслідків діяльності та пов'язаних з нею невизначеностей, враховуючи виникнення конкретного джерела / події ризику (RS / X) [1, 57].

Таким чином, повертаючись до прикладу випромінювання, вразливість стосується того, як на людину впливає випромінювання, коли таке опромінення відбувається / відоме. У прикладі з валуном вразливість стосується впливу на людину, якщо валун падає і може вдарити її, або, якщо валун вдарив її. Отже, концепція вразливості залежить від ризику настання певної події (X) або конкретної RS. Посилаючись на термін вразливості, нам завжди потрібно посилатися на відповідні RS або X та „систему”, на яку впливає RS або X.

Модель ймовірнісного аналізу ризику COTS. Щоб описати або виміряти вразливість згідно концепції ризику, сформовано опис форми (IC', u, K | RS' / X'), тобто ризик, описаний через (IC', u, K) залежать від виникнення джерела ризику RS' або події X'. Якщо система оцінюється як високо вразлива, говорять, що вона вразлива. Термін "надійний" часто використовується для випадків, коли вразливість оцінюється як низька.

Оцінка невизначеності U та пов'язані з нею попередні знання K. Проблема полягає в тому, як зобразити або виразити невизначеність щодо величин RS, X

та ІС. Традиційно застосовували ймовірність, і цей показник відповідає деяким основним вимогам для цього типу подання невизначеності [67, 69]:

- Аксіоми. Вказівка формальних властивостей подання невизначеності.
- Інтерпретації. Зв'язок примітивних термінів в аксіомах із спостережуваними явищами.
- Процедури вимірювання. Надання практичних методів інтерпретації системи аксіом.



Рисунок 2.13 – Узагальнена схема валідації ймовірнісного аналізу ризиків

Результати аналізу наведені в таблиці 2.3, де зроблено висновок, що за жодного з підходів PRA в цілому не відповідає вимогам наукової обґрунтованості [28]. Лише за певних умов вони можуть визнаватися для деяких ступенів аналізу ризиків.

Основним питанням щодо прагматичної обґрунтованості PRA є використання аналізу. Проблемою є некритичне, механістичне застосування її результатів у контексті прийняття рішень та надмірна залежність від отриманих цифр. Заява про точність передбачає, що сукупна оцінка загального системного ризику є достатньо точною та правильною, щоб забезпечити прийняття рішення,

наприклад для вибору між конкуруючими проектами або порівняння ризику із заздалегідь визначеними цілями ризику (критеріями прийнятності). Емпірично визначити точність PRA неможливо: «один із найпотужніших наукових методів - експериментальні спостереження - непридатний для оцінки загального ризику» [28]. Передумовою точності є надійність: умова, що при повторному вимірюванні результати є "подібними".

Вимога про економічну корисність означає, що виконання PRA забезпечує перевагу для безпеки, яка є значно вищою, ніж передбачена методами, які не покладаються на кількісну оцінку. Така корисність потрібна, наприклад для визначення шляхів вдосконалення проєкту, компромісного ризику порівняно з іншими проблемами або для відстеження змін ризику з часом. Доведення того, що використання методу мало переваги з точки зору безпеки системи або з точки зору поліпшення консенсусу при прийнятті рішень, що перевищує витрати на оцінювання [4, 10, 57]. Цілком імовірно, що обізнаність про шляхи, в яких система може вийти з ладу, знання про домінуючі сценарії захисту системи, фактори, що сприяють виходу з ладу, відносну важливість різних видів аварій та, загалом, інформацію про безпеку, отриману при виконанні PRA надає переваги для управління ризиками. Кількісна оцінка може допомогти цьому процесу, навіть якщо цифри самі по собі не є точними. Оскільки відомо, що дослідження PRA, як правило, досить ресурсомісткі, його застосування допомагає проєктувати безпечніші системи та приймати кращі рішення, але PRA не можна показати більш економічно вигідним, ніж інші методи – якісні методи, методи техніки безпеки або підходи до поведінкової безпеки. Для надання допомоги пропонується експертний метод при валідації моделі ризику (див. рис. 2.13). Основна увага в структурі полягає у практичному використанні моделі, до якої аргументовано підходять шляхом оцінки відповідності структури моделі, змісту, дискретизації, параметризації та поведінки. Метод застосовується формативно, тобто він не призводить до градації PRA щодо його якості, а використовується лише для полегшення

дискусії серед рецензентів, які приймають обґрунтоване рішення про придатність PRA для використання.

Таблиця 2.4 Приклади категорій норм для перевірки PRA, [1, 28]

Категорія норми	Пояснення	Приклад норми
Повна	Залучення всіх важливих елементів та проблем	Переконайтесь, що не пропущено випадковості, оскільки вони є суперечливими або не піддаються кількісній оцінці
Досвідчена	Опирається повністю на наявні знання	Не покладайтесь на оцінювачів ризику, які працюють в організаціях постачальників, які ізольовані від знань про відмову
Обґрунтована	Грунтується на відповідних даних та судженнях	Не слід використовувати статистичні дані які не диференціюються за основними причинами відмов
Інтегрована	З'єднання частин в ефективне ціле	Переконайтесь, що оцінка ризику включає знання, які розділені на багато частин
Системна	Робота з взаємодіями та системами в цілому	Аналізуйте системні якості, такі як складність та зв'язок, а не прогнозуйте детальні послідовності подій
Напрямна	Допомога людям, які використовують оцінку, в її ефективному застосуванні	Покажіть, як процеси оцінювання ризиків підвищують обізнаність та перевіряють припущення, а не забезпечують певний результат
Відкрита	Бути відкритим щодо проблем і скромним щодо досягнень	Визнайте можливу відсутність даних про причини, які лише нещодавно з'явилися як причини
Консультативна	Залучення зацікавлених сторін та врахування проблем	Слід широко оглядати на робочому рівні, у т.ч. нібито неавторитетні джерела знань
Своєчасна	Отримати результати досить швидко, щоб за ними можна було діяти	Проводьте оцінювання досить рано, щоб вплинути на проектні рішення, які можуть бути скасовані дорогою ціною
Доступна	Зрозуміло людям із натопу	Забезпечте прості способи переходу від висновків до аналізу та припущень
Допоміжна	Забезпечує допоміжні підстави для опрацювання ризиків	Тестуйте культуру волевиявлення в організації в питаннях дій задля аналізу ризиків

Також, наприклад, інші сучасніші підходи, такі як динамічний аналіз ризику [58], де картина ризику динамічно оновлюється у світлі нової інформації, можуть забезпечити шлях до більш економічно ефективного використання

аналізу ризиків для підтримки прийняття рішень та підвищення безпеки системи. Однак науково довести це непросто, особливо коли відсутні абсолютні виміри безпеки, і тому що контрольовані експерименти на реальних програмах практично неможливі. Наскільки відомо [1, 28], на сьогодні таких системних механізмів не пропонувалось, а також не проводилося тестування на економічну ефективність. Таким чином, претензія не є ні доведеною, ні спростованою, хоча, мабуть, це найвища досяжна претензія щодо PRA, враховуючи доказ проти вимоги щодо точності. Отже, PRA, проведена належним чином, ймовірно, допомагає людям розробляти безпечніші системи та може допомогти прийняти правильні рішення. Однак необхідно скептично ставитися до обгрунтованості окремих випадків PRA та його наукового підтвердження, що допоможе подолати сумніви та критику щодо його ефективності.

Завдяки інтерв'ю з експертами з промисловості, регуляторних органів та наукових кіл були зібрані [1, 3, 12, 15, 57, 67] погляди на те, які обмеження PRA взагалі, на методологію, людей, які її використовують, і на контекст, в якому вона використовується. Згодом ці обмеження перетворились на норми, тобто вимоги чи конвенції щодо того, як найкраще виконувати та застосовувати PRA з огляду на його обмеження. Деякі приклади таких визначень норм наведені в таблиці 2.4, прийняті за основу та розвинуті в цій роботі.

Наведена на рис. 2.14 схема повторного процесу оцінювання ризику та зменшення ризику є для ілюстрації того, як його слід проводити.

Ризик складається з двох різних складових - небезпеки та вразливості. Процес, представлений на рис. 2.14, вказує на те, що шляхом визначення передбачуваного використання та зловживання може бути досягнута ідентифікація небезпеки, яка потім може призвести до оцінки ризику. Інший ключовий компонент - оцінка вразливості був опущений, що було запропоновано відобразити у структурі оцінювання.

Ризик може створюватися або генеруватися під час виробництва або виробничого процесу. Існує потреба застосувати до них концепції Керівництва

[131-133]. Розгляд аспектів безпеки товару (включаючи послугу) потрібно починати з моменту задуму, продовжувати протягом фази проектування, прототипу або випробувальних робіт та етапів виробництва до кінцевого споживача та життєвого циклу товару. Побоювання користувачів можна повністю відокремити від концепції, проекту та виробничих функцій щодо безпеки.

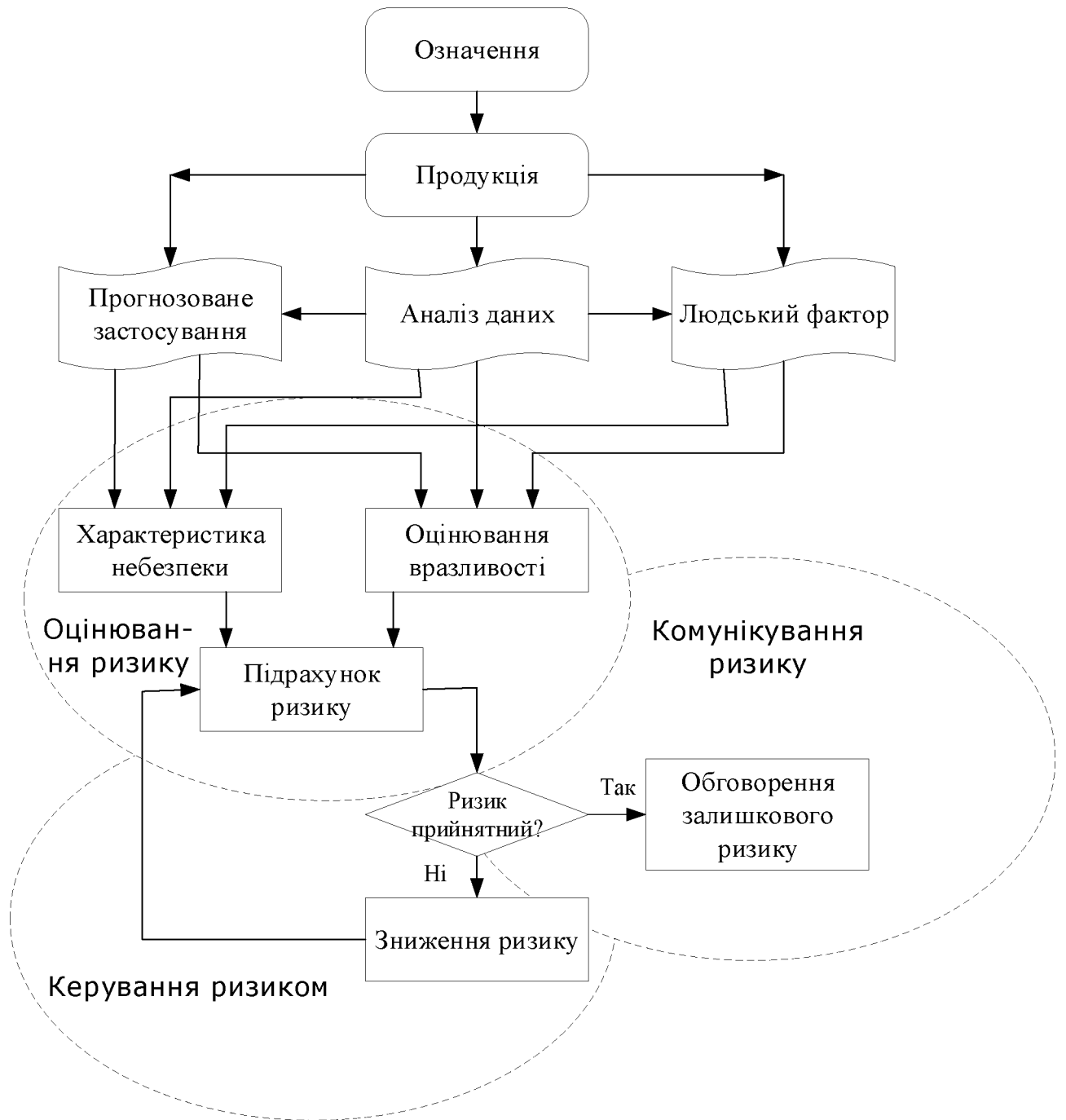


Рисунок 2.14 – Повторний процес оцінки ризику та зменшення ризику

Які б аспекти безпеки не охоплював стандарт, вони повинні бути зрозумілі постачальникам, дизайнерам, консультантам, технічним працівникам, фабричним робітникам та субпідрядникам. Пропозиція повинна наголошувати на необхідності дати вказівки щодо чіткого мовного підходу, що базується на результатах, до аспектів безпеки при розробці стандартів.

Виходячи з визначення «шкідлива подія» у контексті Керівництва [131], це означатиме таке: Поява такої обставини, при яких люди, майно чи навколишнє середовище піддаються дії одного або декількох небезпечної ситуації потенційного джерела шкоди (небезпеки), призводить до фізичної травми або пошкодження здоров'я людей, або майна або навколишнього середовища.

Інструкції та інформація, що надаються, повинні охоплювати безпечні умови експлуатації продукції, процесу або послуги. Що стосується продукції, інструкція повинна охоплювати використання, очищення, обслуговування, демонтаж та знищення / утилізацію, якщо це доречно. У цьому контексті застосовують ще й Керівництво ISO / IEC 14 та Керівництво ISO / IEC 37 .

Що стосується продукції, інструкція повинна охоплювати використання, вплив на навколишнє середовище, очищення, технічне обслуговування, демонтаж та знищення / утилізацію. Стандарти, що визначають методи випробувань, можуть передбачати процедури та / або використання речовин або обладнання, які можуть створити ризик, наприклад для персоналу лабораторії. Там, де це доречно, стандарт повинен включати такі попереджувальні заяви:

- загальне застереження, що з'являється на початку стандарту;
- конкретне (-і) застереження, що відповідає частинам тексту стандарту.

Безпека є першорядною цінністю для споживачів.

Управління ризиками повинно бути визнане та переглянуте під час роботи відповідно до ISO 31000 та у межах визначень Guide ISO 73. Для створення безпечнішого споживчого середовища потрібно ефективніше використовувати керівництва, стандарти та ресурси оцінки відповідності.

Стосовно визначень та вказівок щодо конкретних тем безпеки. Оцінка ризику та безпека мають першочергове значення при написанні сучасних стандартів. Guide ISO / IEC 51 надає розробникам стандартів настанови щодо включення аспектів безпеки при розробці та обговоренні стандартів. Він застосовується до будь-якого аспекту безпеки, пов'язаного з людьми, майном чи навколишнім середовищем, або до поєднання одного або декількох із них. Застосовується до будь-якого аспекту безпеки, який впливає на людей, майно чи навколишнє середовище, або поєднання одного або декількох із них (наприклад, лише люди; люди та майно; люди, майно та навколишнє середовище). Цей Guide застосовує підхід, спрямований на зменшення ризику, що виникає в результаті використання продуктів, процесів або послуг. Повний життєвий цикл продукту, процесу чи послуги, включаючи як передбачуване використання, так і обґрунтовано передбачуване неправомірне використання, розглядається у світі, який просуває оцінку ризику як важливу складову аналізу безпеки.

Стандарти, міжнародні та національні, щодо безпеки споживчих товарів, технологій та інших суміжних областей дедалі більше залежать від ризику чи ефективності. У більшості, якщо не у всіх із них, вимагають від користувачів розробляти та підтримувати оцінки ризиків для демонстрації відповідності безпеці, на відміну від приписів. Це дозволить:

- користувачам стандартів застосовувати стандартизовані та узгоджені визначення та рамки для оцінки ризиків для всіх стандартів, що стосуються безпеки;

- регуляторним органам надавати керівництво регульованим секторам щодо прийнятних методів відповідності;

- вирішити питання суб'єктивності у прийнятті рішень, особливо що стосується прийняття рішень щодо оцінки безпеки та ризиків.

Керівництво 51 можна ефективно використовувати для сприяння розумінню причин аварій, незалежно від того, чи пов'язана причина аварії з конструкцією. Важко визначити загальний розмір специфікації елементів, що



відповідають виробу, швидше повинні бути включені в ISO 31000 Якщо безпечне проектування та управління ризиками правильно зрозуміти та застосувати, їх можна ефективно використовувати у профілактичних заходах.

Однак зараз, схоже, існує спільна згода щодо того, що аналіз ризиків має три суттєві компоненти - оцінку ризику, управління ризиками та інформування про ризик, де оцінка ризику, як правило, проводиться шляхом характеристики ризиків та оцінки вразливості. Управління ризиками - це усталена дисципліна. Визначення ризиків включає запитання, що, чому, де, коли і як може виникнути небезпека. Підходи, що використовуються для виявлення ризиків, можуть включати контрольні списки, судження, засновані на досвіді та записах, блок-схеми, мозковий штурм та аналіз сценаріїв.

Для розглянутих тут обставин ймовірність трактується як суб'єктивна (оцінна, заснована на знаннях) ймовірність, в тому сенсі, що ймовірність сказати 0,10 означає, що оцінювач має ту саму невизначеність або ступінь переконання, що подія відбудеться випадковим чином [37, 38]. Дуже мало експертів з питань ризику безпеки знають про поняття ймовірності, як описано вище. Така ситуація є основним джерелом поганого зв'язку між аналітиками ризиків безпеки та іншими експертами з питань ризику, як це документує, наприклад, [60, 69]. Коли говорити про ризик безпеки, то, як правило, йде мова про частотні ймовірності та їх оцінки [101].

Існують також альтернативи ймовірності [39] для представлення та вираження невизначеності в оцінці ризику. Один з варіантів стосується того, що суб'єктивна ймовірність не підходить. Часто зустрічається одна аргументація: якщо фонові знання досить слабкі, буде складно або неможливо з певним рівнем впевненості вказати суб'єктивну ймовірність. Однак завжди можна призначити суб'єктивну ймовірність. Проблема полягає в тому, що призначена суб'єктивна ймовірність відображається набагато сильніше, ніж можна обґрунтувати. і тому використовують інтервальні ймовірності [40]. Змушення аналітика вказати один розподіл ймовірностей означало б необхідність додавати деяку інформацію, яка

недоступна. Таким чином, ми потрапляємо до меж розподілу ймовірностей та інтервальних ймовірностей.

До цього можна зауважити, що при оцінці ризику метою є не лише нейтрально представити наявні знання, а й висловити переконання експертів, і ймовірність є корисним інструментом для цієї мети. Визнається, що ці переконання є суб'єктивними, але вони тим не менше підтримують процес прийняття рішень. Отже, ймовірність та альтернативні підходи доповнюють один одного.

Якщо суб'єктивні ймовірності використовуються для вираження невизначеності, також потрібно задуматися над знаннями, які їх підтверджують. Можуть бути дві ситуації, одна, коли сума знань, щодо ймовірності, значна або незначна, але ймовірності можуть бути однаковими [1, 28]. Цим обгрунтовано невизначеності, яке на додаток до ймовірностей  $P$  також включає характеристику суми знань, що визначають  $P$ . Отже, ми отримуємо пару  $(P, SoK)$ , де  $SoK$  виражає деяку якісну міру суми знання, що підтверджують  $P$ . Для цього розробляються критерії обгрунтування висунутих припущень, обсяг достовірних та релевантних даних / інформації, умови погодження між експертами та розуміння явища, що беруть участь. Вони досить загальні та в першу чергу мотивовані та розроблені для встановлення безпеки [20], що розробляють та застосовують більш детальну систему, спеціально розроблену для встановлення охорони, що включає, наприклад, оцінку аспектів, що стосуються розуміння суб'єктів і їхньої спроможності та намірів, а також їх знань та поведінку. Небезпека СОТС вимірюється за ймовірністю відмови будь-якого елемента та умовною ймовірністю крадіжки конкретного (великого значення). Наслідки вимірюються за грошовою вартістю, але також можуть бути включені якісні характеристики важливості СОТС. Тоді вразливість вимірюється умовною ймовірністю різного рівня тяжкості наслідків, тобто різним діапазоном грошових втрат. Встановлені ймовірності доповнюються якісними оцінками суми знань, що підтверджують їх, і класифікацією за п'ятьма категоріями від сильних до слабких.

2.3.5. Застосування БПЯ, визначених при оцінюванні ризику. Інтервальні ймовірності (неточні ймовірності) зазвичай використовуються в оцінках ризиків, наприклад, при зазначенні категорій ймовірності в матриці ризиків. Експерт не має достатньо знань, щоб бути точнішим, ніж виражає інтервал. Тоді інтервали можуть базуватися на теорії можливостей та / або теорії доказів. Крім того, при використанні таких інтервалів важливо та доречно враховувати попередні знання та суму цих знань. У більшості випадків фонові знання для інтервалів були б значнішими, ніж для точних імовірнісних присвоєнь, але інтервали були б менш інформативними щодо передачі суджень експертів.

Обговорюючи невизначеність в оцінці ризику, також повинні згадати аналіз важливості невизначеності. Завдання полягає у визначенні найбільш важливих та основних факторів, що сприяють невизначеності та ризику виробництва. У цій галузі проведена значна робота [19, 27, 44, 49, 196]. Інтерпретація ризику безпеки з її трьома факторами: цінністю, небезпекою та вразливістю. Ці значення ідентифіковані, і наслідки  $L$  подій  $X$  та  $RS$  пов'язані з ними. Небезпеки  $NZ$  визначаються як події  $X$  або  $RS$ , і розглядаються через невизначеність  $U$ , пов'язану з виникненням загроз. Враховуючи виникнення небезпеки, розглядають наслідки разом із пов'язаними з ними невизначеностями, які називаються вразливістю.

Це основні поняття, що визначають ризик; далі потрібно описати ризик (джерела ризику  $RS'$ , події  $X'$ ) та наслідки  $L'$  і використовуємо міру невизначеності  $u$ , яка базується на деяких попередніх БПЯ, що приводить до опису ризику, рівного  $(HZ', J', u, SQ)$ . Міра невизначеності  $u$  може бути сумішшю (інтервальної) ймовірності, оцінок намірів та можливостей, а також суджень про суму знань, що підтримують інші оцінки. Однак існують інші підходи та методи вираження невизначеності. Приклади включають підходи та методи, засновані на інтервалах ймовірності, а також на обґрунтованості суджень про знання.

Імовірність, що застосовується в сучасних рамках, слід розглядати як один із декількох інструментів для підтримки прийняття відповідних рішень. Особа,

що приймає рішення, повинна враховувати величезну кількість небезпек. Ресурси для протистояння їм, як завжди, обмежені, не можна побудувати бар'єрні та оборонні системи на всі можливості. Представлена [1, 20, 55, 57] структура надає широку інтерпретацію щодо того, як оцінювати ці невизначеності та ймовірності, яка бачить за межами (інтервальних) ймовірностей, додаючи традиційні оцінки намірів та можливостей, а також судження про силу знань, що підтримують ймовірності та ці оцінки. Очевидно, якщо ігнорувати розмір невизначеності / ймовірності, можна серйозно ввести в оману тих, хто приймає рішення, у використанні ресурсів. Особи, що приймають рішення, повинні бути поінформовані про ризик у широкому розумінні, що також означає охоплення виміру ймовірності.

На різних організаційних рівнях, від міжнародного, урядового рівня через підприємства до рівня окремих людей, існує потреба в характеристиці рівнів ризику, з питань промислової безпеки, охорони праці та інших питань.

## **2.4. Науково-методологічні засади управління безпекою в процесах розвитку складних організаційно-технічних систем**

2.4.1. Проблема стандартизації систем управління має свою тривалу історію. Це питання стандартизації систем управління якістю (СУЯ), систем екологічного управління, систем управління охороною праці, систем управління соціальною відповідальністю, систем управління інформаційною безпекою, систем управління ризиками тощо. Ця інформація дуже об'ємна й висвітлена в роботах: Geiger W., Iizuka Y., Leonard K.-W., Naumann P., Maaßen S., Шаповал М. І., Аванесов Е. К., Боженко Л. І., Гутта О. Й., Болотніков А. О., Кане М. М., Схиртладзе А. Г., Мельник Ю. Ф., Новиков В. М., Школьник Л. С., Павлов В. І., Мишко О. В., Павліха Н. В., Цопа В. А., Швандар В. А., тощо.

Проте, незважаючи на велике різноманіття джерел інформації, для прийняття рішень необхідні роботи, які пов'язують зазначені проблеми безпеки

й сталого розвитку з роботами у сфері стандартизації систем управління. ISO 9001:2015 Системи управління якістю – вимоги, ISO 18091:2019 Системи управління якістю Керівництво по застосуванню ISO 9001 в органах місцевого самоврядування, ISO 37120:2018 Сталі міста та громади Показники міської служби та якості життя, ISO 31000 Управління ризиками керівні принципи, IEC 31010 Керування ризиком – методи загального оцінювання ризиків, ISO 22301:2012 Безпека суспільства. Системи менеджменту неперервності діяльності – Вимоги, ISO 20121:2012 Системи управління стійкістю подій – Вимоги з керівництвом для використання. ДСТУ ISO/IEC 25000:2016 Вимоги до якості систем і програмних засобів та її оцінювання (SQuaRE).

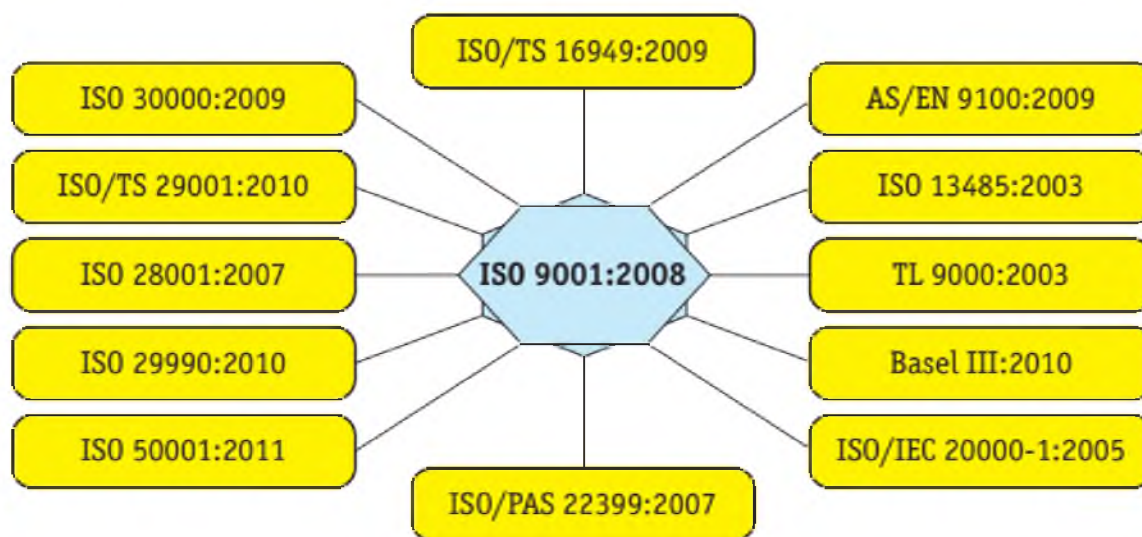


Рисунок 2.14 – Стандарти на управління якістю та СУЯ у різних галузях (ДСТУ ISO 50001:2020 Системи енергетичного менеджменту. ДСТУ ISO 28001:2009 Системи управління безпекою ланцюга постачання. ДСТУ ISO/TS 29001:2010 Системи управління якістю. Вимоги до організацій, які постачають продукцію і надають послуги в нафтовій, нафтохімічній і газовій промисловостях. ДСТУ ISO 31000:2018 Менеджмент ризиків)

До стандартів на системи управління безпекою належать: ISO 45001:2019 (охорона праці, здоров'я і безпека) [37], ISO 22000:2005 (безпека у харчовій промисловості) [30], ONR 49001:2010 та ISO 31000 (управління ризиками) [38]

тощо. Упровадження цих стандартів сприяє вирішенню значної кількості завдань щодо безпечного розвитку й поліпшення якості життя [16, 10, 222]. Вони становлять методологію сталого розвитку й спрямовані на зміну свідомості людини [203], поліпшення якості та безпеки її життя (рис. 2.14).

Рішення, запропоноване у цій сфері [150-151, 163, 172, 233]: технічне регулювання (новий підхід): 1) стандартизація й метрологія, 2) оцінювання відповідності, 3) акредитація; міжнародна торгівля; міжнародна безпека.

Для цілей управління у сфері акредитації й сертифікації застосовується серія ISO 17000: ISO/IEC 17000:2004 (словник), ISO/PAS 17001:2005 (вимоги), ISO/PAS 17002:2004 (конфіденційність), ISO/PAS 17003:2004 (скарги й апеляції), ISO/PAS 17004:2005 (розкриття інформації), ISO/PAS 17005:2008 (застосування систем управління), ISO/IEC 17007:2009 (підготовка нормативних документів), ISO/IEC 17011:2004 (акредитація), ISO/IEC 17020:2012 (органи з інспектування), ISO/IEC 17021:2011 (аудит), ISO/IEC TS 17022:2012 (звіт стосовно аудиту), ISO/IEC 17024:2003 (персонал), ISO/IEC 17025:2005 (компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій), ISO/IEC 17030:2003 (знаки відповідності), ISO/IEC 17040:2005 (взаємне визнання), ISO/IEC 17043:2010 (кваліфікація лабораторій), ISO/IEC 17050-1:2004 (відповідальність), ISO/IEC 17050-2:2004 (підтверджувальна документація), ISO/IEC 17065 (сертифікації продукції, процесів і послуг).

Відповідно до міжнародного стандарту ISO IEC 31000:2018, ризик - це ефект невизначеності цілей, можливість того, що деякі події можуть мати негативний вплив на певні цілі.

2.4.2. Сучасні підходи до процесу управління ризиками при розробці енергетичних інвестиційних проектів

Оцінка ризиків, як складова частина управління ризиками, є структурованим процесом для виявлення ризиків та їх впливу на досягнення цілей компанії. У рамках цього процесу ризики аналізуються з точки зору їх наслідків, але також у зв'язку з вірогідністю їх виникнення, щоб організація

могла приймати наступні адекватні рішення щодо зменшення або усунення негативних наслідків таких ризиків. Широко використовуваною основою підходу для управління ризиками є "Рамка 7С" [158].

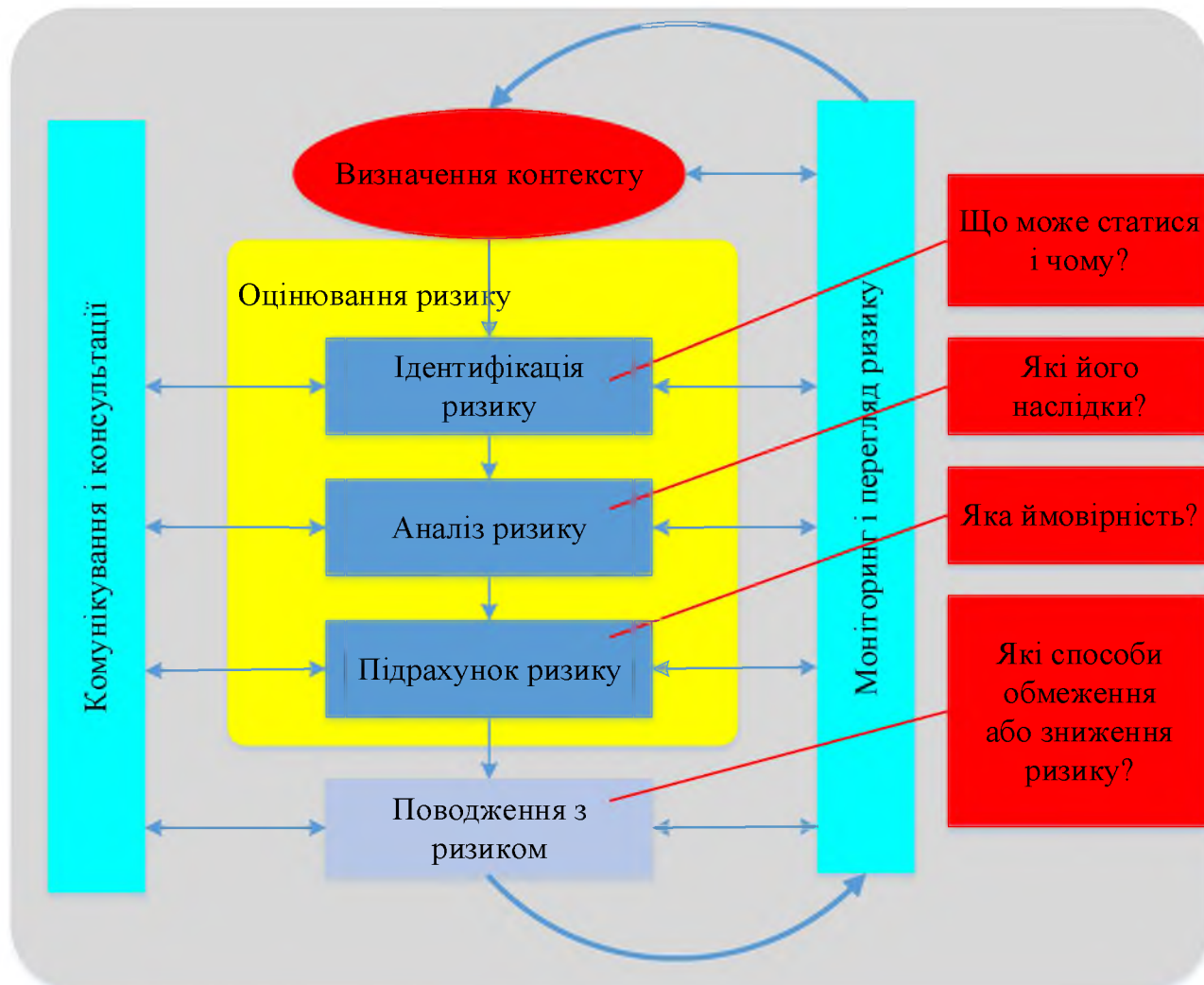


Рисунок 2.15 Структура складових компонентів управління ризиком згідно з ISO IEC 31010:2013

Після проходження етапів ідентифікації ризиків, класифікації ризиків, складання реєстру ризиків та матриці ризиків під час аналізу ризиків, проведеного за допомогою різних методів, серед яких метод моделювання Монте-Карло, може бути надана необхідна ІТ-підтримка для забезпечення правильної реакції на ризик. Таким чином, визначальними факторами реакції на ризик вважаються: можливий ефект ризику, частота, тобто ймовірність

виникнення ризику та вартість заходів щодо зменшення ризику [11, 13, 38, 81, 239]. На реакцію на ризик також впливає чутливість осіб, які приймають рішення, до ризику. Висока чутливість до ризику забезпечує основу для повільнішого розвитку, але нижчого рівня невизначеності, тоді як навпаки, низька чутливість до ризику дає шанс на більш швидкий розвиток, не беручи участь у зусиллях до мінімізації ризику, але зі значно вищим рівнем невизначеності. Таким чином, управління ризиками розуміється як надзвичайно важливий інструмент, підтримка управлінської команди у прийнятті рішень, що робить цілі проекту досяжними. Невдале управління ризиками може призвести до негативних наслідків із значним впливом, які можуть бути навіть безповоротними.

Першим етапом управління ризиками є ідентифікація ризику, оцінка потенційних небезпек, їх наслідків та ймовірності виникнення ризику. У той же час цей етап усуває ті ризики, які не відповідають цільовим цілям, ризики з незначними наслідками або з дуже низькою ймовірністю виникнення. Ідентифікація ризиків проводилась з урахуванням як внутрішніх, так і зовнішніх ризиків. Внутрішні ризики, на відміну від зовнішніх, - це ті ризики, які керівництво компанії тримає під контролем або може суттєво вплинути на них.

#### 2.4.3. Визначення матриці ризиків

Відповідно до впливу ризиків та ймовірності їх виникнення, для складання ієрархії ризиків використовувалася бальна форма (табл. 2.5).

Таблиця 2.5 – Ієрархія ризиків залежно від впливу та ймовірності виникнення

Вплив ризику / ймовірність виникнення	Рівень ризику (інтерпретація)	Класифікація ризику
Великий вплив / Велика ймовірність виникнення Великий вплив / Середня ймовірність виникнення	Дуже висока. Це найбільші ризики, на які компанія повинна звертати особливу увагу.	А



Середній вплив / Велика ймовірність виникнення	Високий. Ці ризики мають або велику ймовірність виникнення, або значний вплив	В
Середній вплив / Середня ймовірність виникнення	Середнє. Існує середня ймовірність того, що можуть виникнути ризики зі значним впливом.	С
Середній вплив / Мала ймовірність появи Низький вплив / Середня ймовірність появи	Низька. Ці ризики можуть виникати за певних обставин і мати низький або середній вплив	Д
Низький вплив / Мала ймовірність виникнення	Незначний. Це ризики з низькою ймовірністю виникнення та малим впливом. З цих причин їх можна ігнорувати.	Е

Спосіб присвоєння оціночного ризику відповідно до ймовірності виникнення та впливу здійснюється на основі аналізу матриці ризиків (таблиця 2.6).

Таблиця 2.6 – Матриця ризиків відповідно до ймовірності виникнення ризику та його впливу

Ймовірність виникнення ризику	Низький вплив (Незначний, його потрібно лише зареєструвати)	Середній вплив (Розумний вплив, Потребує моніторингу)	Високий вплив (Буде мати значний вплив)
Низька (менш імовірно)	Е	Д	С
Середня (можливе виникнення у визначених межах)	Д	С	В
Висока (ймовірно виникають)	С	В	А

Реєстр ризиків, їх оцінка та матриця ризиків забезпечили первинні дані для виявлення та оцінки ризиків за допомогою методу моделювання Монте-Карло [11, 13, 38, 81, 239]. Метод Монте-Карло - це багатоітераційний статистичний метод, який базується на різних повторюваних сценаріях. В результаті застосування методу Монте-Карло вдалося оцінити вплив різних

видів ризиків, включаючи екологічні ризики для вищезазначеного проекту, і, починаючи з цього, визначити адекватні програми для зменшення ризиків, забезпечивши пріоритетність заходів.

З цією метою розроблено «реєстр ризиків», який включав усі потенційні джерела ризику для енергетичного проекту, враховані за видами та категоріями, а також робив першу оцінку наслідків, які ці ризики можуть спричинити. Персонал, відповідальний за відстеження ризиків, заповнив цей реєстр. Далі був проведений порівняльний аналіз, щоб показати ризики та їх вплив на основі наявних статистичних даних. Для цього методу було обрано з урахуванням цілей аналізу та точності наявних даних. Під час цього аналізу були враховані виявлені ризики, здійснивши їх поглиблений аналіз за допомогою методу моделювання Монте-Карло [74, 75].

2.4.4. Результати використання методу Монте-Карло для оцінки впливу екологічних ризиків. Відповідно до типології ризиків для проектів існують різні методи та рамки для оцінки та пом'якшення наслідків таких ризиків. Екологічні ризики, як правило, не являють собою ризики, що впливають на терміни реалізації інвестиційних проектів, однак вони мають значний фінансовий вплив в результаті заходів, необхідних для зменшення наслідків. Однак такі ризики можуть вплинути на програму реалізації інвестиційних проектів, враховуючи зусилля щодо оздоровлення довкілля, що вимагає використання методу моделювання Монте-Карло для оцінки наслідків ризику.

Для застосування методу Монте-Карло було використано спеціальне ІТ-програмне забезпечення, тобто майстер-PERT, який дозволив провести багатоітераційний аналіз, щоб підкреслити зі статистичної точки зору наслідки ризику на основі їх оцінки для розглянутих енергетичних інвестицій, терміни та бюджет проекту [75]. Багатоітераційний аналіз проводиться із впливом на різні види проектних робіт із пов'язаними з ними ризиками (Рисунок 2.15), вплив є змінним і включається в основу розрахунку відповідно до матриці ризиків та присвоєного оцінювання. В результаті аналізу Монте-Карло отримуються різні

звіти, що показують оцінені ефекти з часової та фінансової точок зору, що враховують ймовірність впливу різних ризиків. Найбільш суперечливі звіти, отримані в результаті аналізу Монте-Карло, стосуються впливу на терміни та конкретні етапи, а також інші ключові показники ефективності. Більше того, показані відсотки щодо шансів дотримуватись термінів як на рівні всього проекту в рамках проектних робіт, так і на детальному рівні за різними структурами розподілу робіт [75]. Цей аналіз може проводитися на різних етапах проектів для встановлення заходів щодо запобігання ризикам та зменшення їх впливу на терміни та бюджет виконання проекту.

Використання методу моделювання Монте-Карло для оцінки впливу ризику в цілому [11-14, 38, 81, 239] та для екологічних ризиків зокрема, беручи за приклад енергетичний проект [75], дозволив встановити рівень невизначеності у досягненні запланованих ключових показників ефективності для відповідного проекту. Результатом стало збільшення шансів досягти таких показників з оптимальними зусиллями, скоригованими на основі багатоітеративного аналізу, проведеного методом Монте-Карло. Застосування цього методу дозволяє встановити ризики та вплив таких ризиків, особливо стосовно: впливу процесів проекту на навколишнє середовище, впливу різних факторів стресу на технічні економічні процеси проекту, особливо процесів, щодо безпеки здоров'я та безпеки праці. Результати дослідження підкреслюють те, що інтеграція багатоітераційного аналізу, заснованого на методі моделювання Монте-Карло, дозволила визначити ступінь невизначеності при досягненні запланованих показників ефективності та безпеки [38, 74]. Аналіз також показав, що впровадження системи управління безпекою СОТС, заснованої на використанні адекватних методів аналізу впливу ризику, може стати надзвичайно важливим інструментом, на який слід покладатися при прийнятті рішень щодо розробки та реалізації безпекових проектів, забезпечуючи досягнення запланованих цілей у встановлені терміни та з призначеними ресурсами.

## Висновки до розділу 2

Проблеми безпеки у сфері якості продукції – це не тільки науково-технічні, а й не меншою мірою соціально-економічні, які не можливо вирішити без високого рівня культури безпеки, без професійних знань, дисциплінованих кадрів, відповідальних за доручену справу. Без цього жодні технічні заходи не зможуть забезпечити виробництво і виключити техногенної аварії. У ході представлених міркувань виявлено взаємозв'язок між цими явищами і пояснено їх масштаби і характер взаємодій. Запропоноване обґрунтування визначення безпекового показника якості для складних організаційно-технічних систем та загалом до всіх видів продукції.

Важливим аспектом методів перевірки є їх власна валідність. Існує небезпека того, що із збільшенням шарів формалізації ми стаємо менше, ніж більше, здатні розвивати своє судження про те, що є хорошим та поганим в аналізі ризику. Процедурні підходи можуть бути корисними, але неадекватні або недоречні процедури можуть посилити проблему, а не полегшити її. Враховуючи відносно невелику увагу до валідності та валідації, не дивно, що було проведено ще менше досліджень щодо валідності методів валідації [28].

Висновки включають необхідність прозорості та відкритого діалогу між регулятором та оператором щодо PRA, необхідність загальних форматів звітності про зміст та результати PRA та необхідність детальних вказівок щодо того, як оцінити аналіз ризиків з позицій регулятора.

Незалежна експертна оцінка розглядається як необхідний аспект застосування PRA при прийнятті рішень, вона страждає від подібних проблем, як сам PRA, зокрема низької надійності між різними командами.

Це свідчить про те, що забезпечення якості може покращити якість PRA. Однак було виявлено також кілька обмежень методу забезпечення якості: метод не може підтвердити, що всі відповідні небезпеки та сценарії аварій були визначені та належним чином розглянуті, він не може виявити упущення та

помилки в розрахунках, а його застосування суб'єктивне, як з точки зору проблемних аспектів, так і важливості виявлених недоліків.

Підсумовуючи, забезпечення якості було визнано ефективним для зменшення кількості недоліків у дослідженнях PRA, хоча воно має деякі невід'ємні обмеження щодо того, наскільки ефективним воно може бути.

Варто також зазначити, що PRA має й інші типи критики, які потенційно обмежують його корисність для ефективного підвищення безпеки системи. Це особливо стосується суперечливих теорій щодо генезису аварій у складних системах, де декілька теорій аварій кидають виклик доцільності лінійних моделей причинно-наслідкових зв'язків аварій та пов'язаних із ними сценаріїв аварій для розуміння процесів аварій та розробки контрзаходів для підвищення безпеки. Оскільки в моделях PRA зазвичай застосовуються лінійні або складні лінійні методи, такі як дерева розломів, дерева подій або байєсівські мережі, доцільність PRA для складних систем ставиться під сумнів кількома авторами [4, 36, 74].

Спочатку були розглянуті теоретичні погляди на валідність та валідацію, які демонструють важливість реалістичної чи конструктивістської основи під час проведення та перевірки аналізу ризиків. Прагматична обґрунтованість PRA була розглянута у зв'язку з різними методами встановлення обґрунтованості: еталонні вправи, перевірка реальності, процедури незалежної експертної перевірки та забезпечення якості. Необхідні додаткові дослідження, наприклад, щодо ефективності запропонованих методів для різних визначених застосувань PRA, а також які процеси, методи та соціальні структури підтримують їх успішне застосування.

Концепція ризику є загальною та не залежить від застосувань. Оцінка ризику повинна визначати потенційні джерела, події та наслідки, які можуть бути реалізовані в майбутньому, наскільки це можливо, та використовувати деякі відповідні інструменти для представлення або вираження невизначеностей. Конкретна заявка та ситуація вимагатимуть різних інструментів, що

відповідають конкретній потребі у підтримці рішень. Ймовірність є ключовим інструментом для цієї мети, але її потрібно доповнити іншими, щоб отримати задовільний опис невизначеностей.

Обґрунтовано вдосконалення математичної багатокритеріальної моделі оцінки безпеки складних організаційно-технічних систем у вигляді цільової функції, яка заснована на залежності комплексного безпекового показника якості від значень окремих характеристик стану безпеки об'єкта щодо ризику.

Опрацьовано методологічні засади отримання інтегрального безпекового показника якості з використанням математичних залежностей побудови матриць функції безпеки, що забезпечує отримання неупередженої та об'єктивної оцінки безпеки в системі технічного регулювання на основі зворотнього зв'язку в інфраструктурі якості.

### **Розділ 3. МОДЕЛЮВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ДЛЯ ВСТАНОВЛЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ШКАЛИ БЕЗПЕКИ СКЛАДНИХ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ**

#### **3.1. Моделі оцінювання безпеки протягом життєвого циклу складної системи**

Активи зазвичай купуються за рахунок великих зусиль, праці та грошових витрат; тому люди завжди хочуть захистити свої активи. На жаль, це не завжди можливо через небезпеку в різних формах, однак, як правило, розробляються плани щодо вжиття заходів безпеки. До недавнього часу в промисловості включали необхідні заходи безпеки до базових систем управління технологічними процесами (СУТП). На полі аналізу виробничих небезпек та ризиків „система” визначається як предмет оцінки ризику, який включає переважно процес, продукцію, об’єкт, екологічні та логічні групи.

Постала необхідність інтеграції систем безпеки з СУТП, без шкоди для функціональної незалежності між ними, щоб отримати найкраще захищені промислові системи. Для того, щоб поводитися з ними незалежно у стандартизованій формі, було розроблено кілька міжнародних стандартів ІЕС 61508, ІЕС 61511, ANSI/ISA 84 [31]. Ці стандарти, особливо ІЕС 61508 та ІЕС 61511, є основними стандартами життєвого циклу безпеки. Ці стандарти поширюються на вироби електротехніки, електроніки та програмованої електроніки (Е/Е/РЕ).

Ці стандарти були розроблені з метою того, щоб при порушенні процесу або відмові системи або обладнання, спроектована система дозволила б самостійно керувати безпекою процесу, керуючись системою управління на основі оцінки ризиків. Система контролю безпекою складається з добре розробленої апаратної та програмної системи управління, яка використовується для контролю стану станції в робочих межах. Коли виникає будь-який стан ризику, спрацьовує тривога і всю систему приводить в безпечний стан, щоб максимально зменшити всі види ризиків. Життєвий цикл безпеки, згідно зі

стандартом ІЕС, можна розглядати як циклічний процес або замкнуту петлю, що включає в себе циклічний спосіб підтвердження та ідентифікації аналізу, і порівняний із „плануванням, виконанням, перевіркою, дією“ за стандартом [38].

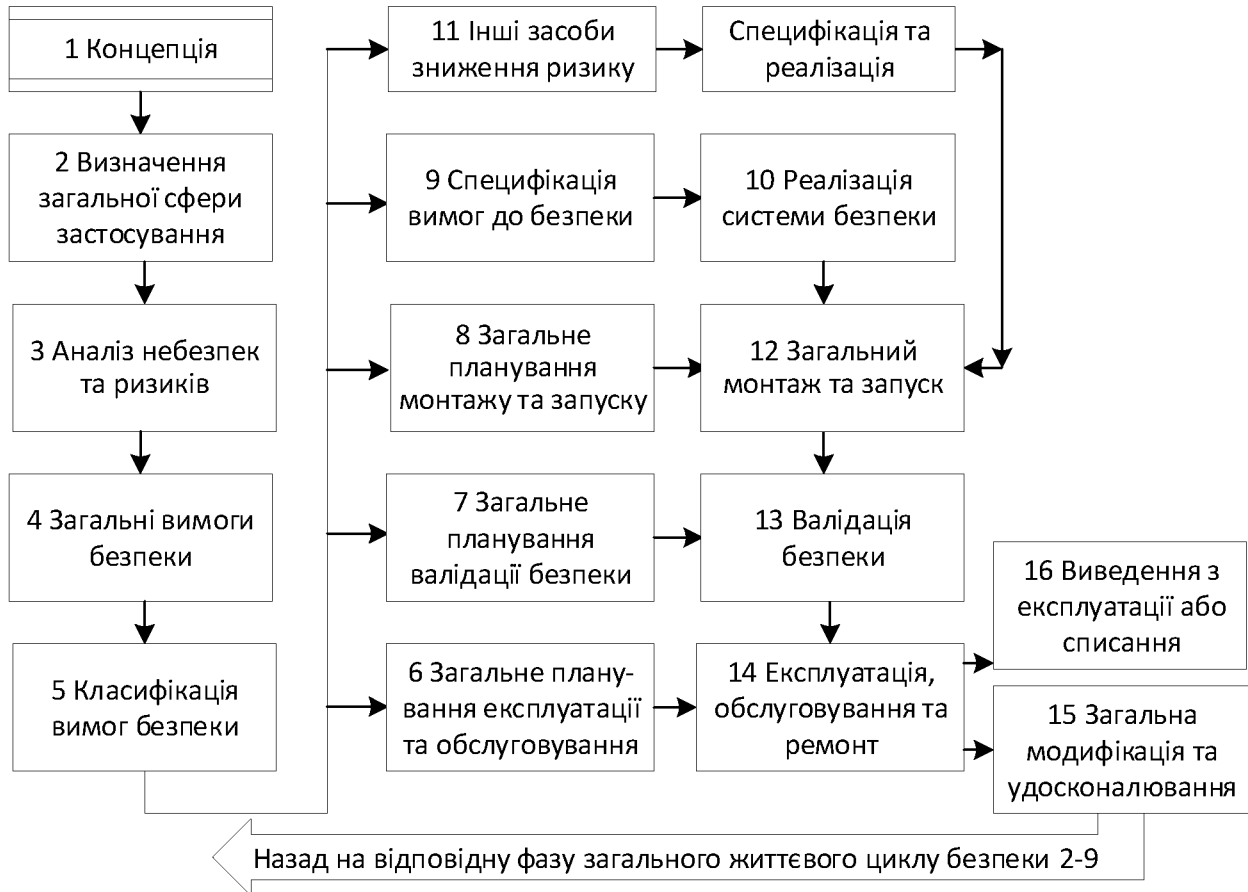


Рисунок 3.1 – Вплив на ризики у життєвому циклі безпеки

Визначення ISO/IEC: відповідно до ISO/IEC 51 або IEC 61508, небезпека визначається як "потенційне джерело шкоди". У IEC 61508 шкода визначається як фізична травма або шкода здоров'ю людей, завдана прямо чи опосередковано в результаті пошкодження майна чи навколишнього середовища. Відповідно до керівництва ISO / IEC 51, IEC 61508, ризик – це "поєднання ймовірності настання шкоди та тяжкості цієї шкоди". Звідси випливає, що ризик стосується ймовірності того, що небезпека може спричинити фактичну шкоду. Аварія – це небажана, незапланована (але не завжди може бути несподіваною) подія, яка призведе до певного рівня збитків (здоров'я, майна, виробництва тощо).



Необхідними елементами основної системи управління процесом / установкою (BPCS), яка забезпечує управління процесом та моніторинг процесу, відповідно до IEC 61511, (де BPCS - це ключовий рівень захисту, який реагує на вхідні сигнали від процесу, пов'язаного з ним обладнання, інших програмованих систем та / або оператора та генерує вихідні сигнали, що змушують працювати процес та пов'язане з ним обладнання бажаним чином, але який не виконує жодних функцій, передбачених безпекою, із заявленим SIL 1) є такі [77]:

1. Інструментальна система безпеки (SIS): SIS призначена для запобігання виникненню небезпечних подій шляхом переведення процесу в безпечний стан, коли у системі виникає заздалегідь визначений або заздалегідь встановлений стан. Це поєднання датчиків, логічних розв'язувачів та кінцевих елементів управління. У програмованій електроніці (PE) складається як з апаратного, так і з програмного забезпечення.

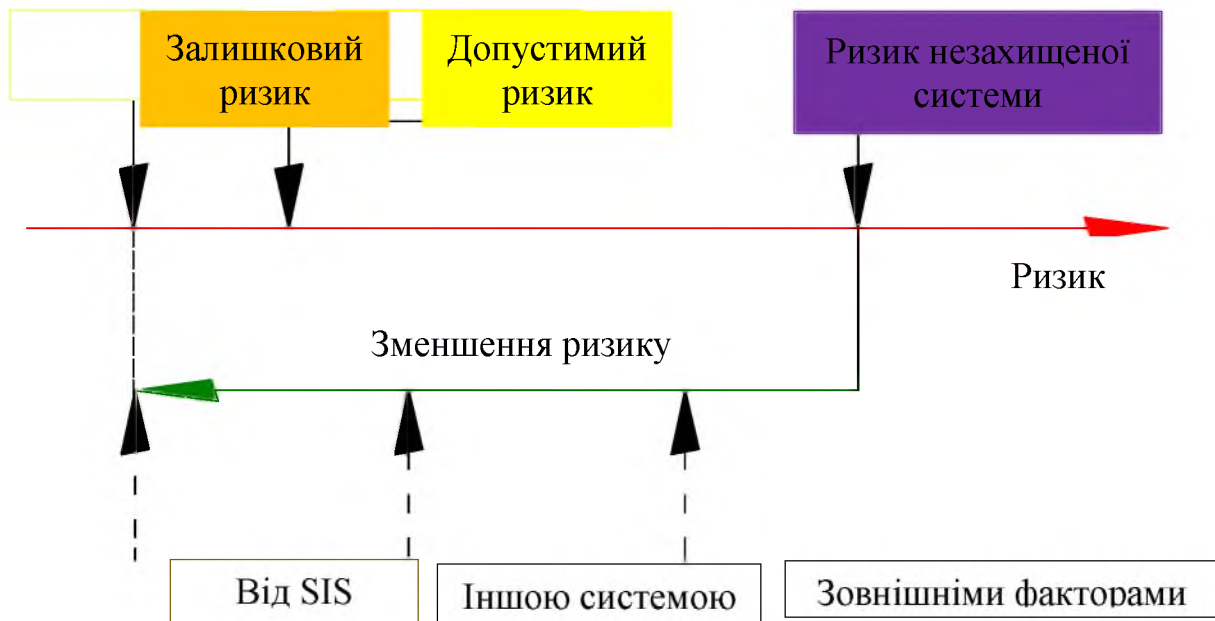


Рисунок 3.2 – Типовий макет SIS, який складається з датчиків, кінцевих елементів управління та логічних розв'язувачів [31]

2. Інструментальна функція безпеки (SIF): SIF складається з датчиків, логічних розв'язувачів та остаточної комбінації елементів управління. SIF

переносить систему або процес у безпечну зону у випадку небезпечної ситуації / події, яка визначається заздалегідь визначеними умовами процесу

3. Safety integrity level (SIL): Рівень цілісності безпеки – це показник ефективності SIS, що визначається ймовірністю відмови за запитом (PFD) для SIF (SIS). Існує чотири рівні SIL, представлені цифрами: SIL 1, 2, 3, 4. Чим вище число SIL, тим краща буде ефективність і нижчим буде значення PFD. Однак із збільшенням числа SIL вартість і складність системи зростають, хоча рівень ризику зменшується. Сертифікація SIL може бути видана компанією (дозволяється самосертифікація) або іншим компетентним органом, щоб вказати, що дотримано відповідної процедури, аналізу та розрахунку та сумісно для використання на відповідному рівні SIL.

4. Ймовірність відмови за запитом (PFD): Це ймовірність того, що SIF / SIS не виконує передбачувану функцію безпеки під час потенційно небезпечного стану.  $PFD_{avg}$ , як правило, використовується в розрахунках, коли COTC регулярно перевіряється та тестується.

Типовий макет SIS, який складається з давачів, кінцевих елементів управління та логічних розв'язувачів показаний на рис. 3.2. На цій схемі користувальницький інтерфейс та інтерфейс з BPCS показані через комунікаційну шину. Слід відзначити, що BPCS та SIS можуть існувати окремо, або їх можна інтегрувати, якщо вони відповідають вимогам стандартів, таких як IEC 61508/61511 або ANSI / ISA 84. Функціональна безпека дуже важлива для життєвого циклу безпеки, як описано нижче.

1. В основному функціональна безпека спирається на таку концепцію:

- усі процеси або виробничі системи мають властиві небезпеки;
- в усіх процесах або виробничих системах є властива кількість відмов, яка не може бути доведена до нульового значення;
- усі процеси або виробничі системи мають допустимий рівень відмов, не завдаючи шкоди системі. Крім того, цей рівень відмов характерний для даної системи;

- для всіх процесів або виробничих систем ці показники відмов можна віднести до категорії SIL (з точки зору функціональної безпеки).

Розглянемо систему безпеки як загальний для даного виробництва процес, що об'єднує  $n+1$  локальних підпроцесів,  $1 \leq i \leq n$ , кожен з яких має вхід  $x_i$  та вихід  $y_i$ . Враховуючи різноманітність можливостей побудови системи безпеки, виходи одних її підсистем, можуть бути входами інших підсистем чи зв'язків із метасистемою. Обґрунтовано [161], що існує деяка функція –  $J_{ss}$ , котру назвемо функцією якості системи безпеки і яку будемо використовувати для оцінювання процесу функціонування системи безпеки.

Вважатимемо, що метою функціонування системи безпеки є максимізація функції якості  $J_{SQ}$ , шляхом ефективного погодження множини елементів  $J_i$  системи безпеки та множини зв'язків  $T_s$  між елементами системи безпеки.

Умову максимізації функції якості  $J_{SQ}$  можна забезпечити шляхом оптимального використання наявних елементів та зв'язків, що еквівалентно, з точки зору системного аналізу [90, 155, 159, 190, 226, 230], прийняттю ефективних управляючих рішень, які для системи безпеки можна представити у виді множини рішень:

$$D_{M3} = \{D_1, D_2, \dots, D_i, \dots, D_{n+1}\} \rightarrow opt \quad (3.1)$$

Вибираючи із множини можливих рішень  $D_{M3}$  оптимальні можна добитися максимізації функції якості  $J_{SQ}$  системи безпеки.

Типову структуру системи безпеки можна представити у виді трьохрівневої ієрархічної системи [160], де першим рівнем є система безпеки –  $J_{SQ}$ , другим рівнем є підсистема забезпечення результативності заходів безпеки –  $J_R$ , та підсистема забезпечення ефективності безпеки –  $J_E$ . До третього рівня відносяться елементи:  $J_{ID}$  – забезпечення ідентифікації ризиків;  $J_{AA}$  – забезпечення відповідності оцінювань;  $J_{MA}$  – стандартизація методик оцінювань;

$J_{TA}$  – забезпечення відповідності оцінювань;  $J_{ME}$  – метрологічна експертиза КД та ТД;  $J_{MU}$  – державний ринковий нагляд;  $J_{GU}$  – державний контроль;  $J_{EQ}$  – кваліфікація фахівців;  $J_{DB}$  - організаційної структури безпеки.

Основними принципами системного підходу є такі [8]:

- засоби досягнення мети визначаються самою метою;
- мета нижнього рівня системи має бути засобами досягнення мети вищого рівня.

Такий підхід забезпечує адитивність властивостей системи, що дозволяє забезпечити лінійну згортку показників ефективності від нижніх рівнів до верхнього рівня [160].

Представимо графічну модель системи безпеки у виді моделі (рис. 3.3), що дозволяє здійснити декомпозицію функцій елементів за ієрархічними рівнями та забезпечити обґрунтований аналіз та встановлення раціональних значень та співвідношень між показниками якості окремих елементів системи безпеки на стадії виготовлення продукції.

Умову максимізації функції якості  $J_{SQ}$  шляхом прийняття ефективних управляючих рішень (3.1) можна відобразити наступною формулою, яка також відображає вплив функцій якості підсистем та елементів  $J_i$  на функцію якості  $J_{SQ}$ :

$$J_{SQ} \xrightarrow{D \rightarrow opt} \sum_{i=1}^n T_i \cdot J_i = \sum_{i=1}^n T_i \cdot \sum_{j=1}^m T_{ij} J_{ij} , \quad (3.2)$$

де  $T_i$  - вага зв'язку  $i$ -ї підсистеми  $J_i$  із  $J_{SQ}$ ;  $T_{ij}$  - множина (вага) зв'язку  $j$ -го елемента з  $i$ -ю підсистемою;

Декомпозицію функцій якості системи безпеки здійснимо вважаючи, що ефективність елементів системи безпеки, в першу чергу визначається ефективністю перетворення входів  $x_{ij}$  (цілей) у виходи  $y_{ij}$ , що можна відобразити залежністю (3.3):

$$J_{ij} = e_{ij} \frac{x_{ij}}{y_{ij}} \xrightarrow{d_{opt}} \max, \quad (3.3)$$

де  $e_{ij}$  - ефекти перетворення входів  $x_{ij}$  у виходи  $y_{ij}$ , що визначають якість виконання своєї функції окремим елементом безпеки.

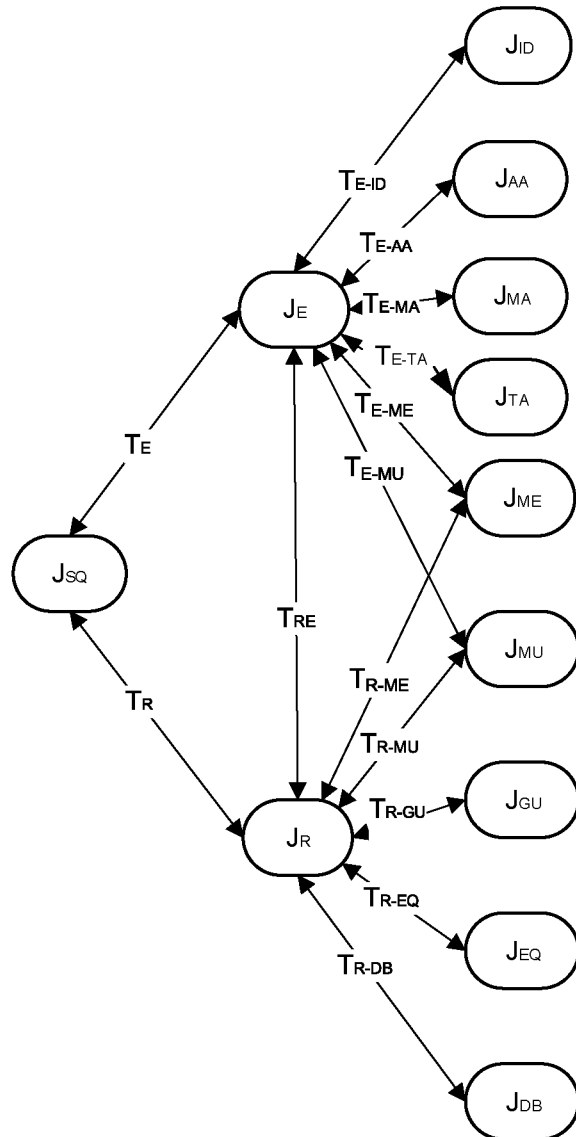


Рисунок 3.3 – Графічна модель декомпозиції функції якості  $J_{SQ}$  системи безпеки СОТС, де  $J_R$  – підсистема забезпечення результативності заходів безпеки,  $J_E$  – підсистема забезпечення ефективності. Елементи:  $J_{ID}$  – забезпечення ідентифікації ризиків;  $J_{AA}$  – забезпечення відповідності оцінювань;  $J_{MA}$  – стандартизація методик оцінювань;  $J_{TA}$  – забезпечення відповідності оцінювань;  $J_{ME}$  – метрологічна експертиза КД та ТД;  $J_{MU}$  – державний ринковий

нагляд ;  $J_{GU}$  – державний контроль;  $J_{EQ}$  –кваліфікація фахівців;  $J_{DB}$  - організаційної структури безпеки

Для реальних систем безпеки буває важко однозначно визначити ефект перетворення входів  $x_{ij}$  у виходи  $y_{ij}$ . Тому для вирішення цієї проблеми доцільно використовувати теорію вибору оптимального рішення [9].

Прийняття рішень передбачає наявність певної мети, на досягнення якої направлене рішення. Існування проблеми прийняття рішення свідчить про те, що не всі рішення з множини  $D$  забезпечують досягнення мети. Виконаємо розбиття множини  $D$  на три підмножини [9]:

$$D = D^+ \cup D^0 \cup D^- , \quad (3.4)$$

де  $D^+$  – “хороші рішення”, тобто такі, що наближають до мети;  $D^-$  – “погані рішення”, тобто такі, що віддаляють від мети;  $D^0$  – “нейтральні рішення”, тобто такі, що не впливають на досягнення мети.

Очевидно, що оптимальне рішення  $d_{opt}$  повинно належати до множини хороших рішень:  $d_{opt} \in D^+$ . Задача прийняття рішення передбачає обов’язкове існування критерію  $Q$  прийняття рішення. В умовах сучасних технологій визначальним є відповідність рівню безпеки та забезпечення конкурентоздатності продукції, тому вектор оптимальних рішень повинен враховувати вектори пріоритетів виробника –  $W_1$  та контролю –  $W_2$ :

$$d_{opt} \in D_{W_1}^+ \cap D_{W_2}^+ . \quad (3.5)$$

В даний час вектори пріоритетів виробника –  $W_1$  та споживача –  $W_2$  чисельно встановлюються у вигляді нормування ризиків виробника -  $\alpha$  та споживача -  $\beta$ , що в умовах відсутності формалізованих методів встановлення зв’язку цих ризиків з безпековим ризиком втрати якості продукції створює додаткові труднощі для оперативного прийняття оптимальних рішень.

Тому для таких складних організаційно-технічних систем, як система безпеки, прийняття оптимальних рішень не може бути однократною дією, а має здійснюватися періодично із врахуванням зміни умов її функціонування.

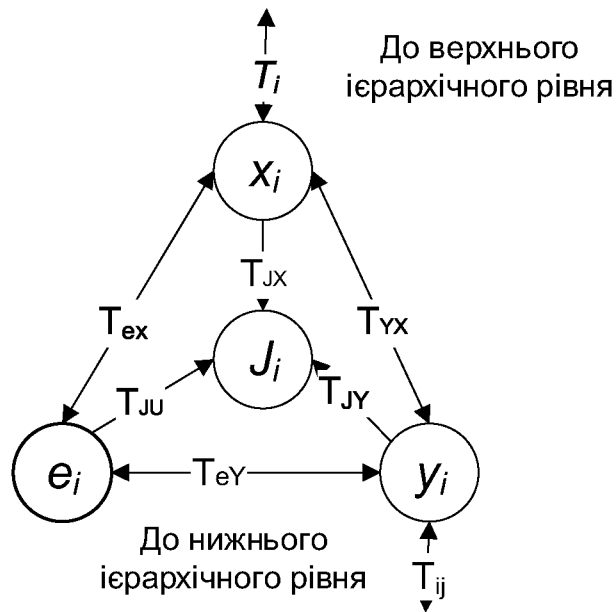


Рисунок 3.4 – Графічна модель відношень  $i$ -го елемента безпеки

Важливим завданням максимізації функції якості  $J_{SQ}$  є створення методики вдосконалення, що шляхом виконання ітераційних процедур дозволить оптимізувати ефективність системи безпеки при виконанні умов мінімізації безпекових ризиків споживача та виробника. При виконанні такого завдання складність прийняття рішень полягає у неможливості однозначного врахування суб'єктивних впливів на ефективність цих рішень, що вимагає пошуку моделей формалізації вимог до системи безпеки.

Для формалізації вимог до системи безпеки представимо узагальнене зображення елемента системи безпеки у вигляді моделі відношень (рис. 3.4).

Тоді із врахуванням моделі відношень (рис. 3.2) функцію якості  $J_i$   $i$ -го елемента представимо у вигляді:

$$J_i = |T_{eX}, T_{Je}, T_{JY}| e_i \frac{x_i \cdot |T_{eX}, T_{JX}, T_{YX}|}{y_i \cdot |T_{eY}, T_{JY}, T_{YX}|} \quad (3.6)$$

Для складних систем важко однозначно врахувати вплив взаємозв'язків  $M_{ij}$  між  $x_{ij}$ ,  $y_{ij}$ ,  $e_{ij}$ , тому при побудові реальних систем необхідно мінімізувати вплив не основних зв'язків, забезпечуючи виконання умов:

$$\begin{aligned} T_{eX}, T_{JX}, T_{JY}, T_{eY} &\Rightarrow 0 \\ T_{Je}, T_{YX} &\Rightarrow set \end{aligned} \quad (3.7)$$

Тоді вираз (3.6) можна спростити до наступного вигляду:

$$J_i = T_{Je} \cdot e_i \frac{x_i}{y_i} + Y_{YX} e_i \frac{x_i}{y_i} \approx Y_{Je} \cdot e_i \frac{x_i}{y_i} + \varepsilon_{Ji} \quad (3.8)$$

де  $\varepsilon_{Ji}$  - неточність оцінювання функції якості  $J_i$   $i$ -го елемента.

Враховуючи формулу (3.3) можна вважати, що функція якості  $J_i$   $i$ -го елемента залежить від ефективності перетворення входів  $x_i$  у виходи  $y_i$ , причому ця ефективність визначається відповідним  $e_i$ . У багатьох випадках визначення ефектів перетворення  $e_i$  елементів системи безпеки є складним завданням, яке важко відобразити у виді функціональної залежності, тому одним із шляхів вирішення цієї проблеми є використання логіко-математичного моделювання [10], що дозволить підвищити ступінь формалізації процесу вдосконалення безпеки. Оскільки ефект перетворення  $e_i$  по своїй суті визначає ступінь кореляції між  $x_i$  та  $y_i$ , то логічно виражати його у виді коефіцієнта кореляції  $r_i$ , що дозволить широко використовувати методи кореляційного аналізу [161, 166].

Для моделі системи безпеки, представленої на рис. 3.3, вираз для функції якості, із врахуванням (3.2), (3.3), (3.8) матиме такий вигляд:



$$\begin{aligned}
 J_{SQ} &\xrightarrow{D \rightarrow opt} T_E \times J_E \cap T_R \times J_R + \varepsilon_{SQ}, \\
 J_E &= \left\| T_{E-i} \right\|^{i=1, \bar{n}} \times \left\| e_{ij}^E \right\|_{j=1, \bar{m}}^{i=1, \bar{n}}, \\
 J_R &= \left\| T_{R-i} \right\|^{i=1, \bar{n}} \times \left\| e_{ij}^R \right\|_{j=1, \bar{m}}^{i=1, \bar{n}}
 \end{aligned} \tag{3.9}$$

Формалізація задач оцінювання ефектів окремих елементів системи безпеки, а також неточності моделювання її функції якості є складною науково-технічною проблемою та потребує окремого дослідження.

Також для оцінювання ефективності безпеки та її окремих елементів можна використовувати метод структурування їх функції якості [161], а оцінку неточності відображення функції БПЯ моделлю (3.9) можна оцінити за результатами послідовних досліджень її відповідності за показниками ефективності [9, 61].

Ключове поняття безпеки є універсальним і неоднозначним і не існує як самостійна, онтологічна категорія, оскільки воно є контекстуальним поняттям і вимагає додаткових об'єктивних або суб'єктивних термінів. Універсальна концепція безпеки функціонує у всіх сферах життя, починаючи від особистої безпеки, закінчуючи різними аспектами соціального, економічного та політичного життя, а також різними категоріями об'єктної безпеки, такими як, наприклад, технічна, екологічна, інформаційна, медична, юридична безпека тощо. Процедура моделювання використовується як універсальний та ефективний метод дослідження, особливо в точних та природничих науках. Як правило, моделюванню безпеки передує побудова теоретичних систем та практичних застосувань, що стосуються окремих сфер її застосування.

Приклад такої моделі праксеологічної системи управління безпекою представлений нижче. Відповідно до принципів системного аналізу, процес моделювання системи управління безпекою ініціює етап концептуального моделювання, що дозволяє системно ідентифікувати проблему дослідження та її формалізований опис в умовному порядку, наприклад, в логіко-математичному. У цьому випадку предметом концептуального моделювання є певна система

безпеки, а основною метою є ефективне управління цією безпекою завдяки прийнятому критерію якості (ефективності) роботи системи.

Формально, у світлі цитованих вище визначень, безпека - це певна функція небезпек у системі, яка може спричинити її небажане знищення [21]. Отже, ризик ( $R$ ) є незалежною змінною функції безпеки :  $J_{SS} = f(SS(HZ))$ . Або

$$J_{SS} = f(HZ, R) = f(X(t)) = f(HZ, R, OS(W)) \quad (3.10)$$

де  $R$  – значення функції ризику виникнення небезпек,  $X(t)$  – потенціал небезпеки,  $OS$  – здатність (потенціал) захисту від небезпек;  $W$  – СОТС як одне ціле.

Вектор ризику небезпеки СОТС визначається

$$HZ = \{HZ_i(HZ_{ij}); \quad i=1,4; \quad j=1,J\} \quad (3.11)$$

де  $HZ_1$  – природничі небезпеки,  $HZ_2$  – технологічні небезпеки,  $HZ_3$  – соціальні небезпеки,  $HZ_4$  – випадкові небезпеки. Кожна небезпека в межах окремої підкатегорії повинна характеризуватися певним набором ознак та параметрів, що описують її прогнозовані енергетично-руйнівні властивості, що спричиняють небажані ефекти та наслідки. У модельному підході елементарну небезпеку слід описати, використовуючи наступний набір деструктивних ознак:

$$HZ_{ij} = \langle ZX_1, ZX_2, ZX_3, ZX_4, ZX_5 \rangle; \quad i=1,4, \quad j=1,J \quad (3.12)$$

де  $ZX_1$  – ступінь інтенсивності небезпеки,  $ZX_2$  – ступінь небезпеки для населення,  $ZX_3$  – ступінь небезпеки для території,  $ZX_4$  – час існування небезпеки,  $ZX_5$  – сприйнятливість джерела небезпеки до локалізації.

Визначення безпеки привертає увагу до діяльності досліджуваного об'єкта в процесі формування безпеки та прийняття відповідної захисної стратегії щодо нових викликів та небезпек, що мають руйнуючий вплив на стан безпеки. У ситуації безпеки здатність суб'єкта до захисту, пов'язана з підрозділами управління СОТС, є ще однією незалежною змінною функції безпеки СОТС:

$$J_{SS} = J_{SS0} - HZ \times R + CO \quad (3.13)$$

де  $J_{SSo}$  – початковий стан безпеки об'єкта,  $HZ$  – вектор рівня небезпек,  $R$  – ризик прояву небезпек,  $CO$  – вектор дієвості систем безпеки СОТС. Поточний рівень безпеки значною мірою залежить від початкового рівня безпеки, що визначає статус безпеки СОТС на момент реалізації небезпек. Окремі незалежні змінні мають різний вплив на стан безпеки. Небезпеки та ризик є змінними деструктивного типу, оскільки їх вплив обернено пропорційний стану безпеки, тоді як захисні здатності як стимулятор мають прямо пропорційний вплив на стан безпеки суб'єкта [22]. Ці залежності проілюстровані на рис. 3.5.

$$R = p \times L = p \times (U + \mathcal{E}) \quad (3.14)$$

де  $R$  – оцінка значення ризику,  $L$  – значення сумарних втрат і пошкоджень,  $p$  – ймовірність настання небезпеки,  $U$  – значення моральних втрат (жертви і постраждалі),  $\mathcal{E}$  – значення матеріальних втрат. Питання класифікації та оцінки небезпек є надзвичайно важливим у всій теорії безпеки, оскільки їх типологічний порядок та пропоновані шкали та типи значень дозволяють чітко оперувати спектром реальних загроз безпеці даного об'єкта у конкретному просторово-часовому горизонті та певному енергетично-кінетичному вимірі. Можна керувати лише проблемами, які раніше були чітко хронологічно визначені та перелічено [22]. Потенціал дієвості систем захисту СОТС  $CO(W)$ :

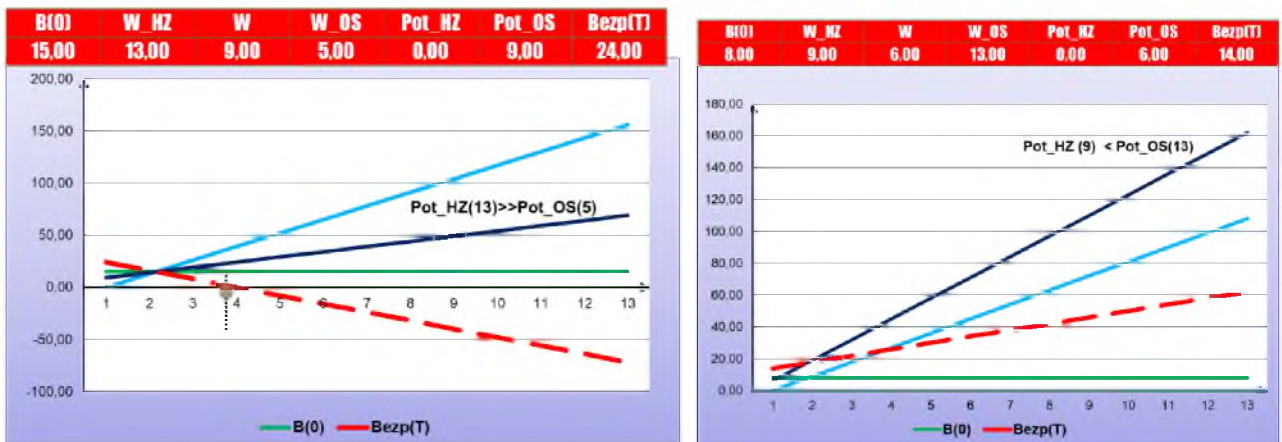


Рисунок 3.5 – Графічні результати моделювання відношень  $i$ -го елемента безпеки

$$CO(W) = \langle A, B, C, D, E \rangle \quad (3.15)$$

де  $A$  – потенціал працівників,  $B$  – нормативно-інформаційний стан,  $C$  – матеріально-фінансовий стан,  $D$  – порядок прийняття управлінських рішень,  $E$  – здатність до втручання в надзвичайній ситуації.

Ієрархічна структура системи безпеки має наслідком те, що кожен елемент цієї структури, за необхідності, може звернутися за допомогою до вищого підрозділу, потенціал якого в галузі антикризових заходів є відповідно більшим [22]. Усі інституційні форми державної допомоги у разі загрози безпеці, у моделі входять у потенціал підтримки  $W$ , який автоматично підвищує захисні (оперативні) можливості кожного підрозділу державного управління. Потенціал підтримки  $W$  виражається масштабом потреб і можливістю їх задоволення з підрозділу вищого рівня:

$$A \setminus B \setminus C \setminus D \setminus E = \{1, 2, 3, 4\} \quad (3.16)$$

де 1 – непридатність, 2 – мінімальна придатність, 3 – потреба зміцнення, 4 – повна готовність.

Формально процедура визначення рівня безпеки в зоні відповідальності СОТС, може бути зведена до побудови трьох послідовних матриць: небезпек, ризику і захисту. Відповідна компіляція цих трьох матриць дозволяє визначити часткові значення безпеки для кожної виділеної категорії / підкатегорії реальних небезпек:

$$J_{ss}(i,j) = J_{ss0} - HZ(i,j) \times R(i,j) + CO(i,j) \quad i=1,I; j=1,J \quad (3.17)$$

де  $J_{ss}(i,j)$  – стан безпеки при  $ij$ -ій небезпеці – безпековий показник якості (БПЯ),  $HZ(i,j)$  – рівень небезпек від  $ij$ -го виду,  $R(i,j)$  – значення ризику з огляду на  $ij$ -ту небезпеку,  $CO(i,j)$  – рівень дієвості захисту проти  $ij$ -го виду небезпеки.

Для того, щоб створити матрицю безпеки, окремі її елементи слід послідовно визначати, використовуючи рекурсивні вектори небезпек (3.12),

ризик (3.14) та можливостей захисту (3.15). Трудомісткість цієї процедури насамперед залежить від кількості виділених категорій та підкатегорій небезпек. Через велику кількість небезпек (відокремлених категорій та підкатегорій) процес визначення безпеки за раціональними (числовими) значеннями є складною числовою процедурою, яка вимагає підтримки з боку комп'ютерних технологій.

Таблиця 3.1 – Множина ризиків відповідно до ймовірності виникнення ризику та його впливу на стан безпеки СОТС

Кат.	підкатег.	Стан початк.	Потенц. небезпеки	Функція ризику	Потенц. захисту W	Частковий рівень безпеки
i	j	$SS_0$	$X(i,j)$	$R(i,j)$	$Y(i,j)$	$SS(i,j)$
1	1	$SS_0$	$X(1,1)$	$R(1,1)$	$Y(1,1)$	$SS(1,1)$
	2	$SS_0$	$X(1,2)$	$R(1,2)$	$Y(1,2)$	$SS(1,2)$
	3	$SS_0$	$X(1,3)$	$R(1,3)$	$Y(1,3)$	$SS(1,3)$
	$\Sigma\Sigma$	$SS_0$	$X(1,0)$	$R(1,0)$	$Y(1,0)$	$SS(1,0)$
2	1	$SS_0$	$X(2,1)$	$R(2,1)$	$Y(2,1)$	$SS(2,1)$
	2	$SS_0$	$X(2,2)$	$R(2,2)$	$Y(2,2)$	$SS(2,2)$
	3	$SS_0$	$X(2,3)$	$R(2,3)$	$Y(2,3)$	$SS(2,3)$
	$\Sigma\Sigma$	$SS_0$	$X(2,0)$	$R(2,0)$	$Y(2,0)$	$SS(2,0)$
$\Sigma$	$\Sigma\Sigma$	$SS_0$	$X(.)$	$R(.)$	$Y(.)$	$SS(.)$

Однак значна гнучкість та універсальність концепції моделі в результаті її класифікаційних процедур обчислення, залежно від потреб, може бути широко модифікована та вільно розширена з необхідними параметрами та змінними. Кожен з трьох векторів - небезпека, ризик та захист - може бути змінений відповідно до поточних потреб у дослідженні та, наприклад, розширений новими експлуатаційними параметрами. Чим радикальніші зміни потрібно увести, тим глибшого модельного дослідження вимагає етап балансування моделі.

Результати дослідження можуть бути основою для оцінки наявних сил та ресурсів, наприклад у громаді, для антикризових заходів у конкретній кризовій

ситуації. Ті самі результати можуть бути підставою для подання заявки на додаткову підтримку і знешкодження потенційної небезпеки ще до виникнення надзвичайної ситуації. Обсяг практичного застосування моделі оцінювання в дослідженні безпеки може бути універсальним аналітичним засобом і для управління безпекою складних систем довільного рівня.

### **3.2. Ідентифікація складових безпекового показника якості складної системи**

Результати послідовних досліджень дозволили розкрити загальні закономірності великих аварій, що призвело до розробки списку атрибутів для підтвердження досліджень оцінки ризику, щоб забезпечити належне врахування впливу людських факторів, технологічних проблем та організаційних аспектів.

Згідно [2-8, 13, 19-21, 46-49, 56-58], збої в складних технічних системах неминучі, і, отже, виникнення аварій з катастрофічним потенціалом на деяких високотехнологічних об'єктах (наприклад, ядерна енергетика та ядерна зброя) неминуче, що становить очікувану або звичайну аварію.

Одні теорії вказують на організаційні питання як на першопричину катастроф, тоді як інші звинувачують технологічні аспекти, хоча і припускаючи, що їх можна якось пом'якшити певним видом дисципліни організації.

У книзі [73] викладено популярну і широкомасштабну концепцію [3- 5, 57], яка пояснює виникнення великих аварій. Події з надзвичайними наслідками, названі Чорними лебедями, розглядаються як надзвичайно маловірогідні події (або викиди), які в принципі не передбачувані. Оскільки динаміка у сферах високих технологій набагато складніша, ніж можна передбачити, то проведення трудомісткого попереднього аналізу та валідації на основі імовірнісного моделювання слід виключити, оскільки це має незначний ефект з точки зору контролю основних небезпек (або запобігання чорним лебедям).

І навпаки, дослідники організацій з високою надійністю [26-28, 73, 82, 96, 165] розглядають випадки, коли організації, що управляють операціями з

високим потенціалом катастроф, досягали чудових рівнів надійності протягом тривалих періодів часу, здавалося б, функціонувати краще за інших. Грунтуючись на спостереженні випадків успіху, вони вважають, що можливо визнати наукові методи для забезпечення майже безпомилкової роботи навіть у дуже небезпечних середовищах.

Хоча нормальна теорія аварій стверджує, що великі аварії неминучі, але надзвичайно рідкісні, теорія організацій з високою надійністю постулює майже безпомилкову роботу за рахунок посиленого управління безпекою. Очевидно, є взаємне визнання низьких ймовірностей катастрофічних подій.

У працях [3-5] спочатку розглянуто ідею поєднання активних відмов і прихованих умов, щоб пояснити, як можуть вийти з ладу складні системи, пізніше розширивши її до багатобар'єрної концепції, відомої як модель аварії на швейцарському сири, яка широко використовується науковцями та практиками для опису динаміки причинно-наслідкових зв'язків.

Сучасні підходи до моделей причинно-наслідкових зв'язків намагаються застосувати теорію систем та системне мислення [48], щоб розкрити більш глибокі фактори, що сприяють аваріям, шляхом додавання вищих ієрархічних рівнів поза безпосередніми подіями та аналізу взаємодії між факторами та більш широкими обставинами.

Порівнянню перспективу раніше застосовували щодо контролю продуктивності системи [46]. Одночасно зазначалося, що темпи технологічних змін набагато швидші, ніж час модифікації для управлінських структур, і ще більше відставання змін спостерігається на вищих ієрархічних рівнях, таких як уряди, нормативні акти та суспільство.

При реалізації мети щодо перевірки оцінок ризику для небезпечних промислових технологічних установок в динамічному та швидко мінливому середовищі, слід визнати складність взаємодії між елементами системи, а також непередбачуваність організаційної поведінки та невід'ємні труднощі, які стаються в перспективі надзвичайно рідкісних подій з низькою ймовірністю.

Крім того, розроблені захисні бар'єри не є сталими і мають тенденцію до деградації з часом. Такі фактори, як старіння, недоліки технічного обслуговування, бюджетні обмеження, коливання персоналу та тиск до економічної ефективності, і можна назвати ще декілька, можуть сприяти подоланню бар'єрів і, отже, послабленню захисних концепцій, які значною мірою служать основою для оцінювання ризиків .

Виявлення загальних закономірностей, що виникають внаслідок взаємодії між людським фактором, технологічними аспектами та організаціями під час катастрофічних подій, здається розумним підходом до субсидування стратегії верифікації для аналізу ризиків, принаймні, щоб засвідчити, що уроки, отримані в результаті попередніх аварій, були передбачені в поточних дослідженнях.

Вибух "Deepwater Horizon" був глибоко пов'язаний із такими факторами, як робоча практика, навчання, спілкування, процедури, контроль якості та управління. Попередній аналіз 238 великих аварій [56] також показав, що 95% цих подій мали певний організаційний внесок у небажаний результат, а 57% були безпосередньо пов'язані з людським фактором, підкреслюючи важливість врахування цих особливостей для розробки реалістичних досліджень безпеки.

Отже, компанії про безпосередні помилки повідомляють безпосередньо, при цьому регулюючий орган використовує ці компактні дані для розробки показників ефективності або для ініціювання подальших дій, таких як перевірки. Регулюючі органи можуть безпосередньо розслідувати нещасні випадки на виробництві або підтвердити чи покластися на внутрішні процедури розслідування компаній [163]. Великі аварії зазвичай привертають увагу засобів масової інформації та суспільства, штовхаючи уряди та регулятори на відповідну реакцію. Через широкомасштабні наслідки, зазвичай цей тип подій вимагає послідовних процесів розслідування, що здійснюється одним або кількома регуляторами, незалежними комісіями з розслідування або обома шляхами. Європейська асоціація з безпеки, надійності та даних визнала (2015) такі події підставою, щоб ініціювати комплексні обстеження профілактичних та захисних



систем, поряд з ретельним урахуванням факторів та оточуючих умов, що призводять до аварій. Ілюстративний прикладом може бути вибух і пожежа бурової установки «Трансокеан» у Мексиканській затоці в квітні 2010 року, який досліджував ліцензіат (BP, 2010), регулятори (USCG, 2010, BOMRE, 2011), незалежне агентство (US-CSB, 2016) та академічні навчальні групи (CCRM, 2011). Без сумніву, катастрофічні події призводять до ретельних експертиз і дають дуже докладні дані про умови, в яких були проведені операції. Завдяки цьому надзвичайному рівню перевірки отримані дані, безперечно, є більш надійними та повними, ніж будь-яке альтернативне джерело інформації щодо причинно-наслідкових зв'язків [30, 56]:

2. Неправильний час
3. Неправильний тип
4. Неправильне місце
5. Спостереження пропущено
6. Помилковий діагноз
7. Неправильні міркування
8. Помилка рішення
9. Неадекватний план
10. Помилка пріоритету
11. Відволікання уваги
12. Когнітивне упередження
13. Несправність обладнання
14. Неадекватна процедура
15. Неповна інформація
16. Помилка зв'язку
17. Відсутня інформація
18. Помилка технічного обслуговування
19. Неадекватний контроль якості
20. Проблема управління

21. Помилка конструкції
22. Невідповідний матеріал/речовина
23. Неадекватне розподілення завдань
24. Соціальний тиск
25. Недостатня кваліфікація
26. Недостатньо знань
27. Несприятливі умови навколишнього середовища
28. Нерегулярний робочий час

Схеми валідації повинні аналізувати запропоновані заходи щодо зменшення ризику, беручи до уваги динамічність систем. Припущення, такі як "добрі, бо нові" системи / обладнання, досконалі процедури і бездоганні оператори мають точність лише на папері, і перевіряючі повинні оскаржувати їх. Вище представлений список атрибутів із 27 пунктів, який дає змогу провести аналіз та викриває можливі недоліки, усунення основних небезпек та стимулює вдосконалення. Цілі аналізу полягають у тому, щоб дати поштовх до ширших міркувань щодо ризику в реальних проектах та щодо впровадження або відхилення рекомендацій та рішень, що сприяє діалогу між зацікавленими сторонами та забезпечує прозорість усього процесу. Крім того, головним атрибутом проекту є його доцільність, що означає вартість. Це ставлення абсолютно нормальне і закріплене у нашій соціальній поведінці. Отже, сприяння співіснуванню та балансу між економічними аспектами (тобто ресурсами, бюджетом) та показниками безпеки є кінцевою метою, яку переслідують ризик-менеджери. Це справа постійного переконання, для чого потрібні дослідження, шляхом розробки засобів для просвіти зацікавлених сторін та розгляду ширшої картини ризику.

Однак найбільшим значенням та результатом дослідження ризиків є підтримка процесу прийняття рішень. Отже, він повинен мати можливість повідомляти про ризики зацікавленим сторонам, чітко вирішуючи потенційні проблеми та рішення, а використання наочних посібників, таких як карти, може

допомогти вирішити цю проблему. Процедура ідентифікації ризиків полягає у визначенні ймовірних подій, що несуть негативний вплив. Серед ефективних механізмів управління ризиками будь-якого процесу, зокрема і технологічного, є застосування міжнародного стандарту ДСТУ ISO 31010:2013 «Керування ризиком. Методи загального оцінювання ризику» [131]. Згідно з даним стандартом однією з початкових процедур аналізу й загального оцінювання ризиків є їх ідентифікація. Дана процедура є першим етапом для оцінювання ризиків. Вона базується на вивченні, усвідомленні й систематичному виявленні причин і джерел виникнення можливих небезпек та факторів (чинників), щодо їх негативного впливу на досліджуваний об'єкт. Згідно з вимогами стандарту [131] блок-схему ідентифікації ризиків СОТС наведено на рис. 3.6.

В ході дослідження була розроблена методика ідентифікації ризиків (рис. 3.6), яка складається з трьох етапів. На першому етапі формується робоча група із залученням експертів та зацікавлених сторін. У роботах [154, 232, 234] наведено критерії якісних і кількісних характеристик, яким повинні відповідати потенційні претенденти в експерти та алгоритм формування групи експертів. Основним завданням першого етапу є збір інформації про СОТС, досконале вивчення матеріальних ресурсів, факторів впливу та організаційно-технічних чинників, що впливають на проведення оцінювання та формування їх переліку. На другому етапі проводиться документування ризиків, які впливають на безпеку процесу та обґрунтування визначення найбільш суттєвих факторів, що їх обумовлюють. На третьому етапі для побудови типових організаційно-технічних заходів, щодо зменшення ризиків проводиться їх класифікація. У роботі [234] наведено основні вимоги до її проведення. Зокрема це стосується використання трирівневого підходу, який дозволяє оцінити вплив пріоритетів верхніх рівнів на пріоритети нижніх рівнів та систематизувати ризики за їх ознаками. Слід зазначити, що для поліпшення результатів кожен етап ідентифікації потребує постійної верифікації, тобто перевірки вірогідності отриманої інформації. Далі за результатами моніторингу, для СОТС слід

розробити і впровадити запобіжні заходи щодо мінімізації негативного впливу ризиків та сформувати їх типовий реєстр, який включатиме перелік факторів, що обумовлюють ризики за ознаками, причини їх виникнення та типові заходи щодо їх зменшення. Такий підхід дозволяє підвищити якість оцінювання стану безпеки і сприяє підготовці компетентних та конкурентоспроможних заходів відповідно до сучасних вимог ринку.

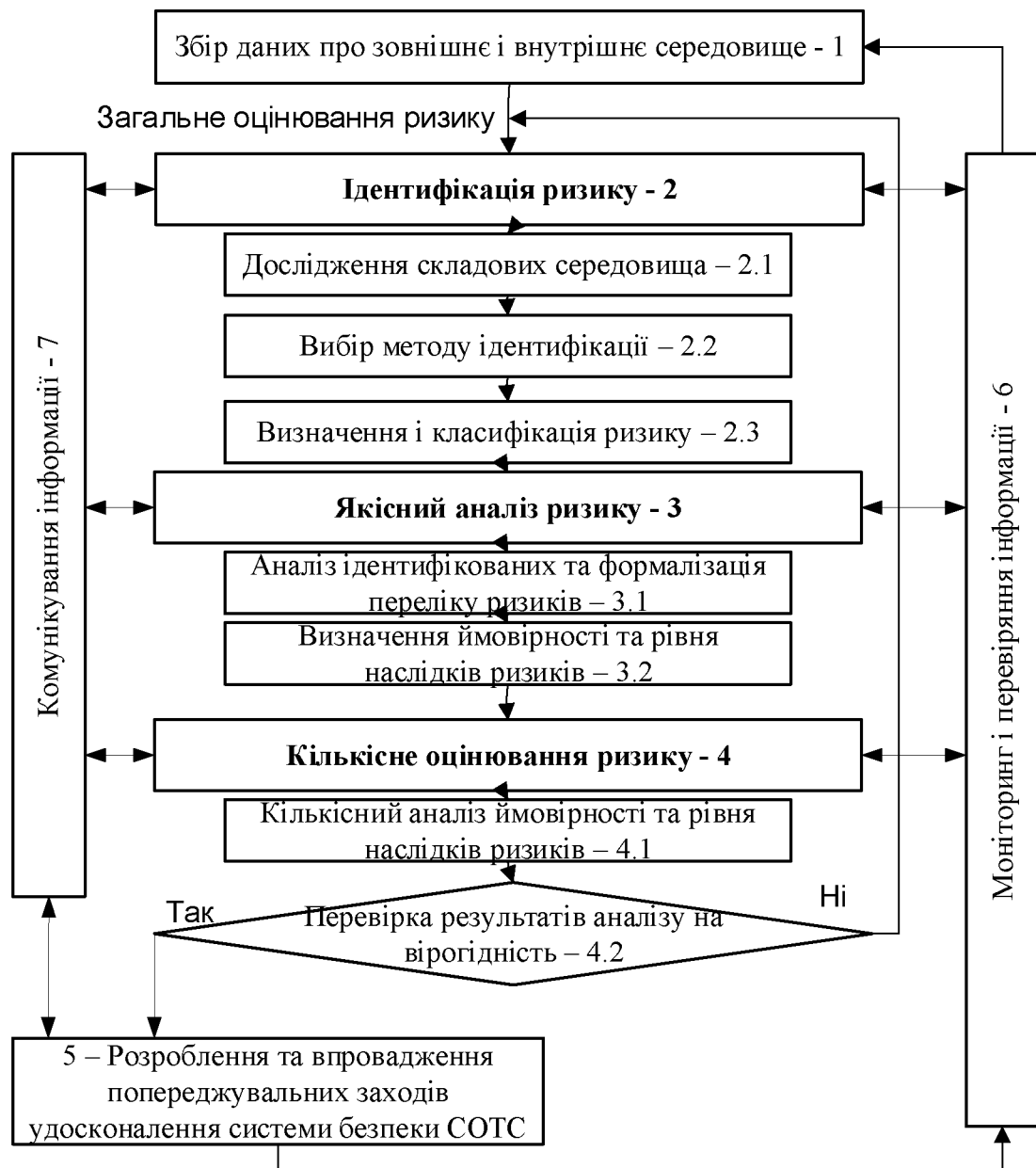


Рисунок 3.6 – Схема етапів ідентифікації ризиків згідно ДСТУ ISO 31010:2013

Результати дослідження щодо можливості та доцільності застосування ДСТУ ISO 31010: 2013 «Управління ризиками. Загальні методи оцінки ризиків»

вимоги щодо виявлення та аналізу потенційних ризиків виробничого процесу. Для оцінки ризиків СОТС розроблений спеціальний чотириступеневий алгоритм, який дозволяє оцінювати ризики цього процесу на всіх етапах його життєвого циклу. Механізм базується на системному підході, принципах загального управління якістю (TQM), управлінні ризиками та вимогах стандарту ДСТУ ISO 31010:2013. Для практичної реалізації цього алгоритму загальної оцінки ризиків проходять етапи ідентифікації, якісного аналізу та кількісного оцінювання [58, 203, 207-209, 217]. Зокрема, при аналізі засобів: «Дослідження небезпек і працездатності» (HAZOP), структурований метод "Що – якщо" (SWIFT), метод "Аналізування видів і наслідків відмов" (FMEA), "Аналізування причин і наслідків", «Технічне обслуговування, зорієнтоване на забезпечення безвідмовності» (RCM), показники ризику, матрицю «наслідок-імовірність» та багатокритерійне аналізування рішень (MCDA); з'ясовано, що вибір методу ідентифікації залежить від особливостей виробничого процесу та є прерогативою СОТС; класифікація ризиків у вигляді трирівневої структури, суть якої полягає у встановленні взаємозв'язків між рівнями та у визначенні факторів їх впливу; експертний метод виділив шість груп основних ризиків та надає єдині показники для їх оцінки; проведено якісний та кількісний аналіз потенційних ризиків за допомогою методу картографування та визначено можливість ризиків та рівень їх наслідків; визначено найризикованіші етапи оцінювання, що вимагають особливої уваги, розробки та здійснення дій щодо їх зменшення; було окреслено план дій щодо мінімізації потенційних ризиків. Перспективи подальших досліджень пов'язані з більш детальним вивченням ризиків технологічного процесу, зокрема впливу їх економічної складової на діяльність СОТС.

Загальне оцінювання ризиків (рис. 3.6) складається з чотирьох складових: 2 – ідентифікація ризиків; 3 – якісний аналіз ризиків; 4.1 – кількісне оцінювання ризиків та 4.2 – перевірка результатів аналізу на вірогідність. Виконання цих складових проводиться згідно з п. 4.3.4 стандарту [131]. Зокрема проведення

робіт складається з визначення впливу негативних факторів на СОТС, шляхом застосування методів структурованого аналізу.

Стандарт [131] рекомендує для ідентифікації ризиків в різних галузях національної економіки застосовувати 26 основних методів із 31 загальної кількості інструментів. Проте, повний набір для всіх етапів властивий лише 15 методам, з яких в ході досліджень було встановлено, що для СОТС найбільш придатними є чотири методи: "Аналізування видів і наслідків відмов", «Технічне обслуговування, зорієнтоване на забезпечення безвідмовності», матриця «наслідок-імовірність» та багатокритерійне аналізування рішень.

Розглянемо детальніше кожен з них. Метод дослідження небезпек і працездатності (ІЕС61882 HAZOP) – якісний, достатньо складно структурований і призначений для стадії проектування СОТС за умови високого рівня специфікації системи і високої вартості витрат.

Спрощений альтернативний варіант HAZOP – це метод "Що – якщо" (SWIFT), який застосовують на рівні систем за нижчого рівня докладності для дослідження наслідків змін та ризиків від них. Перевагою є ширша застосовність, швидше отримання оцінки за менших витрат, однак з вищою ймовірністю неідентифікації ризику та небезпек.

Метод аналізування видів і наслідків відмов (ІЕС 60812 FMEA) – напівкількісний або кількісний за умови використання даних щодо фактичної інтенсивності відмов, як під час проектування так і після, в т.ч. для процесів і процедур. При можливості прокласифікувати кожен з ідентифікованих видів відмов відповідно до його критичності (FMESA), застосовують з числом пріоритетності ризику (RPN) – напівкількісною мірою критичності, яку одержують множенням чисел ранжувальних шкал (від 1 до 10), що відповідають наслідку відмови, на вірогідність відмови та спроможність виявити проблему. Якщо проблему важко виявити, то їй надають найвищий пріоритет.

Метод аналізування причин і наслідків поєднує у собі дерево відмов і дерево подій з розширенням функційності застосуванням хронології з часовими

затримками. Допускається кількісне подання способів реагування системи, що стає оцінкою ймовірності різних можливих наслідків критичної події. Для цього встановлюють імовірність кожного виходу блоку стану, а тоді проводять операції множення або додавання за схемою до кожного конкретного наслідку.

Метод керування відмовами «Технічне обслуговування, зорієнтоване на забезпечення безвідмовності» (IEC 60300-3-11 RCM) реалізується шляхом виконання належного результативного ТО. Заснований на загальному оцінюванні ризику за типом FMECA, але вимагає спеціального підходу до ідентифікації відмов устаткування.

Напівкількісною мірою ризику є показники ризику, отримані з використанням підходу бальних оцінок на основі порядкових шкал. Оцінки застосовують до кожного складника ризику для їх порівняння. Якщо є всі дані про систему, вони дають змогу привести до єдиної числової бальної оцінки низку чинників, які впливають на рівень ризику. Невизначеність може бути враховано аналізуванням чутливості параметрів та зміною оцінок для їх виявлення. Можуть ранжувати різні ризики та їх об'єднувати в бальну оцінку рівня ризику. Недоліком є хибне тлумачення і мала надійність шкал, коли немає базової моделі.

Для ранжування (відсіювання з багатьох ідентифікованих) рівня ризику застосовують матрицю «наслідок-імовірність» та для аналізування критичності у FMECA, для встановлення пріоритетів після застосування HAZOP. Створені шкали повинні охоплювати весь діапазон наслідків. Просто і швидко надає ранги ризиків відповідно до обставин системи. Ризики неможливо агрегувати за еквівалентністю чи поєднувати і прорівнювати для різних категорій наслідків.

Багатокритерійне аналізування рішень (MCDA) полягає в ранжування за перевагою наявних варіантів. Аналізування передбачає розроблення матриці варіантів і критеріїв, ранжованих і агрегованих для отримання загальної бальної оцінки кожного варіанта. Дає просту структуру для ефективного прийняття рішень і висновків, однак не дає переконливого чи однозначного результату.

Для визначення ймовірності та рівня наслідків ризиків щодо їх значущості використовуються така шкала – «низький», «незначний», «середній», «значний», «неприйнятний» (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 – Ранжування та встановлення класу безпеки СОТС за рівнем БПЯ

Значення індексу БПЯ	Клас безпеки за рівнем БПЯ	Рекомендовані заходи
1,0÷0,8	А – повна відповідність БПЯ до вимог	Періодичний моніторинг БПЯ
0,6÷0,8	В – незначна невідповідність БПЯ	Оцінювання відповідності системи безпеки СОТС за показниками результативності
0,4÷0,6	С – середній рівень БПЯ	Аналіз БПЯ та оцінювання відповідності системи безпеки СОТС за показниками ефективності
0,2÷0,4	Д – значна невідповідність БПЯ	Мінімізація джерел небезпек та оцінювання відповідності системи безпеки СОТС за показниками ефективності та результативності
0,0÷0,2	Ф – неприйнятний рівень БПЯ	Переформування системи безпеки СОТС та оцінювання її відповідності системи безпеки СОТС за показниками ефективності та результативності

Аналіз ризиків буде ефективним у випадку застосування напівкількісного ранжування ризиків експертною групою. Найбільш розповсюдженими методами кількісного оцінювання є «Матриця наслідків-ймовірностей» та «Картографування ризиків». Суть методу – «Матриця наслідків/ймовірностей» полягає у поєднанні якісних та напівкількісних оцінок ймовірностей та наслідків що дозволяє проранжувати ризики та визначити їх рівень. Даний метод, як правило застосовується для визначення пріоритетності аналізу ризиків [131]. Метод базується на використанні спеціальних шкал, вибір яких обумовлюється



діапазоном ймовірності та наслідків, які об'єднуються матрицею. При цьому найнижча ймовірність характеризує найбільш небезпечний ризик. До переваг даного методу слід віднести простоту застосування, а до недоліків труднощі однозначного визначення шкали для рівнів ризиків при різних категоріях наслідків.

Наступним підетапом загального оцінювання ризиків є перевірка результатів на вірогідність інформації – 4.2, якщо інформація достовірна то переходимо на підетап – 5 (рис. 3.6). Якщо інформація не достовірна, то перехід відбувається на підетап – 3.1. У разі, якщо якісного аналізу недостатньо, потрібно повернутись на підетап 2.1. До підетапу 4 входять процедури: розроблення (погодження та впровадження) плану дій щодо попереджувальних заходів удосконалення системи безпеки СОТС.

### 3.3. Формалізація компонентів управління безпекою складної системи

Концептуальна модель безпеки СОТС повинна охоплювати [65, 90, 160, 208, 217]:

- вимоги до заходів безпеки та їх функцій;
- опис елементів безпеки СОТС, їх функцій та суттєвих взаємозв'язків між ними;
- перелік критеріїв безпеки СОТС;
- зв'язок параметрів елементів із критеріями безпеки СОТС.

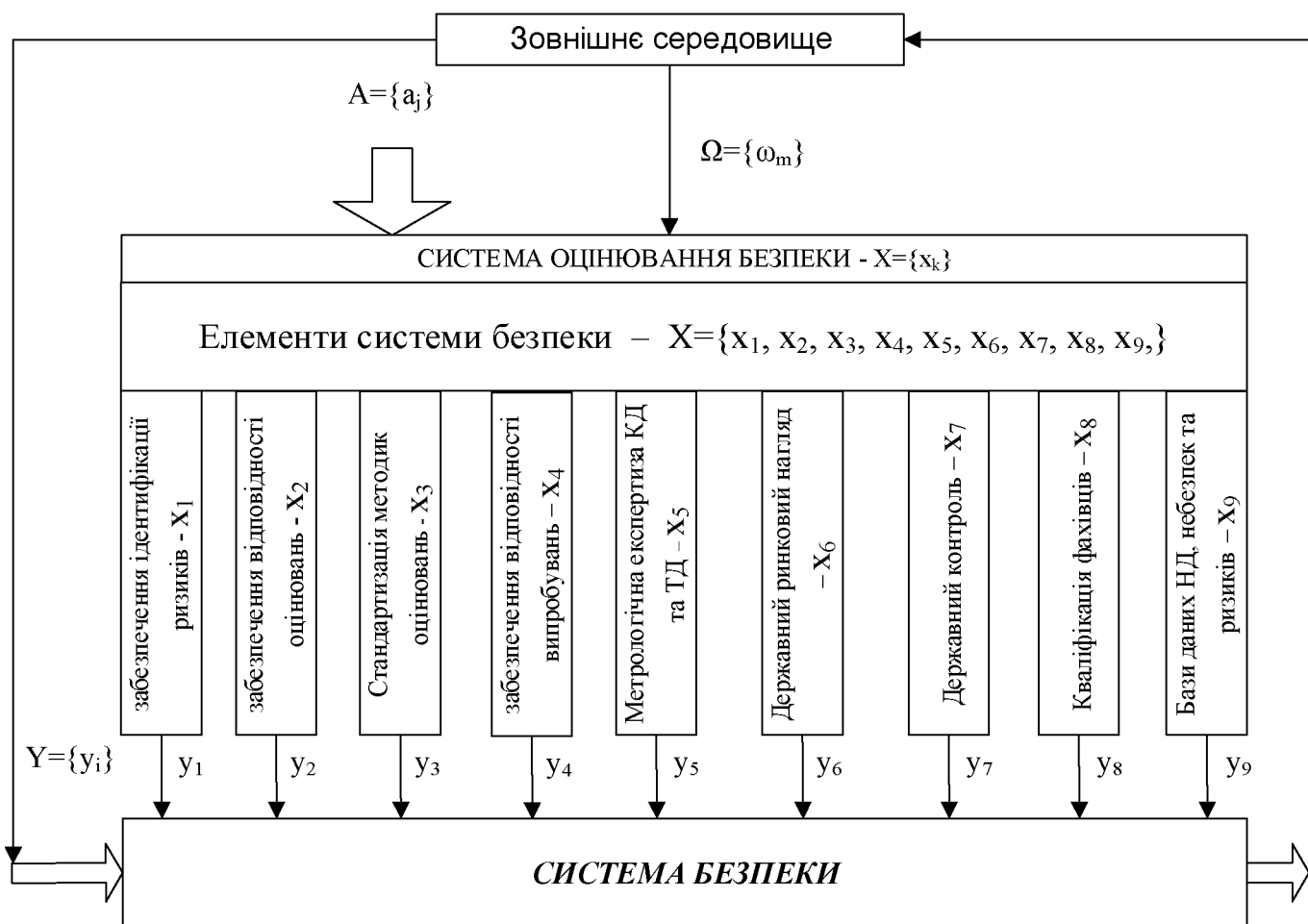


Рисунок 3.7 – Концептуальні елементи системи оцінювання безпеки СОТС

Формалізація моделі безпеки СОТС та процес оптимізації її структури відображено у вигляді (3.21), з врахуванням таких обмежень:

- вплив зовнішнього середовища на СОТС може виходити за межі визначених параметрів;

- задача є багатокритеріальною і вимагає оптимізації векторного критерію ефективності;
- для визначення системи безпеки СОТС слід враховувати потенційні можливості її ресурсів для захисту від небезпек та обмеження, що накладаються на витрати з її вдосконалення.

$$SS_W \Rightarrow \begin{cases} Q = Q(x, y, a, \Omega, t) \rightarrow extr \\ a = \Phi_1(a^0, y, x, \Omega, t) \\ y = \Phi_2(a, y^0, x, \Omega, t) \\ a^0, a^1 \in A, i = \overline{1, n_A}; x \in X, i = \overline{1, n_X}; \\ y^0, y^1 \in Y, i = \overline{1, n_Y}; t \in R[t_0, t_1]; \\ \omega_i \in \Omega, i = \overline{1, n_\Omega} \rightarrow const \end{cases} \quad (3.21)$$

де  $Q$  - критерій оптимальності безпеки СОТС;  $\Phi_1(a^0, y, x, \Omega, t)$  – оператор зміни вхідного показника безпеки СОТС  $A$  в залежності від інших впливових факторів та  $\Phi_2(a, y^0, x, \Omega, t)$  - оператор зміни вихідного показника безпеки СОТС  $Y$  в залежності від інших впливових факторів;  $a^0, a^1 \in A, i = \overline{1, n_A}; x \in X, i = \overline{1, n_X}, y^0, y^1 \in Y, i = \overline{1, n_Y}; t \in R[t_0, t_1]$  - обмеження областей існування відповідних параметрів моделі безпеки СОТС.

У цій моделі множина вхідних змінних  $A = \{a_j\}$  визначається сукупністю вимог до систем безпеки СОТС державного контролю та нагляду, встановлених у нормативно-правових актах, технічних регламентах та правилах, а також міжнародних нормативних документах та договорах. Множина вихідних змінних  $Y = \{y_j\}$  характеризує сукупність впливних факторів технологічного процесу на стан безпеки СОТС і визначається структурою СОТС та її діяльністю. Множина змінних  $\Omega = \{\omega_j\}$  впливу зовнішнього середовища охоплює такі впливні фактори: фізичні параметри середовищ – температура, вологість, тиск; зовнішні зв'язки та постачання і т.д. Подані вище фактори  $a_i, \omega_i, y_i$ , що впливають на ефективність СОТС, як правило, мають детерміновані впливи, які в межах одного підприємства не завжди доцільно, або і неможливо змінювати, а лише адаптуватися до них.

$Q = Q(x, y, a, \Omega, t) \rightarrow \max_A$  Для підвищення ефективності безпеки СОТС необхідно оптимізувати структуру та значення її внутрішніх елементів

$g_i(X, A, \Omega) \leq b_i, i = \overline{1, m}$  - функція втрат якості  $i$ -го елемента;

$X^{opt} = \min_{g_X(x_k)} \rightarrow \max_Y P_W$

$b_i$  - граничне значення функції втрат якості  $i$ -го елемента;

$P_W$  - ймовірність досягнення мети заходами безпеки СОТС

Для розрахунку операторів  $\Phi_1$  і  $\Phi_2$  згідно з GUM [19] методика оцінювання найкращого результату та його стандартної непевності  $u_A(x)$  за методом типу А складається з таких кроків:

1. Обчислити середнє значення (найкращого результату вимірювання):

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i ; \quad (3.19)$$

2. Обчислити оцінки дисперсії результатів спостережень:

$$s^2(x_i) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 ; \quad (3.20)$$

3. Визначити експериментальну оцінку стандартного відхилення:

$$s(x_i) = \sqrt{s^2(x_i)} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} ; \quad (3.21)$$

4. Обчислити значення стандартної непевності типу А результату за невідомого стандартного відхилення спостережень за формулою (3.22), або за відомого стандартного відхилення за формулою (3.23):

$$u_A(x) = s(\bar{x}) = \frac{s(x_i)}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} ; \quad (3.22)$$

$$u_A(\bar{x}) = \frac{\sigma(x_i)}{\sqrt{n}} ; \quad (3.23)$$

5. Обчислити кількість ступенів свободи:  $\nu = n - 1$ ;
6. Визначити розширену непевність:

$$U_p = t_p(v) \cdot u_A(x), \quad (3.24)$$

де  $t_p(v)$  - коефіцієнт розширення – квантиль розподілу Стюдента;  $p$  - рівень довіри;

Відповідно до цього методу умова визначення найкращої оцінки параметра розташування  $\hat{\mu}$  результатів спостереження і параметра ширини  $\hat{\sigma}$  розподілу вибірки дослідження полягає у такому [89, 116, 117] (рисунок 3.8):

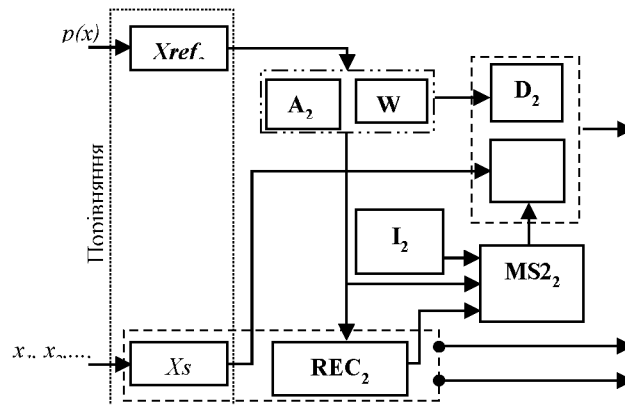


Рисунок 3.8 – Схема алгоритму опрацювання результатів оцінювань на основі методу порядкових статистик (порівняння впорядкованих спостережень з одним набором  $j$  зразкових) [23]

1. Впорядкування спостережень  $X_s$ ;
2. Вхідні відсортовані спостереження порівнюють не з однією послідовністю зразкових спостережень, а з набором  $j$  ( $j=1, 2, \dots, J$ ) зразкових спостережень  $xref_1=(xref_{1,1}, xref_{2,1}, \dots, xref_{n,1})^T$ ,  $xref_2=(xref_{1,2}, xref_{2,2}, \dots, xref_{n,2})^T$ , ...,  $xref_j=(xref_{1,j}, xref_{2,j}, \dots, xref_{n,j})^T$ , які відповідають передбачуваним густинам розподілу  $p_1(x), p_2(x), \dots, p_J(x)$ , (де  $xref_{k,j}$  – зразкові спостереження, обчислюються за формулою  $xref_k = M[x_{(k)}] = \int_{-\infty}^{\infty} x \cdot p_k(x) dx$ );
3. Для кожної моделі густини  $p_j(x)$  ( $j=1, 2, \dots, J$ ) на основі зваженого методу найменших квадратів обчислюють найкращі оцінки параметрів  $\hat{\mu}_j$  і  $\hat{\sigma}_j$

вхідних спостережень за формулою  $(\hat{\mu}, \hat{\sigma})^T = (A^T \cdot W \cdot A)^{-1} \cdot A^T \cdot W \cdot X_s = REC \cdot X_s$ , з якої  $REC = (A^T \cdot W \cdot A)^{-1} \cdot A^T \cdot W$ .

4. Для кожної моделі густини  $p_j(x)$  ( $j=1, 2, \dots, J$ ) обчислюють незміщену оцінку дисперсії залишкових відхилень  $S_{R,j}^2$  за формулою  $S_{R,j}^2 = \frac{X_s^T \cdot W \cdot (I - A \cdot REC) \cdot X_s}{n-2}$ .

5. Визначають для якого розподілу отримали мінімальне значення дисперсії залишкових відхилень  $j = \min_j (S_{R,1}^2, S_{R,2}^2, \dots, S_{R,J}^2)$ .

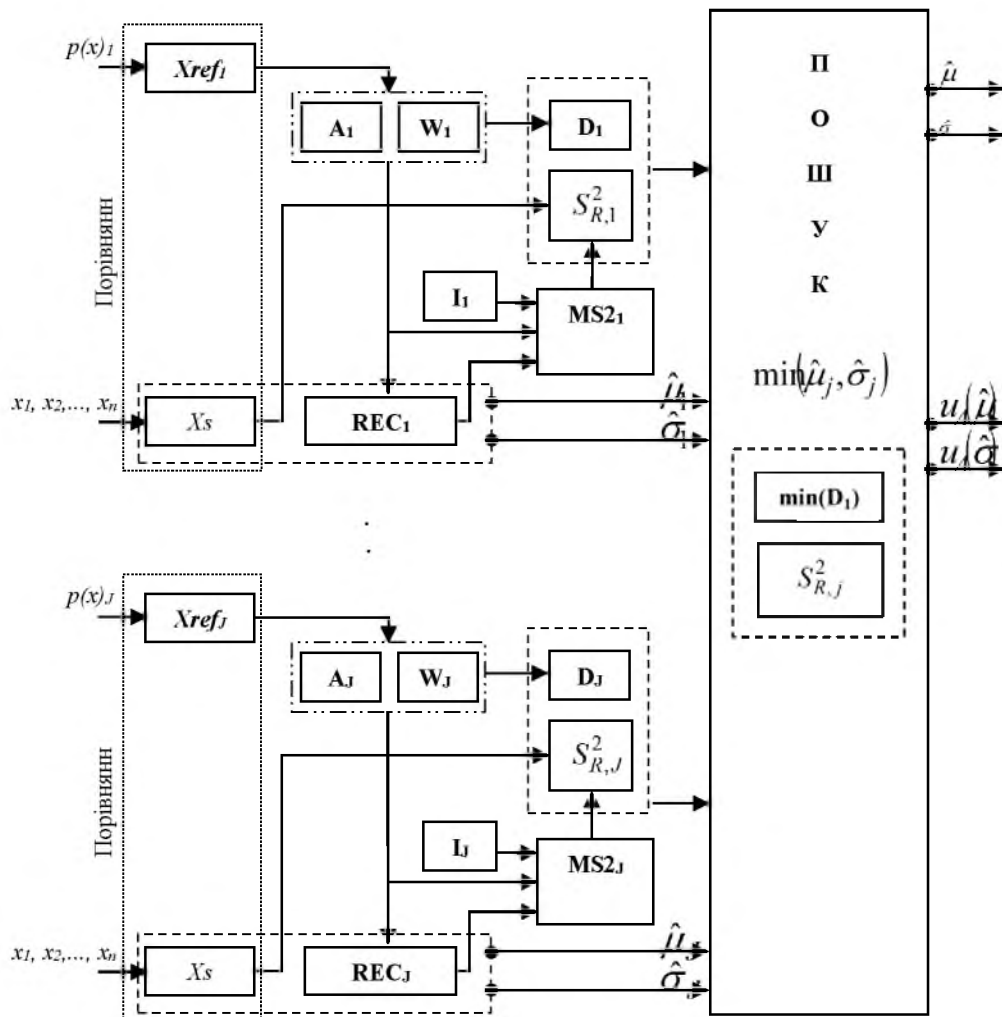


Рисунок 3.9 – Структурна схема алгоритму опрацювання результатів оцінювань на основі методу порядкових статистик (порівняння впорядкованих спостережень з набором  $j$  зразкових)

6. За результат приймають значення для яких отримано мінімальні дисперсії параметрів  $\hat{\mu} = \hat{\mu}_j$  і  $\hat{\sigma} = \hat{\sigma}_j$ .

7. Стандартні  $u_A(\hat{\mu})$  і  $u_A(\hat{\sigma})$  і розширені  $U_p(\hat{\mu})$  і  $U_p(\hat{\sigma})$  непевності цих результатів обчислюють, як для звичайного методу порядкових статистик, підставляючи відповідну матрицю  $D_J$  та оцінку дисперсії  $S_{R,j}^2$ .

Метод Монте-Карло особливо ефективний у випадках, коли аналітичні методи обчислення непевності непридатні та неефективні внаслідок їх складності через величезний обсяг обчислень та занадто великий час на розв'язання задачі, а відповідні спрощення не забезпечують потрібної точності [98]. Оскільки метод Монте-Карло імовірнісний, то важливо забезпечити статистичну стійкість результатів моделювання [41]. З цією метою обчислення проводять з великої кількості реалізацій  $M$ . Якщо кількість симуляцій становить  $M$ , то стандартне відхилення (статистична нестабільність, непевність) досліджуваного параметру буде мати порядок  $\sim 1/\sqrt{M}$ . Тобто при  $M=10^4$  статистична нестабільність має порядок 1%, а при  $M=10^6$  статистична нестабільність має порядок 0,1%. Тому на практиці рекомендують вибирати кількість статистичних симуляцій у методі Монте-Карло між  $10^4$  та  $10^6$ .

Алгоритм опрацювання та оцінювання непевності результату вимірювання за симуляційним методом Монте-Карло полягає у виконанні наступної послідовності (рисунк 3.10) [116, 98]:

1. Прийняття моделі густини розподілу ймовірності  $p_1(x_1), p_2(x_2), p_3(x_3), \dots, p_n(x_n)$  для кожної так званої вихідної випадкової величини  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$  з параметрами математичним сподіванням величини  $m_x$  та стандартним відхиленням  $\sigma_x$ ;

2. Встановлення кількості спостережень  $n$ ;

3. Присвоєння кількості реалізацій (симуляцій)  $M$  у ММК;

4. Генерування  $j = 1, 2, \dots, M$  випадкових значень кожної із вхідних величин із заданими розподілами та їх параметрами:

$$X = \begin{pmatrix} x_{1,1} & x_{1,2} & \cdots & x_{1,j} & \cdots & x_{1,M} \\ x_{2,1} & x_{2,2} & \cdots & x_{2,j} & \cdots & x_{2,M} \\ x_{3,1} & x_{3,2} & \cdots & x_{3,j} & \cdots & x_{3,M} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n,1} & x_{n,2} & \cdots & x_{n,j} & \cdots & x_{n,M} \end{pmatrix}; \quad (3.25)$$

5. За основним рівнянням (моделлю) вимірювання  $y = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$  для кожного з  $M$  наборів згенерованих випадкових значень вхідних величин обчислюють значення вихідної величини  $y_j = f(x_{1,j}, x_{2,j}, x_{3,j}, \dots, x_{n,j}), j = 1, 2, \dots, M$ ;

6. Проведення обчислення та опрацювання отриманих результатів [116, 35]:

- середнього значення  $\bar{y}$ , яке використовують як найкращу оцінку шуканої величини  $\hat{y} = \bar{y}$ :

$$\bar{y} = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M y_j; \quad (3.26)$$

- оцінки стандартного відхилення  $s_y$ , яку використовують як стандартну непевність оцінки величини  $u(\hat{y}) = s_y$ :

$$s_y = \sqrt{\frac{1}{(M-1)} \sum_{j=1}^M (y_j - \bar{y})^2}; \quad (3.27)$$

- сортування значень  $y_j$  вихідної величини  $ys_j$  за зростанням:

-

$$ys_j = \text{sort}(y_j); \quad (3.28)$$

- максимального  $\max(y)$  та мінімального  $\min(y)$  експериментального значення;

- побудова експериментальної функції розподілу  $Fe_j(ys_j) = j/M$ , за якою для заданого рівня довіри  $\beta$  визначають нижню  $y_n$  та верхню  $y_6$  границі інтервалу покриття оцінки результату, де символ  $[ ]$  означає цілу частину виразу:

-

$$y_n = ys_{\lfloor \frac{1-\beta}{2} M \rfloor}; \quad y_6 = ys_{\lfloor \frac{1+\beta}{2} M \rfloor}. \quad (3.29)$$



- побудова гістограм;
- стандартної та розширеної непевності результатів спостережень;
- оцінювання асиметрії (контрекцесу) та сплюсненості (ексцесу) розподілу та визначення інших необхідних статистичних параметрів отриманих результатів.

Для довільної густини розподілу  $p(x)$  та функції розподілу  $F(x)$  випадкової величини  $x$  теоретична густина розподілу  $p_1(x_1)$  мінімального елемента  $x_1$  (далі мінімальне спостереження  $x_{(1)}$  позначається, як  $x_1$ ) за відомих параметрів розподілу спостережень описується, як розподіл 1-ої порядкової статистики:  $p_1(x_1) = n \cdot [1 - F(x_1)]^{n-1} \cdot p(x_1)$ , а для  $p_n(x_n)$  максимального елемента  $x_n$  (далі максимальне спостереження  $x_{(n)}$  позначається, як  $x_n$ ) описується, як розподіл остаточної  $n$ -ої порядкової статистики, тобто [1, 2, 3]:

$$p_n(x_n) = n \cdot F(x_n)^{n-1} \cdot p(x_n).$$

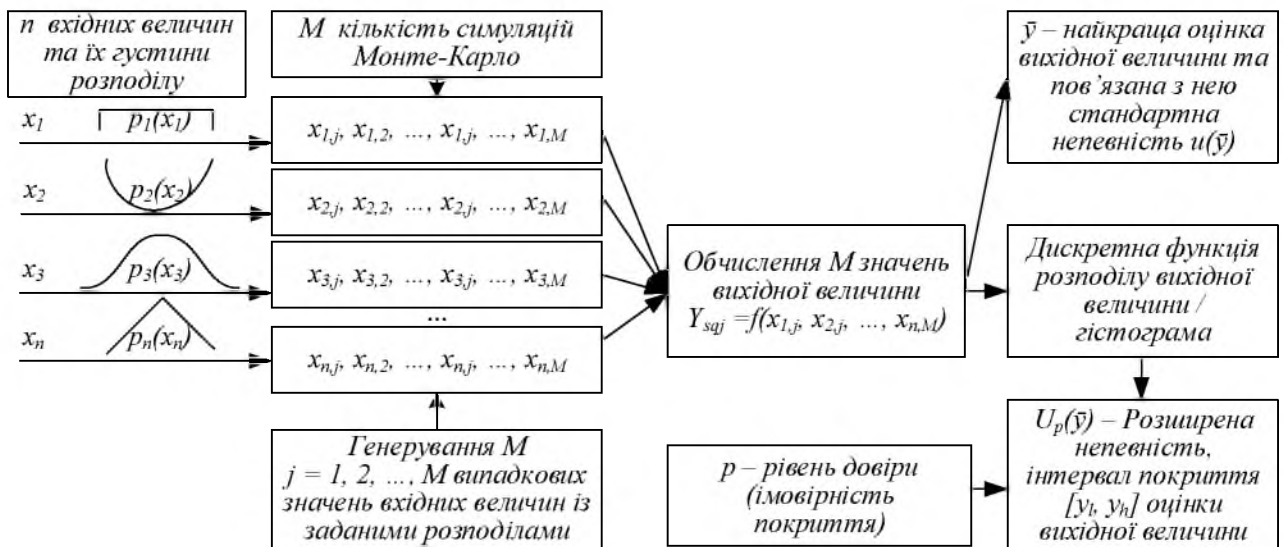


Рисунок 3.10 – Загальна схема дослідження непевності результату оцінювання за методом Монте-Карло

Запропонована методика оцінювання непевності екстремальних спостережень. Для оцінювання розширеної  $U_p(x_1)$  чи  $U_p(x_n)$  непевності екстремальних оцінок потрібно:

1. Зареєструвати і просортувати всі  $n$  оцінювань та обчислити їх середнє значення  $\bar{x}$  (3.19) та оцінку стандартного відхилення  $s_x$  (3.20);
2. Для заданої кількості оцінювань  $n$  та густини розподілу  $p(x)$  обчислити очікуване нормоване значення математичного сподівання та стандартне відхилення  $\sigma_{0,1}$  або  $\sigma_{0,n}$ ;
3. Обчислити стандартну непевність мінімальної  $u_A(x_1)$  або максимальної  $u_A(x_n)$  оцінки за формулою  $u_A(x_1) = u_A(x_n) = \sigma_{0,1} \cdot s_x$ ;
4. Обчислити інструментальну складову непевності  $u_{cB}(x_1)$  або  $u_{cB}(x_n)$ ;
5. Обчислити сумарну стандартну непевність  $u_c(x_{1(n)}) = \sqrt{u_A^2(x_{1(n)}) + u_{cB}^2(x_{1(n)})}$  та розширену непевність  $U_{p,low}(x_1)$  або  $U_{p,high}(x_n)$ ;
6. Для заданого рівня довіри  $p$  обчислити коефіцієнт  $z_{1,1,low}(n, p)$  для нижньої або  $z_{n,1,high}(n, p)$  для верхньої границі при односторонній ймовірності;
7. Порівняти гранично допустиме значення  $x_1$  або  $x_n$  з урахуванням його непевності  $U_{p,low}(x_1)$  або  $U_{p,high}(x_n)$  із встановленим допустимим значенням та зробити висновок про відповідність параметрів безпеки СОТС;
8. Залежно від вимог вказаних у нормативній документації при перевищенні допустимого (критичного) значення, можливою вимогою є повторення контрольних вимірювань і тоді, у випадку отримання подібних результатів оцінки можуть бути негативними з відповідними коригувальними діями.

Для всіх досліджених розподілів при обмеженій кількості спостережень, наприклад, при  $n \leq 6, 7$ , коефіцієнт розширення мінімального оцінювання відхиляється від коефіцієнта розширення для нормально розподілених оцінювань не більше 3%, а для  $n = 10$  близько 14%.

Для оцінювання безпеки найбільш застосовна шкала різниць (інтервалів), де співвідношення між проявами властивостей виявляється через еквівалентність, порядок, пропорційність або підсумовування інтервалів, а вибір початку відліку, як і одиниці вимірювань встановлюється за згодою, а можливі перетворення шкали лінійні. Практична реалізація шкал конкретних властивостей забезпечується стандартизацією

шкал та одиниць вимірювань, а також способів і умов їх однозначного відтворення еталонами та засобами вимірювань.

Згідно з гіпотезою Ейнштейна, енергія будь-якого електромагнітного коливання, в тому числі і рентгенівського випромінювання, концентрується в фотонах. При зіткненні фотона з атомом його енергія частково (ефект Комптона) або повністю (фотоелектронна абсорбція) передається атому, який іонізується. До біологічних змін в організмі призводить тільки поглинена ним доза випромінювання. Жорстке рентгенівське випромінювання з короткою довжиною хвилі поглинається тілом в меншій мірі, ніж «довгохвильове» м'яке випромінювання. Рентгенівське випромінювання виникає від різкого гальмування руху швидких електронів у речовині, при енергетичних переходах внутрішніх електронів атома.

- Від  $0,1 \text{ нм} = 1 \text{ \AA}$  (12 400 еВ (Кількість енергії на фотон)) до  $0,01 \text{ нм} = 0,1 \text{ \AA}$  (124 000 еВ) — жорстке рентгенівське випромінювання. Джерела: деякі ядерні реакції, електронно-променеві трубки.
- Від  $10 \text{ нм}$  (124 еВ) до  $0,1 \text{ нм} = 1 \text{ \AA}$  (12 400 еВ) — м'яке рентгенівське випромінювання. Джерела: електронно-променеві трубки, теплове випромінювання плазми.

Енергія фотона за квантовою механікою пропорційна частоті:  $E=h\nu$ , де  $h$  - стала Планка,  $E$  — енергія,  $\nu$  — частота. Довжина електромагнітної хвилі у вакуумі обернено пропорційна частоті і виражається через швидкість світла:  $\lambda = c/\nu$ . Говорячи про довжину електромагнітних хвиль в середовищі, зазвичай мають на увазі еквівалентну величину довжини хвилі у вакуумі, яка відрізняється на коефіцієнт заломлення, оскільки частота хвилі при переході з одного середовища в інше зберігається, а довжина хвилі — змінюється. У верхній частині шкали наводяться значення частоти в герцах (рис.3.11), у нижній — енергія в електронвольтах. Згідно з класифікацією групових ознак запропонованої шкали оцінювання безпеки (табл.2.2), та встановленої залежності рівня ризику від енергетичного показника небезпечного елемента СОТС (3.21), можливе встановлення одиниці вимірювання оцінки безпеки, пропорційної до сталої Планка:

довжина Планка  $l_p = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^3}} \approx 1.616\ 24\ (12) \times 10^{-35} \text{ м}$ , час  $t_p = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^5}} \approx 5.39121(40) \times 10^{-44} \text{ с}$ .

маса  $m_p = \sqrt{\frac{\hbar c}{G}} \approx 1,2209 \times 10^{19} \text{ GeV}/c^2 = 2,176 \times 10^{-8} \text{ кг}$ . Енергія Планка  $(L^2MT^{-2})$

$$E_p = \frac{\hbar}{t_p} = \sqrt{\frac{\hbar c^5}{G}} \approx 1.9561 \times 10^9 \text{ Дж, де } G \text{ — гравітаційна стала, } c \text{ — швидкість}$$

світла,  $\hbar$  — зведена стала Планка.

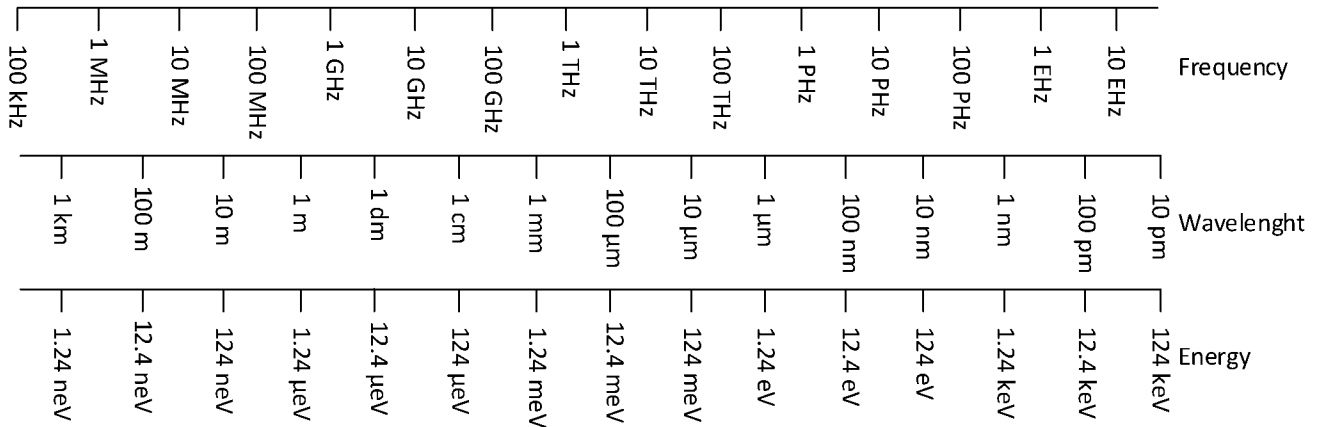


Рисунок 3.11 – Шкала співвідношення енергії, довжини та частоти хвилі електромагнітного випромінювання

Ступінь дії ІВ у будь-якому середовищі залежить від величини поглинутої енергії випромінювання та оцінюється дозою ІВ. Розрізняють експозиційну поглинуту та еквівалентну дози ІВ. Експозиційна доза характеризує іонізуючу здатність випромінювання у повітрі. За одиницю дози в системі СІ прийнятий кулон (Кл/кг). Експозиційна доза характеризує потенційні можливості ІВ.

Значення дози, одержаної людиною, залежить від виду випромінювання, енергії його часток, щільності потоку та тривалості впливу опромінювання. Одиниця вимірювання поглинутої дози греї (Гр), в системі СІ — Дж/кг.

Рентгенівські промені мають велику енергію - десятки й сотні кілоелектронвольт. Попри те, що вони слабо взаємодіють із речовиною, така взаємодія все ж існує, й при поглинанні вивільняється велика кількість енергії, що може призвести до безповоротних пошкоджень у клітині живого організму. Тому рентгенівські промені небезпечні й робота з ними вимагає особливої уваги.

Основна дозова межа індивідуального опромінення населення не повинна перевищувати 1 мілізіверта ефективної дози опромінення за рік. Застосування джерел іонізуючого випромінювання у медичних цілях має бути обґрунтовано користю для пацієнта порівняно із шкодою, якої воно може завдати, а також порівняно з користю та

ризиком в разі застосування альтернативних методів діагностики та лікування (стаття 16 [185]).

Основна дозова межа індивідуального опромінення персоналу об'єктів, на яких здійснюється практична діяльність, не повинна перевищувати 20 мілізівертів ефективної дози опромінення на рік Стаття 6 ЗУ. Ліміт дози для персоналу АЕС – 20 мЗв за рік в середньому за будь-які п'ять послідовних років роботи і не більше 50 мЗв за окремий рік [167], річна доза опромінювання від джерел природного походження в Україні в середньому становить 3,4 мЗв, але близько 2 млн осіб щорічно отримують дозу опромінення від цих джерел 10 мЗв і більше.

Оцінка умов праці при роботі з джерелами іонізуючого випромінювання проводиться шляхом порівняння розрахункової дози з допустимим для категорії А рівнем – 20 мЗв/47 робочих тижнів = 0,425 мЗв/тиждень (0,042 рентгена/тиждень). Для оцінки умов праці при роботі з джерелами іонізуючого випромінювання користуються формулою (1), що визначає залежність дози опромінення (Д) від активності джерела, часу опромінення і відстані між джерелом випромінювання та опромінюваним об'єктом:

$$D = X * 8,4 * t / R^2 \text{ [Рентген/тиждень]} \quad (3.30)$$

де: X активність джерела в мілікюрі; (в мг/екв радію); 8,4 -  $\gamma$ -постійна радію; t – час опромінення за робочий тиждень (30 годин при роботі з закритими джерелами); R – відстань між джерелом і опромінюваним об'єктом, см.

Перетворивши формулу (3.30) відносно X можна визначити активність, що забезпечує персонал. Для джерела іонізуючого випромінювання з роботою згідно з фотографією робочого дня провідного інженера з радіаційної безпеки така розрахункова доза  $X = 1,725 * 2500 / 8,4 * 30 = 17,1$  мКі.

Еквівалентна доза у системі СІ вимірюється Зіверт, що дорівнює поглинутій дозі в 1 Дж/кг (для рентгенівського, гама і бета випромінювань). У системі СІ за одиницю активності прийняте одне ядерне перетворення за секунду – бекерель. Позасистемною одиницею є Кюрі =  $3,77 * 10^{-10}$  Бк і дорівнює активності 1 г радію. Енергія утворення одної пари іонів 34 еВ, звідси контрольний рівень  $10 \text{ мКі} = 377 * 10^{-6} * 34 = 12580 \text{ MeV}$ . Експозиційна доза характеризує іонізуючу здатність випромінювання у повітрі.

Позасистемною одиницею її є рентген – це така доза, під впливом якої в 1 см<sup>3</sup> повітря виникає 2,08\*10<sup>-9</sup> пар іонів. Енергетичним еквівалентом рентгена є величинна 87,3 ерг/г. Лінійна передача енергії для рентгенівського випромінювання становить 0,25 кеВ/нм. При переведенні в см це значення =2500 МеВ, що для фокусної відстані діагностичного рентгенапарата 30-50 см становить 75-125 ГеВ, що перевищує контрольний рівень 10 мілікюрі = 12,6 ГеВ.

Таким чином, при проведенні атестації робочих місць за умовами активності більше 10 мілікюрі еквівалентної по радіотоксичності по <sup>226</sup>Ra розрахункові дози іонізуючого випромінювання на робочому місці провідного інженера з радіаційної безпеки становлять більше 60,0 мКі.

### 3.4 Перевірка дійсності методу оцінювання безпеки

Слід зауважити, що екстремальні за значенням БПЯ потребують окремої уваги. Спостереження, що здаються невласивими гіпотезі про якість параметру, можуть задовільняти гіпотезі про небезпеку процесу. Нарешті, не завжди значення БПЯ, що різко виділяються, є хибою. Одне таке спостереження для оцінювання безпеки, приміром, вартє мільйонів інших моментів перебування процесу в межах допорогових значеннь параметру.

За допомогою групування вибірки можна різко знизити вплив окремих спостережень, не відкидаючи їх. Розподіл на інтервали не складний і дає дуже відчутний результат. Є три найпоширеніших способи:

Розподіл на інтервали рівної довжини. Найбільш простий і тому розповсюджений спосіб.

Розподілення на інтервали рівної імовірності, також відоме як рівночастотне групування, відображає практичну реалізацію цього методу. У результаті такого групування вибірки здійснюється максимізація величини

інформаційної ентропії  $\sum -P_i \ln P_i$ , де  $P_i = \int_{x_{i-1}}^{x_i} f(x) dx$  і досягається найбільша асимптотична потужність критерію згоди  $\chi$ , або критерію відношення правдоподібності [116].

Розбивка на асимптотично оптимальні інтервали.

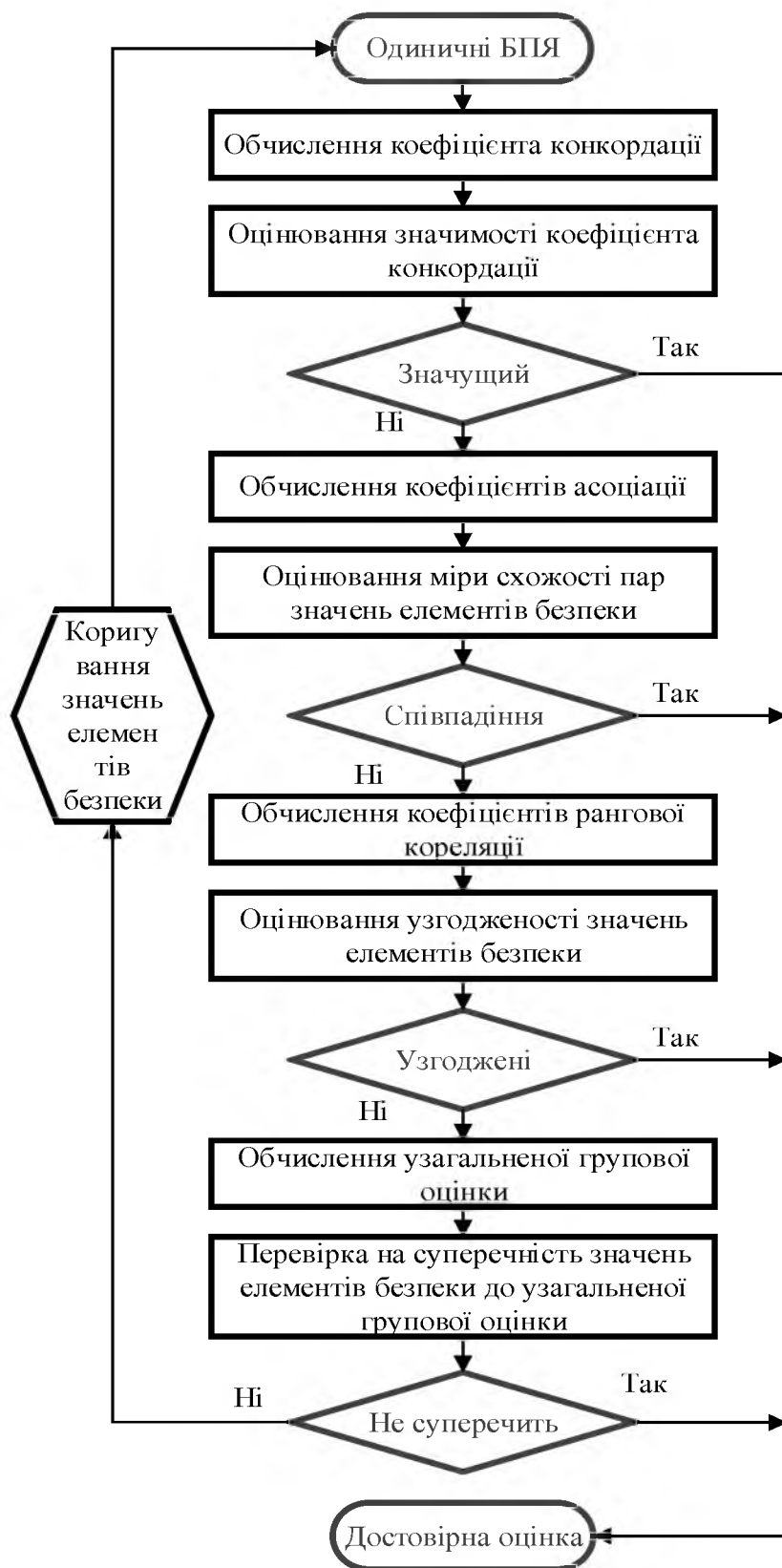
При такій розбивці мінімізуються втрати інформації внаслідок групування, тобто максимізується фішерівська інформація  $\sum \left( \frac{\partial \ln P_i}{\partial \theta} \right)^2 P_i d\theta$  — оцінюваний параметр закону. Для багатьох законів розподілу вдалося одержати інваріантні щодо параметрів межі інтервалів, і були складені відповідні таблиці. Така розбивка дає змогу максимізувати потужність критерію [168].

При оцінюванні безпеки СОТС навпаки: аналізуємо вибірку значень параметрів елементів системи безпеки,  $Q_i$ , за нормальним законом розподілу, тоді «випадаючі» значення аналізуємо за іншим законом і вони стають основою аналізу ризику та моніторингу стану СОТС. Для прискорення визначення узгодженості та достовірності комплексних оцінок запропоновано методику аналізу показників безпеки шляхом застосування послідовності методів виявлення неоднорідності групових оцінок.

За допомогою застосування коефіцієнта конкордації — загального коефіцієнта рангової кореляції для групи, що складається з  $m$  показників, у першу чергу оцінюється узгодженість показників за декількома альтернативами, які впливають на один кінцевий результат. Для оцінки значущості коефіцієнта конкордації використовують критерій  $\chi^2$ , значення якого має бути більшим табличного значення  $\chi^2$ , залежно від числа ступенів свободи і рівня довірчої ймовірності, що підтверджує його значущість [166]. Якщо коефіцієнт конкордації значущий, то висновки групи показників узгоджені і подальший аналіз можна не проводити. При неузгодженості групи показників для оцінювання міри схожості кожної пари показників розраховуються коефіцієнти асоціації за Устюжаніновим, які враховують кількість оцінок, що співпали та не співпали, але не враховується їх послідовність.

Із двох інструментів визначення залежності двох випадкових величин за методами рангової кореляції Кендалла та Спірмена виберемо останній як швидший і зручніший [166]. Для перевірки узгодженості пар висновків показників використано як одна з вибірових мір залежності двох випадкових величин (ознак)  $X$  і  $Y$ , що базуються на ранжуванні елементів вибірки  $(X_1, Y), \dots, (X_n, Y)$ , з використанням якого коефіцієнт обчислюється простіше і швидше.

Якщо значення показників неузгоджені, для встановлення причин їх неоднорідності проводиться перевірка на суперечливість, яка визначає показники, значення яких істотно відрізняються від узагальноної



Рисунк 3.11 – Блок схема алгоритму валідації результатів оцінювання



групової оцінки. Поняття суперечливості показника  $k$  до узагальненої оцінки всіх значень базується на припущенні, що значення  $u_k$  показника  $k$  є крайнім серед значень  $m$  показників. Аналіз суперечливості показника  $k$  проводиться з використанням оцінки аномальності результатів при невідомій генеральній дисперсії.

Отже, отримана така послідовність: обчислення коефіцієнта конкордації, оцінювання значимості коефіцієнта конкордації, обчислення коефіцієнтів асоціації, оцінювання міри схожості пар значень елементів безпеки, обчислення коефіцієнтів рангової кореляції, оцінювання узгодженості значень елементів безпеки, обчислення узагальненої групової оцінки, перевірка на суперечність значень елементів безпеки до узагальненої групової оцінки. Запропонована методика аналізу показників безпеки шляхом застосування послідовності методів виявлення неоднорідності значень показників може бути алгоритмізованою (рис. 3.11).

### **3.5 Модель досягнення фахової компетентності для підготовки освітніх програм з оцінювання безпеки**

На сьогодні є не вирішеною і проблема контролю якості як в освітній діяльності, так і в сфері практичного досягнення безпеки життєдіяльності людини. Досі не розроблено єдиної науково обґрунтованої системи показників якості підготовки фахівців у вищій школі. Основні перешкоди в процесі оцінювання якості підготовки спеціаліста виникають при аналізі якісних параметрів навчального процесу, які в більшості випадків складно піддаються оцінюванню (зацікавлення в навчанні, рівень сприйняття матеріалу, навченість та ін.). Це зумовлено проблемами традиційного підходу до навчального процесу, характерного перевантаженням навчального плану, надлишком ізольованих фактів без очевидних взаємозв'язків, відсутністю усвідомлення доцільності предмету викладання, вирішення яких сприятиме більшій доступності теми для слухача. Викладачі здебільшого стурбовані практичними питаннями застосування нових підходів і їх ефективністю щодо студентського вивчення,

при цьому часто стримуються в напрямку до них не тільки через їх інноваційну структуру і необхідність наново продумати методика, а також і тому, що вони сумніваються в можливості своїх студентів набути наукових знань так адекватно і за ту ж кількість годин, як вони роблять за традиційною методикою [42, 76, 97, 203, 207, 217, 223, 234].

У галузі безпеки аналіз небезпек може враховувати погіршення здоров'я чи смерть людини, аварію чи катастрофу з технічних причин, загибель групи людей чи зростання смертності населення, матеріальні збитки від реалізованих небезпек чи збільшення витрат на безпеку. Співвідношення об'єктів небезпек і небажаних подій дозволяє встановлювати їх різновиди: індивідуальні, техногенні, екологічні, соціальні, економічні. Кожний вид обумовлений характерними джерелами і факторами небезпек [84, 170, 172, 191-193, 235].

За кількістю випадків, масштабністю наслідків у матеріальному і людському вимірах на сьогодні в Україні найбільш значними є техногенні небезпеки. Їх причинами можна назвати низький рівень конструкторських і монтажних робіт, серійний випуск техніки з недостатнім рівнем захисту, порушення правил безпечної експлуатації технічних систем. Найпоширенішими техногенними небезпечними факторами є хибний вибір за критеріями безпеки напрямів розвитку техніки і технологій; вибір потенційно-небезпечних конструктивних схем і принципів дії технічних систем; помилки у визначенні експлуатаційних навантажень; неправильний вибір конструкційних матеріалів; відсутність технічних засобів безпеки, неякісне виконання монтажу чи документації за критеріями безпеки; порушення складу, розмірів, режимів виготовлення деталей; порушення регламентів використання конструкцій і машин, проектних режимів експлуатації; несвоєчасні профілактичні огляди і ремонти; порушення вимог транспортування і зберігання [6, 24, 47, 147].

Згідно з визначенням, управління якістю – це система заходів для забезпечення гарантованої якості продукції (виробів, процесів, послуг). У стандарті ISO 9000 менеджмент якості подано як «скоординована діяльність з

керівництва та управління організацією стосовно якості». Встановлені вісім принципів менеджменту якості: лідерство керівництва; процесний підхід; прийняття рішень, заснованих на фактах; орієнтування на споживача; орієнтування на результат і досягнення мети; залучення, участь і мотивація співробітників; системний підхід до менеджменту; постійне покращення [39].

Вважається загальноприйнятим положення, що лише повна стандартизація і сертифікація в усіх сферах діяльності організації можуть привести до ефективного управління якістю та отримання конкурентоздатної продукції [207-209, 220]. Це положення можна застосувати і для досягнення гарантованого рівня безпеки людини. Таким чином, зовнішнє управління (як форма вимог з боку споживачів) розглядається як провідний чинник, що веде до належної якості продукції, а основною парадигмою досягнення якості (і безпеки життєдіяльності в т.ч.) є недопущення хибних дій людини і створення системи контролю і стандартизації дій. У сфері безпеки в ролі зовнішніх регуляторів у більшості випадків виступають адміністративні заходи, а внутрішніх – освіченість населення з напрямів безпеки життєдіяльності та культури безпеки і спеціальні навчання та тренінги персоналу промислових підприємств. Послідовно розглянемо ці чинники.

1. Загальновідомим є наявність негативних результатів діяльності систем із зовнішнім адміністративним керуванням внаслідок скорочення кількості інструментів для досягнення якості. Зокрема, це обмеження активності та ініціативи працівників, спрацювання у них механізмів психологічного захисту, вибіркоче ставлення до своїх функцій, монотонія [231]. Крім цього, відбувається зниження відповідальності працівників за результат, перенесення мотивації від здійснення якісного і безпечного трудового процесу на отримання матеріальних стимулів і моральних переваг. Ланка «людина-функція», що утворюється в адміністративній системі, ефективна лише в професіях з високо диференційованим операціональним складом і розгалуженими системами контролю параметрів результатів [76]. Таких професій і технологій стає все

менше внаслідок розвитку систем автоматизації виробничих процесів. Отже, системи з адміністративними механізмами забезпечення якості не використовують резерви активності працівників і не втягують їх у процес постійного забезпечення якості, досягнення якої перетворюється на формальну адміністративну процедуру з невисокою ефективністю.

2. Освітні (внутрішні) параметри безпеки життєдіяльності. Найчастіше навчання безпеки життєдіяльності в галузевих вищих навчальних закладах обмежене тільки фізико-хімічним аспектом, оскільки прикладна наука може легко мати справу з ними, як наслідок їх належності до простору, в якому всі змінні вимірні. Проте, суб'єктивні змінні не можуть бути виключені з навчання, оскільки поняття безпеки істотно суб'єктивне. Суб'єктивний не означає ні "помилковий", ні "ненауковий". Це означає тільки: "вимірювальні одиниці яких залежать не тільки від об'єктивних вимірних величин". Отже, навчання безпеки може розвиватися в зовсім інших рівнях складності. Тут потрібно визначити деякі основні поняття, як наприклад, небезпека, ризик або нещасний випадок. Енергія і час повинні бути головними змінними, на які слід зважати в оцінюванні ймовірності настання випадку [217]. На цьому рівні важливо обговорювати природу різних видів енергії і сили, яка пропорційна до енергії, вивільненої у даний час, що безпосередньо пов'язується з небажаними руйнівними ефектами, уникнення яких – мета безпеки.

Всі ці знання дадуть змогу краще оцінювати критичність процесу, який може виникнути, і забезпечувати інформацією для ефективного розвитку контрзаходів проти будь-якого неприйняттого відхилення від номінальних робочих умов.

Другий рівень навчання безпеки життєдіяльності пов'язаний з оцінюванням безпеки щодо всіх нетехнічних чинників, що потенційно призводять до небезпечних ситуацій. Небезпеки можуть виникнути як результат реагуючої суміші, роботи операційних пристроїв, людської поведінки, від екологічного забруднення або деградації. Багато інструментів [131] придатні для

цієї мети, як наприклад, методи: «а що коли», дерево причин і наслідків, дерево аварійного режиму, лист контрольних перевірок та ін. – як методи оцінювання ризику (можуть використовуватися і їх взаємні комбінації, що приводитиме до надійніших відповідей) з приводу локалізації всіх потенційних ризиків, що створюються небезпечним процесом. Окрім цих методів, присвячених чисто технічним аспектам, повинні бути взяті до уваги деякі людські аспекти, і, особливо, всі ергономічні аспекти на робочому місці, довгострокові можливі наслідки для здоров'я, передачі інформації, правильне розуміння процесу працівниками.

Далі розглядаються питання, пов'язані з нормами і регулюванням. Всі обмеження з приводу використання і поводження з отруйною або небезпечною продукцією повинні бути об'єднані у вивченні правил безпеки життєдіяльності на цьому рівні.

Третій і, звичайно, найважчий рівень, що об'єднує інтегровані суб'єктивні чинники і чинники, залежні від обраної парадигми [203]: наш розум апріорі лінійно орієнтований, як наслідок простої логіки, що є результатом такої парадигми. У вимірному однозмінному оточенні наша прикладна логіка має сенс. Поняття істинне і хибне є виняткові для кожного, і досить класифікувати послідовність, величину або причинно-наслідковий зв'язок, щоб діяти в такому оточенні. Але як тільки дві або більше лінійно незалежні змінні повинні розглядатися одночасно, (загальні і корисні поняття, такі як істинне і хибне, добре або погано, і т.п.), цілком втрачають їх сенс, тому що вони залежать від векторних орієнтацій, тобто від позиції або вибору спостерігача. Тому, очевидно, так само система може приводити до цілком протилежних висновків, хоча всі вони зразково правильні, але проаналізовані з різних точок зору. Це і породжує критично несумісні висновки, що є результатом різних точок зору з технічних, фінансових вимог, вимог безпеки, і т.п. Проте, завжди приймається якесь рішення, найчастіше компромісне, яке може вважатися нормою, поки несподіваний нещасний випадок не приводить майже кожного до тієї точки зору,

з якої легко оцінити (і, особливо, для юристів): що було правильне або ні, хто винен або ні, що мало бути зроблене або ні, хоча ці рішення нічим не кращі, ніж попередні, і могли обговорюватися ті ж методи від іншої точки зору. Нарешті, можна зробити висновок, що в багатовимірному просторі безпеки деякі змінні належать до не вимірюваних суб'єктивних величин, оскільки вони не можуть, подібно до об'єктивних величин, бути зменшеними до бієктивної кореляції фізичної величини у часово-просторовому континуумі.

Отже, безпека повинна викладатися як область, в якій багато суперечностей можуть співіснувати. Цей принцип не означає, що деякі припущення повинні бути хибними як логічний наслідок таких суперечностей. Подібна суперечність може бути знайдена в простому прийнятті норми природної смертності, і майже повного відхилення появи будь-якого нещасного випадку в промисловості, де норма смертності може бути набагато нижчою і стосується не тільки смертельних нещасних випадків, але і включає всі випадкові події, і навіть незначні з них, які призводять до тимчасового переривання працездатності задіяних людей.

Одним із напрямів покращення ситуації запропоновано використання також принципу радикального антропоцентризму [203], згідно з яким якість виробничої діяльності залежить тільки від людини та її активності в підвищенні якості. Біологічно обумовленою особливістю організації свідомості та організму людини є право на помилку, визнання якого дозволяє кожній конкретній людині уникати її появи адекватною організацією своєї діяльності. При цьому формуючу роль має вплив виробничих комунікацій організації на персонал при досягненні ним заданого рівня якості діяльності, що відповідає положенням стандартів [207, 217].

Прийняття принципу антропоцентризму задає інтерпретуючий та інтерактивний характер процедур менеджменту якості, які повинні впроваджуватися не централізовано, як це прийнято в командно-адміністративних системах, а в процесі циклічних погоджень з працівниками.

При цьому процес підвищення якості розглядається як властивість професіонала постійно покращувати свою діяльність шляхом формування та участі в професійних і навчальних програмах, однією із яких є система управління якістю [39]. Особливе значення тут надається впливу культури організації на формування мотивації до якісної праці.

Таким чином, системний підхід до менеджменту безпеки дає змогу виділити принципи побудови систем управління якістю в галузі безпеки життєдіяльності:

- лідерство керівництва із запобіганням появи негативних результатів діяльності систем із зовнішнім адміністративним керуванням внаслідок скорочення кількості інструментів для досягнення безпеки;
- процесний підхід через освіченість населення з напрямів безпеки життєдіяльності та культури безпеки і спеціальні навчання та тренінги персоналу промислових підприємств;
- безпека повинна викладатися як область, в якій багато суперечностей можуть співіснувати (орієнтування на споживача і, водночас, на результат і досягнення мети);
- залучення, участь і мотивація співробітників; безпека виробничої діяльності залежить тільки від людини та її активності в підвищенні безпеки;
- прийняття рішень, заснованих на оцінюванні, і постійне підвищення рівня безпеки.

Для підвищення рівня безпеки життєдіяльності до нормативно прийнятих рівнів пропонується при розробці систем управління якістю акцентувати увагу на включення до них освітніх програм і навчальних взаємодій між персоналом, керівництвом підприємств і державними органами адміністрування безпеки. Для покращення рівня підготовки спеціалістів у галузі безпеки різного профілю обґрунтованим є включення до навчальних планів дисциплін із стандартизації та оцінювання якості. Запропоновано розподіл важливих для безпеки СОТС компетентностей, заснований на її структурних факторах (рис.3.12).

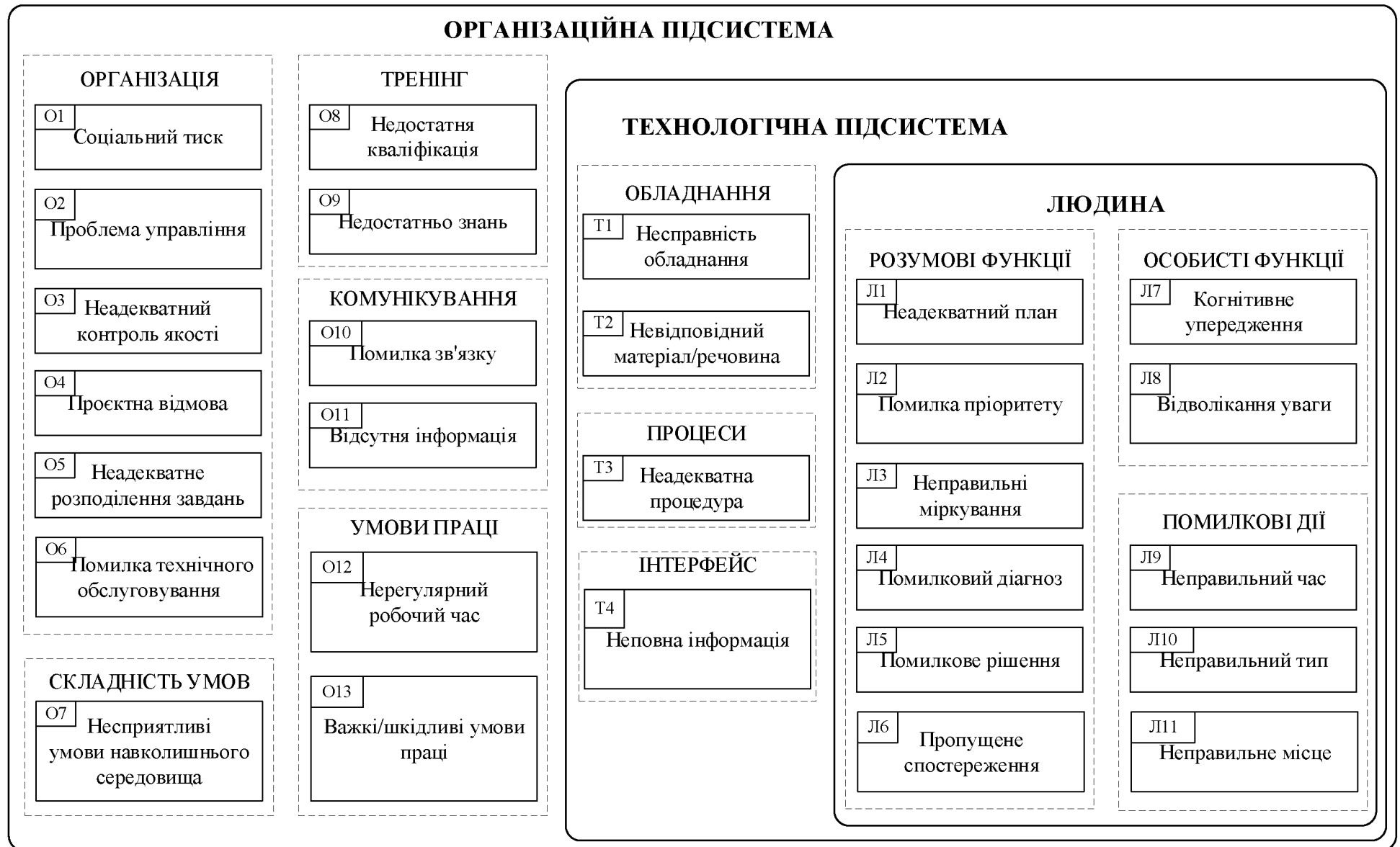


Рисунок 3.12 – Рівні ризиків за структурними факторами та відповідного навчання безпеки працівників СОТС



Таким чином, обґрунтовані принципи управління якістю та безпекою СОРС дають змогу запропонувати введення в інфраструктурі якості ланки зворотнього зв'язку, що також відповідає загальним принципам вимог до побудови СУЯ серії стандартів ISO 9001, та наведено на рис. 3.13:



Рисунок 3.13 – Схема розташування запропонованих елементів інфраструктури якості з метою досягнення функціональності зворотнього зв'язку «виробник-наглядові органи»

### Висновки до розділу 3

Встановлено, що випадкові впливи на результати оцінювань безпосередньо змінюють їх стандартне відхилення і тому у розширеній непевності вони можуть бути враховані безпосередньо. У випадку браку інформації про розподіл випадкових впливів коефіцієнти для обчислення розширеної непевності з достатньою для практики точністю (кілька відсотків) можна взяти такими як для нормального розподілу. Вплив систематичних зміщень можна врахувати обчисленням згортки розподілу систематичного

впливу з розподілом нормованого відхилення екстремального оцінювання. Встановлено, що якщо стандартне відхилення систематичного впливу не перевищує  $\approx 1/3$  від стандартного відхилення самих оцінювань, то розширену непевність можна обчислити за спрощеним виразом на основі модифікації коефіцієнта розширення для нормального розподілу. Для модифікації коефіцієнта розширення за методом типу В слід обчислити стандартну непевність показів ЗВТ і далі обчислити відношення цієї непевності до стандартного відхилення оцінювань.

Проведені дослідження методом Монте-Карло підтвердили добру збіжність теоретично одержаних результатів для нормального розподілу.

Запропоновану методику можна використати для оцінювання непевності результатів при дослідженні на екстремальні значення параметрів у виробничому процесі, а також при дослідженні вмісту шкідливих домішок чи елементів у продукції промисловості, де інформативним параметром контрольних вимірювань є екстремальне оцінювання (мінімальне чи максимальне значення із серії кількох оцінювань).

Характеристикою безпечності продукції є її якість як узагальнюючий критерій, а необхідний рівень безпеки життєдіяльності у всіх галузях досягається використанням адекватних систем управління якістю підготовки персоналу. Проектування систем управління якістю в галузі безпеки життєдіяльності слід виконувати не лише через дотримання формальних вимог стандартів ISO, а й забезпечення роботи тих механізмів самоорганізації у виробничій структурі, які підвищують якість. Такий підхід потребує уваги до освітніх і комунікативних процесів, які слугують основою самоорганізації в соціальних системах.

Системний підхід до менеджмента безпеки дає змогу виділити принципи побудови систем управління якістю в галузі безпеки життєдіяльності:

- лідерство керівництва із запобіганням появи негативних результатів діяльності систем із зовнішнім адміністративним керуванням внаслідок скорочення кількості інструментів для досягнення безпеки;

- процесний підхід через освіченість населення з напрямів безпеки життєдіяльності та культури безпеки і спеціальні навчання та тренінги персоналу промислових підприємств;
- безпека повинна викладатися як область, в якій багато суперечностей можуть співіснувати (орієнтування на споживача і, водночас, на результат і досягнення мети);
- залучення, участь і мотивація співробітників; безпека виробничої діяльності залежить тільки від людини та її активності в підвищенні безпеки;
- прийняття рішень, заснованих на оцінюванні, і постійне підвищення рівня безпеки.

Для підвищення рівня безпеки життєдіяльності до нормативно прийнятих рівнів пропонується при розробці систем управління якістю акцентувати увагу на включення до них освітніх програм і навчальних взаємодій між персоналом, керівництвом підприємств і державними органами адміністрування безпеки.

## **Розділ 4. ЗАСТОСУВАННЯ БЕЗПЕКОВОГО ПОКАЗНИКА ЯКОСТІ В ПРОЦЕСІ ВИПРОБУВАННЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕЛЕМЕНТІВ СКЛАДНИХ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ**

### **4.1. Прикладні аспекти реалізації процесів оцінювання безпекового показника якості для кабельно-провідних виробів і кабельних ліній**

Рівень захищеності людей від пожеж, протипожежного захисту об'єктів, завжди залежав від рівня знань про пожежі, заходів боротьби з ними та економічного розвитку суспільства. Актуальним у наш час є виробництво нової кабельної продукції, для якої варто створювати ефективні методи перевірки на пожежобезпечність як складової випробування якості. Одним із варіантів випробування на горючість та визначення меж поширення полум'я, є застосування ряду методів, стандартизованих на міжнародному рівні [34, 119-125, 136], зокрема, металевої шафи зі спеціальним пальником. Вимоги пожежної безпеки до кабельно-провідних виробів (КПВ) при їх вертикальному прокладанні у спорудах в основному збігаються із вимогами при горизонтальному прокладанні. Відмінними є методи випробування при поодинокому прокладанні кабеля вертикально і горизонтально та відсутність категорювання горизонтального прокладання у пучках. Методи дослідження охоплюють оцінювання пожежонебезпечних властивостей кабелів та порівняння їх згідно з ДСТУ ІЕС 60332-3-21(- 25) Tests on electric and optical fibre cables under fire conditions - Test for vertical flame spread of vertically-mounted bunched wires or cables – Category A F/R (A, B, C, D).

Нормування показників пожежної безпеки є для стадії виробництва продукції, тобто до виробів (КПВ), та для стадії експлуатації, у вигляді кабельних ліній (КЛ). В усіх випадках присутня частка горючих матеріалів з властивостями, які створюють цілий ряд небезпечних факторів пожежі, що й визначає необхідність дослідження показників пожежної безпеки кабельно-провідних виробів і ліній як безпекового показника якості кабелів (БПЯК).

Це обґрунтовує актуальність розвитку комплексного оцінювання БПЯК.

Враховуючи розглянуті вимоги та те, що європейськими нормативними документами встановлено максимальне значення межі вогнестійкості кабелів – 120 хв, яке раніше становило 90 хв, проводиться внесення відповідних змін до ДСТУ 8829:2019 [120], ДБН В.1.2-7 [108] та ДБН В.2.5-56 [111], а при розробленні національного стандарту, відповідного до HD 60364-5-56 [149], внесення до нього довідкового національного додатку з рекомендаціями по вибору межі вогнестійкості кабельних ліній для різних систем протипожежного захисту.



Рисунок 4.1 – Схема та вигляд випробувального стенду для встановлення розміру одиничного БПЯ з уведенням запропонованого вимірювального пристрою

Більшість кабельних виробів, що випускаються промисловістю (за винятком кабелів з мінеральною ізоляцією і в металевій оболонці), відносять до групи горючих, оскільки для ізоляції і захисних покривів використовуються горючі матеріали: поліетилен, кабельний пластикат ПВХ, гума, папір, бітум, олива [204].

У кабельних лініях пожежі виникають в основному через коротке замикання (КЗ), електричний пробій ізоляції або її перегрівання. Розвитку пожежі сприяє наявність горючої ізоляції та її нагрівання робочими струмами. При русі продуктів горіння вздовж кабельних ліній відбувається нагрівання ізоляції, що призводить до різкого збільшення швидкості поширення горіння.

У лініях контрольних кабелів зазвичай не встановлюють захист від перевантаження і струмів КЗ. При пошкодженні і КЗ на такій лінії майже одночасно по всій довжині кабелю виникає кілька вогнищ горіння і пожежа може швидко поширюватися на інші приміщення або установки, розташовані навіть на значній відстані від місця первинного виникнення горіння.

Пожежі в кабелях нерідко призводять до виникнення джерел запалювання (при проходженні струмів КЗ) на інших ділянках електромережі: на пультах управління, в осередках розподільних пристроїв (РП), трансформаторних блоках, що може стати місцем нового осередку пожежі.

Досліди з вивчення умов поширення вогню в кабелях [206, 211, 216], під час яких спалювалися силові кабелі з різною ізоляцією, з зовнішнім покривом і без нього, у тому числі контрольні кабелі та кабелі зв'язку, показують, що в початковій стадії горіння кабелів одночасно з сильним димовиділенням відбувається зростання температури. Це призводить до плавлення мастики і матеріалів (бітум, смола), якими просякнуті кабелі. Розплавлена і палаюча маса стікає на розташовані нижче кабелі, ізоляція яких також запалюється. Струмopовідні жили кабелів оголюються, що призводить до додаткових КЗ і появи нових вогнищ пожежі.

Великий вплив на розвиток пожежі надають з'єднувальні муфти, які містять 8-12 кг горючої ізоляційної маси. Під час експериментів спостерігалися її плавлення, займання і розбризкування на відстань 3-5 м, що сприяло поширенню вогню.

Відомо, що при горінні кабелів, укладених по стінам на кронштейнах, температура під перекриттям через 8 хв досягала  $600^{\circ}\text{C}$ , а через 9-12 хв –  $800^{\circ}\text{C}$ .

С. При цьому швидкість розповсюдження вогню у вертикальному напрямку в залежності від відстані між кронштейнами, на які покладені кабелі, становить 0,45-0,5 м/хв. а в горизонтальному-0,18-0,35 м/хв. Швидкість поширення вогню по площі знаходиться в інтервалі 0,08-0,17 м<sup>2</sup>/хв.

## 2. Аналіз технічного стану та пожежної небезпеки кабельних ліній

Аналіз показав, що кабельні лінії є місцями, в яких зосереджено значне пожежне навантаження [66, 71, 229]. Дане навантаження розташоване нерівномірно, а його значення, виражене у ваговому еквіваленті наявних горючих матеріалів, сягає десятків кілограм на метр квадратний. Такий стан пояснюється тим, що навантаження розосереджено нерівномірно по всьому об'єму приміщення на різних висотних відмітках. При виникненні загоряння у кабельних лініях пожежі такого класу становлять велику складність для ліквідації пожежними підрозділами. Це пов'язано з тим, що для пожеж характерні висока швидкість задимлення і зростання середньооб'ємної температури, мінімальний вільний доступ і висока щільність компоновки кабелів. Пожежа може швидко поширитися в машинний зал, в розподільні пристрої, приміщення релейного захисту та на щити управління. При нагріванні і розплавленні оболонки кабелів горіння може поширюватися не тільки знизу вгору, але і зверху вниз. Прохід кабелів через перегородки і перекриття здійснюється у вогнетривких трубах з надійним ущільненням прохідних отворів вогнетривкими матеріалами.

До способів зниження пожежної небезпеки електричних ліній можна віднести: застосування спеціальних матеріалів, конструкцій, які зменшують ті чи інші пожежонебезпечні фактори КПВ.

Сучасні високотехнологічні матеріали для пасивного вогнезахисту являють собою, у більшості випадків, багатокomпонентну полімерну водну дисперсію. Вогнезахисні матеріали застосовуються для захисту від пожежі (від високих температур і поширення вогню) усіх видів кабелю (силових, контрольних, зв'язку й ін., незалежно від сили струму, напруги і матеріалу

оболонки) кабельних лотків, кабельних пучків, кронштейнів і підвісок, у тунелях, колекторах, виробничих приміщеннях, на естакадах, при наявності козирка, що захищає кабель від прямого впливу дощу і снігу.

Вогнезахисна фарба застосовується також для захисту сталевих конструкцій, на яких прокладений кабель (рис. 4.2). Лакоподібне покриття повторює форму профілю, гнучке, без розчинника. Під впливом температури утворює на поверхні теплоізолюючий теплостійкий шар піни. Для додаткового захисту від зовнішніх впливів застосовується покриття лаком. У постійно сухих і чистих приміщеннях можливе застосування без покриття лаком.

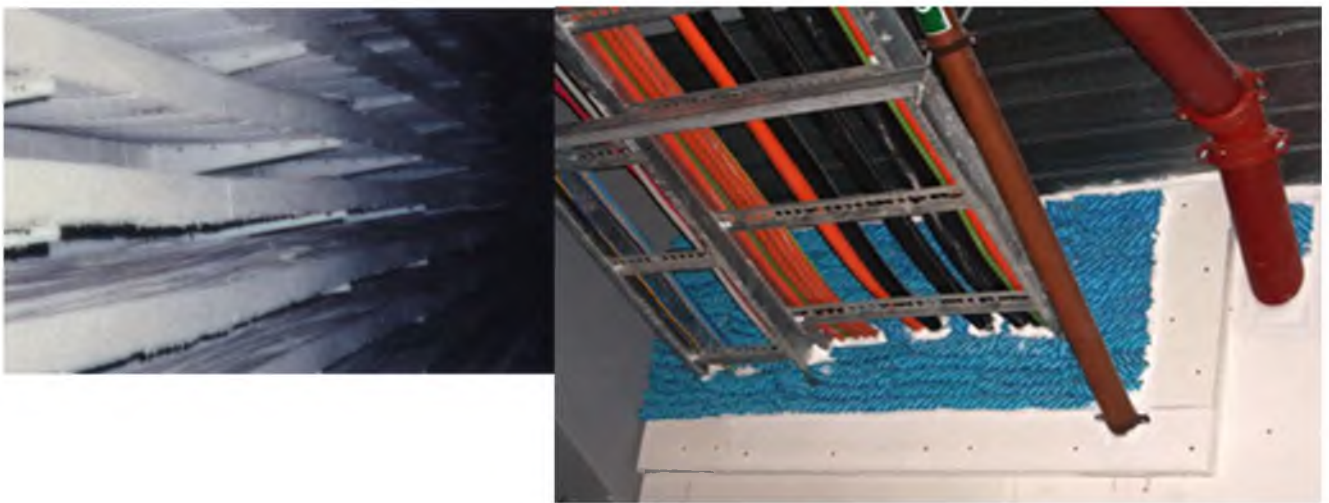


Рисунок 4.2 – Кабельні лінії на лотках, оброблені вогнезахисною речовиною (а) та ущільнення проходу кабелів на лотках через стіну (б)

Покриття кабельних ліній вогнезахисними речовинами: знижує займистість; перешкоджає поширенню вогню; запобігає запалюванню при впливі теплового потоку; знижує лінійну швидкість поширення горіння і швидкість вигорання кабелів шляхом оптимізації кабельних потоків; підвищує вогнестійкість будівельних несучих і обгороджуючих конструкцій; нейтралізує *HCl*-гази.

Герметизуючий матеріал кабельних проходок при необхідній вогнестійкості 0,75 години повинен бути товщиною не більше 200 мм, а при вогнестійкості 1,5 години - не більше 300 мм. Матеріал повинен мати гарну адгезію до оболонки кабелю, металевих і бетонних поверхонь будівельних



конструкцій. Проходи не повинні утворювати тріщини і пропускати вогонь і газу. Конструкції проходів кабелів через стіни і перекриття в приміщеннях АЕС без надлишкового тиску повинні мати такі показники: ущільнення повинно запобігати притоку повітря і димових газів між приміщеннями; товщина стін і перегородок – 120, 600, 900 мм; габаритні розміри проходів через стіни і перекриття до 1150 x 11500 мм; температура до +60 °С; вологість до 100 %; температура при пожежі до 1100 °С; проходи за вогнестійкістю повинні бути двох модифікацій: 0,75 години і 1,5 години.

Якщо на кабельній конструкції обсяг полімерних матеріалів становить більше 7 л на один погонний метр, то їх, при прокладанні в коридорах і приміщеннях станції, не обладнаних установками автоматичного пожежогасіння, необхідно покривати вогнезахисними засобами.

У місцях передбаченого проходу кабелів через перегородки і перекриття з метою забезпечення можливості заміни і додаткового прокладання кабелів повинна передбачатись перегородка із негорючого легко пробивного матеріалу з межею вогнестійкості не менше 45 хв.

Особливістю розвитку пожежі на вертикальних ділянках кабельних ліній є те, що при нагріванні і розплавленні оболонки кабелів горіння може поширюватися зверху вниз. Пожежа з кабельних ліній може швидко поширитися в машинний зал, в розподільні пристрої, приміщення деаераторної та на щити управління. Відсутність єдиного підходу з визначення відповідності вимог з пожежної безпеки для кабельно-провідної продукції ставлять завдання обґрунтування внесення змін до проаналізованих НД стосовно КПВ [1-4]. Безумовно, що такі зміни може бути внесено лише на основі комплексних досліджень та випробувань КПВ. На основі Директиви Ради Європи 89/106/ЄЕС від 21.12.1988 прийнято Технічний регламент будівельних виробів, будівель і споруд, затверджений постановою Кабінету Міністрів України від 20.12.2006 № 1764, серед об'єктів якого є кабельно-провідні вироби. Однак, обов'язкове застосування Технічного регламенту будівельних виробів, згідно із наказом

Мінрегіону від 05.04.2007 № 114 “Про затвердження Плану впровадження Технічного регламенту будівельних виробів, будівель і споруд” мало розпочатися з 01.01.2020.

Метою дослідження параметрів випробувальної установки та показників пожежної безпеки для кабельно-провідних виробів при їх вертикальному прокладанні є практичне підтвердження якості кабельної продукції, а саме її перевірка за граничним станом на поширення полум'я.

Щоб досягнути цієї мети потрібно вирішити ряд задач, а саме:

- визначити показники пожежної безпеки кабелів залежно від способу прокладання згідно зі стандартизованими методами;
- встановити достатність засобів вимірювання для мінімізації методичної складової похибки випробування;
- перевірити здатність кабелів, прокладених пучком, самостійно припиняти горіння після видалення джерела запалювання згідно заявлених характеристик;
- визначити показники пожежної безпеки щодо нерозповсюдження горіння при груповому прокладанні кабелів.

Предметом дослідження є температурні параметри стійкості до поширення полум'я горючих матеріалів у складі кабельно-провідникової продукції при вертикальному прокладанні.

За період 2010–2017 років у рамках реформування системи технічного регулювання в Україні та гармонізації вимог національних стандартів із міжнародними, відбулося скорочення кількості і терміну чинності стандартів, розроблених в Україні, та часткова заміна їх уведенням європейських або світових норм [119-125].

Окремої уваги заслуговує, на наш погляд, стан включення у діючій системі стандартизації вимог безпеки. Безпека при застосуванні технічного регулювання вбачається неодмінною і обов'язковою складовою якості товарів, процесів, послуг. Наприклад, товар із присутнім у ньому показником безпеки,

що виходить за межі допустимого значення, не може визнаватися якісним. Однією з компонентів або показником безпеки є вимоги пожежної безпеки. Їх наявність і повнота у світлі вище вказаного вимагає дослідження. Граничним станом будівельної конструкції вважають умови, після досягнення яких подальша експлуатація стає неможливою внаслідок втрати здатності протидіяти зовнішнім навантаженням або одержання неприпустимих переміщень чи місцевих пошкоджень. Таке визначення скальковане стосовно показника пожежної безпеки КПВ, оскільки законодавчо воно не встановлене [105].

Загалом пожежна небезпека виробів, у т.ч. КПВ, характеризується присутністю горючого матеріалу, кількість якого встановлюється як пожежне навантаження на одиницю об'єму; доступом окисника, у звичайних умовах ним є кисень у повітрі; та ймовірністю появи у будь-який момент часу джерела запалювання, яким є енергетичний об'єкт (процес або явище). Його параметри повинні бути достатніми для ініціювання в горючому матеріалі екзогенної реакції окиснення з виділенням тепла.

Для КПВ у звичайних умовах експлуатації характерна присутність всіх трьох складових пожежної небезпеки: більшість ізоляційних матеріалів – горючі; поширений спосіб прокладання ліній з КПВ – у повітрі; передавання струму супроводжують електромагнітні явища, які є джерелом запалювання. Інформація для споживачів про значення цих параметрів не завжди є доступною. Виробник «Інтеркабель» Київ у своєму каталозі продукції надають такі типи провідників:

1. Установочні проводи.
2. Установочні проводи, не поширюючі полум'я, з низьким димовиділенням.
3. Проводи для електричних установок.
4. Проводи для електричних установок, не поширюючі полум'я, з низьким димовиділенням.
5. З'єднуючі проводи і шнури.
6. Силові кабелі 0,6/1кв.
7. Силові кабелі 0,6/1кв, не поширюючі полум'я, з низьким димовиділенням.

8. Контрольні кабелі.
9. Контрольні кабелі, не поширюючі полум'я, з низьким димовидленням.
10. Самонесучі ізольовані проводи.
11. Вогнестійкі безгалогенні кабелі.
12. Безгалогенні кабелі, не поширюючі полум'я.
13. Кабелі монтажні для сигналізації і виробничої електроніки.
14. Шахтні кабелі.
15. Кабелі силові для сонячних електростанцій.

Інформація, яку надає виробник, часто недостатня для визначення об'єму горючих матеріалів на певній довжині провідника [149]. Інформація, якою володіє виробник, достатня для визначення обсягу горючих матеріалів на певній довжині провідника. Із наведеного [204, 206] видно, що об'єм горючого матеріалу набагато перевищує об'єм жили проводу, що є показником високої пожежної небезпеки. Однак для порівняння КПВ між собою та оцінювання їх потенційного вкладу в пожежну навантагу застосування величини маси має перевагу в доступності визначення або прямого вимірювання. Розрахункові методи й експериментальні випробування опираються на значення маси матеріалу, що бере участь у виділенні тепла як небезпечного фактора пожежі.

Таблиця 4.1 – Характеристика пожежної навантаги провідників одного виробника / обчислені значення

№	Число жил і переріз $S_0$ , мм <sup>2</sup>	Зовнішній діаметер, мм	маса провідника $m_w$ , g	маса міді $m_{Cu}$ , g	Маса неметалевих частин $m_{nm}$ , g	Об'єм провідника $V_w$ (на 1 м), мм <sup>3</sup>	Об'єм міді $V_{Cu}$ (на 1 м), мм <sup>3</sup>	Об'єм неметалевих частин $V_{nm}$ , мм <sup>3</sup>
1	2X1,5	6,3	68	28,8	39	3108,6	942	2166,6
2	3G1,5	6,7	84	43,2	41	3516,8	1413	2103,8
3	4G1,5	7,2	104	57,6	46	4069,4	1884	2185,4
4	5G1,5	8,1	128	72,0	56	5149,6	2355	2794,6
5	2X2,5	7,5	101	48,0	53	4414,8	1570	2844,8
6	3G2,5	8,1	132	72,0	60	5149,6	2355	2794,6
7	4G2,5	8,9	163	96,0	67	6217,2	3140	3077,2
8	5G2,5	10,0	200	120,0	80	7850,0	3925	3925,0

Таблиця 4.2 – Дані дослідження обсягу пожежної навантаги КПВ

№	Параметр випробування	АПВ 2x(1x50)	АПВ 1x70	АПВ 1x50	АПВ 1x185	АВРГ 4x2,5
1.	Маса кабелю до горіння $m_w, kg$			0,2022		0,2034
2.	Маса неметалевої частки кабелю $m_{nm}, kg$			0,0600		0,0458
3.	Маса металевої частки кабелю $m_{Al}, kg$			0,1422		0,1576
4.	Кількість дротин у жилі зразку $n_{wv}$			7		1
5	Допустиме струмове навантаження, $I_{доп}, A$	165	210	295	390	24
6	об'єм неметалевих матеріалів $V_{nm}, \times 10^{-3} m^3$			0,045		0,018
7	Площа перерізу жил, $S_{ж}, 10^{-6} m^2$ $S_{cor}, \times 10^{-6} m^2$ (об'єм жил на 1 метр $V_{ж}, 10^{-9} m^3$ $V_{cor}, \times 10^{-9} m^3$ )	50	70	50	185	2,5
8	Діаметр жил, $\varnothing_{cor}, mm$	8	9	12	15	1,8
9	Діаметр кабеля, $\varnothing_{cab}, mm$	9	12	15	18	6,6
10	Об'єм кабеля, $V_{cab}, \times 10^{-3} m^3$	6,6	11,3	17,7	25,4	0,57
11	Об'єм ізоляції, $V_{nm}, \times 10^{-3} m^3 (L)$	1,6	4,3	5,7	5,9	0,018
12	Сумарний об'єм у пучку, $L$	20,1				0,108

Таблиця 4.3 – Характеристики КПВ щодо граничного стану на вертикальне поширювання полум'я

№	Параметр випробування кабелів	АВВГ 4x2,5 два ряди Категорія В	АПВ 1x16 два ряди Категорія С	АПВ 1x16 один ряд Категорія D
1.	Діаметр зразка $d, m$	0,015	0,01	0,01
2.	Кількість зразків $n, шт$	4	5	2
3.	Кількість жил у відрізках кабелів зразка $n_{ж}, шт$	4	1	1
4.	Час дії полум'я $\tau_1, c$	1200	1200	1200
5.	Довжина пошкодженої частини $l_p, m$	3,5	1,071	0,752
6.	Період часу до зупинки горіння чи тління $\tau_2, c$	73	67	90

Таблиця 4.4 – Температурні дані випробувань кабелів за категоріями

Час дії полум'я $\tau_1, c$	0	60	120	180	240	300	360	420	480	540	600	660	720	780	840	900	960	1020	1080	1140	1200
Категорія В, °C	20	90	130	152	210	240	253	233	210	173	148	164	140	137	128	108	90	62	-	-	-
Категорія С, °C	20	120	152	250	230	216	208	197	197	201	210	220	221	210	220	221	210	197	188	182	178
Категорія , °C	20	86	98	115	185	197	204	210	220	201	197	182	178	176	173	170	164	172	170	176	177

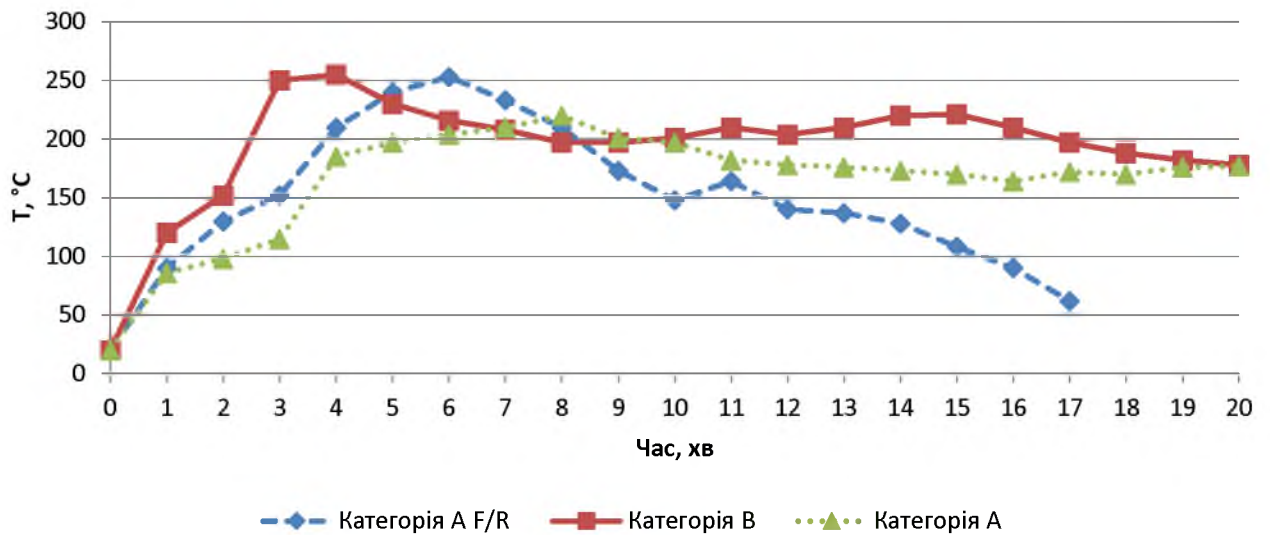


Рисунок 4.3 – Графік температурних показників випробувань кабелів за категоріями

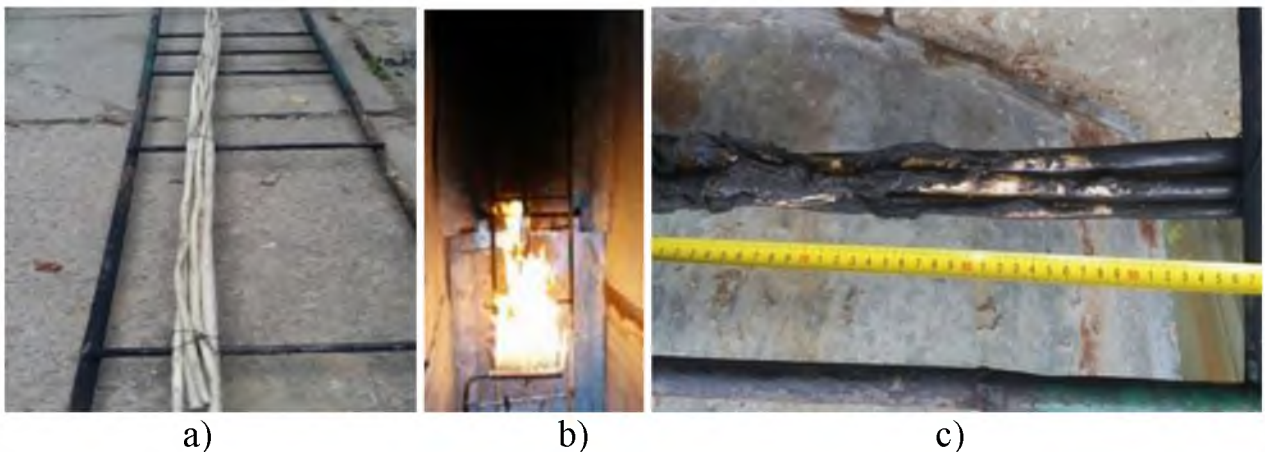


Рисунок 4.4 – Кабельний пучок перед (a) і після (c) випробувань (b)

Матеріали та методи. Дослідження проводилися із застосуванням випробувальної установки, виконаної згідно з IEC 60332-3/BS 4066-3 Flame Test On Bunched Wires/Cables [4], у науково-дослідній лабораторії Львівського державного університету безпеки життєдіяльності.

Для експериментального дослідження обсягу пожежного навантаження КПВ були взяті відрізки довжиною 3,5 м. Один зразок випробувано при одиночному прокладанні, а п'ять відрізків сформовані у пучок, згідно з вимогами стандартів. Інші параметри випробувань та розрахунку приведені до 1 м і внесені у таблицю 4.2.

Для вимірювання діаметру зразків, які піддавалися впливу вогню був застосований штангенциркуль. Звідси проведено розрахунок об'єму кожного неметалевого матеріалу кабелю довжиною 1 м за його діаметром – рядки 8-11. Рядки 5-9 взяті з довідкових джерел.

У 12 рядку подано сумарний об'єм у пучку неметалевих матеріалів КПВ при випробуванні на визначення показників горючості згідно з вимогами стандартів. Цей рядок показує складність розрахунку і використання величини об'єму пожежного навантаження у конкретному пучку. Такий показник повинен визначатися з величини маси, що дозволяє оцінювати його значення з меншою методичною похибкою.

Показником вогнестійкості конструкції є її межа вогнестійкості, яка визначається часом від початку вогневого випробування за стандартним та/або додатковими, альтернативними температурними режимами до настання одного з нормованих для даної конструкції граничних станів із вогнестійкості. Дані випробування проводяться з метою визначення показників пожежної небезпеки кабелів прокладених у пучках вертикально, наприклад, в електрощитових каналах будівель різного призначення.

Поширення полум'я визначають довжиною обвугленої частини зразка кабелів. Ця процедура може бути використана для демонстрації здатності кабелів обмежувати поширення полум'я. Поширення полум'я визначається поширенням фронту полум'я. Обвуглений залишок – частина кабеля, на якій утворюється зміна поверхні внаслідок піролізу або неповного згоряння.

Для випробування використовують устаткування згідно ІЕС 60332-3-10. Джерелом запалювання є один пропановий пальник стрічкового типу згідно з ІЕС 60332-3-10.

Категорювання кабельних ліній за способом прокладання здійснюється на такі категорії: "A F / R", "A", "B", "C" і "D". Ці категорії відрізняються тривалістю випробування, кількістю неметалевого матеріалу і способом фіксації кабелю. У всіх категоріях кабелі з однією або кількома провідними жилами з поперечним

перерізом понад 35 мм<sup>2</sup> перевіряються закріплені із проміжком, а кабелі з жилою до 35 мм<sup>2</sup> випробовуються на фіксацію без зазору, що відповідає умовам для встановлення таких кабелів. Категорія A F / R: переріз понад 35 мм<sup>2</sup>, пучок 7 літрів ізоляційного матеріалу на довжину 1 метр, час витримки полум'я - 40 хв. Категорія A: переріз до 35 мм<sup>2</sup>, та ж решта. Категорія B: пучок 3,5 літра ізоляційного матеріалу, час витримки полум'я - 40 хв. Категорія C: пучок 1,5 літра ізоляційного матеріалу, час витримки полум'я - 20 хв. Категорія D: пучок 0,5 літра ізоляційного матеріалу, час витримки полум'я - 20 хвилин. Випробовувальне полум'я прикладають протягом 40хв, потім його гасять. Повітря у випробовувальну камеру подають до тих пір, поки горіння кабелів не припиниться, або максимум протягом 1 години після припинення прикладання випробовувального полум'я, потім їх гасять.

Випробувальний зразок встановлюють вертикально в спеціальну камеру та піддають 40-хвилинній дії стандартизованого полум'я потужністю 20,5 кВт, створеного пальником стрічкового типу. Якісний кабель повинен забезпечити перешкодження поширенню полум'я по пучку кабелів. Критерієм оцінки є довжина пошкодженої вогнем ділянки випробувального зразка, яка не повинна перевищувати 1,5 м.

Температуру виміряно на поверхні кабеля за допомогою двох термопар К-типу (хромель-копель). Уведення ще одного контрольованого параметра – температури поверхні кабеля у пучку – дозволяє встановлювати відповідність умов випробовування до певного температурного режиму. Встановлення температурного режиму для категорій прокладання може бути окремим стандартом. Застосування у ньому інших видів температурних режимів (стандартного, вуглеводневого, водневого та ін.) дозволить розширити сферу адекватного застосування результатів випробовувань до різних умов експлуатації КПВ, які до того ж регламентуються різними вимогами пожежної безпеки у нормативних документах. Зокрема, наприклад, спостерігається стрімке падіння попиту на кабель кат. 5е і масовий перехід на продукцію кат. 6.



Спостерігається прагнення до мінімізації діаметра LAN-кабелю і його вартості при збереженні якості. Повсюдно необхідна сертифікація на відповідність вимогам стандартів, у першу чергу пожежної безпеки (регламент CPR в Європі, NFPA і NEC в США). При цьому в європейських країнах сфера застосування кабелів жорстко нормується технічним регламентом ЄС 305/2011 на будівельну продукцію (Construction Products Regulation, CPR). В даний час українські виробники мають доступ до ринку ЄС і практично всі LAN-кабелі сертифіковані на відповідність класу Eca в нотифікованими лабораторії ЄС.

Послідовність числових значень, які довільним, але чітко визначеним способом приписуються температурам. Інша форма визначення - спосіб отримання числових значень температури через вимірювання іншої фізичної величини, з якою температура зв'язана відомою залежністю. Необхідність у Шкалах вимірювання викликана тим, що температура є не адитивною, як фізична величина і тим, що одиниця температури не може бути визначена як похідна від інших фізичних величин.

Таблиця 4.5 – Вибір номінальної статичної характеристики (НСХ) термоелектричного перетворювача за діапазоном та економічністю

Тип термоелектричних перетворювачів	Позначення (НСХ)	Матеріал термоелектродів		Діапазон температур тривалого застосування, °С	Гранична температура за короткого застосування, °С
		Додатного	Від'ємного		
ТХА (хромель-алюмелеві)	К	хромель-	алюмелеві	0 +1100	-180 +1300
ТЗК Залізо-константанові (залізо/мідь-нікель)	J	Залізо (Be)	Стоп константан (55 % Си +45%Ni, Мп, Be)	-200-750	900
ТМКн Мідь-константанові (мідь/мідь - нікель)	T	Мідь МІ (Си)	Стоп константан (55 % Си + 45 % Ni, Мп, Ре)	-200-350	400

Рисунок 4.5 – Спосіб

вимірювання температури на поверхні кабеля за допомогою термопар.



### Результати і обговорення.

Категорія В. Початкова температура зразка на першій хвилині спостерігалася 90 °С. На 6 й хвилині проведення випробовування була зафіксована максимальна температура,

а саме 253 °С. Це пов'язано із займанням випробовуваного пучка кабелів. На 7 й хвилині температура почала спадати тому, що полум'я поширилося кабелями вище місця розташування термопар. На 14 й хвилині даний пучок був повністю пошкоджений вогнем. З 15 по 17 хвилині відбулось затухання пучка з тлінням яке супроводжувалось розтріскуванням. Відрізки кабелю були закріпленні на передньому боці драбини в два рядки так, щоб кабелі торкалися один одного, а загальна ширина зразка не перевищувала 300 мм.

Категорія С. У цьому досліді на першій хвилині температура полум'я сягає 120 °С. На третій хвилині стрімко почала зростати температура до позначки 250 °С, оскільки відбулось займання ізоляції кабелів. Максимальна зафіксована температура даного випробування була 255 °С. До двадцятої хвили можна спостерігати, що середня температура коливається в межах 170 °С, що свідчить про не поширення горіння, а температуру, яку зберігає алюмінієвий дріт при впливі полум'я пальника. Відрізки кабелю були закріпленні на передньому боці драбини у два ряди.

Категорія D. На першій хвилині температура сягала 120 °С. На четвертій хвилині термопара показала результат 330 °С, що являлось займанням кабельної продукції. Максимальна температура сягнула 380 °С. До кінця випробування температура коливалася у межах 180 °С, що свідчило про не поширення горіння, а температуру яку зберігає металевий елемент провідників.

Оцінювання результатів випробування. Після припинення горіння або гасіння і протирання наявність кіптяви на непошкодженій поверхні зразка не враховують. Також враховують розм'якшення або деформацію неметалевих матеріалів. Поширення полум'я визначають довжиною обвугленої частини зразка. Її вимірюють від нижнього краю пальника до межі зони обвуглювання в метрах з точністю то другого знака після коми.

Місце, де фіксується зміна пружної поверхні на крихку (ламку), вважають межею зони обвуглювання. Під час випробування полум'я не повинно сягати за межі випробувальної камери через вихідний отвір. Якщо це не зафіксовано, то максимальна довжина обвугленої частини зразка не повинна перевищувати 1,5 м, якщо для окремих типів чи класів проводів або кабелів у стандартах не встановлено інші вимоги.

Після встановлення драбини у випробувальну шафу, було встановлено пальник. Сопла пальника були розміщені під кутом  $45^\circ$ , що відповідає стандарту. До пучка провідникової продукції на висоті 500 мм від рівня пальника (1100 мм від рівня підлоги) була підведена термopара, якою було визначено температурні показники на протязі усього дослідю.

Температурні дані були внесені у таблицю 4.4 результатів випробувань. Після закінчення часу випробування, вимірювався час тління провідників без дії на них полум'я. Коли продукція охолола, зразки були ретельно протерті від кіптяви сухою ганчіркою, після чого була виміряна межа пошкодження неметалевої частки кабелю. Отримані результати розкривають особливості температурних параметрів стійкості до поширення полум'я КПВ (рис. 4.3).

#### **4.2. Реалізація методу оцінювання безпекового показника якості при випробуваннях показників пожежної безпеки**

Згідно зі статистичними даними, за період з 1965 року і до сьогодні у машинних залах атомних електричних станцій (АЕС), теплових електричних станцій (ТЕС) усього світу з турбогенераторами потужністю 50 МВт і більше

зафіксовано понад 110 аварійних ситуацій. З них пожеж – 40, вибухів – 7, вибухів з пожежами – 9 [2, 46, 52]. У 26-х випадках пожежі супроводжувалися обваленням покрівлі машзалу, травмуванням обслуговуючого персоналу, пожежників та пошкодженням технологічного обладнання.

Об'єкти енергетики: ЕС, НПЗ, лінії ЕП, трубогони та ін., – є прикладом складної організаційно-технічної системи (СОТС), яка складається із взаємопов'язаних матеріальних об'єктів (технічних засобів і персоналу, який забезпечує їх функціонування і застосування за призначенням), і є ієрархічним людино-машинним комплексом, що цілеспрямовано функціонує, реалізуючи його властивості, для задоволення потреб суспільства. У цій важливій галузі економіки будь-якої країни присутні ряд небезпек з високим рівнем ризику. Розглядаючи безпеку технічної складової такої СОТС, досліджено функціональну залежності між параметрами елементів безпеки: температурою, часом, вогнезахистом – за участі водню. Крім того, оскільки прогнозується стрімке поширення інших енергетичних водневих технологій (паливні елементи, гібридні двигуни, сховища енергії та ін.), то для них теж актуальними будуть результати поданих досліджень.

Основним джерелом небезпеки виникнення пожеж в машинних залах АЕС і ТЕС є система водневого охолодження статора генератора і система мащення генератора.

Машинні зали електричних станцій є одноповерховими будівлями. За висотою є два приміщення: у верхньому встановлюються турбоагрегати, в нижньому розміщують конденсатори, дренажні та інші насоси і допоміжне обладнання. Поперечні розміри залу становлять від 28 до 54 м залежно від типу турбогенератора, поздовжні – до 300 м. Віддаль від підлоги до кроквяних ферм перекриття становить 21 - 39,5 м. Позначка покриття машзалу у верхній точці 29,2 – 43,0 м [229].

Нормативна і технічна база за методами дослідження теплофізичних характеристик та випробувань на вогнестійкість опрацьовані у [66, 72, 229]. Всі

перелічені особливості аварій в машинних залах електростанцій роблять украй важливою реалізацію науково обґрунтованих підходів при вирішенні питань забезпечення пожежної безпеки цих об'єктів, на яких використовуються горючі гази (водень), і вимагає проведення нових досліджень.

Розрахункові режими пожеж виражають співвідношення між розподілом температури в приміщенні та часом. У відповідності до стандартів випробовування межі вогнестійкості, застосовують температурну криву, яку називають «стандартною», що описується виразом [206] -

$$T_s = 345 \cdot \lg(8\tau + 1) + 20; \quad (1)$$

де  $\tau$  – час, що відраховується від початку випробування, хв;  $T_s$  – температура, °С, яка відповідає часу  $\tau$  (середня об'ємна температура продуктів горіння у приміщенні).

Для особливого екстремального сценарію пожежі (наприклад, транспортні тунелі, атомні станції тощо) можуть задаватись більш жорсткі умовні температурні режими. Ці дослідження виконують у діючих або закинутих тунелях та у лабораторних умовах. Результатом випробувань є серія графічних кривих температура-час для різних експозицій, які поки що не мають аналітичного запису, а одержані експериментально.

Один із способів зупинити розповсюдження полум'я по матеріалу – це створити теплоізоляційний бар'єр (тверду фазу) між горючими та негорючими частинами. Нерідко застосовуються вогнезахисні покриття; їх роль полягає в тому, щоб перетворити поверхню полімеру на вугілля, яке відокремлює полум'я від матеріалу і захищає теплопередачу до незгорілих частин.

Аналіз останніх досліджень та публікацій свідчить про те, що сьогодні необхідність та актуальність нових підходів до випробувань на вогнестійкість набувають популярності у всіх сферах конструкцій та монтажу. Зокрема, антипірен розглядається [17, 23-25, 229].

Проблема безпеки об'єктів, що використовують горючі гази, нерозривно пов'язана з необхідністю детального дослідження газодинамічних і

теплофізичних процесів, що виникають при викиді та горінні газів, зокрема, його теплової дії на навколишні будівельні конструкції та об'єкти [142,149].

Актуальності ця проблема набуває у зв'язку з розвитком концепції “прийнятної ризику”, завданням якої є зниження вірогідності загибелі людей [20-21]. При цьому питання наукової обґрунтованості й адекватності розрахункових методик є одним з ключових для забезпечення людей.

Проте, незважаючи на увагу дослідників до цієї проблеми, низка закономірностей, що характеризують параметри пожежної небезпеки викидів горючих газів, виявлена в науковому плані недостатньо, особливо для умов експлуатації сучасних об'єктів. Методики оцінки основних небезпечних чинників, динаміки розвитку і прогнозу наслідків аварійних ситуацій, пов'язаних з викидами горючих газів, розроблені для окремих завдань [148].

#### **Обґрунтування адекватності розрахункового методу.**

Експериментальним шляхом дослідити вогнестійкість складно. Проблемою є габаритні розміри в інженерних конструкціях або в окремих елементах, які поміщають в печі і нагрівають за заданим температурним режимом. Такий метод є енергозатратним і потребує багато часу для його проведення [108].

Результати експериментальних досліджень конструкцій неможливо застосовувати до конструкцій, які мають інші розміри та виготовлені з інших матеріалів.

Аналітичні дослідження дають можливість за короткий час провести розрахунки і аналіз температурного поля, температурних напружень і переміщень у конструкціях різних геометричних розмірів з урахуванням теплофізичних і механічних властивостей матеріалів (бетон, цегла, метал та ін.) [66, 73].

Показник межі вогнестійкості незахищених сталевих будівельних конструкцій знаходяться в межах від R10 до R15. Трапляються колони масивного суцільного перерізу з межею вогнестійкості R 45.

Теплопровідність металу практично не створює великого температурного градієнта усередині перетину конструкції і зумовлює її швидке прогрівання.

Це призводить до того, що при пожежі температура незахищених металевих конструкцій швидко досягає критичних значень (480-530 °C), при яких відбувається зниження міцності, що конструкція стає нездатною витримувати прикладене до неї зовнішнє навантаження, внаслідок чого настає граничний стан за ознакою втрати несучої здатності ( $R$ ) - [108].

Значення критичної температури  $T_{cr}$  прогрівання різних металевих конструкцій при нормативному експлуатаційному навантаженні вказані в табл. 2 [72].

Таблиця 4.6 – Теплофізичні характеристики сталевих конструкцій

Матеріал конструкції	$T_{cr}, ^\circ C$	$\rho, kg/m^3$	коефіцієнт теплопровідності $\lambda, J/(s \cdot K \cdot m)$	коефіцієнт температуропровідності $c_p, kJ/(K \cdot kg)$
Сталь вуглецева Ст3, Ст5	470	7850	$58 - 0,042 \cdot t$	$0,47 + 2,1 \cdot 10^{-4} \cdot t$
Низьколегована сталь марки 25Г2С	550	7860	$58 - 0,041 \cdot t$	$0,47 + 2,11 \cdot 10^{-4} \cdot t$
Низьколегована сталь марки 30ХГ2С	500	7855	$58 - 0,042 \cdot t$	$0,47 + 2,1 \cdot 10^{-4} \cdot t$

Дослідження механізму вогневої дії на сталеві конструкції з вогнезахистом до тепер не призвели до створення обґрунтованого підходу до вирішення проблеми достовірної теоретичної оцінки вогнестійкості сталевих конструкцій залежно від розподілу температурних полів по товщині сталевих конструкцій та захисних матеріалів і режимів вогневої дії. Тому експериментальні дослідження дозволяють обґрунтовувати такі моделі [23, 229].

Розглянемо зміну температури факела полум'я горіння воднево-повітряної суміші, яка є від 1800 K залежно від концентрації водню в повітрі. Тривалість вільного аварійного витікання водню становить 3 хв. Це дає можливість оцінити тривалість горіння струменя водню і дію його факела на несучі сталеві конструкції.

Враховуючи, що температура факела полум'я дорівнює  $1800\text{ K}$  і досягається за  $15\text{-}20\text{ с}$ , температурний режим горіння водню математично моделюють у вигляді [71]

$$T_{fH_2} = 1800 - (1800 - T_0) e^{-0,315\tau}, \quad (4.1)$$

де  $\tau$  – тривалість пожежі,  $c$ ;  $T_0$  – початкова температура середовища,  $K$ .

Стандартизовані температурні режими), які використовують при дослідженні вогнестійкості будівельних конструкцій, мають менші максимальні температури і менший градієнт наростання температури від можливих реальних пожеж у машинних залах електростанцій. Знаючи закон зміни температури за умов температурного режиму пожежі, дослідимо розподіл температурного поля по товщині плоскої сталеві конструкції, яку при дослідженнях змодельємо пластиною. Застосувавши прямий метод розрахунку нестационарного температурного поля одержимо рішення задачі у вигляді

$$t(x, \tau) = \frac{\alpha_0 \alpha_n}{\Delta} \left( \psi_0(\tau) \sigma_n + \frac{\psi_n(\tau)}{\alpha_0} + \frac{\psi_0(\tau)}{\alpha_n} + (\psi_n(\tau) - \psi_0(\tau)) \left( \frac{x - x_i}{\lambda_i} + \sigma_i \right) \right) + \sum_{k=1}^{\infty} \left[ f_k \cdot e^{-\omega_k \tau} - \int_0^{\tau} e^{-\omega_k(\tau-s)} u_k(s) ds \right] \cdot X_k(x, \omega_k) \quad (4.2)$$

Характеристики основних засобів вогнезахисту, які використовуються на АЕС, наведені в [227]. За формулою (5) проведені дослідження температурного поля по товщині кроквяної ферми. При розрахунках враховувалися реальні товщини моделі. Початкова температура конструкції  $22^\circ\text{C}$ . Дослідження проводились для температури середовища, що змінюється за законом (4) за водневим температурним режимом та різною інтенсивністю теплообміну між полум'ям пожежі та конструкцією. Результати розрахунку зображені графічно на рис. 4. Аналіз рис. 4 показує, що за умов горіння водню вогнестійкість незахищених несучих сталевих кроквяних ферм перекриття втрачається вже за  $60\text{-}191\text{ с}$ .



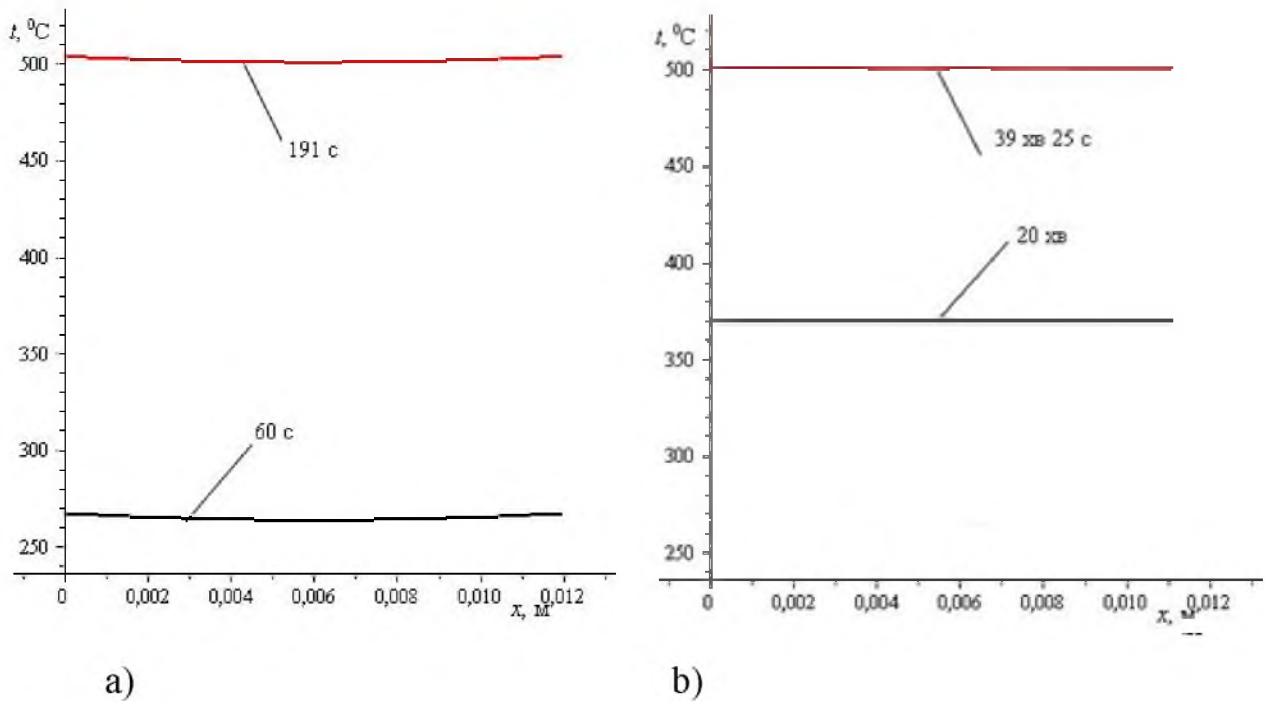


Рисунок 4.6 – Розподіл температурного поля у товщі 12 мм незахищеної (а) і захищеної (б) кроквяної ферми

Показники пожежної небезпеки та методи випробовування будівельних, оздоблювальних та інсталяційних матеріалів встановлено у міжнародних стандартах (ISO та IEC), регіональних і національних стандартах (ГОСТ і ДСТУ) та державних будівельних нормах (ДБН) [34, 107-109].

Випробовували суміш набрякаючих антипіренів для сталевих конструкцій (вогнезахисне покриття на основі розчинників "Polylack-A" - SFR-A). Зразки - підготовлені сталеві пластини розміром 500x500x12 мм – три із нанесеним вогнезахисним покриттям SFR-A (зразки 4, 5, 6), і три пластини (зразки 1, 2, 3) без. Перед нанесенням вогнезахисної фарби на поверхню сталеві пластини наносили шар ґрунтовки GF-021 товщиною 0,065 мм. Після нанесення фарби на пластини утворилася біла матова поверхня (рис. 7). Для вимірювання товщини нанесеного шару покриття використовували товщиномір, за допомогою якого вимірювали товщину в 9 точках пластини, середня товщина шару становила  $1 \pm 0,2$  мм.

Зразок монтується і фіксується в горизонтальному положенні. Для кожного зразка за схемою (рис. 6) встановлено 6 термопар ТНА-10 (тип К).

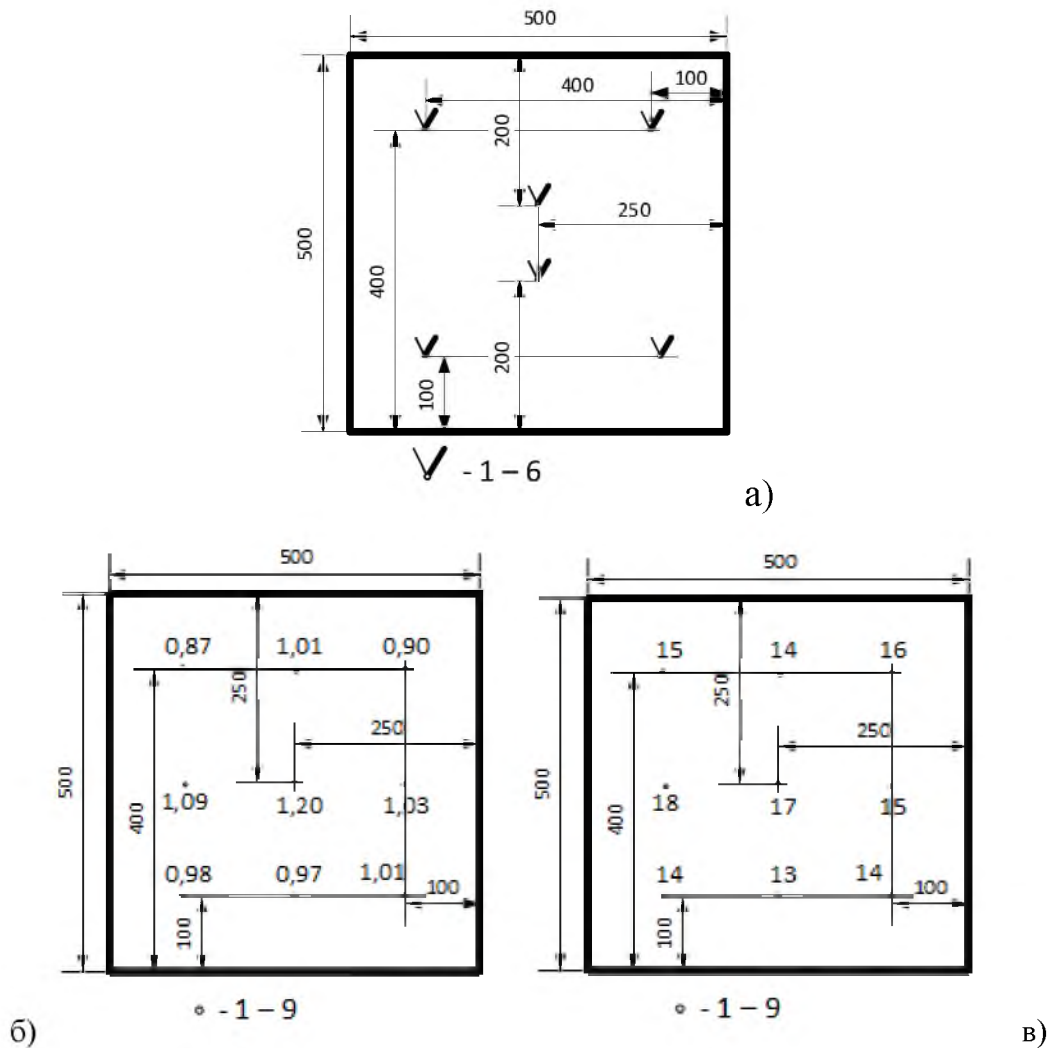


Рисунок 4.7 – Розміщення термопар на зразку (а) (знак 1-6 з шести місць термопар) та схема вимірювання та вимірjana товщина вогнезахисного покриття в точках 1 - 9: б - до набухання; в - після

Поверхня неопалюваної сторони плити була захищена двома теплозахисними шарами, перший товщиною 10 мм, другий мінеральною пластиною товщиною 25 мм. Відстань між пальником та зразком до початку випробування не повинна перевищувати 0,45 м.

Випробування проводили до тих пір, поки температура на не нагрітій стороні пластини перевищить 500 °С.



Sample 4

Sample 5

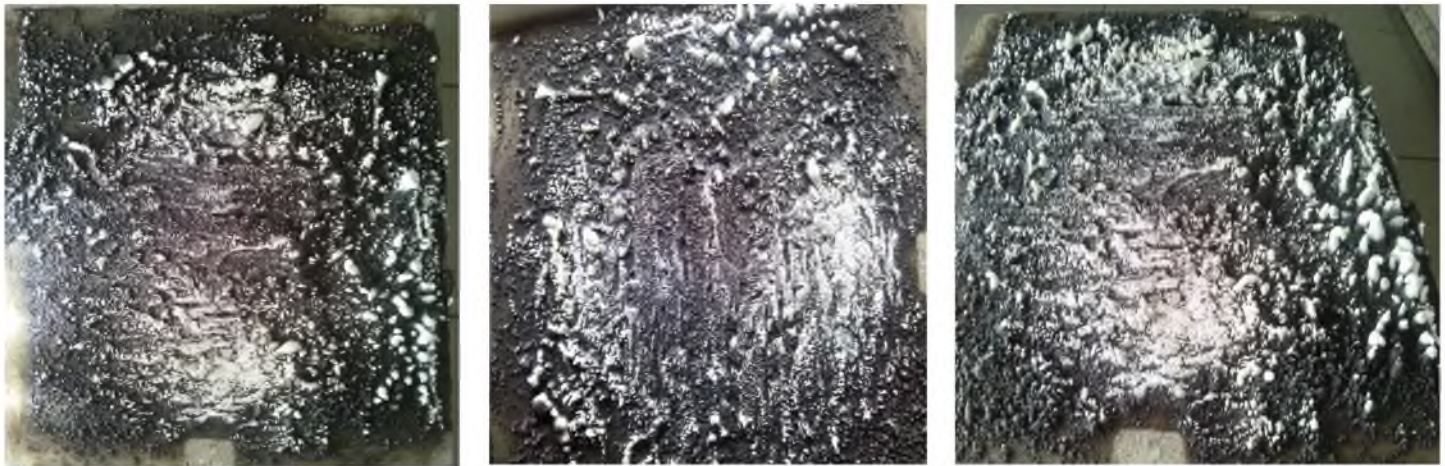
Sample 6

Рисунок 4.8 – Експериментальні зразки № 4-6 перед тестуванням

### 7. Результати тестування

Після встановлення та закріплення зразків у печі їх піддають випробуванню на вогонь до досягнення критичної температури (500 ° C). На рис. 8 показані зразки після випробування на вогонь. З рис. 8 видно, що покриття набухало найбільш рівномірно в центрі пластини. Пряма дія спалаху водневого полум'я мала місце в центрі пластини. Можна зробити наступні висновки: вогнезахисна фарба, нанесена на сталеву пластину з ґрунтовкою GF-021, має задовільну міцність адгезії; відшарування утвореного розширеного покриття з пластини на ділянці не спостерігалось. Середня товщина набухлого шару становить  $15 \pm 3$  мм, отримані результати (табл. 4):

- межа вогнестійкості сталевій пластині без вогнезахисного покриття становить 9 хв .;
- межа вогнестійкості сталевій пластині, захищеної вогнезахисним покриттям товщиною 1 мм, - 32 хвилини;



Sample 4

Sample 5

Sample 6

Рисунок 4.9 – Експериментальні зразки № 4-6 після тестування

До недоліків цього підходу можна віднести:

- підвищені вимоги до кваліфікації та досвіду працівників;
- складність у підрахунку остаточної оцінки, яку не можна розрахувати перед тестом;
- не гнучкий процес, при якому за необхідності більше часу або фінансових ресурсів буде скорочувати фазу тестування;
- стійкість до змін, що унеможлиблює будь-які зміни у реакції матеріалу на вогонь;
- зниження ризику - це вже тестування готового продукту, а не його окремих частинок.

Таблиця 4.7 – Коефіцієнт теплопровідності вогнезахисних покриттів для сталевих конструкцій

Вид випробування	T2-1	T2-2	T2-3	$\bar{x}$	$s^2$
Показник часу досягнення усередненої за 6 термопарами критичної температури (рис. б), с	1912	1926	1907	1915.00	10.77778
Показник залежності температури для часу 30хв, °С	461	470	471	467.33	3.37037

Отже, на підставі застосування запропонованих показників безпеки загальне значення відповідності методу випробувань буде збільшено [216].

Зміна температури ( $^{\circ}\text{C}$ ) у часі на неопалюваній поверхні пластини, яка є зразком без покриття SFR-A та з покриттям, показана на рисунку 4.10.

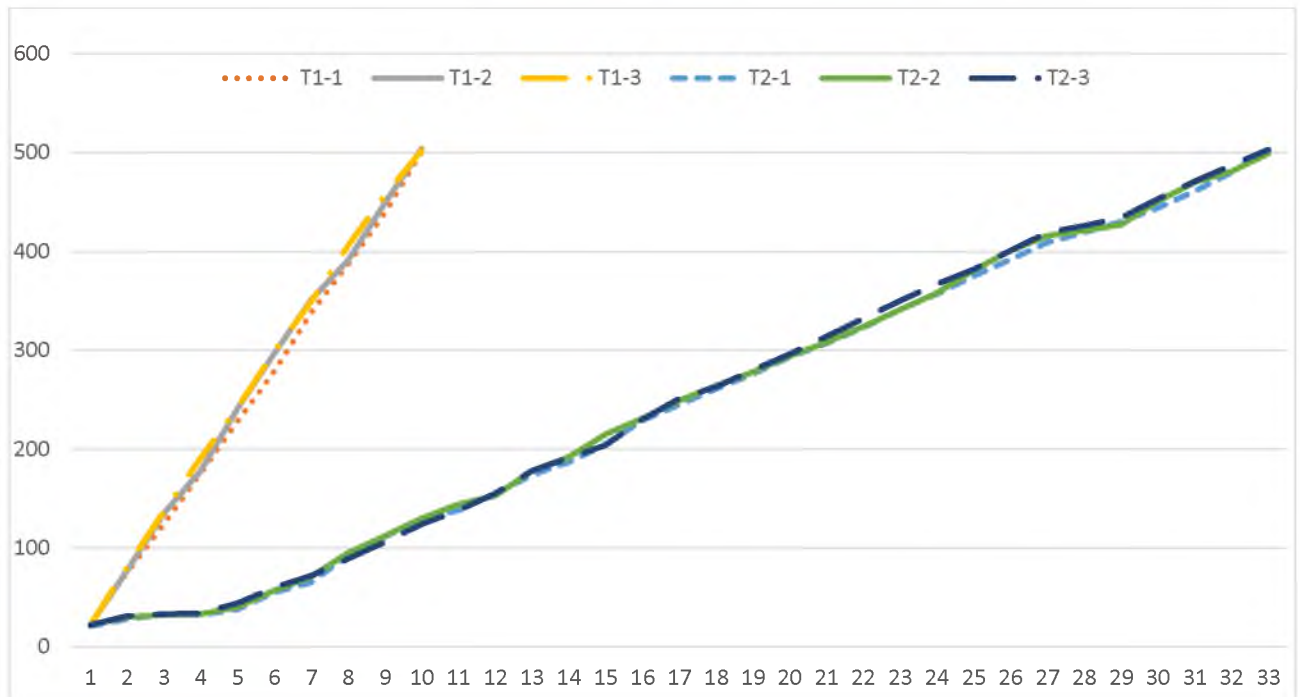


Рисунок 4.10 – Порівняння теплопередачі через сталевий конструкційний матеріал та зміни температури ( $^{\circ}\text{C}$ ) за час (а) на неопалюваній поверхні плити, де: T1-1, T1-2, T1-3 - зразки без покриття, T2-1, T2-2, T2-3 - зразки з покриттям SFR-A.

До недоліків можна віднести:

- невизначеність - особливість, яка обмежує використання цього типу матеріалів у багатьох випадках, що має критичні показники невідповідності вимогам технічного регламенту;

- високі вимоги до кваліфікації та досвіду персональних лабораторій - необхідно постійно пристосовуватися до змін у техніці випробувань та нормативних нормативних актах;

- неможливість довгострокового планування.

Подані результати випробувань за методом ISO щодо відповідності вимогам норм пожежної безпеки задовольняють умови їх точності, правильності

та збіжності. Встановлена за результатами випробувань межа вогнестійкості досліджених зразків, становить не менше 30 хв. На підставі застосування стандартизованої методики встановлення межі вогнестійкості для будівельних конструкцій та інженерних мереж визначені інтегральні значення температурних параметрів випробовування, а також похибка випробовування. Таким чином, за результатами випробувань зразків встановлений клас їх вогнестійкості R30.

Дослідження теплових потоків з врахуванням складного теплообміну та теплофізичних і геометричних параметрів полум'я пожежі показали, що їх значення під час пожежі в машинних залах АЕС знаходяться в діапазоні від 150 – до 250 кВт/м<sup>2</sup>.

Дослідження вогнестійкості несучих колон та кроквяних ферм перекриття показують, що для забезпечення вогнестійкості сталевих конструкцій необхідно здійснювати їх вогнезахист. Критична температура (500 °С) несучої колони товщиною 20 мм та 32 мм, захищеної покриттям “SPF-A2” при товщині 0,8 мм за час горіння водню не досягається. Критична температура (500 °С) кроквяних ферм перекриття товщиною 5 мм та 9 мм, захищених покриттям “SPF-A2” при товщині 1,5 мм за час горіння водню не досягається.

Дослідивши практичну реалізацію системи оцінки результатів випробувань матеріалу за показниками безпеки, робимо висновок, що:

- випробування на вогнезахист мають низку переваг і недоліків та потенціал у реалізації теплового впливу сценарію пожежі за умов невизначеності вимірювань;

- на практиці впровадження подібних підходів у дослідженні властивостей матеріалів матиме позитивний ефект за умови, що всі виробники поділятимуть принципи якості та безпеки;

- необхідно надати процедуру валідації для моделей структури матеріалів, параметризації та аналізу їх вогневої поведінки або як для частини загальних процедур контролю якості.

### **4.3. Проведення оцінювання ефективності заходів безпеки складних організаційно-технічних систем**

Послідовність вибору критеріїв ефективності заходів безпеки СОТС:

- визначення зв'язку даної системи з метасистемою (в даному випадку безпекового показника якості з процесом функціонування СОТС);
- визначення мети заходів безпеки СОТС;
- формулювання вимог, яким повинен задовільняти обраний критерій;
- розроблення і аналіз переліку показників, які містить обраний критерій з визначенням можливості їх кількісної оцінки.

Для досягнення умов ефективності безпеки СОТС доцільно здійснювати оптимізацію функції БПЯ [161]. Однак, пошук аналітичного виразу функції БПЯ на сьогоднішній день важкий через відсутність достатньо точного науково-методичного апарату пошуку взаємозв'язків між показниками якості продукції та функцією БПЯ. Як правило, для оцінювання такого зв'язку використовують експертні методи [92, 232, 234]. Також, як показують дослідження [91, 141], пошук функціональних залежностей між показниками БПЯ та витратами на їх досягнення за допомогою емпіричних методів не дозволяє встановити достатньо точні взаємозалежності, що зумовлено в основному значною динамікою їх зміни та необхідністю проведення значної кількості дорогих експериментальних досліджень, а тому застосування їх в умовах забезпечення конкурентоздатності продукції є обмеженим.

Однією з найбільш ефективних методик в області планування та забезпечення якості є її розгортання (структуризація) [161]. Розгортання функцій якості (РФЯ) - це метод структуризації потреб і побажань споживача через розгортання функцій і операцій діяльності по забезпеченню на кожному етапі життєвого циклу продукції такої якості, яка б гарантувала отримання кінцевого результату, стосовно теми дослідження, відповідного прийнятному рівню безпеки [91].

Модель РФЯ є концептуальною моделлю перетворення вимог і запитів споживачів в характеристики безпеки з метою ефективного задоволення вимог [154]. Кваліфіковане використання моделі РФЯ дозволяє уникати серйозних прорахунків безпеки при впровадженні нової продукції (послуг) за рахунок ретельно підготовленого і проведеного проектування та виготовлення продукції.

Однак, в галузі безпеки СОТС використання методу РФЯ не набуло поширення у першу чергу через відсутність відповідного нормативно-методичного забезпечення.

Одним із шляхів вирішення проблеми підвищення об'єктивності оцінювання стану безпеки СОТС можна запропонувати метод об'ємного розгортання функції БПЯ. Використання методу РФЯ дозволить підвищити об'єктивність виявлення характеру впливів і рівня зв'язків між витратами на досягнення рівня БПЯ у залежності від вимог до показників якості технологічних процесів (ТП).

Як правило, при реалізації методу РФЯ використовують серію матриць: матрицю споживчих вимог, матрицю структурування характеристик готової продукції, матриці процесів і контролю [160]. Однак, існуючий підхід до побудови цих матриць не дозволяє забезпечувати процес оперативної оптимізації параметрів безпеки СОТС із врахуванням змін вимог споживачів. Застосування методу об'ємного РФЯ дозволить об'єднати процес оптимального погодження показників якості ТП, БПЯ та витрати на їх виконання.

Схему розгортання функції БПЯ представимо у виді об'ємної матриці, яка зображена на рис. 4.11. Вона дозволяє об'єднувати необхідну інформацію про властивості системи безпеки, оскільки кожна комірка містить три показники  $\{w_i, v_i, p_{ij}\}$ , що характеризують стан конкретного елемента безпеки у залежності від показників якості ТП та витрат на забезпечення вимірювальних процедур.



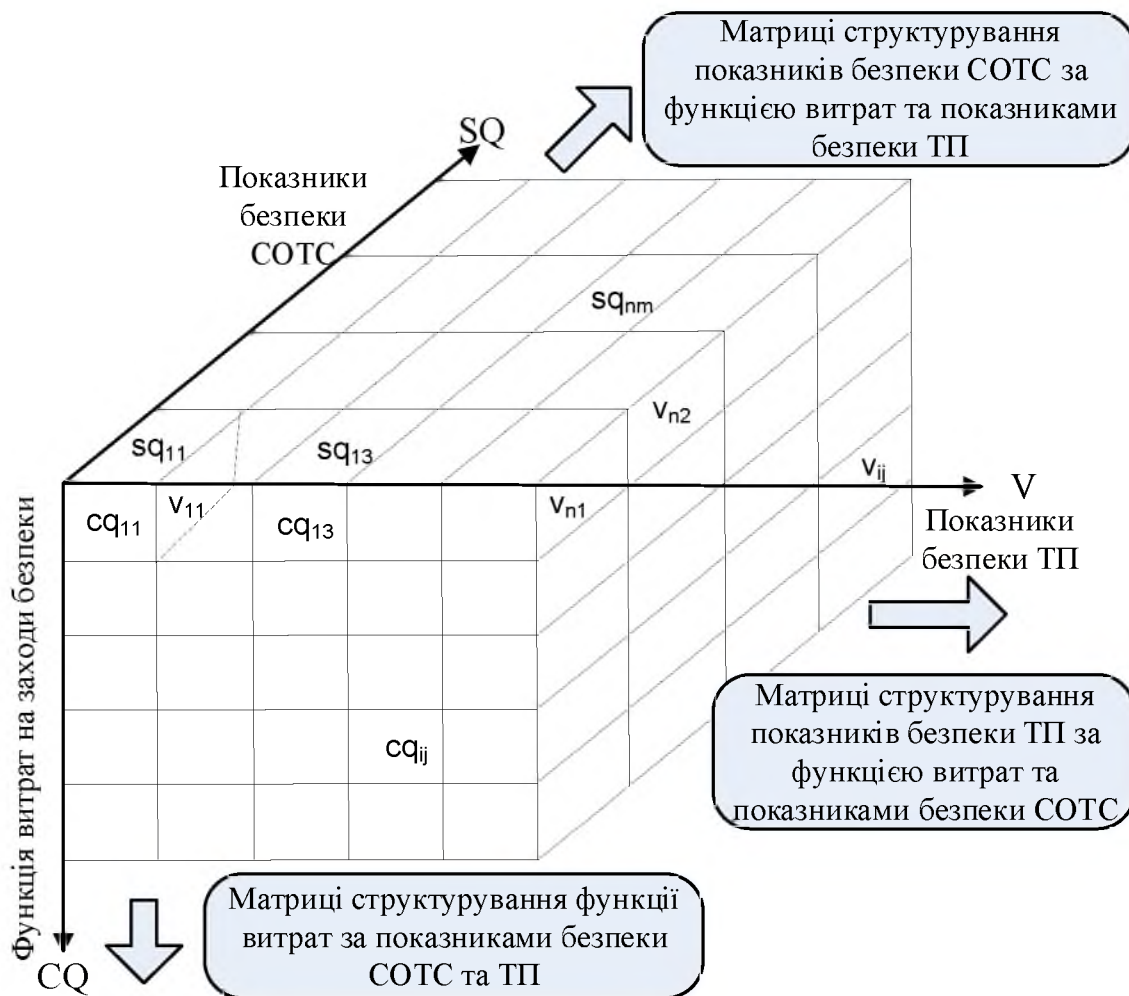


Рисунок 4.11 – Об’ємна матриця розгортання функції БПЯ

Матриці розгортання функції витрат  $CQ$  за показниками БПЯ  $SQ$  та показниками якості ТП  $V$  розташовані фронтально до об’ємної матриці і розгортаються вглиб її за окремими показниками БПЯ та показниками якості ТП, описуючи їх по кожному показнику, що відповідає її вертикальним фронтальним січенням. Матрицю розгортання функції витрат на показники БПЯ за показниками якості ТП можна представити у вигляді:

$$CQ = \begin{vmatrix} cq_{11} & cq_{12} & \dots & cq_{1j} \\ cq_{21} & cq_{22} & \dots & cq_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ cq_{i1} & cq_{i2} & \dots & cq_{ij} \end{vmatrix}, \quad (4.3)$$

де  $sq_{ij}$  – витрати на забезпечення  $i$ -го показника БПЯ за  $j$ -м показником якості ТП.

Поперечні матриці  $V$ , перпендикулярні фронтальним, описують розгортання показників якості ТП за функцією витрат та показниками БПЯ. Матриця розгортання показників якості ТП за функцією витрат та показниками БПЯ має вигляд:

$$V = \begin{vmatrix} v_{11} & v_{12} & \dots & v_{1j} \\ v_{21} & v_{22} & \dots & v_{2j} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ v_{i1} & v_{i2} & \dots & v_{ij} \end{vmatrix}, \quad (4.5)$$

де  $v_{ij}$  - показник якості ТП для  $i$ -го показника БПЯ за  $j$ -м рівнем витрат на забезпечення  $i$ -го показника БПЯ.

Горизонтальні матриці  $SQ$ , відповідно до рисунку 4.11, характеризують розгортання показників БПЯ за функцією витрат та показниками якості ТП. Матриця розгортання показників БПЯ матиме вид:

$$SQ_{nm} = \begin{vmatrix} sq_{11} & sq_{12} & \dots & sq_{1m} \\ sq_{21} & sq_{22} & \dots & sq_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ sq_{n1} & sq_{n2} & \dots & sq_{nj} \end{vmatrix}, \quad (4.6)$$

де  $sq_{ij}$  - показники БПЯ за функцією витрат та показниками якості ТП.

Головні проблеми при заповненні описаних матриць полягають у визначенні взаємозв'язків між окремими показниками, а саме, розділення витрат за окремими показниками БПЯ при забезпеченні показників якості ТП [161]. Для сучасних ТП це складна задача, що ставить вимогу пошуку раціональних шляхів оптимізації значень показників якості ТП та значень показника БПЯ із витратами на їх забезпечення при побудові ефективної системи безпеки СОТС.

Застосування процедури розгортання функції БПЯ проведено на прикладі результатів дослідження впливу НВЧ опромінення сорбента при очищенні ним стічних вод. Джерелом НВЧ ЕМВ використовувався розроблений та виготовлений авторами генератор на магнетроні моделі М-105. Схема

включення – стандартна, без імпульсного модулювання; діапазон випромінювання - 2,45 ГГц; вихідна потужність - 790 Вт. Для кращого розподілення та концентрування випромінювання використовувалась рупорна антена, розрахована згідно відповідних методик [146].

Через негативний вплив НВЧ ЕМВ на електронні пристрої та організм людини установка знаходиться під захисним екраном, виготовленим з листової сталі у формі паралелепіпеда, і який повністю накриває установку. Окремі частини установки (вторинна обмотка трансформатора живлення та анод магнетрону) перебувають під високою напругою (2200 В), тому при її виготовленні застосовано захисне заземлення. Воно проведене з вторинної обмотки на корпус трансформатора (щоб виключити небезпеку внаслідок замикання на корпус) і на загальне заземлення лабораторії.

Діапазон в 2,45 ГГц обраний з декількох міркувань:

- магнетрон з потужністю від 500 Вт володіє прийнятною ефективністю, вартістю і габаритами;
- частота повинна знаходитись у дозволеному законодавством виділеному радіодіапазоні частот (у даному випадку - ISM діапазон) [146];
- глибина проникнення радіохвиль у досліджувані зразки сорбенту повинна лежати в районі декількох сантиметрів (чим нижче частота - тим більше глибина проникнення).

Поряд з ізоморфним заміщенням у кристалічній ґратці джерелом катіонообмінної здатності глинистих мінералів виступають також «приповерхневі» гідроксильні групи, розташовані на бокових гранях та ребрах їх кристалів і зв'язані з атомами кремнію. Поява негативного заряду в Si—O – сітках цих матеріалів внаслідок ізоморфного заміщення  $Al^{3+} \rightarrow Si^{4+}$  в частині тетраєдрів посилює кислотні властивості угруповань  $\equiv Si-OH$ , і тому обмін їх протонів на інші катіони стає значно полегшеним відносно чистого кремнезему [224].

Співставивши отримані авторами результати розрахунків сорбційної здатності бентоніту після обробки його НВЧ ЕМВ із аналогічними параметрами нативного зразка, а також з відомими з літератури [9, 10, 146, 224 та ін.] сорбційними характеристиками бентоніту, можна зробити наступні зауваження. Значення рН робочих розчинів після закінчення сорбції помітно зросли (до  $\text{pH} \approx 6,7$ ). Це дозволило підтвердити припущення багатьох згаданих вище авторів про те, що під дією мікрохвиль у водному середовищі відбувається часткове руйнування силікатного каркасу глинистих сорбентів з вивільненням силікат-іонів  $\text{SiO}_3^{2-}$ . Ці іони піддаються гідролізу, внаслідок чого рН розчину зростає. Крім того, не можна виключати прямий розрив зв'язків  $\text{Si}-\text{O}$  в приповерхневих угрупованнях  $\equiv\text{Si}-\text{OH}$ , що призводить до збільшення кількості «вільних» гідроксильних груп. У таких умовах логічно було б припустити, що адсорбція Цинку на бентоніті може відбуватись не тільки шляхом моношарового поверхневого («Ленгмюрівського») осадження у вигляді гідратованих іонів, або іонного заміщення у вакансіях алюмосилікатного каркасу, а й у вигляді спонтанної кристалізації на поверхні сорбенту нейтральних сполук: малорозчинних силікатів або гідроксиду Цинку.

Ймовірність осадження Цинку у вигляді сульфату в умовах даного експерименту є невисокою з огляду на досить велику розчинність цієї солі та значне розбавлення робочих розчинів. З класичних уявлень щодо гетерогенного зародкоутворення випливає, що нововиникаючі центри кристалізації (ЦК) мають одразу ідеальну структуру фази, в яку йде кристалізація. Нанокристали малого розміру ( $< 300$  атомів) мають дуже недосконалу структуру по відношенню до нанокристалів, розміри яких складають  $> 1500$  атомів. У малих нанокристалах велика ймовірність неузгодженого руху сусідніх атомів, тому у коливальних спектрах таких кристалів є високочастотні складові з основним максимумом  $\sim 10^{13}$  Гц (і навіть до  $5 \times 10^{14}$  Гц). Тому не можна відкидати ймовірність того, що саме під дією НВЧ ЕМВ, у присутності полярних молекул води, виникають сприятливі умови для процесів утворення ЦК на поверхні інертної

алюмосилікатної фази (достатньо аморфного матеріалу). Кінетика росту цих нанокристалів, з урахуванням збільшення ступеня впорядкованості їх структури під час росту та подальшої дії мікрохвиль, наразі незрозуміла, однак сам факт такої кристалізації заслуговує на увагу та потребує подальшого вивчення.

1. Вивчено сорбційні характеристики, мікроструктуру та фазовий склад природного глинистого сорбенту бентоніту у процесах очистки ним модельних водних розчинів солей важких металів.

2. Активацію сорбенту було здійснено у 2 способи: а) попередня промивка його чистою водою з одночасним опроміненням мікрохвилями; б) «пряме опромінення» мікрохвилями під час контакту з модельним розчином солі.

3. У випадку «прямого опромінення» спостерігається інтенсивна спонтанна кристалізація нової фази на поверхні сорбенту, що спричинює значне збільшення сорбційної ємності бентоніту.

4. Методами скануючої електронної мікроскопії, енергодисперсійного та рентгенофазового аналізу встановлено, що цією новою фазою є нерозчинні солі (в основному, гідроксосилікати) відповідного металу.

5. В усіх варіантах мікрохвильової активації має місце помітне зростання сорбційної ємності бентоніту за іонами важких металів. Другий варіант («пряме опромінення») є простішим у технічному виконанні, тому його можна більш ефективно використовувати у процесах очистки стічних вод.

#### **4.4. Оптимізація діяльності складних організаційно-технічних систем в умовах ризику**

Реальні ТП характеризуються значною кількістю контрольованих параметрів та технологічних операцій тому для практичного застосування доцільно оперувати двовимірними матрицями та оптимізувати їх параметри шляхом вирішення обраних оптимізаційних задач.

З точки зору практичної доцільності, при розгортанні функції БПЯ відповідно до рисунку 4.11, оптимізацію параметрів об'ємної матриці необхідно

здійснювати шляхом постановки та вирішення трьох оптимізаційних задач, які наведені у Таблиці 4.12.

Таблиця 4.12 – Оптимізаційні задачі при структуруванні функції БПЯ

Оптимізаційна задача	Порядок оптимізації	Результат
Задача 1	SQ→set V→set CQ→var	Оптимізація витрат при заданих значеннях показників БПЯ та ТП
Задача 2	SQ→set V→var CQ→set	Оптимізація складу та значень показників якості ТП при заданих витратах та показниках БПЯ
Задача 3	SQ→var V→set CQ→set	Оптимізація складу та значень показників БПЯ при заданих витратах та показниках якості ТП

Розглядаючи систему безпеки як глобальний, для даного виробництва, процес, що об'єднує ряд елементів, кожен з яких має вхід  $x_i$  та вихід  $y_i$  обгрунтовано вважатимемо [160], що існує деяка функція корисності –  $J_{ss}$ , котру назвемо функцією безпеки і яку можна використовувати для оцінювання якості функціонування системи безпеки.

Для реалізації процесного підходу вважатимемо, що ефективність елементів системи безпеки, в першу чергу визначається ефективністю перетворення входів  $x_{ij}$  (цілей) у виходи  $y_{ij}$ , що можна відобразити залежністю:

$$J_i = e_i \frac{x_i}{y_i} \xrightarrow{d_{opt}} \max, \quad (4.7)$$

де  $e_i$  - ефекти перетворення входів  $x_i$  у виходи  $y_i$ , що визначають якість виконання своєї функції окремим елементом безпеки;  $d_{opt}$  - рішення, які приймаються для оптимізації системи безпеки.

В багатьох випадках визначення ефектів перетворення  $e_i$  елементів системи безпеки є складним завданням, яке важко відобразити у виді функціональної залежності, тому ефективним шляхом вирішення цієї проблеми

є використання логіко-математичного моделювання, що дозволить підвищити ступінь формалізації процесу вдосконалення безпеки.

Оскільки ефект елемента безпеки  $e_i$  по своїй суті визначає ступінь кореляції між  $x_i$  та  $y_i$ , то логічно виражати його у виді коефіцієнта кореляції  $r_i$ , що дозволить широко використовувати методи кореляційного аналізу [161] в процесі пошуку оптимальних співвідношень елементів матриці РФЯ безпеки. Також, у випадку, коли входом безпекового елемента є допуск на технологічний параметр  $N$ , а виходом його реальна варіативність  $\sigma_{ТП}$ , то в якості ефекту можна використовувати відношення -  $C_{SQ} = N/\sigma_{ТП}$ , яке має назву індекс відтворюваності ТП і широко використовується як показник якості настроювання ТП.

Як було показано вище основними труднощами при оптимізації структури та функцій системи безпеки за функцією якості  $J_{SS}$  є знаходження вірогідних оцінок ефектів  $u_i$ , перетворення безпекових цілей  $x_i$  в результати функціонування безпекових елементів -  $y_i$ . Оскільки, сукупність показників  $\{cq_i, v_i, sq_i\}$  визначають ефективність побудови найнижчого рівня ієрархії системи безпеки, то від їх раціонального погодження, в значній мірі, залежить ефективність системи безпеки.

Формалізацію процедури взаємного погодження  $\{cq_i, v_i, sq_i\}$  можна здійснювати записавши умови вирішення оптимізаційних задач, згідно Таблиці 4.7, у вигляді:

$$\begin{aligned} e_i^1 &= \frac{sq_i}{v_i} \xrightarrow{cq \rightarrow \min} \rightarrow \max \\ e_i^2 &= \frac{sq_i}{cs_i} \xrightarrow{v \rightarrow \min} \rightarrow \max \\ e_i^3 &= \frac{v_i}{cq_i} \xrightarrow{sq \rightarrow \min} \rightarrow \max \end{aligned} \quad (4.8)$$

Загальний ефект  $e_i$  елемента матриці РФЯ безпеки можна визначити за формулою:

$$e_i = \lambda_1 \cdot e_i^1 + \lambda_2 \cdot e_i^2 + \lambda_3 \cdot e_i^3, \quad (4.9)$$

де  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$  - коефіцієнти вагомості безпекових ефектів при оптимізації, відповідно, за витратами, показниками якості ТП та показниками БПЯ.

Для забезпечення умов нормалізації коефіцієнтів вагомості необхідно забезпечити виконання умови -  $\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 = 1$ .

При практичному вирішенні умов (4.8) доцільно здійснювати процедури спрощення цього виразу у залежності від вимог конкретного ТП. На найнижчому рівні системи безпеки основна маса ефектів визначається проблематикою вимірювання технологічних параметрів. Наприклад, згідно існуючих підходів ТП вважається спроектованим та налагодженим якщо забезпечено дві основні умови:

- встановлено оптимальні допуски для технологічних параметрів;
- створено ефективну систему контролю знаходження технологічних параметрів у межах допусків.

Як правило взаємне погодження цих умов здійснюється шляхом встановлення певних, науково обґрунтованих співвідношень між допуском на параметри ТП та точністю його вимірювання [161]. При такому підході умова оптимізації зводиться до вирішення однієї із оптимізаційних задач: пошук раціонального співвідношення між точністю вимірювання технологічного параметра та витратами на його вимірювання. Однак, при традиційному підході задача оптимізації не може бути вирішена внаслідок існування значних меж області оптимізації [92].

Перспективним шляхом вирішення задачі оптимізації безпекових ефектів на етапі виробництва є приведення їх до єдиної вартісної форми, наприклад за допомогою функції втрат якості Тагуті [92]. На відміну від традиційних методик, в яких показник вважається відповідним, якщо її параметри знаходяться в межах заданого допуску, в методиці Тагуті будь-яке відхилення від номінального значення (що вважається оптимальним) призводить до тієї чи іншої втрати якості. При цьому передбачається, що в більшості випадків залежність втрати якості від розкиду параметрів добре апроксимується квадратичною функцією



[92]. Однак, для налагодження ТП функція втрат Тагуті не знайшла широкого застосування, оскільки використовує вартісну функцію, в якій втрати якості виражаються в грошовому еквіваленті. Цікавішим для підвищення БПЯ на стадії виготовлення є використання підходу [161], коли втрати якості розглядаються не в грошовому виразі, а як втрати точності кінцевої ланки. Для системи Безпеки СОТС кінцевою ланкою можна вважати встановлення та контроль допусків на технологічні параметри.

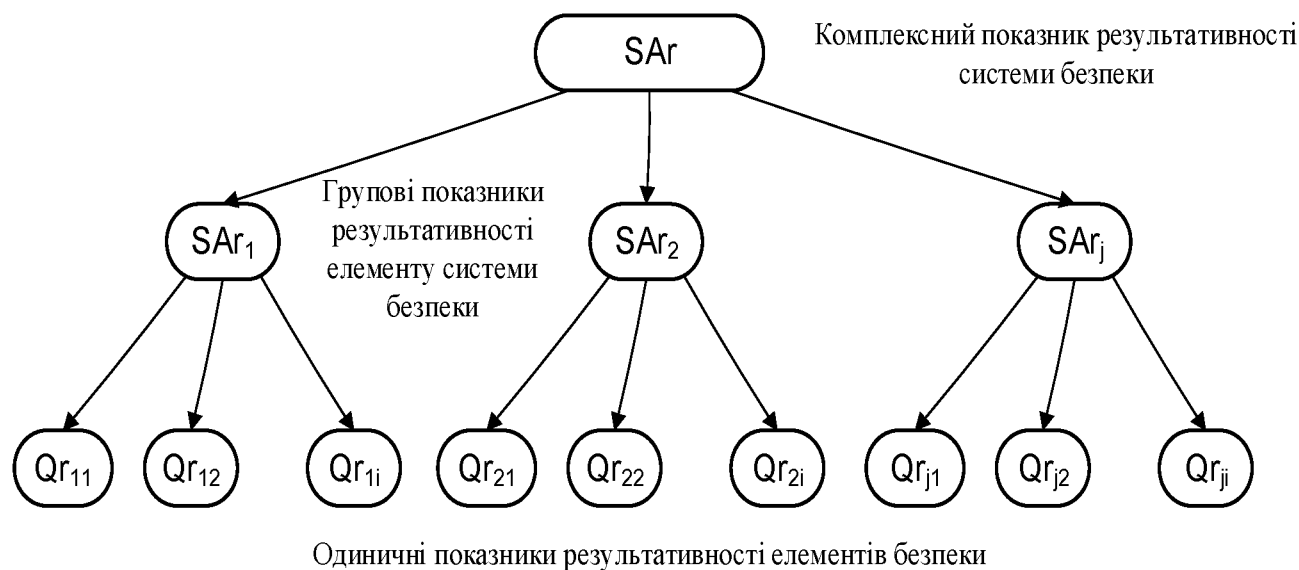


Рисунок 4.12 – Рівні оцінювання комплексного показника результативності системи безпеки СОТС

Запропонована модель оцінювання результативності системи безпеки СОТС, заснована за трьома ієрархічними рівнями показників: комплексний, групові та одиничні, відображена на рис.4.12. Одиничні показники складають перший рівень оцінювання і вважаються рівнозначними. Другий рівень показників – груповий – отримується додаванням одиничних, при цьому показники з нульовим значенням компенсуються впливом інших і дають значущу оцінку. Для отримання комплексної оцінки результативності значення



Рисунок 4.13 – Алгоритм оцінювання комплексного показника результативності системи безпеки COTS

групових показників перемножують, що дає їй вірогідність та адекватність, оскільки у випадку рівності нулю одного з групових показників функціонування системи безпеки є нерезультативним. Комплексний показник результативності системи безпеки COTS розраховується за формулою:

$$SAr = \frac{\prod_{j=1}^n m_j \cdot SAr_j}{\prod_{j=1}^n m_j \cdot Kr_j} \quad (4.10)$$

де  $m_j$  - коефіцієнт вагомості елемента в структурі системи безпеки COTS, що

встановлюється експертним методом;  $SAr_j$  - груповий показник результативності  $j$ -го елемента системи безпеки;  $Kr_j$  – допустимі групові показники результативності  $j$ -го елемента системи безпеки;  $n$  – кількість елементів, які використовуються в процесі оцінювання результативності системи безпеки СОТС.

#### **Висновки до розділу 4**

1. Результати досліджень мають важливе значення для об'єктів енергетики України, термін експлуатації на яких передбачає проведення найближчим часом їх реконструкції. Надійний захист кабельних ліній є важливим завданням.

2. Новизна отриманих результатів полягає у розкритті особливостей температурних параметрів стійкості до поширення полум'я КПВ. Визначення обсягу горючого матеріалу за об'ємом чи за масою не регламентовано у чинних нормативних документах з пожежної безпеки, хоча цей критерій часто застосовується саме при встановленні вимог з пожежної безпеки до будівель, кабельних споруд та до інших. Оскільки важливішою характеристикою процесу горіння КПВ та його наслідків є масове вигорання матеріалів, а не участь їх об'єму, то пропонуємо за основу застосування у нормативних документах з пожежної безпеки брати величину маси горючих матеріалів у складі КПВ.

Уведення ще одного контрольованого параметра – температури поверхні кабеля у пучку – дозволяє встановлювати відповідність умов випробовування до певного температурного режиму. Встановлення температурного режиму для категорій прокладання може бути окремим стандартом. Застосування у ньому інших видів температурних режимів (стандартного, вуглеводневого, водневого та ін.) дозволить розширити сферу адекватного застосування результатів випробовувань до різних умов експлуатації КПВ, які до того ж регламентуються різними вимогами пожежної безпеки у нормативних документах.

## **Розділ 5. ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ БЕЗПЕКОВОГО ПОКАЗНИКА ЯКОСТІ В СИСТЕМАХ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ СКЛАДНИХ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ**

### **5.1. Застосування запропонованих підходів для оцінювання безпекового показника якості (для систем управління якістю атомних електростанцій)**

Інженерія пожежної безпеки стосується інженерних методів, заснованих на наукових принципах розроблення або оцінювання конструкцій у забудованому середовищі через аналіз конкретних сценаріїв пожежі або шляхом кількісної оцінки ризику для групи сценаріїв пожеж. Це здійснюється для досягнення цілей інженерії пожежної безпеки [23-25, 44].

Інженерія пожежної безпеки (FSE) - дисципліна, яка все частіше використовується за підтримки національних правил пожежної безпеки, заснована на результатах, отриманих і визнаних у багатьох країнах та регіонах юрисдикції у всьому світі. Вісім частин ISO / TR 13387 (див. Розділ 2) та ISO 23932 викладають основні методології та використання FSE. Далі детальні аспекти FSE висвітлені у ISO 16730, ISO / TS 16732, ISO / TS 16733, ISO 16734 , ISO 16735, ISO 16736, ISO 16737 та ISO / TR 16738. Визнано, що використання цих стандартів містяться в нормативних кодексах, де можуть бути дані про продукцію. Багато із цих стандартів потенційно пристосовані для цілей інженерії пожежної безпеки. На відміну від них, кількісні випробування реакції на вогонь все частіше використовуються та розробляються, і це роблять для того, щоб надати дані, які можуть бути вкладеними в технічні розрахунки пожежної безпеки.

Якісні та кількісні випробування реакції на вогонь. Багато стандартизованих методів випробувань реакції на вогонь дають інформацію про експлуатаційні характеристики матеріалу або обробних деталей продукції, вимірний у випробуванні, який може або не може бути пов'язаний із реальним сценарієм пожежі або встановленими реальними практиками. Ці якісні методи

випробування реакції на вогонь призводять до відмови та / або зміни рейтингу товару чи матеріалу. Вони відіграють важливу роль у нормативно-правових актах. Результати якісного випробування можуть бути опосередковано використані при оцінюванні пожежної небезпеки електротехнічних виробів, але вони не підходять для безпосередньої підтримки результативності проєкту. Більшість стандартизованих методів випробувань, розроблених ІЕС для електротехнічних виробів, належать до якісних [2, 52]. В рамках переліку обладнання, змодельованого в ЙАБ 1-го рівня, розташованого в пожежному секторі СОТС, наведено витяг в таблиці 5.1. У таблиці також наведені результати якісного аналізу стійкості цього обладнання стосовно впливу пожежі. Послідовність детального аналізу пожежного сектора СОТС:

- 1 Загальний опис пожежного сектора
- 2 Ідентифікація джерел загоряння в пожежному секторі і відсів
- 3 Сценарії розвитку пожежі
- 4 Поширення пожежі за межі сектора
- 5 При наявності, розгляд наступно сектору за кроками 1-4
- 6 Результати детального аналізу пожежних секторів
- 7 Кількісне оцінювання
  - 7.1 Опис вхідних даних для аналізу аварійних послідовностей
    - 7.1.1 Частоти вихідної події аварії (ВПА)
    - 7.1.2 Базові події
  - 7.2 Аналіз надійності персоналу
    - 7.2.1 Методологія
    - 7.2.2 Ідентифікація дій персоналу
    - 7.2.3 Включення подій з ОП в модель ЙАБ для коду SAPHIRE
    - 7.2.4 Кількісна оцінка ЙАР і перегляд значень ЙАР
    - 7.2.5 Аналіз залежностей
  - 7.3 Результати попередньої кількісної оцінки
  - 7.4 Результати кількісної оцінки

#### 7.4.1 Загальний опис

#### 7.4.2 Частота пошкодження активної зони. Внесок ВПА

#### 7.4.3 Частота пошкодження активної зони. Внесок пожежних секторів у ЧПАЗ

#### 7.4.4 Частота пошкодження активної зони. Внесок пожежних відсіків у ЧПАЗ

#### 7.4.5 Домінантні аварійні послідовності

#### 7.4.6 Аналіз доміантних мінімальних перетинів

#### 7.4.7 Аналіз значущості

#### 7.4.8 Аналіз невизначеності

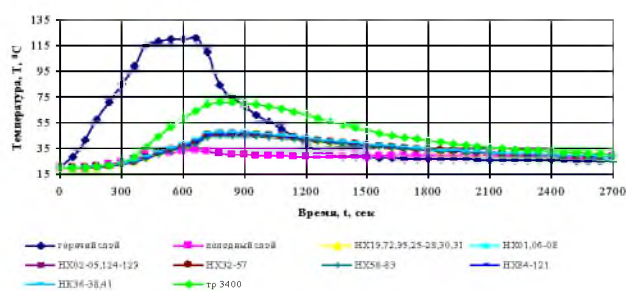
#### 7.4.9 Аналіз чутливості

### 8 Загальні висновки та рекомендації

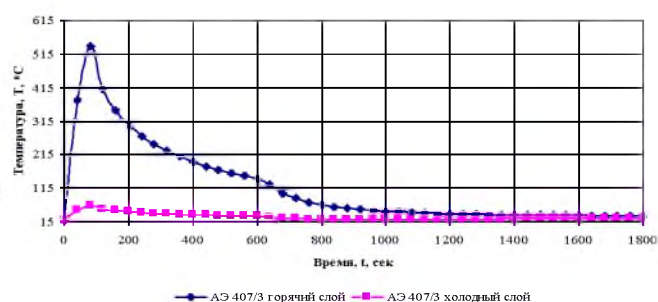
1. До складу пожежного сектора СОТС входять приміщення УКТС 3-ї системи безпеки: два приміщення щитів, приміщення: акумуляторних батарей, кислотна, тамбури, вентиляторів системи UV-31, ВАКС, АКНП, автономних кондиціонерів системи UV07, кабельне приміщення, два приміщення кабельного поверху, розподільного пристрою, кабельні шахти, два приміщення збірок освітлення і приміщення вентиляторів системи UV-23, розташовані на відмітках + 13.20 ÷ + 20.40 негерметичної частини реакторного відділення. Детальний опис основного обладнання, змодельованого в ЙАБ 1-го рівня, наведено в [7]. За результатами визначення пожежних відсіків пожежний сектор СОТС розбитий на 19 пожежних відсіків. У межах розглянутого пожежного сектора приміщення, складові окремі пожежні відсіки, розділені між собою залізобетонними стінами завтовшки 300 ÷ 600 мм, які забезпечують вогнестійкість більше 1.5 години. Детальні дані про межі приміщень, що входять в пожежний сектор, і їх характеристики, а також про наявність і розташування дверей, отворів, проходок та перелік іншого значного обладнання, розташованого в пожежному секторі СОТС, наведено в [142]. Його аналіз повинен постійно підтримуватися, і, де це необхідно, продовжувати розвиватися.

2. Ідентифікація джерел загоряння в пожежному секторі СОТС і відсів виконаний за аналізом всіх потенційно небезпечних джерел загоряння,

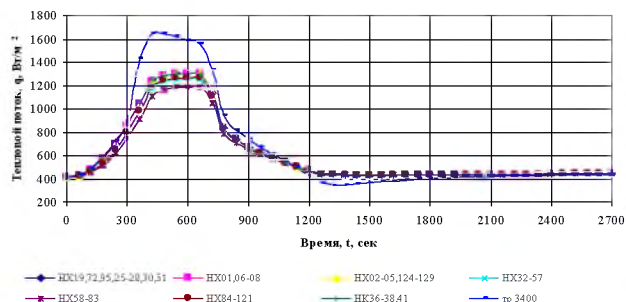
розташованих в пожежному секторі. Крім того, для всіх джерел загоряння, які є потенційними ініціаторами пожеж, наведено в Таблиці 5.1 основні результати якісного і кількісного відсіву. Приклад графічних результатів розрахункового аналізу виникнення загоряння в межах сектора СОТС, виконаного за допомогою коду CFAST [143], представлено на рис. 5.1 – 5.2.



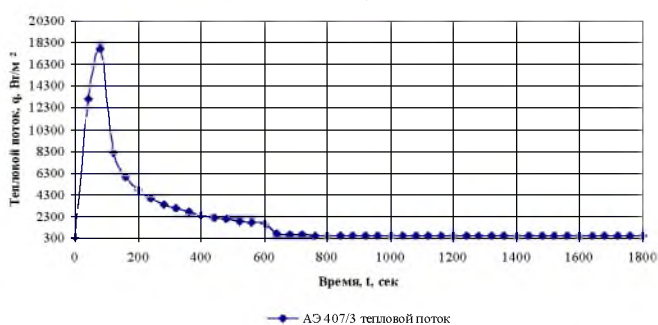
а)



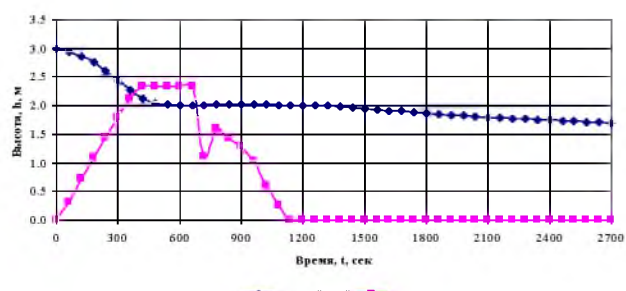
а)



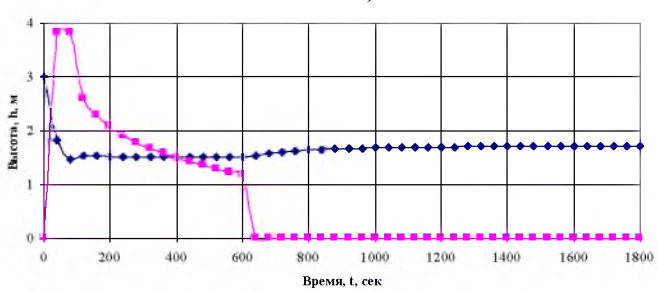
б)



б)



в)



в)

Рисунок 5.1 – Графічні результати розрахункового аналізу при горінні базової шафи УКТС: а) температура, б) тепловий потік; в) висота полум'я

Рисунок 5.2 – Графічні результати розрахункового аналізу при горінні акумуляторної батареї: а) температура, б) тепловий потік; в) висота полум'я

Таблиця 5.1 - Результати ідентифікації і відсіву джерел загоряння для пожежного сектора СОРС

№	Пожежний відсік	Приміщення	Тип джерела	Технологічне маркування	Горюча речовина	Результат відсіву	Од.БПЯ ( $S_{sg}$ ) <sub>o</sub>	Коментар
1	RB-066-01	АЭ408/3	Шафа УКТС (базова)	НХ20-22, 25-28, 35-53, 55, 59, 69-81, 86-98, 100-106, 112-121	Ізоляція, з'єднувальні проводи	Критичне джерело, задовольняє критеріям кількісного відсіву	0	Значення температури і теплового потоку за результатами розрахунку CFAST не досягають критичних значень. Для аналізу наслідків розглядається пошкодження обладнання УКТС - джерела загоряння.
24	RB-066-05	АВ413/3	Кабелі в закритому кабельному коробі	Траса 3286	Кабельна ізоляція	Відсіяний якісно	0	Кабельний короб спеціального виконання, відповідає вимогам з пожежної безпеки та покритий вогнезахисним покриттям.
25	RB-066-06	А431/3	Кабелі в закритому кабельному коробі	Траса 3285	Кабельна ізоляція	Критичне джерело, задовольняє критеріям кількісного відсіву	0	Значення температури і теплового потоку за результатами розрахунку CFAST не досягають критичних значень. Для аналізу наслідків розглядається пошкодження кабеля - джерела загоряння.
27	RB-066-07	АЭ436/2	Кабелі в закритому кабельному коробі	Траса б/м	Кабельна ізоляція	Критичне джерело	1	Оскільки об'єкти ураження в приміщенні відсутні, то розглядається пошкодження джерела загоряння. Розрахунки виконані для визначення наслідків поширення пожежі за межі приміщення.
28	RB-066-08	АЭ429/2	Вертикальний кабельний пучок	Траса 3025	Кабельна ізоляція	Критичне джерело	1	Оскільки об'єкти ураження в приміщенні відсутні, то розглядається пошкодження джерела загоряння. Розрахунки виконані для визначення наслідків поширення пожежі за межі приміщення.



Розроблені [144] математичні моделі у вигляді систем лінійних диференційних рівнянь, які дозволяють визначити частоту (ймовірність) виникнення у перевищення гранично допустимих рівнів (ГДР) небезпечних факторів, застосовні і для визначення необхідної періодичності контролю стану безпеки СОТС [200].

Визначення частоти появи ГДР:

$$H = \frac{1}{2^m} \lambda_j \prod_{i=1}^m \theta_i^2 \lambda_{s,i} \quad (5.1)$$

де  $\lambda_j$  - параметр потоку появи ГДР в  $j$ -му елементі мережі;

$\lambda_{s,i}$  - параметр потоку відмов у  $i$ -му елементі СОТС;

$\theta_i$  - інтервал часу між профілактичними оглядами/періодичним ремонтом;

$m$  – кількість точок системи із можливою появою ГДР.

Визначена частота появи справджується для умов: інтервали часу між появою ГДР, а також інтервали часу між пошкодженнями елементів задовольняють експоненційним функціям розподілу ймовірностей із параметрами відповідно  $\lambda_j$  і  $\lambda_{s,i}$ , а також дотримується умова:  $\theta_i \cdot \lambda_{s,i} < 0,1$ .

Для формули (5.1) вводяться граничні умови:

- ГДР може набувати значень за межами допустимих лише в процесі експлуатації, тобто це малоімовірно у момент контролю;
- ГДР виявляються та усуваються лише в результаті контролю стану безпеки, при цьому вважається, що метод контролю абсолютно надійний.

У випадку встановлення однакової періодичності термінів профілактики і контролю параметрів якості, тобто для  $\theta_i = \theta$ ,  $i = \overrightarrow{1, m}$ , вираз (5.1) можна записати так:

$$H = \frac{1}{2^m} \lambda_j \theta^{2m} \prod_{i=1}^m \lambda_{s,i} \quad (5.2)$$

Ймовірність появи ГДР на протязі часу  $t$  можна виразити:

$$P(t) = 1 - e^{-H \cdot t} \quad (5.3)$$

Якщо  $H \cdot t < 0,1$ , то  $P(t) \cong H \cdot t$ , а при  $t=1$  рік отримаємо  $P(t) \cong H$ .

Запропонований підхід дозволяє проводити своєчасний контроль і виявляти потенційно небезпечні елементи СОТС в процесі експлуатації. Як наслідок, у них повинні бути проведені ремонт або заміна частин. На етапі введення в експлуатацію встановлюються паспортні дані конкретного елемента системи безпеки СОТС, які дозволяють періодично контролювати її стан із гарантуванням роботи без небезпечних режимів.

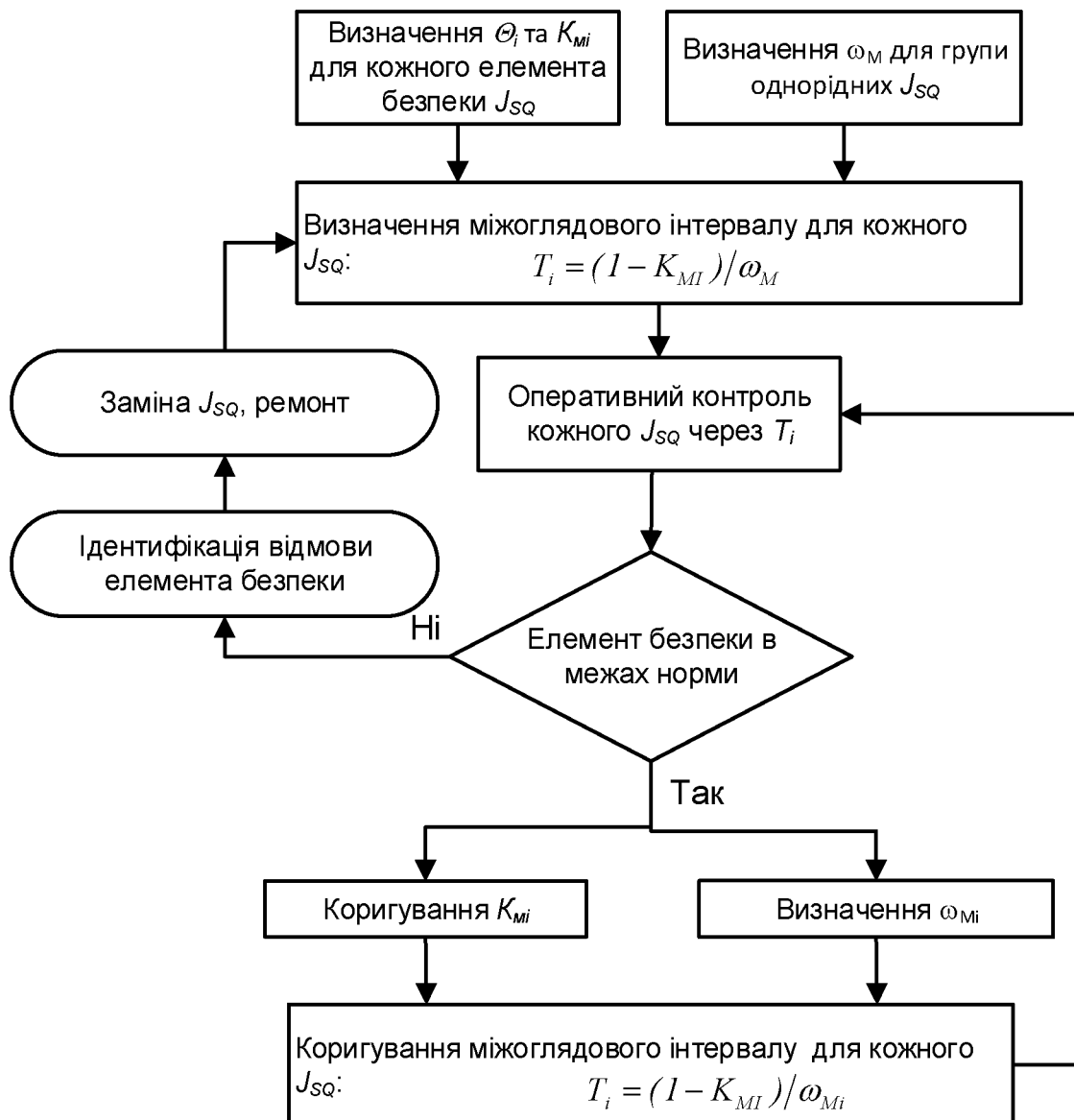


Рисунок 5.1 – Блок-схема алгоритму дотримання міжоглядового (контрольного) інтервалу для елементів систем безпеки СОТС

Запропонована методика при застосуванні необхідного технічного забезпечення [171], дозволяє своєчасно оцінювати показники якості матеріалів та монтажу елементів безпеки СОТС. Значення показників якості, наприклад, ймовірність пожежі від великих перехідних опорів, залежить від розміру опору

контактних з'єднань. При оцінюванні опору ізоляції найважливішим критерієм є ймовірність пожежі в електричних мережах до 1000В у результаті пробиття ізоляції і виникнення дугового короткого замикання. У загальному випадку повинна забезпечуватися ймовірність пожежі не вище нормованого значення.

## 5.2. Реалізація методу оцінювання ризику блискавки в системі управління безпекою

Порядкування ризиками згідно частини 2 ДСТУ ІЕС 62305 є застосовне до оцінювання ризику для будівлі (споруди) від спалахів блискавки до землі. Метою є створення процедури для оцінювання такого ризику. По обранні верхньої межі припускнуго ризику, ця процедура дозволяє добирати належні заходи захисту, придатні для зниження ризику до або нижче припускнуго рівня.

Електромагнетний імпульс блискавки (*lightning electromagnetic impulse LEMP*) усі електромагнетні впливи струму блискавки резистивними, індуктивними та ємнісними зв'язками, які створюють хвилі та електромагнетні поля [129].

Втрата (*loss*)  $L_x$  середній обсяг втрат (людей і товарів) як наслідок зазначеного типу пошкодження в результаті небезпечної події стосовно цінності (люди та товари) будівлі (споруди), яка має бути захищена [129].

Хвиля (*surge*) перехідні процеси, створені LEMP, що проявляються як перенапруга та/або надструм [129].

Ушкодження живих істот (*injury to living beings*) каліцтва або забиття людей або тварин електричним струмом напруги дотику та крокової напруги, спричинених блискавкою [129].

Збій електричних та електронних систем (*failure of electrical and electronic systems*) стійке пошкодження електричних та електронних систем через LEMP.

Ймовірність пошкодження (*probability of damage*)  $P_x$  ймовірність того, що небезпечна подія може заподіяти шкоду для будівлі (споруди), яка підлягає захисту, для вмісту цієї будівлі (споруди) внаслідок механічної, теплової, хімічної або вибухової дії блискавки [129].

Рівень блискавкозахисту (*lightning protection level*) LPL число, пов'язане з таким набором значень параметрів струму блискавки, який відповідає ймовірності того, що взаємопов'язані максимальні та мінімальні значення параметрів проектних значень не будуть перевищені за блискавки, яка станеться природним чином [129].

Струм блискавки є першоджерелом пошкоджень. Подані нижче джерела відрізняються точкою удару: S1: спалахи до будівлі (споруди), S2: спалахи поблизу будівлі (споруди), S3: спалахи до лінії, S4: спалахи поблизу лінії.

Блискавка може призвести до пошкодження залежно від характеристик будівлі (споруди), яка має бути захищена. Деякими з найважливіших характеристик є: тип конструкції, вміст і застосування, тип послуг та вжиті заходи захисту.

Для практичних застосувань цього оцінювання є корисним розрізнити три головні типи пошкоджень, які можуть виникати унаслідок спалахів блискавки: D1: ушкодження живих істот електричним струмом, D2: фізичні пошкодження, D3: відмова електричних та електронних систем.

Пошкодження будівлі (споруди) внаслідок ураження блискавкою може бути обмежено частиною будівлі (споруди) або вони можуть поширюватися на всю будівлю (споруду). До цього можуть бути втягнуті й прилеглі будівлі (споруди) або довкілля (приміром, хімічний або радіоактивний викид).

Кожен тип пошкодження, сам по собі або у поєднанні з іншими, може призвести до різних непрямих втрат у будівлі (споруді), що має бути захищена. Тип втрат, які можуть виникнути, залежить від характеристик будівлі (споруди) та її вмісту. Належить взяти до уваги такі типи втрат: L1: втрата людського життя (з каліцтвом включно); L2: втрата можливості надання громадських послуг; L3: втрата культурної спадщини; L4: втрата економічної цінності (будівля (споруда), її вміст та втрата активності).

Ризик,  $R$ , являє собою відносне значення ймовірних середньорічних втрат. Для кожного типу втрат, які можуть виникнути у будівлі (споруді), відповідний ризик має бути оцінений. Ризики, які оцінюються для будівлі: R1: ризик втрати людського життя (з каліцтвом включно); R2: ризик втрати

можливості надання громадських послуг;  $R_3$  ризик втрати культурної спадщини;  $R_4$ : ризик втрати економічної цінності.

Для оцінювання ризику,  $R$ , належить визначити та обчислити відповідні компоненти ризику (залежно від джерела та типу пошкоджень). Ризик,  $R$ , є сумою компонентів ризику. При обчисленні ризику компоненти ризику можуть бути згруповані в залежності від джерела пошкодження та від типу пошкодження.

Компоненти ризику, які належить розглядати для кожного виду втрат у будівлі (споруді): Ризик втрати людського життя  $R_1$ :

$$R_1 = R_{A1} + R_{B1} + R_{C1}^{1)} + R_{M1}^{1)} + R_{U1} + R_{V1} + R_{W1}^{1)} + R_{Z1}^{1)} \quad (5.4)$$

<sup>1)</sup> Лише для будівель (споруд) з ризиком вибуху, для лікарень з електроустаткуванням підтримування життя або інших будівель (споруд), де відмова внутрішніх систем негайно створює небезпеку для людського життя.

Ризик втрати можливості надання громадських послуг  $R_2$ :

$$R_2 = R_{B2} + R_{C2} + R_{M2} + R_{V2} + R_{W2} + R_{Z2} \quad (5.5)$$

Ризик втрати культурної спадщини  $R_3$ :

$$R_3 = R_{B3} + R_{V3} \quad (5.6)$$

Ризик втрати економічної цінності  $R_4$ :

$$R_4 = R_{A4}^{2)} + R_{B4} + R_{C4} + R_{M4} + R_{U4}^{2)} + R_{V4} + R_{W4} + R_{Z4} \quad (5.7)$$

Характеристики будівель (споруд) та можливі заходи захисту, що знижують компоненти ризику для будівель (споруд), розглянуті в [85, 198, 205, 213, 218].

Для порядкування ризиком повинна бути застосована наступна процедура:

- ідентифікація будівлі, що підлягає захисту, та її характеристик;
- ідентифікація всіх типів втрат у будівлі та відповідного ризику  $R$  ( $R_1 - R_4$ );
- оцінювання ризику  $R$  для кожного типу втрат  $R_1 - R_4$ ;
- оцінювання потреб у захисті шляхом порівняння ризику  $R_1, R_2$  та  $R_3$  з припускним ризиком  $R_T$ ;

– оцінювання економічної ефективності заходів захисту шляхом порівняння загальної суми втрат із застосуванням заходів захисту та без них.

У цьому випадку для оцінювання таких втрат має бути виконано оцінювання складових ризику  $R_4$ . У будівлі (споруді) повинні бути розглянуті: устаткування та установки у будівлі (споруді); вміст будівлі (споруди); присутність людей у будівлі (споруді) або назовні у межах відстані до 3 м від будівлі (споруди); оточення, на яке впливає пошкодження будівлі (споруди).

У принципі, для втрати економічної цінності (L4), якщо дані для цього аналізу не доступні, належить використовувати рекомендоване значення припускнуго ризику  $R_T = 10^{-3}$ .

**Процедура оцінювання потреб захисту від блискавки.** Відповідно до ДСТУ EN 62305-1:2012, належить розглянути ризики  $R_1$ ,  $R_2$  та  $R_3$  для оцінювання потреби у захисті від блискавки [126].

Для кожного ризику, який розглядається, належить виконати такі кроки:

- ідентифікація складових  $R_X$ , які складають ризик ;
- розрахунок визначених складових ризику  $R_X$ ;
- розрахунок загального ризику  $R$  (див. 4.3);
- визначення припускнуго ризику  $R_T$ ;
- порівняння ризику  $R$  з припускним значенням  $R_T$ .

Якщо  $R \leq R_T$ , захист від блискавки не є необхідним. Якщо  $R > R_T$ , належить вжити заходів захисту аби зменшити  $R \leq R_T$  для усіх ризиків, які стосуються відповідної будівлі (споруди). Процедуру оцінювання потреб у захисті подано на Рисунку 5.3.

Окрім потреби у захисті від блискавки будівлі (споруди), може бути корисним з'ясувати економічні переваги встановлення заходів захисту для зниження економічних втрат L4. Процедура з'ясування економічної ефективності захисту від блискавки вимагає:

- ідентифікації компонентів  $R_X$ , які складають ризик  $R_4$ ;
- розрахунку визначених складових ризику  $R_X$  за відсутності нових /додаткових заходів захисту;
- розрахунку річної вартості втрат для кожного з компонентів ризику  $R_X$ ;

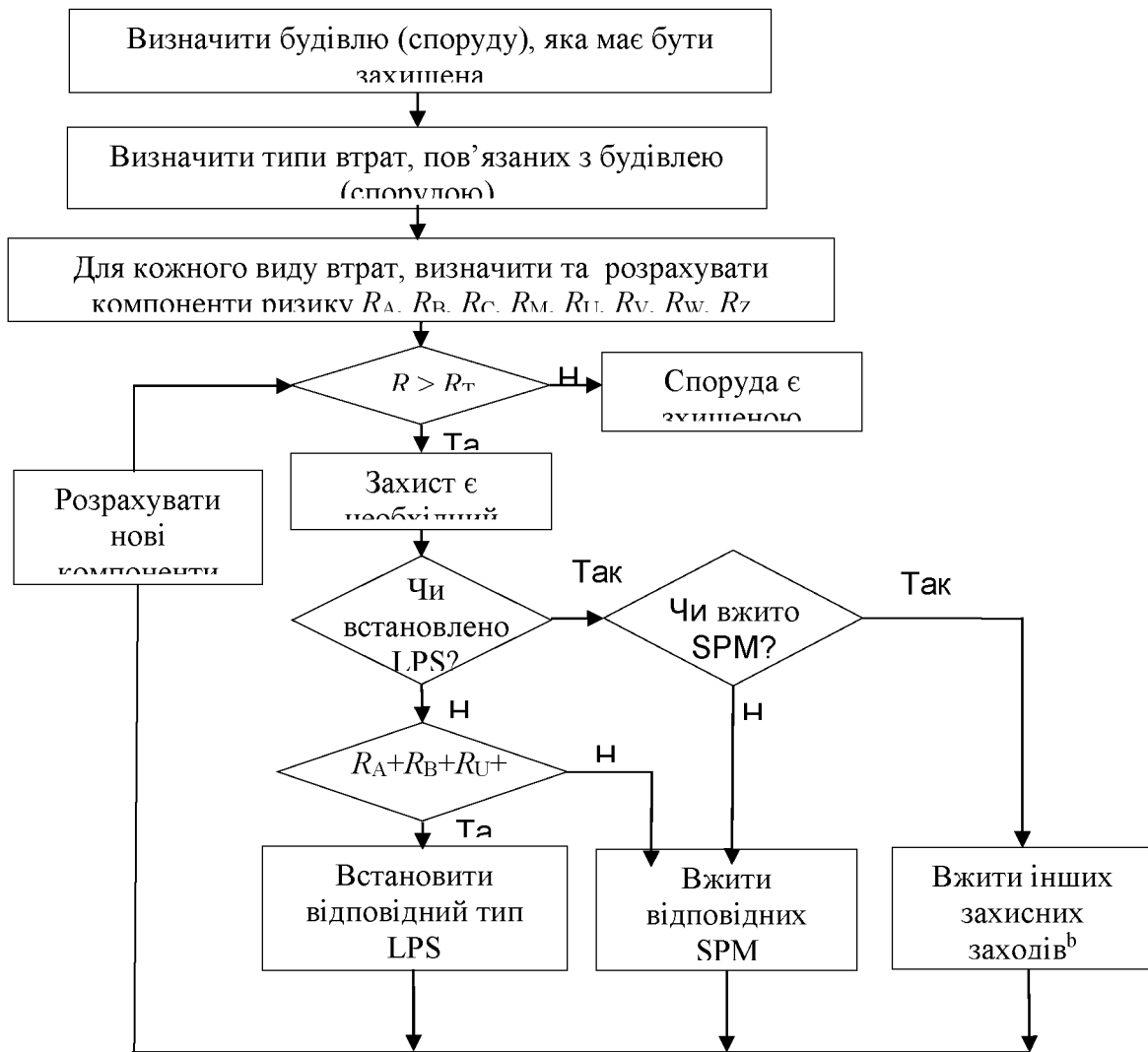


Рисунок 5.3 – Порядок визначення необхідності захисту та добору заходів захисту

- розрахунку річної вартості  $C_L$  загальних втрат за відсутності заходів захисту;
- прийняття вибраних заходів захисту;
- розрахунку складових ризику  $R_X$  за наявності обраних заходів захисту;
- розрахунку річної вартості залишкових втрат для кожного компоненту ризику  $R_X$  у будівлі (споруді), що захищається;
- розрахунку річної повної вартості  $C_{RL}$  залишкових втрат за наявності обраних заходів захисту;
- розрахунку річної вартості  $C_{PM}$  обраних заходів захисту;
- порівняння вартостей.

Заходи захисту спрямовані на зниження ризику відповідно до типу пошкодження. Заходи захисту слід вважати ефективними, лише якщо вони відповідають вимогам стандартів. Вибір найбільш придатних заходів захисту має бути здійснений проектувальником відповідно до частки кожного компоненту ризику у повному ризику  $R$  та техніко-економічних аспектів різних заходів захисту. Критичні параметри повинні бути ідентифіковані для визначення більш ефективних заходів щодо зниження ризику  $R$ .

Для кожного типу втрат існує ряд заходів захисту, які поодиноці або у поєднанні, створюють умову  $R \leq R_T$ . Прийняте рішення належить обрати з урахуванням технічних та економічних аспектів. Спрощену процедуру вибору заходів захисту подано на схемі послідовності дій Рисунок 5.4. У всякому разі, належить виявити найкритичніші компоненти ризику та зменшити їх, також беручи до уваги економічні аспекти.

### **5.3. Реалізація системи моделювання оцінювання ризик-орієнтованого підходу**

На процес евакуації мешканців при пожежі в будівлі впливають різні фактори. Більшість детермінованих факторів, які легко визначити кількісно, вивчені багатьма попередніми дослідженнями [11-15, 59, 106, 219]. Наслідки, на які впливають лише ці фактори, можна передбачити та уникнути на початку. Однак, за даними багатьох досліджень, виникнення та розвиток аварії, як правило, сповнені невизначеності. Деякі математичні методи використовуються для опису значення невизначених параметрів у процесі обчислення безпечного часу виходу згідно з вимогами та доступного безпечного часу виходу. Метод аналізу нечіткою логікою використовує функцію складу для вирішення цих проблем, але складно визначити ступінь складності. Інтервальний аналіз є досить грубим методом, який використовує числовий інтервал, що включає верхню та нижню межі для опису невизначеності. Тоді як імовірнісний метод найпоширеніший [116]. Оскільки ймовірнісна функція повністю заснована на вихідних даних, то і наслідки, які функція передбачає, будуть найближчими до реальних умов.



Згідно з дослідженням щодо поведінки втечі присутніх у Світовому торговому центрі [12], незважаючи на те, що структура будівлі, засоби протипожежного захисту та інші умови були однаковими в обох вежах, час евакуації мешканців цих двох будівель суттєво відрізнявся. Було зроблено висновок, що час до початку руху може бути виражений імовірнісним розподілом замість постійної величини. Більше того, був встановлений метод оцінки ризику для евакуйованих під час пожеж у будівлях для отримання результатів часу евакуації, на які впливали змінні. В даний час створено багато видів розрахункових моделей, які довели свою ефективність у деяких умовах. Однак два основні елементи, які відіграють вирішальну роль у процесі евакуації, час перед евакуацією та час руху, досить складно описати та розрахувати [13].

Завдяки множині досліджень та аналізу евакуації людей під час пожеж, час перед початком руху в евакуації може бути описаний нормальним розподілом (Гауса), логнормальним розподілом та розподілом Вейбулла. нормальний розподіл говорить про рівну імовірність для відхилення значень змінної нагору чи вниз. У той же час на практиці, наприклад, має місце зношування, що підвищує ризик, а також сама тимчасова сутність БПЯ: значення БПЯ сьогодні менше, ніж учора, але більше, ніж значення БПЯ завтра. Щодо цього крива логнормального розподілу завжди додатня і має правобічну скошеність (асиметрично), тобто вона вказує на велику імовірність відхилення ризику вгору.

$$f_X(x) = \begin{cases} \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-(\ln x - \mu)^2 / 2\sigma^2}, & x > 0 \\ 0, & x \leq 0 \end{cases} \quad (5.8)$$

де . Тоді має логнормальний розподіл з параметрами  $\mu$  і  $\sigma$  записується: .

Крім того, час руху може бути розумно передбачений підходом розрахунку потоку. У процесі пожежного проектування можна надати значення умов часу перед евакуацією та часу руху. Але в моделях слід враховувати більше параметрів через складну будівельну конструкцію. Як важливий критерій безпеки евакуації мешканців, доступний безпечний час виходу також залежить від багатьох видів змінних, пов'язаних із зростанням пожежі. З розвитком пожежі

деякі фактори стану, такі як швидкість виділення тепла, концентрація диму та надійність виявлення пожежі, будуть відігравати вирішальну роль у розрахунку доступного безпечного часу виходу. Більше того, такі фактори мають очевидну невизначеність і не можуть бути визначені як інваріантні константи. Тому симуляційний підхід широко застосовувався для вивчення невизначеного впливу деяких параметрів на результати розрахунків та доведено його ефективність [54]. Для аналізу невизначеності в процесі обчислення доступного безпечного часу виходу був прийнятий метод, заснований на відборі проб латинського гіперкуба, і найвпливовішими факторами були зроблені швидкість зростання пожежі та положення пожежних сповіщувачів [54]. Тоді результати розрахунків наближаються до реальних умов, а аналіз ризиків безпечної евакуації мешканців є більш точним.

Поняття надійності вперше було введено в область безпечної евакуації [96]. Крім того, для кількісної оцінки рівня евакуації пасажирів використовувались індекс надійності та ймовірність відмов, а критерієм для завершення евакуації в будівлі є менше значення безпечного часу виходу згідно з вимогами, ніж доступний безпечний час виходу.

Відповідно до вищезазначених теорій, зв'язок між показником часу та невизначеними факторами є нелінійним, хоча проблеми інтегрованих обчислень вдається уникнути за допомогою методу Монте-Карло. Можна досягти великої кількості наборів, а також витрати часу можна скоротити за допомогою комп'ютерних технологій.

Модель тестують кілька разів, використовуючи випадкові числа, щоб отримати вихідні дані моделі (імітування системи). Коли застосування полягає в моделюванні впливів невизначеності, то модель подають у формі рівняння, яке відображає взаємозв'язок між вхідними параметрами та вихідними даними. Значення, які вибирають для вхідних даних, базуються на відповідних розподілах імовірності, які відображають характер невизначеності для цих параметрів. В усіх випадках за допомогою комп'ютера модель застосовують багато разів (найчастіше від 10 000 разів) з різними вхідними даними та одержують численні вихідні дані. Використовуючи звичайні статистичні методи,

ці результати може бути опрацьовано, щоб одержати таку інформацію, як, наприклад, середні значення, стандартний відхил, довірчі інтервали. Перевагою імітаційного моделювання методом Монте-Карло є те, що метод можна застосовувати за будь-якого розподілу вхідної змінної, охоплюючи емпіричні розподіли, виведені зі спостережень за суміжними системами. Однак є недоліки:

- спирається на спроможність зображати невизначеності параметрів переконливим розподілом;
- великорозмірні та складні моделі можуть завдавати труднощів спеціалісту з моделювання та утруднювати участь у процесі зацікавлених сторін;
- метод може неадекватно розрізнити важливі наслідки та малоїмовірні події і, тому, не давати змоги відображати в аналізі готовність організації до ризику.

Вплив швидкості зростання вогню. Змодельовано  $10^6$  евакуацій за результатами яких отримано залежність  $P_f$  (часу евакуації від ступеня розвитку пожежі  $\text{kW/s}^2$ ).

Швидкість зміни ймовірності відмов із збільшенням темпу зростання вогню, коли щільність населення на високому рівні (1,2 чол. /  $\text{m}^2$ ), незалежно від того, наскільки великою є амплітуда варіації швидкості росту вогню, є найменшою. Тобто при певному темпі зростання вогню зміна ймовірності відмов, що відповідає високій щільності, менша, ніж у будь-якої іншої щільності. Причина в тому, що безпеці евакуації людей загрожує головним чином скупчення людей, а не зростання вогню, коли щільність висока. У цьому стані зростання швидкості вогню не є критичним фактором і майже не впливає на евакуацію мешканців. Тож ступінь впливу на наслідки зменшилась.

Аналіз чутливості вибору. Згідно з базовою теорією методу Монте-Карло, обчислення ймовірності відмов пов'язане з обсягом вибірки. Коли кількість вибірок змінюється, це вплине на процес моделювання. Для того, щоб визначити ступінь впливу вибору на вибір, був проведений аналіз чутливості. Очевидно, коли місткість вибірки менше  $3,0 \times 10^4$ , результати моделювання чутливі до розміру вибірки. Ймовірність відмови сильно коливається між 0,022 і 0,030, і, звичайно, в таких умовах моделювання є неточним. Однак, коли обсяг вибірки

досягає  $3,0 \times 10^4$  або більше, ймовірність є нечутливою до обсягу та стабільною на рівні 0,026. Отже, коли обсяг вибірки є досить великим, результати моделювання можна вважати ефективними.

Евакуація людей, що мешкають у будівлях, є найважливішим питанням у сфері громадської безпеки, і на результати можуть впливати різні фактори. За даними багатьох досліджень та аналізів багато факторів мають очевидну невизначеність [11-14, 29]. З метою кількісної оцінки невизначеності та застосування її в інженерному проектуванні була створена модель ймовірності відмов евакуації мешканців на основі теорії надійності, яка поєднувала два критичні показники: доступний безпечний час виходу та безпечний час виходу згідно з вимогами. Потім була розрахована та проаналізована шляхом відбору проб у Монте-Карло ймовірність відмови евакуації під впливом різних факторів.

Основні висновки про рівень безпеки евакуації мешканців у будівлях можна оцінити за моделлю ймовірності відмов. У порівнянні з іншими методами, що описують результати евакуації, ця модель враховує кількість вихідних даних та має вищу точність. Темпи зростання вогню та щільність людей мають великий вплив на результати евакуації. Ступінь впливу на ймовірність відмови різних параметрів може бути змінена. І коли параметр піднімається до граничного значення, ступінь впливу інших параметрів буде на низькому рівні.

Узагальнюючи реалізацію оцінювання безпеки СОТС, для її проведення здійснюється поділ на підсистеми безпеки як поєднання груп, що складаються з  $j_k$  уніфікованих елементів. Кожна комбінація  $n$  повинна відповідати  $i_k$  нормативних вимог, відповідно до яких забезпечується її нормальна робота. Позначимо стандартне значення вимог до елемента як  $b_{ki}^N$ , де  $k$  - номер групи елементів,  $i$  - номер вимоги до елемента цієї групи. Нормативні вимоги до кожного елемента системи безпеки подані у формі багатокомпонентного вектора  $\bar{B}_k^N = \{b_{k1}^N, b_{k2}^N, \dots, b_{ki}^N\}$ .

Експертним методом кожній вимозі  $b_{ki}^N$  визначають значення вагового коефіцієнта  $q_{ki}$ , що характеризує рівень значущості цієї вимоги ( $0 \leq q_{ki} \leq 1$ ) [18, 52, 104]. Сума вагових коефіцієнтів залежить від умови  $\sum_{i=1}^{i_k} q_{ki} = 1$ . Вагові

коефіцієнти  $q_{ki}$ , що відповідають кожній векторній складовій  $\overline{B}_k$ , також представлені компонентами векторів  $\overline{Q}_k = \{q_{k_1} q_{k_2} \dots q_{k_{i_k}}\}$

У результаті проведеного аудиту визначаються фактичні значення параметрів елементів групи, що включають підсистему життєзабезпечення СОТС. За допомогою порівняння  $b_{ki}^F$  фактичних значень реалізації і-ї вимоги та вимоги до j-го елемента k-ї групи з нормативним вимогою  $b_{ki}^N$ , їх співвідношення  $v_{kij} = b_{ki}^F / b_{ki}^N$  або  $b_{ki}^N / b_{ki}^F$  розраховуються, показуючи ступінь близькості фактичного значення параметра до значення вимоги.

Характеристики  $v_{kij}$  змінюються від 0 (повна невідповідність фактичного параметра до вимог нормативних документів) до 1 (повна відповідність). Розраховуючи коефіцієнти, слід враховувати наступне:

- якщо нормативне стандартне значення подано у вигляді рівності, то характеристики  $v_{kij}$  приймаються рівними 1, коли фактичне значення параметра задовольняє цю рівність;
- якщо стандартне значення параметра є фіксованим, то характеристики  $v_{kij}$  приймаються рівними 1 (0), коли фактичне значення дорівнює цьому значенню (не дорівнює);
- у деяких випадках, коли числове фактичне значення параметра відрізняється від нормативного, значення характеристик  $v_{kij}$  слід приймати рівним нулю (коефіцієнт вето);

• якщо нормативна вимога до структури якісна (так/ні), то характеристики  $v_{kij}$  рівні 1 (0), коли нормативні та фактичні вимоги рівні (протилежні) за значенням.

Подібно до вектора  $\overline{B}_k^N$ , введемо вектори, які складаються з характеристик:  $\overline{v}_{kj} = \{v_{k_1j} v_{k_2j} \dots v_{k_{i_k}j}\}$ . Визначимо показник елементарного стану підсистеми життєзабезпечення як скалярний добуток векторів  $K_{kj} = \overline{v}_{kj} \overline{Q}_k = v_{k_1j} q_{k_1} + v_{k_2j} q_{k_2} + \dots + v_{k_{i_k}j} q_{k_{i_k}}$ .

Тоді, якщо група складається з  $j_k$  уніфікованих елементів, стан яких оцінюється за показниками  $K_{kj}$ , показник стану всієї групи визначається як середнє арифметичне показників елементів групи:  $K_k = (K_{k_1} + K_{k_2} + \dots + K_{k_{j_k}}) / j_k$ .

Оцінюючи зважування групи елементів підсистеми з вектором  $\bar{Q}_s = \{q_1 q_2 \dots q_k\}$ , складові якого задовольняють умові  $\sum_{n=1}^k q_n = 1$ , отримуємо індикатор цього стану підсистеми  $K_s$ , який визначається скалярним добутком векторів параметрів груп  $\bar{V}_s = \{K_1 K_2 \dots K_k\}$  та ваговим вектором групи  $\bar{Q}_s$ .

$$K_s = \bar{V}_s \bar{Q}_s = K_1 q_1 + K_2 q_2 + \dots + K_k q_k \quad (5.9)$$

Подібним чином розраховуються показники стану інших підсистем безпеки СОТС.

Вводячи вектор вагової підсистеми  $\bar{Q} = \{q_{s_1} q_{s_2} \dots q_{s_t}\}$ , компоненти якої задовольняють умові  $\sum_{r=1}^t q_{sr} = 1$ , де  $\epsilon$  зважування  $r$ -ї підсистеми в системі безпеки СОТС,  $t$ -кількість підсистем, визначимо стан системи безпеки СОТС як скалярний добуток векторів  $\bar{Q}$  та  $\bar{K} = \{K_{s_1} K_{s_2} \dots K_{s_t}\}$ :

$$K_{ss} = \bar{Q} \bar{K} = K_{s_1} q_{s_1} + K_{s_2} q_{s_2} + \dots + K_{s_t} q_{s_t} \quad (5.10)$$

Таким чином, побудована багаторівнева шкала показників стану системи безпеки СОТС, що включає характеристики елементів підсистеми, самих підсистем, системи в сукупності тощо. Завдяки структуруванню показників можна проводити порівняння як територіально, так і за відомчою належністю, а також порівнювати зміни стану системи. Запропоновані показники та метод їх розрахунку сприятиме розвитку кваліметрії рівнів безпеки різних видів діяльності у містах та оптимізації управління безпекою СОТС.

#### **5.4. Оптимізація діяльності з оперативного визначення безпеки та підвищення ефективності функціонування інформаційної системи моніторингу безпеки**

Більшість індивідуальних та соціальних потреб задовольняються містом, багаторівневою природною та соціально-економічною територіальною

системою, в рамках якої відбуваються взаємопов'язані процеси зовнішнього та внутрішнього забезпечення життєдіяльності населення.

Сучасні міста мають складну інфраструктуру, яка забезпечує умови для ведення домашнього господарства, роботи та відпочинку. Міська система життєзабезпечення складається з ряду взаємодіючих підсистем, що виконують функції, що відповідають певним умовам взаємодії. Таким чином, міську систему життєзабезпечення можна визначати як багатофункціональну територіально розподілену структуру (TDS) [201,202].

Пошкодження будь-якої підсистеми в результаті зовнішнього впливу або відмови може призвести до несправності всієї системи життєзабезпечення та призвести до небажаних наслідків для населення. Прогнозування результатів пошкодження системи життєзабезпечення є важливим завданням при плануванні заходів із забезпечення безпеки міського середовища.

При вирішенні проблем безпеки територіально розподілена структура розглядається як єдине утворення, об'єднане спільним кордоном або відповідно до адміністративного поділу, або на основі функціональних цілей. Загалом, воно включає ряд складових, як правило, різних за характеристиками, цілями, значенням [224]

Аналіз інфраструктури міста дозволяє детально вивчити проблемні питання, які стосуються пожежної та техногенної безпеки.

Геопортал та його картографічне зображення інформації дозволить керівнику оперативно-рятувального підрозділу під час слідування до місця виникнення надзвичайної ситуації знайти необхідну інформацію для ефективного виконання рятувальних робіт та оцінити можливі ризики.

Створення і моделювання в базі даних порталу карт шляхів дозволить прогнозувати транспортні ділянки та розв'язки, які є особливо небезпечними і на які з них слід звернути увагу, а також для прогнозування заторів на дорогах. За допомогою картографічного редактора можемо створювати не лише існуючі об'єкти, а й будівлі та шляхи, які лише плануються для будівництва, це може допомогти для визначення можливих небезпек та вплив майбутньої споруди на

навколишню інфраструктуру. Інтерфейс програмного забезпечення MicroGisEditor дозволяє корегувати та налаштовувати меню.



Рисунок 5.5 – Схема організації роботи геопорталу (а) та приклад роботи аналітичного модуля для прогнозування ризику смерті від пожежі у житлових будинках у місті Львові (б)

Картографічне зображення дозволить керівнику пожежно-рятувального підрозділу під час слідування до місця пожежі визначити можливі місця для здійснення водозабору, визначити групу житлового будинку за допомогою графічного інтерфейсу Геопорталу [51, 78-79, 137, 192]. Визначити чи є можливість поширення надзвичайної ситуації на інші об'єкти в тому числі і на потенційно-небезпечні об'єкти та об'єкти підвищеної небезпеки. Система Геопортал має можливість роботи з великою кількістю відкритих картографічних сервісів, що дозволяє в онлайн режимі визначити наявність заторів на дорогах та інші обмеження швидкостей на дорогах та створює можливість визначити оптимальний та найкоротший маршрут руху. За допомогою трекера який знаходиться на автомобілі диспетчер оперативної служби може стежити за пересуванням оперативного підрозділу та за допомогою Геопорталу в онлайн режимі корегувати маршрут руху. Використовуючи єдину базу даних, система Геопорталу надає можливість формувати базу даних об'єктів у вигляді тематичних карт на фоні картографічної основи, зокрема: лінійних, площинних, точкових, 3D



моделей будинків і територій. За об'єктами (наприклад: висотний будинок, будівля з масовим перебуванням людей, потенційно небезпечний об'єкт, об'єкт підвищеної безпеки та ін.) може бути закріплена інформація будь-якого типу (картки пожежогасіння, плани, оперативно-тактична характеристика будівель та ін.). Закріплена інформація може бути текстова, графічна, відео та аудіо. 3D моделювання місцевості дозволяє віртуально оглянути об'єкт.

Геопортал підтримує різні аналітичні модулі, які можна використовувати для: розрахунку пожежної безпеки об'єктів, передбачення можливих небезпечних зон хімічно небезпечних речовин на об'єктах високої безпеки тощо. Наприклад, на рис. 5.5, б, наведено застосування при оцінюванні одиничних індивідуальних показників безпеки аналітичний модуль для прогнозування ризику смерті від пожежі у житлових будинках у місті Львові.

Таким чином, запропонована структура Геопорталу дозволяє рятувальнику, що приймає рішення, комплексно оцінити обстановку, як під час слідування так, і в ході запобігання та ліквідації надзвичайної ситуації, що дозволить підвищити ефективність рятувальних заходів.

Визначення і рубрикація заходів щодо забезпечення охорони життя і здоров'я населення, охорони навколишнього середовища, а також формулювання необхідних для їх реалізації вимог постає перспективним етапом роботи.

## **Висновки до розділу 5**

Результати досліджень, які стосуються реалізації запропонованих підходів для оцінювання безпекового показника якості та стандартизації їх методик на підставі розв'язку оптимізаційних задач щодо підвищення ефективності функціонування систем безпеки СОТС.

Розроблені математичні моделі у вигляді систем лінійних диференціальних рівнянь, які дозволяють визначити частоту (ймовірність) виникнення у перевищення гранично допустимих рівнів (ГДР), застосовні і для визначення необхідної періодичності контролю стану безпеки СОТС.

Запропонована модель оцінювання результативності системи безпеки СОТС, заснована за трьома ієрархічними рівнями показників: комплексний,

групові та одиничні, при цьому показники з нульовим значенням компенсуються впливом інших і дають значущу оцінку. Для отримання комплексної оцінки результативності значення групових показників перемножують, що дає її вірогідність та адекватність, оскільки у випадку рівності нулю одного з групових показників функціонування системи безпеки є нерезультативним.

У роботі застосовано анкету експертного оцінювання комплексного показника результативності системи безпеки нафтоперекачувальної станції та алгоритм оцінювання відповідності системи безпеки СОТС за показниками результативності.

Результати досліджень показали придатність методів до аналізу ризику враження блискавкою в загальній оцінці системи безпеки СОТС.

Запропонований підхід визначення частоти появи гранично допустимого рівня значення БПЯ елемента системи безпеки СОТС дозволяє проводити своєчасний контроль і виявляти потенційно небезпечні елементи СОТС в процесі експлуатації. Як наслідок, у них повинні бути проведені ремонт або заміна частин. На етапі введення в експлуатацію встановлюються паспортні дані конкретного елемента системи безпеки СОТС, які дозволяють періодично контролювати її стан із гарантуванням роботи без небезпечних режимів.

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено актуальну науково-прикладну проблему, яка полягає у створенні системи оцінювання безпеки складних організаційно-технічних систем кваліметричними методами з урахуванням ризиків. Проведені у дисертаційній роботі дослідження стосовно розроблення теоретичних, технічних, організаційних, методичних та нормативних засад для проведення такого оцінювання, дали можливість отримати наступні наукові та практичні результати.

1. Проведеним аналізом міжнародних та національних вимог законодавчих та нормативних документів щодо оцінювання стану безпеки СОТС встановлено співвідношення та ієрархію систем стандартизації вимог безпеки, управління ризиками, кваліметричних методів і засобів отримання параметрів безпекових показників якості. На підставі аналізу національних та зарубіжних наукових публікацій визначено нові підходи до наукового обґрунтування методу комплексного оцінювання рівня безпеки складних організаційно-технічних систем.

2. Запропонована математична модель визначення числових характеристик стану безпеки об'єкта з врахуванням оцінювання ризику дозволяє удосконалити послідовність отримання оцінки стану безпеки СОТС.

3. Запропонований метод кількісного оцінювання безпеки дозволяє застосувати систему залежностей між різнорозмірнісними показниками небезпек та їх оцінками на безрозмірнісній шкалі, з врахуванням важливості небезпечного чинника залежно від оцінки ризику. Визначено числові характеристики оцінок безпекових показників та запропоновано обґрунтування вибору управлінських дій для зниження рівня ризику.

4. Запропоновано методику вибору параметру форми залежності матриці безпекових показників, зважаючи на ступінь негативного впливу небезпечного чинника.

5. Запропоновано метод визначення показника безпеки роботи персоналу СОТС в залежності від енергії випромінювання, часу впливу і відстані між джерелом випромінювання та об'єктом.

6. Розвинуто методологію отримання нормативного оцінювання якості на основі безпекового підходу (кваліметрія безпеки), яким доведено доцільність аналізу оцінюваних СОТС за рівнем ризику, що дає підвищення ефективності оцінювання якості.

7. Результати виконаних теоретичних і експериментальних досліджень можуть знайти застосування при модернізації інфраструктури якості в системі технічного регулювання; на підприємствах та установах під час оцінювання їх продукції, послуг та систем управління, підвищенні результативності оцінювання безпеки.

8. За запропонованим визначенням рівня точності оцінювання безпеки СОТС, сумісного з точністю використання даних і методів аналізу визначається ефективність витрат на вибір методу оцінювання чи на покращення засобів безпеки СОТС.

9. Запропонований метод оцінювання безпеки об'єктів кваліметрії з безпосередньою участю користувача на основі геоінформаційних інструментів забезпечує ефективне функціонування інформаційної системи моніторингу безпеки СОТС. Запропоновані та науково-обґрунтовані принципи досягнення фахової компетентності у підготовці освітніх програм з оцінювання ризику блискавки, інжинірингу пожежної безпеки.

10. Розроблено концепцію експрес-контролю показників безпеки СОТС (типу «чек-лист») та визначено шляхи їх нормування, що сприяє підвищенню ефективності функціонування інформаційної системи моніторингу безпеки. Запропонована оптимізована інфраструктура якості з додаванням елементів, які перебувають у сфері впливу владних органів і фахових об'єднань, яка формує об'єктивну та вірогідну інформацію щодо безпеки СОТС.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Amundrud O., Aven T., Flage R. How the definition of security risk can be made compatible with safety definitions. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part O: Journal of Risk and Reliability*. 2017;231(3):286-294. doi:10.1177/1748006X17699145.
2. Arastu, A., Tom, E. Transient Analysis of Fire Protection System at a Nuclear Power Plant Using Computer Code USLAM. *Proceedings of the 2018 26th International Conference on Nuclear Engineering. Volume 2: Plant Systems, Structures, Components, and Materials; Risk Assessments and Management*. London, England. July 22–26, 2018. V002T03A036. ASME.
3. Aven T. A unified framework for risk and vulnerability analysis and management covering both safety and security. *Reliab Eng Syst Safe* 2007; 92: 745-754.
4. Aven T. *Risk, surprises and black swans*. New York: Routledge, 2014.
5. Aven T. How to define and interpret a probability in a risk and safety setting. *Safety Sci* 2013; 51: 223–231.
6. Babrauskas V., *Fire Science Applications to Fire Investigations*, Interscience Communications Ltd, London, 2014.
7. В.Г. Бар'яхтар, Створення надійної системи радіаційної безпеки, URL: <http://ukurier.gov.ua/uk/news/stvorennya-nadijnoyi-sistemi-radiacijnoyi-bezpeki/>.
8. Bernard Wiśniewski, Gerard S. Sander Threat, Crisis and Critical Situation – Contemporary Determinants of Modern Man's Living Conditions *BiTP* Vol. 41 Issue 1, 2016, pp. 13–18 DOI: 10.12845/bitp.41.1.2016.1.
9. Bondarenko I. V., Kutnyashenko O. I., Rudyk Yu. I., Solyonyj S. V. Modeling the efficiency of waste management. *News of National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences*. 2019. Vol. 2, № 434. P. 120–130.
10. Bondarenko I., L. Anischenko, Y. Rudyk, Substantiation for enhancement of environmental safety of waste management systems through forecasting efficiency, *Bulletin of Lviv State University of Life Safety*, vol. 16, pp. 119-128, Feb. 2018.
11. Cafiso S. D'Agostino C. A stochastic approach to the benefit cost ratio analysis of safety treatments. *Case Studies on Transport Policy*. 2018. DOI:8. 10.1016/j.cstp.2018.07.006.
12. Charters D., et al. Preliminary Analysis of the Number of Occupants, Fire Growth, Detection Times and Pre-movement Times for Probabilistic Risk Assessment, *Fire Safety Science* 7, p. 357, 2003.

13. Chen H. Mao Z. Study on the failure probability of occupant evacuation with the method of Monte Carlo sampling *8th International Conference on Fire Science and Fire Protection Engineering (on the Development of Performance-based Fire Code)* Procedia Engineering 211 (2018) 55–62.
14. Chu G. Q., Sun J. H., Pre-evacuation Time for Occupants and Its Effect on Fire Risk Assessment, *Journal of Safety and Environment* 5, 2005. p. 102.
15. Cox L.A. Some limitations of ‘risk = threat X vulnerability X consequence’ for risk analysis of terrorist attacks. *Risk Anal* 2008; 28: 1749-1761.
16. Biggeri M., Mauro V. Towards a more ‘Sustainable’ Human Development Index: Integrating the environment and freedom, *Ecological Indicators*, V. 91, 2018, P. 220-231.
17. Dominik A.M., Rudyk Yu.I. Considering of Temperature Component Parameters by Metrological Characteristics of Safety Production, *XVI International Conference Physics and Technology of Thin Films and Nanosystems (dedicated to memory Professor Dmytro Freik)*. Materials. Ed. by Prof. Prokopiv V. Publisher Vasyl Stefanyk Precarpathian National University, 2017. P.91.
18. Emelianov S., Bakaeva N., Gordon V. A multi-level scale of technical safety indicators of urban life support systems, *Journal of Applied Engineering Science*: 15(2017)4, 470, 459 – 462. doi:10.5937/jaes15-15451
19. Ericson C.A., Hazard Analysis Techniques for System Safety, Wiley-VCH, 2005, Weinheim.
20. Flage R, Askeland T, Aven T. Moving beyond probabilities – strength of knowledge characterisations applied to security. *Reliab Eng Syst Safe* 2017; 159: 196–205.
21. Ficoń K. Bezpieczeństwo jako ontologiczna kategoria systemowa, *Kwartalnik Bellona* 2013, nr 1, s.49-64.
22. Ficoń K. Elementy potencjałowej teorii bezpieczeństwa wielkich systemów prakseologicznych, *Zeszyty Naukowe AMW* /2011, nr 3, s.25-38.
23. Fire Hazard Comparison of Fire-Retarded and Non-Fire-Retarded Products, NBS Special Publication 749, U.S. Commerce Dept. National Bureau of Standards (NBS), 2014.
24. Fire safety risk assessment: offices and shops Norwich: Department for Communities and Local Government, 2015. 146 p.
25. Försth, M., et al. Status summary of cable reaction to fire regulations in Europe. In *62nd International Cable - Connectivity Symposium*. 2013. Charlotte, NC, USA.

26. Gerbec M. Safety change management – A new method for integrated management of organizational and technical changes, *Safety Science*, Volume 100, Part B, 2017, P. 225-234.
27. Gill J. C., Malamud B. D. Anthropogenic processes, natural hazards, and interactions in a multi-hazard framework, *Earth-Science Reviews*, V. 166, 2017, P. 246-269.
28. Goerlandt F., Khakzad N., Reniers G. Validity and validation of safety-related quantitative risk analysis: A review, *Safety Science*, V. 99, Part B, 2017, P.127-139.
29. Gupta V., et al. Ventilation effects on the thermal characteristics of fire spread modes in open-plan compartment fires, *Fire Safety Journal*, Volume 120, 2021, 103072, doi:10.1016/j.firesaf.2020.103072.
30. Hazard Analysis and Critical Control Point. Система НАССР. Львів: Леонорм, 2003. 216с.
31. Недашковський Ю.О. Оперативний склад АЕС підлягає персональній сертифікації, URL: <http://www.atomforum.org.ua/ouractivity4630>.
32. IEC 61508-1:2010 Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems- Parts 1.
33. IEC 62551:2012 Analysis techniques for dependability - Petri net techniques
34. IEC 60332-3/BS 4066-3 Flame Test On Bunched Wires/Cables (Випробування на поширення полум'я вертикально прокладених кабелів в пучках).
35. International vocabulary of metrology: Basic and general concepts and associated terms (VIM3). JCGM 200:2012 (E/F). – 91 p.
36. Ishimatsu et al. Modeling and Hazard Analysis Using STPA, Proceedings of the 4th IAASS Conference, *Making Safety Matter*, 2010, Huntsville, Alabama, USA SP-680.
37. ISO 45001 Occupational health and safety management systems. Requirements.
38. ISO 31000:2018 Risk management – Guidelines.
39. ISO 9000:2005 Quality management systems - Fundamentals and vocabulary.
40. ISO Guide ISO 73:2009 Risk management – Vocabulary – Guidelines for use in standards.
41. ISO/IEC Guide 98-6:2021(E) JCGM GUM-6:2020.
42. Ivahov A. Rudyk Y. Practical improvement of access to audio information, *2nd International Virtual Conference of Informatics and Management Sciences*», Proceedings. Sciences edited by K. Matlaško, Anton Lieskovský and Michal Mokryš, pp. 310-313, Zilina, Slovak Republic, March 2013.
43. Kingfield D. M., Calhoun K. M., de Beurs K. M. and Henebry G. M. Effects of city size on thunderstorm evolution revealed through a multiradar climatology of the central United States *J. Appl. Meteorol. Climatol.* 2018. 57295–317.

44. Kloos, M. and Peschke, J. Improved modelling and assessment of the performance of firefighting means in the frame of a fire PSA. *Science and Technology of Nuclear Installations*, 2015.
45. Клир Д. Системология: автоматизация решения системных задач . М.: Радио и связь, 1990. 539 с.
46. Leishear, R. A. The Autoignition of Nuclear Reactor Power Plant Explosions. *ASME J of Nuclear Rad Sci*. January 2020; 6(1): 014001. DOI:10.1115/1.4044807.
47. Lentini J. Fire Investigation: Historical Perspective and Recent Developments. *Forensic Science Reviews* 2019: n. pag. Print.
48. Leveson N., Thomas J. STPA handbook : Massachusetts Institute of Technology, 2018. URL : <http://psas.scripts.mit.edu/home/>
49. Lindley D. Understanding uncertainty. Hoboken, NJ: Wiley, 2006.
50. Low Voltage Directive 2014/35/EU1 applicable from 20 April 2016, replacing Directive 2006/95/EC.
51. Maciuk K., Rudyk Yu. Usage of the global navigation satellite systems in safety and protection issues. *Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport*. 2020. Vol. 109. P. 93–102.
52. Magnusson, S., Frantzich, H., Harada, K. Fire Safety Design Based on Calculations: Uncertainty Analysis and Safety Verification, *Fire Safety Journal*, 1996. 27, p 305.
53. Maksymiv O., Rudyk Y, Rudyk A. Common vulnerabilities in modern hosting III *International Scientific Conference "Information Security in Modern Society."* Lviv, LSULS, 2018.
54. Mao Z. Study on Uncertainty of Occupant Evacuation Based on Reliability Theory, *Procedia Engineering* 211., 2018. (2018) 55–62
55. Menshykova O., Rak T., Rudyk Yu. Expanding of compliance assessment for preventive measures of fire safety as a local facilities with high risk level in Ukraine. *Przedsiębiorczość i Zarządzanie*. 2018. T. 19, z. 1, cz. 3. S. 181–194.
56. Moura R., Beer M., Patelli E., Lewis J., Knoll F. Learning from accidents: Interactions between human factors, technology and organisations as a central element to validate risk studies, *Safety Science*, V. 99, Part B, 2017,P. 196-214.
57. Pate-Cornell E. Risk and uncertainty analysis in government safety decisions. *Risk Anal* 2002; 22: 633-646.
58. Prochazkova D., Prochazka J. Affiliation of Optimum Risk Engineering Tools to Technical Facility Management Main Targets Achievement *International Journal of Economics and Management Systems* Volume 5, 2020. 233-244. URL: <http://www.iaras.org/iaras/journals/ijems>.



59. Purser, D. A., Bensilum, M., 2001. Quantification of Behaviour for Engineering Design Standards and Escape Time Calculations, *Safety Science* 38, p.157.
60. Rae, A., Alexander, R., McDermid, J., 2014. Fixing the cracks in the crystal ball: a maturity model for quantitative risk assessment. *Reliab. Eng. Syst. Saf.* 125, 67–81.
61. Rehak D., Markuci J., Hromada M., Barcova K. Quantitative evaluation of the synergistic effects of failures in a critical infrastructure system, *International Journal of Critical Infrastructure Protection*, Volume 14, 2016, P.3-17.
62. Ritsu Dobashi, Fire and explosion disasters occurred due to the Great East Japan Earthquake (March 11, 2011), *J. of Loss Prevention in the Process Industries*, V. 31, 2014, P. 121-126.
63. Rudyk Yu., Kuts V., Nazarovets O. Means for measuring control of impulsive overvoltage caused by thunderstorms. *2019 IEEE International Scientific-Practical Conference: Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T)*. IEEE, 2019. P. 694–697.
64. Rudyk Yu., Kuts V., Nazarovets O., Zdeb V. Complex tools for surge process analysis and hardware disturbance protection. *Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*. 2021. Vol. 69. P. 205–227.
65. Rudyk Yuriy, Victor Kuts, Mykola Mykyichuk Assessment of compliance due energy safety factors III Міжнародна наукова конференція «Сучасні детермінанти безпеки держави», м. Краків, 2018.
66. Semerak, M. M., Tatsij R. M., Pazen O. Yu. Thermal insulating ability of multi-layer building structures taking into account the destruction of an arbitrary layer. *The Bulletin of the Kokshetau Technical Institute of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Kazakhstan* 4 (2015): 20.
67. Society of Risk Analysis (SRA), SRA Glossary, URL: [http:// www.sra.org/resources](http://www.sra.org/resources) 2015, accessed February 5, 2017
68. Stevens S. On the Theory of Scales of Measurement *SCIENCE* 1946 Vol 103, Issue 2684 pp. 677-680 DOI: 10.1126/science.103.2684.677.
69. Sulaman, S., Beer, A., Felderer, M. *et al.* Comparison of the FMEA and STPA safety analysis methods—a case study. *Software Qual J* 27, 349–387 (2019).
70. Suparta W., Zainudin S. Interaction Between Global Positioning System Tropospheric Delay and Lightning Strike Frequency , *Advanced Science Letters*, V. 23, Number 2, 2017, pp. 1366-1369(4), DOI: <https://doi.org/10.1166/asl.2017.8386>
71. Tatsii, R. M., Pazen O. Yu, Vovk S. Ya. Modeling of the heat transfer process taking into account bursting expansion of fire-retardant coating. *Naukovyi Visnyk*

- Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu* 2020, no. 1: 36-40, DOI: 10.33271/nvngu/2020-1/036.
72. Taleb N. *The Black Swan: The Impact of the Highly Improbable*. New York: Random House and Penguin Books. 2007.
  73. Taleb-Berrouane M., Khan F., Amyotte P. Bayesian Stochastic Petri Nets (BSPN) - A new modelling tool for dynamic safety and reliability analysis, *Reliab. Eng. Syst. Saf.*, V. 193, 2020.
  74. T.Ishimatsu et al. Multiple controller contributions to hazards 5th IAASS Conference *A Safer Space for Safer World*, 699, p.76, Versailles, France 2011/10.
  75. Olaru M, Şandru M, Pirnea I, Monte Carlo method application for environmental risks impact assessment in investment projects, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, V.109, 2014, P. 940-943.
  76. Walter S., Freitag S., Hadj Mebarek A., Tyrode M., Gabelica Z. The teaching of safety: the importance of a global approach of both technical and human aspects / Book of abstracts *10th European Conference on research in chemistry education*. Krakow: Pedagogical University of Krakow, 2010. p.296-297.
  77. Swapan Basu, *Plant Hazard Analysis and Safety Instrumentation Systems*, Academic Press 2016, p.1062.
  78. Yemelyanenko S., Rudyk Yu., Ivanusa A. Geoinformational system for risk assessment visualization. *IEEE 13th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT 2018)*. IEEE, 2018. Vol. 1. P. 17–20.
  79. Yemelyanenko S., Rudyk Yu., Kuzyk A., Yakovchuk R. Geoinformational system of rescue services. *MATEC Web Conferences*. 2018. Vol. 247. URL:
  80. Yoav Yair Lightning hazards to human societies in a changing climate 2018 *Environ. Res. Lett.* 13 123002 doi.org/10.1088/1748-9326/aaea86
  81. Yuen, W. W., Chow, W. K., 2005. A Monte Carlo Approach for the Layout Design of Thermal Fire Detection System, *Fire Technology* 41, p. 93.
  82. Березуцький В.В., Адаменко М.І. Небезпечні виробничі ризики та надійність: навчальний посібник – Харків: НТУ «ХПІ», 2016. – 385 с.
  83. Дойников, А. С. Применение теории шкал в метрологии: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.11.15. пос. Менделеево (Моск. обл.), 2006. 92 с.
  84. Бобало Ю.Я. Математичні моделі та методи аналізу електронних кіл: навч. Посібник / за ред. д-ра техн. наук, проф. Ю.Я. Бобала та д-ра техн. наук, проф. Б.А. Мандзія. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2013. 320 с.

85. Богданець Б. В., Рудик Ю. І. Нормативна практика забезпечення вимірювань у дослідно-випробувальних лабораторіях ДСНС України *Всеукраїнська науково-технічна конференція у царині метрології «Technical Using of Measurement-2015»* Відп. за вип. Володарський Є.Т.: тези доповідей. Київ: Академія метрології України, 2015. С. 99-100.
86. Бондаренко І. В., Сольона О. Я., Рудик Ю. І. Сольоний С. В. Енергорекуперація та іскробезпека при експлуатації електроламп. *Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності*. 2015. № 11. С. 116–125.
87. Братченко Г. Д., та ін. Методи та засоби обробки сигналів. Навчальний посібник. Одеса: «Плутон», 2014. 452 с.
88. Агафонов В. Системные принципы стратегического планирования. Кластерный подход. М.: Palmarium Academic Publishing, 2014. 572 с.
89. Бубела І.В. Опрацювання результатів вимірювання при відхиленні їх статистичних властивостей від типових: автореф. дис... канд. техн. наук: 05.01.02; Нац. ун-т "Львівська політехніка". Львів, 2016. 20 с.
90. Бубела Т. З. Система забезпечення єдності оцінювання якості об'єктів різної природи: автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.01.02; Нац. ун-т "Львів. політехніка". Львів, 2014. - 38 с.
91. Бубела Т.З., Бойко Т.Г., Походило Є.В., Столярчук П.Г. Метод визначення параметрів вагомості показників якості продукції, *Методи та прилади контролю якості*. 2007. № 18. С. 76-79.
92. Бубела Т.З., Походило Е.В., Столярчук П.Г., Міхалева М.С., Ванько В.М. Методи та засоби визначення показників якості продукції: навч.посібник, Львів: Вид-во Львівської Політехніки, 2012. 292с.
93. Вавілов Є. В. Удосконалення моделі процесів вимірювання та автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.01.02; Одес. держ. акад. техн. регулювання та якості, О., 2016. 20 с.
94. Ванько В. М. Розвиток теоретичних засад та нормативно-технічного забезпечення оцінювання якості електричної енергії в мережах загального призначення: дис. ... д-ра техн. наук : 05.01.02; Нац. ун-т "Львів. політехніка". Л., 2007. 350 арк.
95. Ванько В.М., Столярчук П.Г. Метод оцінки якості продукції та послуг за допомогою теорії матриць. *Вимірювальна техніка та метрологія*. 2007. № 67. С. 108-114.
96. Васілевський О.М., Поджаренко В.О. Нормування показників надійності технічних засобів : навчальний посібник – Вінниця : ВНТУ, 2010. 129 с.

97. Волівач А.П. Хімичева Г.І. Застосування SWOT-аналізу для оцінювання ризиків діяльності ЗВО, *Вісник інженерної академії України*. 2018. № 4. С. 196 – 203.
98. Володарський Є. Т., Кошева Л. О. Понятійно-термінологічні аспекти сучасної метрології. *Український метрологічний журнал*. 2012. № 1. С. 3-10.
99. Гичпан В. М., Петровський В. Л., Рудик Ю. І. Стандартизація випробувань характеристик світлодіодних модулів. *Пожежна безпека* : зб. наук. пр. Львів, 2016. № 28. С. 29–35.
100. Годя О. Ю. Двоступеневий метод оцінювання якості складних об'єктів з використанням вербально-числових шкал : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.01.02; Нац. техн. ун-т України "Київ. політехн. ін-т". Київ, 2015. 20 с.
101. Головка Д.Б., Скрипник Ю.О. Методи та засоби частотно-дисперсійного аналізу речовин та матеріалів: фізичні основи. К.: ФАДА, ЛТД, 2000. 200с.
102. Гонсьор О. Й. Вдосконалення нормативно-методичного забезпечення для оцінювання якості питного водопостачання: автореф. дис... канд. техн. наук: 05.01.02; Нац. ун-т "Львівська політехніка". - Л., 2008. 20 с.
103. Горбань В. Б., Рудик Ю. І. Оцінювання ефектів від впровадження проектів для українських ЗМІ у контексті європейської інтеграції. *Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності*. 2014. № 10. С. 76–85.
104. Дорожовець М. Опрацювання результатів вимірювань: навч. посіб. Нац. ун-т «Львів. політехніка». Львів : Львівська політехніка, 2007. 623 с.
105. Граничний стан. Термінологія законодавства (станом на 30.06.2019) URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/term/5591>
106. Гудим В. І., Столярчук П. Г., Ванько В. М., Рудик Ю. І. Технічне забезпечення нормативного рівня безпеки побутових електромереж. *Пожежна безпека*, 2009. № 14. С. 39–44.
107. ДБН В.1.1.7–2002. Пожежна безпека об'єктів будівництва.
108. ДБН В.1.2-7-2008. Основні вимоги до будівель і споруд пожежна безпека.
109. ДБН В.2.2-9:2018 Громадські будинки та споруди. Основні положення.
110. ДБН В.2.5-20-2001 Інженерне обладнання будинків і споруд.
111. ДБН В.2.5-56:2014 Інженерне обладнання будинків і споруд. Системи протипожежного захисту.
112. ДБН В.2.5-67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування.
113. Динник О. Д. Вдосконалення методів оцінювання якості процесів ливарного виробництва машинобудівного підприємства: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.01.02; Укр. інж.-пед. акад. - Харків, 2014. - 23 с.

114. Должанський А., Бондаренко О. Метод максимізації комплексного показника якості об'єкта шляхом оптимізації керуючих дій. Харків, *Стандартизація, сертифікація, якість*. Науково-технічний журнал. 2012. №4(79). С.50-56.
115. Домінік А.М., Рудик Ю.І., Сольоний С.В. Застосування принципів культури безпеки в технічному регулюванні вимог до потенційно-небезпечних об'єктів. *Інформаційно-комунікаційні технології в сучасній освіті: досвід, проблеми, перспективи*. Збірник наукових праць. Львів: ЛДУ БЖД, 2017. С.374-376.
116. Дорожовець М., Стадник Б. Метрологія та вимірювання: навч. посіб [М. Дорожовець, Р. Івах, В. Мотало та ін.]; за наук. ред.: Б. І. Стадник, Львів: Вид-во Львів. політехніки, 2012. 312 с.
117. Дорожовець М., Попович І. Опрацювання результатів спостережень на основі методу порядкових статистик. *Вимірювальна техніка та метрологія*, 2014, №75, С.8-12.
118. ДСТУ 2925-94. Якість продукції. Оцінювання якості. Терміни та визначення [Чинний від 1996-01-01]. К.: Держстандарт України, 1995. 27с.
119. ДСТУ 8828:2019 Пожежна безпека. Загальні положення [Чинний від 2020-01-01]. К.: ДП «УкрНДНЦ», 2019. 87 с.
120. ДСТУ 8829:2019 Пожежовибухонебезпечність речовин і матеріалів. Номенклатура показників і методи їхнього визначення. Класифікація [Чинний від 2020-01-01]. К.: ДП «УкрНДНЦ», 2019. 136 с.
121. ДСТУ 8855:2019 Будівлі та споруди. Визначення класу наслідків (відповідальності) [Чинний від 2019-12-01]. К.: ДП «УкрНДНЦ», 2018. 17 с.
122. ДСТУ EN 60332-1-2:2017 Вогневі випробування електричних та волоконно-оптичних кабелів. Частина 1-2. Випробування на вертикальне поширення полум'я одиничного ізолюваного проводу чи кабелю. Метод випробування полум'ям попередньо змішаного типу потужністю 1 кВт (EN 60332-1-2:2004; A1:2015; A11:2016, IDT; IEC 60332-1-2:2004; A1:2015, IDT) [Чинний від 2018-01-01]. К.: Держстандарт України, 2017. 49 с.
123. ДСТУ EN 60695-1-10:2018 (EN 60695-1-10:2017, IDT; IEC 60695-1-10:2016, IDT) Випробування на пожежну небезпеку. Частина 1-10. Настанова щодо оцінювання пожежної небезпеки електротехнічних виробів. Загальні методичні рекомендації [Чинний від 2019-12-01]. К.: ДП «УкрНДНЦ», 2018. 38 с.
124. ДСТУ EN 60695-11-10:2014 Випробування на пожежну небезпеку. Частина 11-10. Випробування полум'ям. Методи випробувань горизонтальним та вертикальним полум'ям 50 Вт (EN 60695-11-10:2013, IDT) .

125. ДСТУ EN 60695-11-10:2015 (EN 60695-11-10:1999, IDT) Випробування на пожежну небезпеку. Частина 11-10. Випробування полум'ям. Методи випробувань горизонтальним та вертикальним полум'ям 50 Вт.
126. ДСТУ EN 62305-1:2012 Захист від блискавки. Частина 1. Загальні принципи (EN 62305-1:2011, IDT) [Чинний від 2012-07-01] К.: Держстандарт України.
127. ДСТУ EN 62305-3:2012 Захист від блискавки. Частина 3. Фізичні руйнування споруд та небезпека для життя людей (EN 62305-3:2011, IDT) [Чинний від 2012-07-01] К. : Держстандарт України, 2012.
128. ДСТУ EN 62305-4:2012 Захист від блискавки. Частина 4. Електричні та електронні системи, розташовані в будинках і спорудах (EN 62305-4:2011, IDT) [Чинний від 2012-07-01] К. : Держстандарт України, 2012.
129. ДСТУ ІЕС 62305-2:2012 Захист від блискавки. Частина 2. Керування ризиками (ІЕС 62305-2:2011, IDT) [Чинний від 2012-07-01] К. : Держстандарт України, 2012.
130. ДСТУ ISO 10012:2005 (ISO 10012:2003 IDT). Системи управління вимірюваннями. Вимоги до процесів вимірювання та вимірювального обладнання [Чинний від 2007-01-01]. К.: Держстандарт України, 2007. 19 с.
131. ДСТУ ISO 31010:2013 (ІЕС/ISO 31010:2013, IDT) Керування ризиком. Методи загального оцінювання ризику. – К.: Мінекономрозвитку України, 2015. – 45 с.
132. ДСТУ ISO 9000:2007 Системи управління якістю. Основні положення та словник термінів [Чинний від 2008-01-01]. К.: Держстандарт України, 2008. 35с.
133. ДСТУ ISO/ІЕС Guide 51:2002 Аспекти безпеки. Настанови щодо їх включення до стандартів (ISO/ІЕС Guide 51:1999 IDT) [Чинний від 2007-01-07] К.: Держстандарт, 2003. 14 с.
134. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою
135. ДСТУ ГОСТ ISO 5725-1:2005. Точність (правильність) і прецизійність методів і результатів вимірювання. Частина 1. Основні положення та визначення [Чинний від 2005-30-12]. К.: Держспоживстандарт України, 2006. 21 с.
136. ДСТУ EN 60332-3-22:2013 Вогневі випробування електричних та волоконно-оптичних кабелів. Частина 3-22. Випробування вертикально розташованих проводів або кабелів, прокладених у пучках, на вертикальне поширення полум'я Категорія А (EN 60332-3-22:2009, IDT).
137. Ємельяненко С. О., Рудик Ю. І., Рак Т. Є. Геоінформаційний портал як платформа для візуалізації та оцінювання пожежних ризиків у житловому секторі. *Пожежна безпека* : зб. наук. пр. Львів, 2017. № 30. С. 83–90.

138. Ємельяненко С. О., Кузик А. Д., Рудик Ю. І. Оцінка пожежного ризику з електротехнічних причин у житлових будинках. *Пожежна безпека* : зб. наук. пр. Львів, 2012. № 20. С. 105–110.
139. Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. – М.: Мир, 1976. – 165с.
140. Зберігаючи енергію - зберігаємо майбутнє. Путівник з енергоефективності. - Івано-Франківськ: Агентство з розвитку приватної ініціативи, 2015 – 112 с.
141. Зубрецька Н. А. Розвиток наукових основ багатокритеріального оцінювання та прогнозування якості промислової продукції: автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.01.02; Київ. нац. ун-т технологій та дизайну. К., 2013. 36 с.
142. Івахов А.В., Рудик Ю. І., Метрологічні вимоги до визначення межі вогнестійкості ділянок електромереж, Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції "*Термографія і термометрія, метрологічне забезпечення вимірювань та випробувань*", Львів, 2013;
143. Климась Р.В. Розрахунок ризиків виникнення аварій із застосуванням програми SAPNIRE *Сучасні проблеми охорони праці та аерології гірничих підприємств*. Донецьк: ДонНТУ. 2011. С. 6–9.
144. Ковалев А. П., Солёный С. В., Демченко Г. В., Рудик Ю. И. О проблемах возгорания изоляции в сетях 0, 4 кВ объектов жилого сектора. *Коммунальное хозяйство городов*. 2010. Вып. 95. С. 373–379.
145. Кодекс цивільного захисту України, Закон України від 02.10.2012 № 5403-VI.
146. Концур А. З., Рудик Ю. І., Сиса Л. В., Кирилів Я. Б. Вплив мікрохвильового опромінення на процес сорбції іонів цинку бентонітом із концентрованих водних розчинів. *Екологічна безпека*. 2018. Вип. 1. С. 38–45.
147. Корольов Р.А., Рудик Ю.І., Штайн Б.В. Застосування комбінованих вогнегасних речовин для ліквідації пожеж в резервуарах з нафтопродуктами, Збірник матеріалів доповідей 8-ої науково-технічної конференції «*Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики машинобудівного і нафтогазопромислового обладнання*», м. Івано-Франківськ 2017. С. 67-69.
148. Кошмаров Ю.А., Пузач С.В. Расчет тепломассообмена при разгерметизации гидридного аккумулятора водорода в помещении при пожаре // *Организационное и научно-техническое обеспечение государственной противопожарной службы*. Сб. научн. тр. – М.: НИИ ПО МВД РФ, 1998. – С. 44-56.

149. Кравченко Р. І., Іллюченко П. О. Удосконалення вимог щодо вогнестійкості кабельних ліній живлення та управління систем протипожежного захисту будинків і споруд. *Науковий вісник УкрНДДПБ*, 2015. С.83-92.
150. Кропивницький В., Кравченко Р. Про адаптацію законодавства України з технічного регулювання у сфері цивільного захисту. *Надзвичайна ситуація+*. 2018. № 6. С. 7–9.
151. Кузнецов П. А., Рудик Ю. І., Сольоний С. В. Нові методи регулювання системами когенераційної переробки шахтного метану, зб. наук. пр. Міжнародної науково-технічної конференції “Сучасні проблеми систем електропостачання промислових та побутових об’єктів”, Донецьк, 2013. С. 174-178.
152. Кулешов М.М., Уваров Ю.В., Олійник О.Л., Пустомельник В.П., Беліков А.С. Пожежна безпека будівель та споруд: навчальний посібник. Харків, 2004. 271 с.
153. Куць В. Р. Розвиток нормативної бази з оцінювання якості продукції: автореф. дис... канд. техн. наук: 05.01.02; Нац. ун-т "Львівська політехніка". Л., 2006. 20с.
154. Куць В.Р., Столярчук П.Г., Друзюк В.М. Кваліметрія: навч. посібник, Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2012. – 256 с.
155. Ловейкін В.С., Ромасевич Ю.О. Теорія технічних систем, К.: ЦП „КОМПРИНТ”, 2017. 291 с.
156. Маловик К. М. Розвиток наукових основ підвищення якості оцінювання та прогнозування ресурсних характеристик складних об’єктів: автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.01.02; Нац. ун-т "Львів. політехніка". Л., 2013. 36с.
157. Малько О.Д. Застосування ризик орієнтованого підходу для прогнозування ризику аварії технічної системи, «Проблеми техногенно-екологічної безпеки: освіта, наука, практика»: Матеріали міжнародної науково-практичної конференції. Харків: НУЦЗУ, 2019. 304 с.
158. Мельник Ю. Ф., Новиков В. М., Школьник Л. С. Основи управління безпечністю харчових продуктів. Навчальний посібник. К.: Вид-во Союзу споживачів України, 2007. 297 с.
159. Месарович М., Михайло Д., Такахара Я. Общая теория систем: математические основы. М.: Мир, 1978. 311 с.
160. Микийчук М. М. Метрологічне забезпечення якості продукції на етапі виготовлення. Монографія, вид-во Черемош, 2014. – 265 с.
161. Микийчук М. М. Метод розгортання функції якості метрологічного забезпечення виробництва, *Вісник Нац. Ун-ту "Львівська політехніка". Сер. : Автоматика, вимірювання та керування*. 2013. № 753. С. 20-25.



162. Михайлюк О.П., Олійник В.В., Михайлюк А.О. Ідентифікація об'єктів підвищеної небезпеки: навч. посібник. Х.: УЦЗУ. 2007. 190 с.
163. Моніторинг і коментарі до нормативно-правових актів у сфері регуляторної політики, НДЦ ІПР НАН України, 2017 URL: [https://www.ndc-irp.org/media/posts/presentations/12\\_17%D0%B4.pdf](https://www.ndc-irp.org/media/posts/presentations/12_17%D0%B4.pdf).
164. Мотало А. В. Методологія оцінювання якості природного газу як енергоносія: автореф. дис... канд. техн. наук: 05.01.02; Нац. ун-т "Львівська політехніка". Л., 2009. 20 с.
165. Надежность организационно-технических систем: учебное пособие / В. А. Керножицкий, В. А. Санников, И. А. Ледовой; Балт. гос. техн. ун-т. СПб., 2010. с.388.
166. Лисецький Ю.М. Інформаційні технології підтримки прийняття рішень при побудові корпоративних інтегрованих інформаційних систем: автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.13.06; Київ. НАН України. К., 2013. 39 с.
167. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97). Київ: МОЗ України, 1998. 125с.
168. Основи метрології та вимірювальної техніки: [підручник для вузів у двох томах]/ [М. Дорожовець, В. Мотало, Б. Стадник та ін.]; За ред. професора Б.І. Стадника. – Львів: Вид-во Національного університету “Львівська політехніка”. 2005. Т1. Основи метрології. 532 с.; Т2. Вимірювальна техніка. 656 с.
169. Основи охорони праці : підручник / К. Н. Ткачук, В. В. Зацарний, Д. В. Зеркалов, [та ін] ; НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського». Київ : Основа,2015. 456 с. URL: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/18512>
170. Охорона праці та цивільний захист: конспект лекцій : навч. посіб. для студ. спеціальностей 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» і 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка» усіх спеціалізацій приладобудівного факультету; уклад.: О. І. Полукаров, О. В. Землянська. Електронні текстові данні (2,74 Мбайт). Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. 285 с.
171. Патент України на винахід «Спосіб діагностики низьковольтної електричної мережі та пристрій для його здійснення». Пат. № 101560 С2, МПК Н02Н 3/16, G08В 17/00 Заявники: Сольона О.Я., Ковальов О.П., Заболотний І.П., Демченко Г.В., Рудик Ю. І., Бенніс Ю.А.; патентовласник Державний ВНЗ Донецький національний технічний університет Заявлено 31.10.2011 № а 2011 12756 Опубл. 10.04.2013, Бюл. № 7. С. 7.

172. Подойніцин В. А. Особливості українського законодавства у сфері техногенної безпеки, *СФД (Страховий фонд документації)* Науково-виробничий журнал 2(9)2010 С.8-10.
173. Походило Є. В., Столярчук П. Г. Імітансний контроль якості: монографія, Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2012. 164 с.
174. Правила пожежної безпеки в Україні. Наказ МВС від 30.12.2014 р. № 1417.
175. Правила техногенної безпеки. Наказ МВС від 05.11.2018 р. № 879.
176. Про акредитацію органів з оцінки відповідності, Закон України від 17.05.2001 № 2407-III.
177. Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку: Закон України від 08.02.1995 № 39/95-ВР.
178. Про державний ринковий нагляд і контроль нехарчової продукції: Закон України від 02.12.2010 № 2735-VI.
179. Про дозвільну систему у сфері господарської діяльності, Закон України від 06.09.2005 № 2806-IV.
180. Про затвердження критеріїв, за якими оцінюється ступінь ризику від провадження господарської діяльності та визначається періодичність здійснення планових заходів [...] Постанова Кабінету Міністрів України, від 27.12.2017 № 1043.
181. Про затвердження критеріїв, за якими оцінюється ступінь ризику від провадження господарської діяльності та визначається періодичність здійснення планових заходів державного нагляду (контролю) у сфері техногенної та пожежної безпеки Державною службою з надзвичайних ситуацій. Постанова Кабінету Міністрів України від 5 вересня 2018 р. № 715.
182. Про затвердження Порядку проведення обстеження прийнятих в експлуатацію об'єктів будівництва. Постанова Кабінету Міністрів України від 12.04.2017 № 257.
183. Про затвердження Технічного регламенту будівельних виробів, будівель і споруд: Постанова Кабінету Міністрів України від 20.12.2006 № 1764.
184. Про затвердження Технічного регламенту низьковольтного електричного обладнання: Постанова Кабінету Міністрів України від 16.12.2015 № 1067.
185. Про захист людини від впливу іонізуючих випромінювань: Закон України від 14 січня 1998 р. № 15/98-ВР
186. Про метрологію та метрологічну діяльність, Закон України №1314-VII від 05.06.2014р. Верховна Рада України. Офіц. вид. К.: Парлам. вид-во, 2014. 28 с.
187. Про об'єкти підвищеної небезпеки, Закон України № 2245-III від 18.01.2001.

188. Про основні засади державного нагляду (контролю) у сфері господарської діяльності: Закон України від 05.04.2007 № 877-V
189. Про технічні регламенти та оцінку відповідності Закон України від 15.01.2015 № 124-VIII.
190. Перегудов Ф. И., Тарасенко Ф. П. Введение в системный анализ. М.: Высш. шк., 1989. 367 с.
191. Промислова безпека: курс лекцій / Укладачі: О.О. Тесленко, О.М.Роянов. – Х: НУЦЗУ, 2017. – 196 с.
192. Рак Т.Є., Рудик Ю.І., Рудик А.Ю. Засоби оперативного управління діяльністю підрозділів ДСНС з використанням ІТ-технологій на базі геоінформаційного комплексу, зб. матеріалів науково-практичної конференції «Перспективи розвитку автоматизованих систем управління військами та геоінформаційних систем», АСВ, Львів, 2015р. С. 267-270.
193. Реагування на надзвичайні ситуації: Навч. посіб. / О.Г. Барило та ін. К.: Вид-во «БланкПрес», 2014. 210 с.
194. Рудик Ю. І. Аналіз змісту і нормативного відтворення поняття «безпека життєдіяльності». *Строительство, материаловедение, машиностроение. Безопасность жизнедеятельности* : сб. науч. тр. Днепропетровск, 2010. Вып. 52, ч. 2. С. 149–153.
195. Рудик Ю. І. Вимірювання експлуатаційних параметрів безпеки електроінсталяцій. *Вісник Національного технічного університету „Харківський політехнічний інститут”*. Нові рішення в сучасних технологіях. 2010. № 46. С. 166–170.
196. Рудик Ю. І. Вимірювання опору електропроводок як метод визначення їх пожежної небезпеки. *Методи та прилади контролю якості*. 2009. № 23. С. 133–137.
197. Рудик Ю. І. Дослідження резистансу побутових електромереж. *Науковий вісник УкрНДІПБ*. Київ, 2008. № 2 (18). С. 191–196.
198. Рудик Ю. І. Назаровець О. Б. Головатчук І. С. Сучасні підходи до влаштування системного блискавкозахисту споруд з урахуванням пожежної небезпеки та особистого ризику. *Пожежна безпека* : зб. наук. пр. Львів, 2018. № 33. С. 88–94.
199. Рудик Ю. І. Підвищення безпеки електрообладнання автономних об'єктів, зб. наук. пр. Міжнародної науково-технічної конференції “Проблеми підвищення ефективності електромеханічних перетворювачів в електроенергетичних системах” Севастополь, СевНТУ, 2009.
200. Рудик Ю. І., Журавель О. А. Вибір інтервалу часу між вимірюванням параметрів

- електропроводки для підвищення їх пожежної безпеки. *Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія «Електротехніка і енергетика»*. 2009. № 9 (158). С. 207–210.
201. Рудик Ю. І., Сольоний С. В. Аналіз схем захисту електроустановок від імпульсних грозових і комутаційних перенапруг. *Пожежна безпека* : зб. наук. пр. Львів, 2010. №17. С. 20–25.
202. Рудик Ю. І., Столярчук П. Г. Оцінка пожежної небезпеки зростання перехідного опору контактних з'єднань електроустановок. *Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Автоматика, вимірювання та керування*. 2010. № 665. С. 101–107.
203. Рудик Ю. І., Улинець Е. М. Принципи побудови систем управління якістю підготовки персоналу для галузі безпеки життєдіяльності. *Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності*. 2011. № 5, ч. 1. С. 78–82.
204. Рудик Ю. І., Шунькін В. М. Визначення обсягу горючого матеріалу кабельних виробів при випробуванні за показниками пожежної безпеки. *Пожежна безпека* : зб. наук. пр. Львів, 2019. № 34. С. 78–83.
205. Рудик Ю. І., Шунькін В. М. Відповідність показників систем грозопеленгації для оцінювання ризику, запобігання втратам, розслідування причин подій. *Пожежна безпека* : зб. наук. пр. Львів, 2019. № 35. С. 54–62.
206. Рудик Ю. І., Юзьків Т. Б., Юзьків Ю. Т. Визначення межі вогнестійкості ділянок електромереж *Пожежна безпека* : зб. наук. пр. Львів, 2012. № 21. С. 148–153.
207. Рудик Ю. Розвиток оцінювання гуманітарних і технічних показників якості безпеки життя і діяльності. *Bezpieczeństwo w administracji, gospodarce i biznesie. Aksjologia zjawisk kryzysowych w administracji i sektorze publicznym*. Gdynia, 2013. S. 375–392.
208. Рудик Ю. Техногенна безпека як результат управління якістю супроводу технологічних процесів, *Управління якістю в освіті та промисловості: досвід, проблеми та перспективи*: тези доповідей Міжнародної науково-практичної конференції, Львів, Видавництво Львівської політехніки, 2013.
209. Рудик Ю., Куць В. Ризики енергетичної безпеки в умовах впровадження в Україні оцінювання відповідності. *Współczesne problemy bezpieczeństwa państwa* : księga pamiątkowa ku czci Tomasza Jana Biedronia / red. Olga Wasiuta, Przemysław Mazur. Stalowa Wola, 2017. S. 313–335.
210. Рудик Ю., Столярчук П. Аналіз схем введення електропостачання побутових мереж. *Вимірювальна техніка та метрологія* : міжвідом. зб. наук. пр. 2007. Вип. 67. Львів, 2007. С. 141–145.

211. Рудик Ю., Фурдь М., Когут С. Метод випробувань на поширення полум'я по вертикальних поверхнях у горизонтальному напрямку *Управління якістю в освіті та промисловості: досвід, проблеми та перспективи: тези доповідей III Міжнародної науково-практичної конференції пам'яті професора Петра Столярчука, 11–12 травня 2017 року / відп. за вип. М. М. Микийчук. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2017. С. 227-228.*
212. Рудик Ю.І. Верифікація захисних споруд цивільного захисту, з урахуванням сучасних викликів, ризиків і небезпек. *Міжнародна наукова конференція «Сучасний цивільний захист: виклики, ризики, небезпеки»* Краківської Академії ім. Анджея Фрича Модржевського, Університету Яна Кохановського з філією в Пйотркові Трибунальським, 23-24 листопада 2017.
213. Рудик Ю.І. Захист електроустановок від імпульсних грозових і комутаційних перенапруг. *Пожежна безпека : зб. наук. пр. Львів, 2009. № 15. С. 89–95.*
214. Рудик Ю.І. Метрологічний аспект встановлення показника пожежної безпеки кабелів *VI Всеукраїнська науково-технічна конференція у царині метрології «Technical Using of Measurement-2020», 4-7 лютого 2019 року: тези доповідей Відп. за вип. Володарський Є.Т. Академія метрології України - Львів: ТзОВ «Галицька видавнича спілка», 2020. С.103-104.*
215. Рудик Ю.І. Назаровець О.Б., Куць В.Р. Обґрунтування підстав і меж застосування безпекового показника якості, *Управління якістю в освіті та промисловості: досвід, проблеми та перспективи: тези доповідей IV Міжнародної науково-практичної конференції до 100-річчя кафедри інформаційно-вимірювальних технологій, 16–17 травня 2019 року. Відп. за випуск М. М. Микийчук, Львів: ЛА «Піраміда», 2019. С.131-132.*
216. Рудик Ю.І. Назаровець О.Б., Куць В.Р. Розвиток стандартизації випробування кабелів за показниками безпеки, *Міжнародна конференція метрологів МКМ'2019: Тези доповідей XXIII Міжнародного семінару метрологів (МСМ'2019) до 100-річчя кафедри інформаційно-вимірювальних технологій, 10–12 вересня 2019 року. Відп. за випуск М. Микийчук. Львів, 2019. С.61-64.*
217. Рудик Ю.І. Оцінювання співвідношення понять безпеки і ризику для управління якістю *Управління якістю в освіті та промисловості: досвід, проблеми та перспективи: тези доповідей III Міжнародної науково-практичної конференції пам'яті професора Петра Столярчука, 11–12 травня 2017 року / відп. за вип. М. М. Микийчук. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2017. С. 125-126.*
218. Рудик Ю.І., Борачок О.М. Оцінювання ризику та обґрунтування заходів блискавкозахисту громадської будівлі *V Всеукраїнська науково-технічна*

- конференція у царині метрології «*Technical Using of Measurement-2019*», тези доповідей Відп. за вип. Володарський Є.Т. Академія метрології України, Львів: ТзОВ «Галицька видавнича спілка», 2019. С.63-64.
219. Рудик Ю.І., Гичпан В.М., Семенов С.А. Стандартизація вимірювань безпекових параметрів у випробувальних лабораторіях *IV Всеукраїнська науково-технічна конференція у царині метрології «Technical Using of Measurement-2018*», тези доповідей, Відп. за вип. Володарський Є.Т. – Київ: Академія метрології України, 2018. С.103-104.
220. Рудик Ю.І., Столярчук П. Г. Гармонізація з міжнародними стандартами нормативно-технічного регулювання вимог безпеки в Україні. *Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Автоматика, вимірювання та керування*. 2009. № 639. С. 196–202.
221. Сабитова О.А. Методологія ризика при решении вопросов безопасности / *Вісник Національного технічного університету „ХПІ” Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Нові рішення в сучасних технологіях*. Харків: НТУ „ХПІ”, 2010. №46. С.250-252.
222. Севастьянов А. Міжнародні стандарти систем управління для вирішення проблем безпеки й сталого розвитку / *Стандартизація. Сертифікація. Якість*. - 2012. - № 4. - С. 41-49.
223. Сергеев С.Ф. Обучающие и профессиональные иммерсивные среды / С.Ф. Сергеев. – М.: Народное образование, 2009. – 432 с.
224. Сиса Л. В., Рудик Ю. І., Концур А. З. Аналіз ізотерм адсорбції іонів цинку на бентоніті після обробки його надвисокочастотним випромінюванням. *Екологічна безпека*. 2017. Вип. 2. С. 45–51.
225. Сікора Л. С. Когнітивні моделі та логіка оперативного управління в ієрархічних інтегрованих системах в умовах ризику Львів: ЦСД «ЕБТЕС», 2009. 432 с.
226. Сіваковська О.М. Системні засади створення організаційно-технічних систем автоматизованого управління проектами та програмами. *Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво*. Луцьк, 2015. №18. С. 198-202.
227. Сольоний С. В., Рудик Ю. І., Демченко Г. В., Бенніс Юсеф А. Аналіз сигналів для попередження займання ізоляції низьковольтної електричної мережі. *Пожежна безпека* : зб. наук. пр. Львів, 2011. № 19. С. 149–155.
228. Сольоний С. В., Рудик Ю. І., Сольона О. Я., Демченко Г. В. Система запобігання вибухопожежонебезпечним ситуаціям в об'єктах, пов'язаних із життєдіяльністю людини. *Пожежна безпека* : зб. наук. пр. Львів, 2015. № 26.

- С. 144–149.
229. Субота А. В. Вогнестійкість несучих сталевих конструкцій машинних залів атомних електростанцій за умов аварійного горіння водню: дис. кандидата техн. наук: 21.06.02 – Львів: ЛДУБЖД, 2014. – 168 с.
  230. Теоретичні основи формування та деградації складних організаційно-технічних систем : монографія / Є.Б. Смірнов, В.І. Ткаченко, І.В. Рубан, В.Г. Малюга, А.В. Тристан. Харків : ХНУРЕ, 2018. 162 с.
  231. Ткачук К. Н., Зацарний В. В., Каштанов С.Ф. та ін. Охорона праці та промислова безпека: навч. посіб. К.: Лібра, 2010. 559 с.
  232. Управління якістю. Сертифікація: Навчальний посібник / Р.В.Бичківський, П.Г.Столярчук, Л.І.Сопільник, О.О.Калинський. К.: Школа, 2005. 432 с.
  233. Функції державного ринкового нагляду в загальній системі технічного регулювання. *Надзвичайна ситуація+*. 2018. № 6. С. 19-23.
  234. Хімичева Г.І., Волівач А.П. Класифікація ризиків навчального процесу на основі застосування методу ієрархій Monografia rokonferencyjna. *Science, research, development*. #19. 2019 Valletta (Republic of Malta). С. 96 – 106.
  235. Цивільний захист. Методичні вказівки до виконання практичних робіт: Міхеєв Ю.В., Землянська О.В. К.: НТУУ «КПІ», 2016. URL: <http://ela.kpi.ua/kandle/123456789/3568/>
  236. Чабан О. П. Розвиток методів оцінювання якості продукції і послуг за одиничними та узагальненими показниками: автореф. дис... канд. техн. наук: 05.01.02; Нац. ун-т "Львівська політехніка". Львів, 2009. 20 с.
  237. Чабаненко М.М. Система аграрного права України: методологічні засади становлення та розвитку: дис... докт. юр. наук: 12.00.06; Нац. юрид.ун-т, К.:2015, 437 с.
  238. Шпак О. І. Розроблення методу оцінювання характеристик якості дизельного і біодизельного палив та їх сумішей: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.01.02; Нац. ун-т "Львів. політехніка". Л., 2013. 21 с.
  239. Яцук В., Малачівський П. Методи підвищення точності вимірювань: Рекомендовано МОН України як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. Львів: Видавництво "Растр-7", 2007 368 с.

## ДОДАТКИ

Додаток А

**СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

**Наукові праці, в яких опубліковано основні наукові результати дисертації  
Публікації у виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз  
даних (Scopus, Web of Science, Index Copernicus International)**

1. Rudyk Yu., Kuts V., Nazarovets O., Zdeb V. Complex tools for surge process analysis and hardware disturbance protection. *Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*. 2021. Vol. 69. P. 205–227.
2. Maciuk K., Rudyk Yu. Usage of the global navigation satellite systems in safety and protection issues. *Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport*. 2020. Vol. 109. P. 93–102.
3. Bondarenko I. V., Kutnyashenko O. I., Rudyk Yu. I., Solyonyj S. V. Modeling the efficiency of waste management. *News of National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences*. 2019. Vol. 2, № 434. P. 120–130.
4. Концур А. З., Рудик Ю. І., Сиса Л. В., Кирилів Я. Б. Вплив мікрохвильового опромінення на процес сорбції іонів цинку бентонітом із концентрованих водних розчинів. *Екологічна безпека*. 2018. Вип. 1. С. 38–45.

**Публікації у закордонних наукових виданнях**

5. Menshykova O., Rak T., Rudyk Yu. Expanding of compliance assessment for preventive measures of fire safety as a local facilities with high risk level in Ukraine. *Przedsiębiorczość i Zarządzanie*. 2018. T. 19, z. 1, cz. 3. S. 181–194.
6. Рудик Ю., Куць В. Ризики енергетичної безпеки в умовах впровадження в Україні оцінювання відповідності. *Współczesne problemy bezpieczeństwa państwa* : księga pamiątkowa ku czci Tomasza Jana Biedronia / red. Olga Wasiuta, Przemysław Mazur. Stalowa Wola, 2017. S. 313–335.
7. Рудик Ю. Розвиток оцінювання гуманітарних і технічних показників якості безпеки життя і діяльності. *Bezpieczeństwo w administracji, gospodarce i biznesie. Aksjologia zjawisk kryzysowych w administracji i sektorze publicznym*. Gdynia, 2013. S. 375–392.



**Публікації у наукових фахових виданнях України**

8. Mykujchuk M., Rudyk Yu. Material test and results estimation by safety indexes. *Вимірювальна техніка та метрологія*. 2021. Вип. 82, № 2. С. 38–45.
9. Рудик Ю. І., Шунькін В. М. Відповідність показників систем грозопеленгації для оцінювання ризику, запобігання втратам, розслідування причин подій. *Пожежна безпека* : зб. наук. пр. Львів, 2019. № 35. С. 54–62.
10. Рудик Ю. І., Шунькін В. М. Визначення обсягу горючого матеріалу кабельних виробів при випробуванні за показниками пожежної безпеки. *Пожежна безпека* : зб. наук. пр. Львів, 2019. № 34. С. 78–83.
11. Рудик Ю. І. Назаровець О. Б. Головатчук І. С. Сучасні підходи до влаштування системного блискавкозахисту споруд з урахуванням пожежної небезпеки та особистого ризику. *Пожежна безпека* : зб. наук. пр. Львів, 2018. № 33. С. 88–94.
12. Сиса Л. В., Рудик Ю. І., Концур А. З. Аналіз ізотерм адсорбції іонів цинку на бентоніті після обробки його надвисокочастотним випромінюванням. *Екологічна безпека*. 2017. Вип. 2. С. 45–51.
13. Bondarenko I. V., Anischenko L. Ya., Rudyk Yu. I. Substantiation for enhancement of environmental safety of waste management systems through forecasting efficiency of specialized equipment. *Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності*. 2017. № 16. С. 119–128.
14. Ємельяненко С. О., Рудик Ю. І., Рак Т. Є. Геоінформаційний портал як платформа для візуалізації та оцінювання пожежних ризиків у житловому секторі. *Пожежна безпека* : зб. наук. пр. Львів, 2017. № 30. С. 83–90.
15. Гичпан В. М., Петровський В. Л., Рудик Ю. І. Стандартизація випробувань характеристик світлодіодних модулів. *Пожежна безпека* : зб. наук. пр. Львів, 2016. № 28. С. 29–35.
16. Бондаренко І. В., Сольона О. Я., Рудик Ю. І. Сольоний С. В. Енергорекуперація та іскробезпека при експлуатації електроламп. *Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності*. 2015. № 11. С. 116–125.
17. Сольоний С. В., Рудик Ю. І., Сольона О. Я., Демченко Г. В. Система

- запобігання вибухопожежонебезпечним ситуаціям в об'єктах, пов'язаних із життєдіяльністю людини. *Пожежна безпека* : зб. наук. пр. Львів, 2015. № 26. С. 144–149.
18. Горбань В. Б., Рудик Ю. І. Оцінювання ефектів від впровадження проектів для українських ЗМІ у контексті європейської інтеграції. *Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності*. 2014. № 10. С. 76–85.
19. Рудик Ю. І., Юзьків Т. Б., Юзьків Ю. Т. Визначення межі вогнестійкості ділянок електромереж *Пожежна безпека* : зб. наук. пр. Львів, 2012. № 21. С. 148–153.
20. Ємельяненко С. О., Кузик А. Д., Рудик Ю. І. Оцінка пожежного ризику з електротехнічних причин у житлових будинках. *Пожежна безпека* : зб. наук. пр. Львів, 2012. № 20. С. 105–110.
21. Рудик Ю. І., Улинець Е. М. Принципи побудови систем управління якістю підготовки персоналу для галузі безпеки життєдіяльності. *Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності*. 2011. № 5, ч. 1. С. 78–82.
22. Сольоний С. В., Рудик Ю. І., Демченко Г. В., Бенніс Юсеф А. Аналіз сигналів для попередження займання ізоляції низьковольтної електричної мережі. *Пожежна безпека* : зб. наук. пр. Львів, 2011. № 19. С. 149–155.
23. Рудик Ю. І. Вимірювання експлуатаційних параметрів безпеки електроінсталяцій. *Вісник Національного технічного університету „Харківський політехнічний інститут”*. *Нові рішення в сучасних технологіях*. 2010. № 46. С. 166–170.
24. Ковалев А. П., Солений С. В., Демченко Г. В., Рудик Ю. И. О проблемах возгорания изоляции в сетях 0,4 кВ объектов жилого сектора. *Коммунальное хозяйство городов*. 2010. Вып. 95. С. 373–379.
25. Рудик Ю. І., Столярчук П. Г. Оцінка пожежної небезпеки зростання перехідного опору контактних з'єднань електроустановок. *Вісник Національного університету "Львівська політехніка"*. *Автоматика, вимірювання та керування*. 2010. № 665. С. 101–107.
26. Рудик Ю. І., Сольоний С. В. Аналіз схем захисту електроустановок від

- імпульсних грозових і комутаційних перенапруг. *Пожежна безпека* : зб. наук. пр. Львів, 2010. №17. С. 20–25.
27. Рудик Ю. І. Аналіз змісту і нормативного відтворення поняття «безпека життєдіяльності». *Строительство, материаловедение, машиностроение. Безопасность жизнедеятельности* : сб. науч. тр. Днепропетровск, 2010. Вып. 52, ч. 2. С. 149–153.
28. Рудик Ю. І. Вимірювання опору електропроводок як метод визначення їх пожежної небезпеки. *Методи та прилади контролю якості*. 2009. № 23. С. 133–137.
29. Рудик Ю. І., Журавель О. А. Вибір інтервалу часу між вимірюванням параметрів електропроводки для підвищення їх пожежної безпеки. *Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія «Електротехніка і енергетика»*. 2009. № 9 (158). С. 207–210.
30. Рудик Ю.І. Захист електроустановок від імпульсних грозових і комутаційних перенапруг. *Пожежна безпека* : зб. наук. пр. Львів, 2009. № 15. С. 89–95.
31. Рудик Ю., Столярчук П. Г. Гармонізація з міжнародними стандартами нормативно-технічного регулювання вимог безпеки в Україні. *Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Автоматика, вимірювання та керування*. 2009. № 639. С. 196–202.
32. Гудим В. І., Столярчук П. Г., Ванько В. М., Рудик Ю. І. Технічне забезпечення нормативного рівня безпеки побутових електромереж. *Пожежна безпека* : зб. наук. пр. Львів, 2009. № 14. С. 39–44.
33. Рудик Ю. І. Дослідження резистансу побутових електромереж. *Науковий вісник УкрНДІПБ*. Київ, 2008. № 2 (18). С. 191–196.
34. Рудик Ю., Столярчук П. Аналіз схем введення електропостачання побутових мереж. *Вимірювальна техніка та метрологія* : міжвідом. зб. наук. пр. 2007. Вип. 67. Львів, 2007. С. 141–145.

**Праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації**

**Публікації апробаційного характеру, які входять до науко-метричної бази**

**Scopus**

35. Rudyk Yu., Kuts V., Nazarovets O. Means for measuring control of impulsive

- overvoltage caused by thunderstorms. *2019 IEEE International Scientific-Practical Conference: Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T)*. IEEE, 2019. P. 694–697.
36. Yemelyanenko S., Rudyk Yu., Ivanusa A. Geoinformational system for risk assessment visualization. *IEEE 13th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT 2018)*. IEEE, 2018. Vol. 1. P. 17–20.
37. Yemelyanenko S., Rudyk Yu., Kuzyk A., Yakovchuk R. Geoinformational system of rescue services. *MATEC Web Conferences*. 2018. Vol. 247.

### **Публікації апробаційного характеру**

38. Рудик Ю.І. Верифікація захисних споруд цивільного захисту, з урахуванням сучасних викликів, ризиків і небезпек. *Міжнародна наукова конференція «Сучасний цивільний захист: виклики, ризики, небезпеки»* Краківської Академії ім. Анджея Фрича Модржевського, Університету Яна Кохановського з філією в Пйотркові Трибунальським, 23-24 листопада 2017.

39. Rudyk Yuriy, Victor Kuts, Mykola Mykyichuk Assessment of compliance due energy safety factors *III Міжнародна наукова конференція «Сучасні детермінанти безпеки держави»*, м. Краків, 2018. (21-22 травня 2018 року на базі Інституту безпеки і громадянської освіти Педагогічного університету ім. Комісії народної освіти у Кракові, Республіка Польща).

40. Рудик Ю.І. Метрологічний аспект встановлення показника пожежної безпеки кабелів *VI Всеукраїнська науково-технічна конференція у царині метрології «Technical Using of Measurement-2020»*, 4-7 лютого 2019 року: тези доповідей Відп. за вип. Володарський Є.Т. Академія метрології України - Львів: ТЗОВ «Галицька видавнича спілка», 2020. С.103-104.

41. Рудик Ю.І., Борачок О.М. Оцінювання ризику та обґрунтування заходів блискавкозахисту громадської будівлі *V Всеукраїнська науково-технічна конференція у царині метрології «Technical Using of Measurement-2019»*, 29 січня - 2 лютого 2019 року: тези доповідей Відп. за вип. Володарський Є.Т. Академія метрології України - Львів: ТЗОВ «Галицька видавнича спілка», 2019. – С.63-64.

42. Рудик Ю.І. Назаровець О.Б., Куць В.Р. Обґрунтування підстав і меж застосування безпекового показника якості, *Управління якістю в освіті та промисловості: досвід, проблеми та перспективи*: тези доповідей IV Міжнародної науково-практичної конференції до 100-річчя кафедри інформаційно-вимірювальних технологій, 16–17 травня 2019 року / Відп. за випуск М. М. Микийчук – Львів: ЛА «Піраміда», 2019. – С.131-132.

43. Рудик Ю.І. Назаровець О.Б., Куць В.Р. Розвиток стандартизації випробування кабелів за показниками безпеки, *Міжнародна конференція метрологів МКМ'2019: Тези доповідей XXIII Міжнародного семінару метрологів (МСМ'2019) до 100-річчя кафедри інформаційно-вимірювальних технологій*, 10–12 вересня 2019 року / Відп. за випуск М. М. Микийчук. – Львів, 2019. – С.61-64.

44. Dominik A.M., Rudyk Yu.I. Considering of Temperature Component Parameters by Metrological Characteristics of Safety Production, *XVI International Conference Physics and Technology of Thin Films and Nanosystems (dedicated to memory Professor Dmytro Freik)*. Materials. Ed. by Prof. Prokopiv V.V. – Ivano-Frankivsk : Publisher Vasyl Stefanyk Precarpathian National University, 2017. – P.91.

45. Рудик Ю., Фурдь М., Когут С. Метод випробувань на поширення полум'я по вертикальних поверхнях у горизонтальному напрямку *Управління якістю в освіті та промисловості: досвід, проблеми та перспективи*: тези доповідей III Міжнародної науково-практичної конференції пам'яті професора Петра Столярчука, 11–12 травня 2017 року / відп. за вип. М. М. Микийчук. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2017. –С. 227-228.

46. Богданець Б. В., Рудик Ю. І. Нормативна практика забезпечення вимірювань у дослідно-випробувальних лабораторіях ДСНС України *Всеукраїнська науково-технічна конференція у царині метрології «Technical Using of Measurement-2015»* Відп. за вип. Володарський Є.Т.: тези доповідей – Київ: Академія метрології України, 2015. С. 99-100.

47. Домінік А.М., Рудик Ю.І., Сольоний С.В. Застосування принципів культури безпеки в технічному регулюванні вимог до потенційно-небезпечних об'єктів. *Інформаційно-комунікаційні технології в сучасній освіті: досвід,*

*проблеми, перспективи*. Збірник наукових праць. Випуск 5. За ред. М.М. Козяра, Н.Г. Ничкало. – Львів: ЛДУ БЖД, 2017. С.374-376.

48. Корольов Р.А., Рудик Ю.І., Штайн Б.В. Застосування комбінованих вогнегасних речовин для ліквідації пожеж в резервуарах з нафтопродуктами, Збірник матеріалів доповідей 8-ої науково-технічної конференції *«Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики машинобудівного і нафтогазопромислового обладнання»*, 14-16 листопада 2017р., м. Івано-Франківськ 2017. С. 67-69.

49. Рудик Ю.І. Оцінювання співвідношення понять безпеки і ризику для управління якістю *Управління якістю в освіті та промисловості: досвід, проблеми та перспективи*: тези доповідей III Міжнародної науково-практичної конференції пам'яті професора Петра Столярчука, 11–12 травня 2017 року / відп. за вип. М. М. Микийчук. Львів: Вид-во Львівської політехніки, 2017. С. 125-126.

50. Рудик Ю.І., Гичпан В.М., Семенов С.А. Стандартизація вимірювань безпекових параметрів у випробувальних лабораторіях *IV Всеукраїнська науково-технічна конференція у царині метрології «Technical Using of Measurement-2018»*, тези доповідей, Відп. за вип. Володарський Є.Т. – Київ: Академія метрології України, 2018. С.103-104. ISBN 978-617-397-170-4

51. Maksymiv Oleksii, Rudyk Yuriy Common vulnerabilities in modern hosting *III Міжнародна наукова конференція "Інформаційна безпека в сучасному суспільстві"*. Львів, ЛДУБЖД, 2018.

52. Рак Т.Є., Рудик Ю.І., Рудик А.Ю. Засоби оперативного управління діяльністю підрозділів ДСНС з використанням ІТ-технологій на базі геоінформаційного комплексу — збірник матеріалів науково-практичної конференції *«Перспективи розвитку автоматизованих систем управління військами та геоінформаційних систем»*, АСВ, Львів, 2015р. – С. 267-270.

53. Івахов А.В., Рудик Ю. І., Метрологічні вимоги до визначення межі вогнестійкості ділянок електромереж, Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції *"Термографія і термометрія, метрологічне забезпечення вимірювань та випробувань"*, Львів, 2013;

54. Ivahov A. Rudyk Y. Practical improvement of access to audio information, *2nd International Virtual Conference of Informatics and Management Sciences*», Proceedings of The 2nd International Conference of Informatics and Management Sciences edited by K. Matlaško, Anton Lieskovský and Michal Mokryš, pp. 310-313, Zilina, Slovak Republic, March 2013. ISBN 978-80-554-0648-0, ISSN 1339-231X. Refereed.

55. Кузнецов П. А., Рудик Ю. І., Сольоний С. В. Нові методи регулювання системами когенераційної переробки шахтного метану, зб. наук. пр. Міжнародної науково-технічної конференції “Сучасні проблеми систем електропостачання промислових та побутових об’єктів”, Донецьк, 2013. С. 174-178.

56. Рудик Ю. І. Підвищення безпеки електрообладнання автономних об’єктів, зб. наук. пр. Міжнародної науково-технічної конференції “Проблеми підвищення ефективності електромеханічних перетворювачів в електроенергетичних системах” Севастополь, СевНТУ, 2009.

#### **Праці, які додатково відображають наукові результати дисертації**

#### **Патенти**

57. Патент України на винахід «Спосіб діагностики низьковольтної електричної мережі та пристрій для його здійснення». Пат. № 101560 С2, МПК H02H 3/16, G08B 17/00– Заявники: Сольона О.Я., Ковальов О.П., Заболотний І.П., Демченко Г.В., Рудик Ю. І., Бенніс Ю.А.; патентовласник Державний ВНЗ Донецький національний технічний університет – Заявлено 31.10.2011 – № а 2011 12756 – Опубл. 10.04.2013, Бюл. № 7. – С. 7.



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА УКРАЇНИ З НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ  
**ЛЬВІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БЕЗПЕКИ  
ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ**

79007, м. Львів, вул. Клепарівська, 35; тел.: (032)233-32-40, факс: 233-00-88  
[www.ldubgd.edu.ua](http://www.ldubgd.edu.ua)

E-mail: [ldubzh.lviv@mns.gov.ua](mailto:ldubzh.lviv@mns.gov.ua)

« 14 » 11. 2017 р. № 8/2420/04-04

На № \_\_\_\_\_ від \_\_\_\_\_

ДОВІДКА

про виконання науково-дослідних робіт

У Львівському державному університеті безпеки життєдіяльності виконано значний обсяг наукових досліджень та розробок у галузі безпеки, у т.ч., і в галузі безпеки будівництва та експлуатації атомних електростанцій. Зокрема, к.т.н., доцент Рудик Юрій Іванович брав участь у виконанні таких науково-дослідних робіт (договірних фінансованих) щодо об'єктів із класом наслідків (відповідальності) будинків, будівель, споруд – ССЗ:

№ з/п	Назва НДР, форма участі	Рік виконання	№ держ. реєстрації	№ договору в НАЕК «Енергоатом»	Завершальний документ
1.	Аналіз пожежної безпеки машзалів енергоблоків №1 та №2 під час виникнення пожежі з викидом водню з корпусу генератора. Розробка компенсуючих заходів (Ю-УАЕС) – <i>виконавець.</i>	2014	0114U005421	1/5-123-08-14-00526 від 02.07.2014 р.	Лист-погодження ДСНС № 26-15599/261 від 05.11.2014 р.
2.	Виконання аналізу пожежної безпеки машинних залів блоків №1, №2 та видача рекомендацій з її підвищення (ХАЕС) – <i>виконавець.</i>	2014	0114U006137	9822/1-124-08-14-00639 від 27.05.2014 р.	Акт здачі-приймання від 28.11.2014р.
3.	Аналіз пожежної небезпеки машинного залу за умови викиду водню з корпусу турбоагрегату енергоблоку № 1 ВП ЗАЕС – <i>виконавець.</i>	2015	0115U001926	№75/176-15 від 12.08.15 р.	Лист-погодження ДСНС № 26-17344/261 від 26.11.2015 р.
4.	Аналіз пожежної небезпеки машинного залу за умови викиду водню з корпусу турбоагрегату енергоблоку № 2 ВП ЗАЕС – <i>відповідальний виконавець.</i>	2016	0116U003475	№75/299-15 від 08.12.15 р.	Лист-погодження ДСНС № 26-2866/261 від 29.02.2016 р.

Проректор з науково-дослідних робіт  
д. с.-г. н., професор



А. Д. Кузик

Вик. Ємельяненко С.О.  
067-971-63-84

00 7 6 6 7



ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор ТзОВ «Торговий Дім

«Системи Безпеки»»



Віктор ЖАРКОВ

2020 року

### АКТ

впровадження результатів дисертаційного дослідження  
«Оцінювання безпеки складних організаційно-технічних систем  
кваліметричними методами з урахуванням ризиків»  
на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук  
РУДИКА Юрія Івановича

Комісія у складі начальника відділу охорони праці Петро РУССУ; інженера відділу систем блискавкозахисту Миколи БАБІРАДА склала цей акт про те, що результати дисертаційного дослідження РУДИКА Юрія Івановича на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук впроваджені у виробничий процес підприємства Товариство з обмеженою відповідальністю «Торговий Дім «Системи Безпеки»», а саме:

1. Розроблений метод оцінювання безпеки об'єктів кваліметрії з безпосередньою участю користувача на основі геоінформаційних інструментів, що забезпечує ефективне функціонування інформаційної системи моніторингу безпеки складних організаційно-технічних систем, запроваджено на сайті підприємства.

2. Запропоновані та науково-обґрунтовані принципи досягнення фахової компетентності у сфері технічного регулювання безпеки застосовані при підготовці навчальних програм з оцінювання ризику блискавки, інжинірингу пожежної безпеки, у т.ч. он-лайн курсів для проєктувальників та інженерів-монтажників.

Начальник відділу ТзОВ «ТД «СБ»»

Петро РУССУ

Інженер систем блискавкозахисту

Микола БАБІРАД

«18» травня 2020 року

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор ТзОВ «РСП «Шувар»»

  
Іван ФЕДИШИН  
2021 року  


**АКТ**

впровадження результатів дисертаційного дослідження  
«Оцінювання безпеки складних організаційно-технічних систем  
кваліметричними методами з урахуванням ризиків»  
на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук  
РУДИКА Юрія Івановича

Комісія у складі голови комісії: начальника відділу охорони праці Ігора ПАВЛОВСЬКОГО; членів комісії: інженера охорони праці Любомира ВАВРУХА, керівника операційного департаменту Володимира ЮЗВИ склала цей акт про те, що результати дисертаційного дослідження РУДИКА Юрія Івановича на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук впроваджені у виробничий процес підприємства Товариство з обмеженою відповідальністю «Ринок сільськогосподарської продукції «Шувар» (ТзОВ «РСП «Шувар») а саме:

1. Розроблену концепцію експрес-контролю показників безпеки складних організаційно-технічних систем (типу «чек-лист») застосовано при оцінюванні безпеки ТзОВ «РСП «Шувар»» та визначено шляхи їх гарантування, що сприяє підвищенню ефективності функціонування системи моніторингу безпеки.

2. Запропоновану оптимізовану структуру взаємодії відділу охорони праці з додаванням елементів, які перебувають у сфері впливу керівних органів підприємства і фахових громадських об'єднань, що формує об'єктивну та вірогідну інформацію щодо безпеки підприємства.

Голова комісії:

Начальник відділу охорони праці



Ігор ПАВЛОВСЬКИЙ

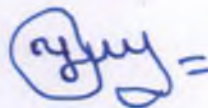
Члени комісії:

Інженер з охорони праці



Любомир ВАВРУХ

Керівник операційного департаменту



Володимир ЮЗВА

«12» 04 \_\_\_\_\_ 2021 року

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор філії ВП «АДС» ТЗОВ

«АВТОНОМНІ ДЖЕРЕЛА СТРУМУ»

Сергій КОВАЛЬ

«12» травня 2021 року

Акт впровадження  
результатів дисертаційного дослідження  
«Оцінювання безпеки складних організаційно-технічних систем  
кваліметричними методами з урахуванням ризиків»  
на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук  
РУДИКА Юрія Івановича

Комісія у складі заступника головного технолога, к.т.н. Олега БІЛАНЯ; інженера-технолога Олександра МУДРОГО склала цей акт про те, що результати дисертаційного дослідження РУДИКА Юрія Івановича на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук впроваджені у виробничий процес підприємства Товариство з обмеженою відповідальністю «АВТОНОМНІ ДЖЕРЕЛА СТРУМУ», а саме: за запропонованою методикою визначення рівня точності оцінювання безпеки елементів автономного електроживлення, сумісного з точністю використання даних і методів аналізу визначається ефективність витрат на вибір методу оцінювання чи на покращення засобів безпеки складних організаційно-технічних систем.

Заступник головного технолога, к.т.н.

Інженер-технолог, к.т.н.



Олег БІЛАНЬ

Олександр МУДРИЙ

«12» травня 2021 року

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з навчальної та методичної роботи  
Львівського державного університету безпеки життєдіяльності



Дмитро ЧАЛИЙ

«12» \_\_\_\_\_ 2024 року

## АКТ

впровадження результатів дисертаційного дослідження  
«Оцінювання безпеки складних організаційно-технічних систем  
кваліметричними методами з урахуванням ризиків»  
на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук  
РУДИКА Юрія Івановича

Комісія у складі:

Голови комісії: завідувача кафедри промислової безпеки та охорони праці Олександра МІРУСА;

Членів комісії: доцента кафедри промислової безпеки та охорони праці Оксани СТАНІСЛАВЧУК, старшого викладача кафедри промислової безпеки та охорони праці Володимира МАРІЧА склала цей акт про те, що результати дисертаційного дослідження РУДИКА Юрія Івановича на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук впроваджені в навчальний процес у Львівському державному університеті безпеки життєдіяльності, а саме:

1. Математичну модель попередження надзвичайних ситуацій на основі матриці структурування безпекового показника якості за функцією витрат і ступенем ризику складних організаційно-технічних систем, за якою визначаються кількісні характеристики величини енергетичного безпекового показника якості, які дозволять визначати миттєвий стан безпеки складної організаційно-технічної системи та її стан протягом періоду часу.

2. Математичну багатокритеріальну модель оцінки безпеки у вигляді цільової функції залежності комплексного показника якості від значень окремих характеристик стану безпеки об'єкта з врахуванням оцінювання ризику.

Результати дисертаційного дослідження на цей час впроваджено та використовуються в навчальному процесі кафедри промислової безпеки та охорони праці навчально-наукового інституту цивільного захисту Львівського державного університету безпеки життєдіяльності під час вивчення дисциплін «Стандартизація та експертиза в галузі цивільної безпеки», «Основи охорони праці».

Комісія дійшла висновку, що результати дисертаційного дослідження РУДИКА Юрія Івановича можуть використовуватися для різноманітних об'єктів підвищеної небезпеки, до яких відносяться електростанції, хімічно-

небезпечні виробництва, об'єкти нафто-, газотранспортної системи тощо, в якості комплексного оцінювання безпеки складних організаційно-технічних систем кваліметричними методами з урахуванням ризиків з метою попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру.

Голова комісії:

кандидат хімічних наук, доцент

Олександр МІРУС

Члени комісії:

кандидат технічних наук, доцент

Оксана СТАНІСЛАВЧУК

кандидат технічних наук

Володимир МАРИЧ

«12» 05 2021 року

м. Южноукраїнськ, Миколаївська обл., 55001, Україна, тел.: +38 (05136) 4-17-38; комутатор 4-22-22,  
e-mail: office@sunpp.atom.gov.ua, web: www.sunpp.mk.ua, код ЄДРПОУ 20915546

№ 88/06 від 18.06 2021 р.  
на \_\_\_\_\_ від \_\_\_\_\_ 20\_\_\_\_ р.

Голові спеціалізованої вченої ради  
Д 35.052.21  
Національного університету  
«Львівська політехніка»  
д.т.н., професору Микийчуку М.М.  
вул. С.Бандери, 12, м. Львів, 79013

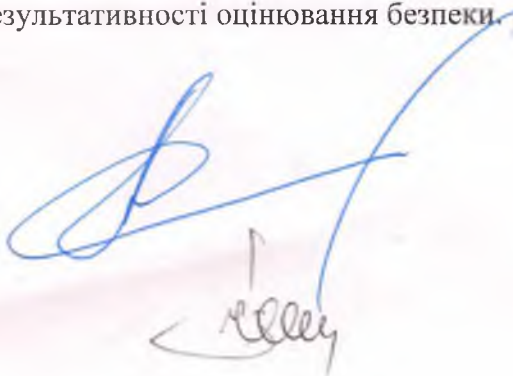
### ДОВІДКА

про впровадження результатів дисертаційного дослідження на тему  
**«Оцінювання безпеки складних організаційно-технічних систем кваліметричними  
методами з урахуванням ризиків» РУДИКА Юрія Івановича,**  
представленого на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю  
05.01.02 – стандартизація, сертифікація та метрологічне забезпечення

Отримані при виконанні дисертаційної роботи РУДИКА Юрія Івановича «Оцінювання безпеки складних організаційно-технічних систем кваліметричними методами з урахуванням ризиків» теоретичні результати дослідження використані під час застосування документів АТ07-11.200.ОД1. «Анализ факторов, влияющих на «живучесть» в кризисных центрах ЮУАЭС в ходе развития радиационной аварии в соответствии с требованиями НТД»; АТ07-11.300.ОД1. «Анализ соответствия расчетных показателей радиационной обстановки в помещениях КЦ и доз облучения персонала КЦ требованиям НТД» при виконанні комплексних заходів по продовженню терміну експлуатації енергоблоків Южно-Української АЕС, а саме методологію отримання нормативного оцінювання безпеки складної організаційно-технічної системи та обґрунтування аналізу оцінюваних об'єктів за рівнем ризику, що дає підвищення результативності оцінювання безпеки.

Головний інспектор  
ЮУАЕС

Начальник ВПБ СВНтаПБ



І.ПАНІН

Ю.ШЕВЧЕНКО

\*08710(1)

ДП НАЦІОНАЛЬНА АТОМНА ЕНЕРГОГЕНЕРУЮЧА КОМПАНІЯ



ЧИСТА ЕНЕРГІЯ МАЙБУТНЬОГО

вул. Енергетиків 20, м. Нетішин, Хмельницька обл.,  
Україна 30100 ЄДРПОУ 21313677  
Телефон: +38 (03842) 90262. Факс: +38 (03842) 90260  
Комутатор: +38 (03842) 40400 E-mail: [office@khnpp.atom.gov.ua](mailto:office@khnpp.atom.gov.ua)

Відокремлений підрозділ  
«ХМЕЛЬНИЦЬКА АЕС»



National Nuclear Energy Generating Company  
«Energoatom» SE «Khmelnitsky NPP»

20 Enerhetykiv Str., Netishyn, Khmeltsky Reg.,  
Ukraine, 30100  
Office: +38 (03842) 90262. Fax: +38 (03842) 90260  
Switchboard: +38 (03842) 40400

№ 0.ТЧ. 0536 - 21  
Big 29.06.2021

Голові спеціалізованої вченої ради  
Д 35.052.21  
Національного університету  
«Львівська політехніка»  
д.т.н., професору Миколі МИКИЙЧУКУ  
вул. С.Бандери, 12, м. Львів, 79013

[mss@lp.edu.ua](mailto:mss@lp.edu.ua)

### ДОВІДКА

про впровадження результатів дисертаційного дослідження  
на тему «Оцінювання безпеки складних організаційно-технічних систем  
кваліметричними методами з урахуванням ризиків» РУДИКА Юрія Івановича,  
представлену на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю  
05.01.02 – стандартизація, сертифікація та метрологічне забезпечення

Теоретичні результати дисертаційного дослідження РУДИКА Юрія Івановича  
«Оцінювання безпеки складних організаційно-технічних систем кваліметричними методами з  
урахуванням ризиків» використані під час проведення науково-дослідної роботи за темою  
«Виконання аналізу пожежної безпеки машинних залів блоків №1, №2 ВП ХАЕС та видача  
рекомендацій з її підвищення» (номер державної реєстрації №0114U006137), зокрема, отримані  
математичні моделі залежності температурних параметрів об'єкта досліджень від умов  
проведення випробувань, які формують необхідний діапазон змін параметрів контрольованого  
об'єкта, що було застосовано при випробуванні за пожежонебезпечними показниками  
покрівельного теплоізоляційного матеріалу.

Головний інженер

Начальник турбінного цеху

Заступник начальника турбінного цеху

Олександр КЛЄПОВ

Анатолій КУЦЕНКО

Дмитро КАРПИНСЬКИЙ



МІНІСТЕРСТВО ЕНЕРГЕТИКИ УКРАЇНИ  
**ЕНЕРГОАТОМ**

ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО  
НАЦІОНАЛЬНА АТОМНА  
ЕНЕРГОГЕНЕРУЮЧА КОМПАНІЯ  
**ВП «Запорізька АЕС»**



вул. Промислова 133, м. Енергодар, Запорізька обл., Україна, 71503, тел.: +38 (06139) 5-63-59;  
факс: +38 (06139) 5-55-53, комутатор: +38 (06139) 5-38-78. e-mail: zaes@npp.zp.ua  
IBAN: UA 44 313957 00000260003302138753, філія – ЗОУ АТ «Ощадбанк», код ЄРДПОУ 19355964

№ 68-24/15995 від 02.07.2021 р.

Про впровадження результатів  
дисертаційного дослідження

Голові спеціалізованої вченої  
ради Д 35.052.21  
Національного університету  
«Львівська політехніка»  
д.т.н., професору  
М. МИКИЙЧУКУ

ldubzh.lviv@dsns.gov.ua

### ДОВІДКА

про впровадження результатів дисертаційного дослідження  
РУДИКА Юрія Івановича

«Оцінювання безпеки складних організаційно-технічних систем кваліметричними  
методами з урахуванням ризиків»

представлена на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю  
05.01.02 – стандартизація, сертифікація та метрологічне забезпечення

Теоретичні результати дисертаційного дослідження РУДИКА Юрія Івановича  
«Оцінювання безпеки складних організаційно-технічних систем кваліметричними  
методами з урахуванням ризиків», використані під час проведення науково-дослідної  
роботи за темою «Аналіз пожежної небезпеки машинного залу за умови викиду водню з  
корпусу турбоагрегату енергоблоку №2 ВП ЗАЕС», пов'язаної зі здійсненням  
комплексних заходів по продовженню терміну експлуатації другого енергоблоку  
Запорізької АЕС (номер державної реєстрації №0116U003475).

З повагою

В.о. Заступника головного інженера  
з технології та інжинірингу

Дмитро САМОКІШ

Вик. СГФТ, Логвиненко  
(06139) 5 66 64



#### ДОКУМЕНТ ПІДПИСАНО ЕЛЕКТРОННИМ ПІДПИСОМ

Сертифікат: 3ED5083160DBC59B04000000DEFF050036B21200

Підписувач: Самокіш Дмитро Валерійович

Посада: головний фахівець з атомних електро-станцій - керівник сл

Дата/час: 02.07.2021 10:05

від 02.07.2021 р.



68-24/15995

