

Національний університет «Львівська політехніка»  
Міністерство освіти і науки України

**Рудик Юрій Іванович**



УДК 006.86+614.841.33; 620; 628.34; 658.56

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

05.01.02 – стандартизація, сертифікація та метрологічне забезпечення

**Автореферат**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
доктора технічних наук

Львів – 2021

## Дисертацією є рукопис

Робота виконана у Львівському державному університеті безпеки життєдіяльності Державної служби України з надзвичайних ситуацій, м. Львів.

Науковий консультант:

доктор технічних наук, професор

**Микийчук Микола Миколайович**

директор Інституту комп'ютерних технологій, автоматики та метрології Національного університету «Львівська політехніка», м. Львів

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор

**Середюк Орест Євгенович,**

завідувач кафедри метрології та інформаційно-вимірювальної техніки Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу, м. Івано-Франківськ

доктор технічних наук, професор

**Яковлев Максим Юрійович,**

провідний науковий співробітник Науково-дослідного центру службово-бойової діяльності Національної гвардії України Національної академії Національної гвардії України, м. Харків

доктор технічних наук, професор

**Хімичева Ганна Іванівна,**

професор кафедри прикладної механіки та машин Київського національного університету технологій та дизайну, м. Київ

Захист відбудеться «17» вересня 2021 р. о 14<sup>00</sup> год. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 35.052.21 у Національному університеті «Львівська політехніка» за адресою: 79013, Львів, вул. С. Бандери, 12, ауд. 226 головного корпусу.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного університету «Львівська політехніка» за адресою: 79013, Львів, вул. Професорська, 1.

Автореферат розісланий "17" серпня 2021 р.

Вчений секретар спеціалізованої вченої ради д.т.н., професор



Т. З. Бубела

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність роботи.** 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 для їх порівняння або встановлення відповідності до вимог безпеки потребують подальшого розвитку.

У зв'язку з цим актуальною є проблема визначення рівня безпеки 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, стосовно 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 моновекторному 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 безпеки, 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 з використанням методів кваліметрії, пошуку нових їх критеріїв.

Таким чином, наявна науково-прикладна проблема, яка полягає у створенні системи 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 вагоме 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 задачі 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 з урахуванням ризиків.

Для реалізації окресленої мети необхідно виконати такі завдання:

- провести аналіз вимог законодавчих та нормативних документів щодо оцінювання небезпечних чинників СОТС, провести аналіз наукових публікацій щодо поставленої мети;
- сформулювати принципи визначення номенклатури БПЯ та загальної оцінки безпеки;
- дослідити основні підходи до структурування характеристик об'єктів оцінювання безпеки;
- розробити 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;

- запропонувати метод визначення показника безпеки роботи персоналу СОТС в залежності від енергії випромінювання, часу впливу і відстані між джерелом випромінювання та об'єктом.

**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** одержаних результатів полягає у такому:

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 визначити 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 складу та значень комплексного безпекового показника якості, показників якості технологічного процесу та витрат 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 комплексного безпекового показника якості з використанням математичних залежностей для 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 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, співмірного 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 підтверджується таким:

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, співмірного 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 пожежої 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.

**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 поведіння 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 прийнятного 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 дисертації.** 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, 2019pp. Львів; 2–6-й Всеукраїнській науково-технічній конференції молодих вчених у царині метрології «Technical Using of Measurement», 2015 – 2020 pp., 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.

**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 наукометричної бази даних *Scopus*.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертація складається з анотації, змісту, переліку умовних позначень, вступу, п'яти розділів, загальних висновків, додатків, списку використаних джерел та має 276 сторінок основного тексту, 47 рисунків, 22 таблиці, 17 сторінок додатків. Список використаних джерел містить 239 найменувань. Загальний обсяг дисертаційної роботи становить 312 сторінок.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** подано загальну характеристику роботи, обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету і завдання досліджень, відображено наукову новизну й практичну цінність отриманих результатів, наведено дані щодо їх апробації та впровадження.

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 (рис. 1). 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, отже, системний підхід (табл. 1) до вирішення науково-технічної проблеми у цій роботі вимагає встановлення аналітичних залежностей та багатокритеріальної оптимізації оцінки параметрів безпеки СОТС.

Таблиця 1 – Порівняльний аналіз та систематизація показників стану безпеки СОТС

	Критерій безпеки	Існуючий підхід	Вимоги систематизації
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

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 в Україні дерегуляція контролю суб'єктів господарювання вимагає збалансування 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.



Рисунок 1 – Основна проблематика кваліметрії безпеки

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 [3]  $ZX = (zx_1, \dots, zx_k)$ , де кожен цільовий параметр ступеня небезпеки  $zx_i, i=1, k$  однозначно визначається ситуацією  $SS$ . Тобто

$$ZX = f(SS) (f_1(SS), f_2(SS), \dots, f_k(SS)), \quad (1)$$

де  $f(SS)$  – 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.

На основі виконаного аналізу сформульовано науково-прикладну проблему та завдання дисертаційного дослідження.

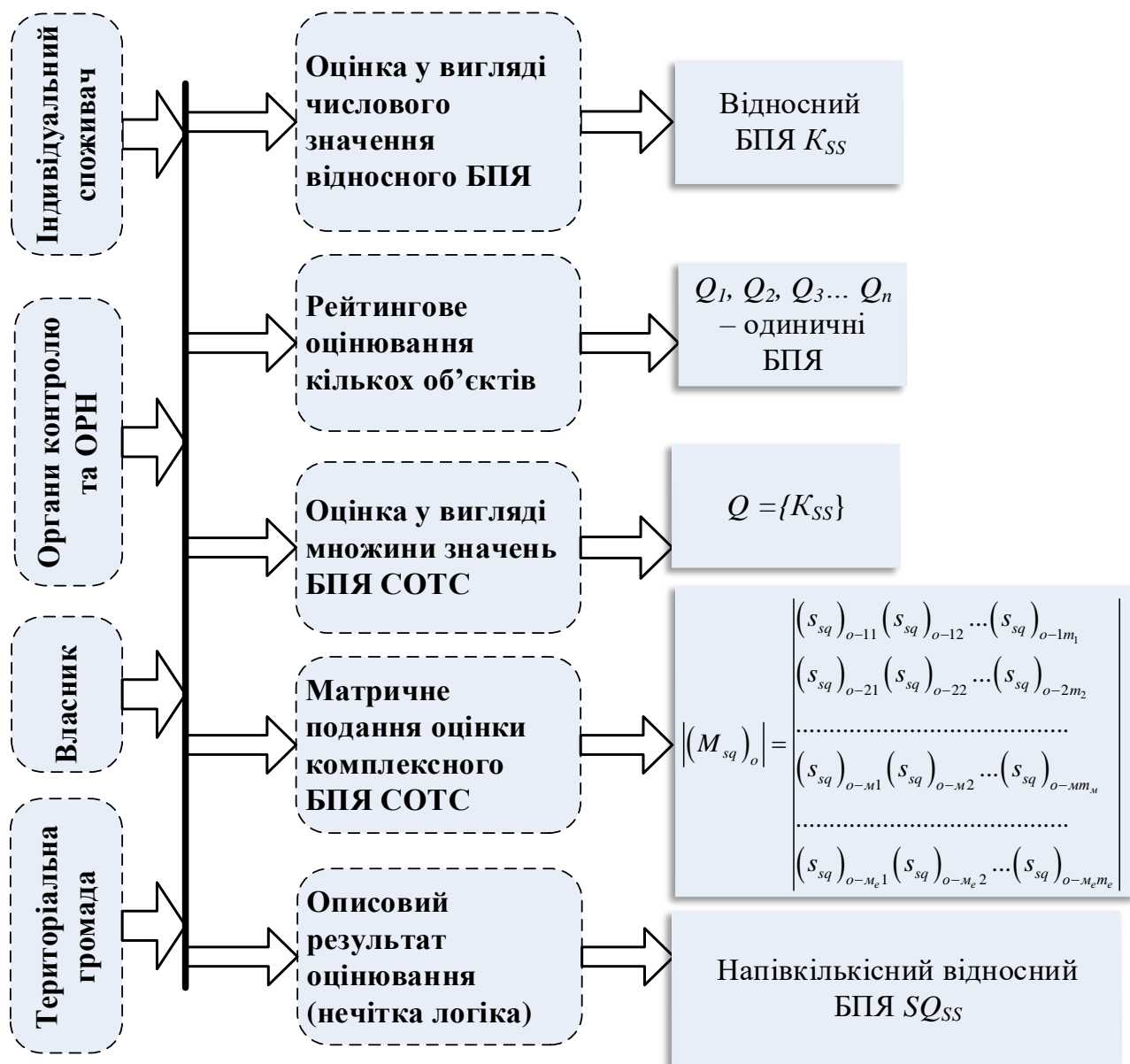


Рисунок 2 – Модель запиту на оцінювання безпеки СОТС в кваліметрії

Другий розділ присвячено розвитку теоретичних засад розгляду складових безпеки в показниках якості та класифікації безпекових показників якості для

складних організаційно-технічних систем. Розкрито сутність 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. 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 формування запиту на отримання оцінки безпеки СОТС запропоновано модель (рис. 2), яка передбачає вибір форми подання на підставі зацікавлення стейкхолдерів за різними критеріями. Таким чином, для індивідуального споживача рекомендовано 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  $\left| \left( (M_{sq})_o \right)_{pr} \right|$  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.

Загалом кожна з цих підмножин є матрицею, як правило, неквадратна, 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:

$$\left| \left( (M_{sq})_o \right)_{pr} \right|,$$

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

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 ( $m \in [1, 2, \dots, m_1, m_2, \dots, m_m, \dots, m_e, \dots, (m)_{max}]$ ). При цьому під час утворення  $(M_{sq})_o$  у вигляді (2) одиничні БПЯ об'єкта розміщуються спорідненими групами (рядками) так, щоб з них отримати вектори – комплексні БПЯ нижнього рівня, наприклад, з першого рядка:

$$|(SQ_o)_1| = \left| (s_{sq})_{o-11} (s_{sq})_{o-12} \dots (s_{sq})_{o-1m_1} \right| \quad (3)$$

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

За допомогою безпосереднього об'єднання в (2) комплексних БПЯ (наприклад, визначених за (3)) або одиничних та комплексних БПЯ, також за принципом спільної характеристики подібних властивостей досліджуваного об'єкта, отримують комплексні ПЯ вищого рівня:

$$|(SQ_o)_{m_2 m_2}| = \left| (SQ_o)_m (SQ_o)_{m+1} \dots (SQ_o)_{m+p} \right| \quad (4)$$

Завдяки останнім отримують локальну характеристику об'єднаних властивостей об'єкта. Прикладом таких властивостей можуть слугувати БПЯ – стійкості, міцності, працездатності, тепло-, водоізоляції, сигналізації, евакуації, блискавкозахисту, а також часткові ПЯ: надійності, економічності, витрат сировини, матеріалів, палива, ергономічні, екологічні тощо. В аналогічний спосіб 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)  $\left| (M_{sq})_o \right|$ .

З метою забезпечення єдиного 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, доцільно скористатись для формування матриць принципом оцінювання якості продукції і послугу вигляді шкали відношень. Тобто йдеться про принцип утворення векторів матриць на основі не абсолютних, а відносних одиничних БПЯ.

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

$$\left( (s_{sq})_{o-mm} \right)_{rl} = \frac{\left( (s_{sq})_{o-mm} \right)_{lmt} - \left( (s_{sq})_{o-mm} \right)_{lmt}}{\left( (s_{sq})_{o-mm} \right)_{tlr} - \left( (s_{sq})_{o-mm} \right)_{lmt}} \quad (5)$$

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

Комплексний метод оцінювання якості 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.

Досліджено методологічні засади оцінювання для управління безпекою в процесах розвитку складних організаційно-технічних систем. Для реалізації принципів процесного підходу до управління безпекою СОТС потрібно враховувати всі етапи її життєвого циклу (рис. 3).

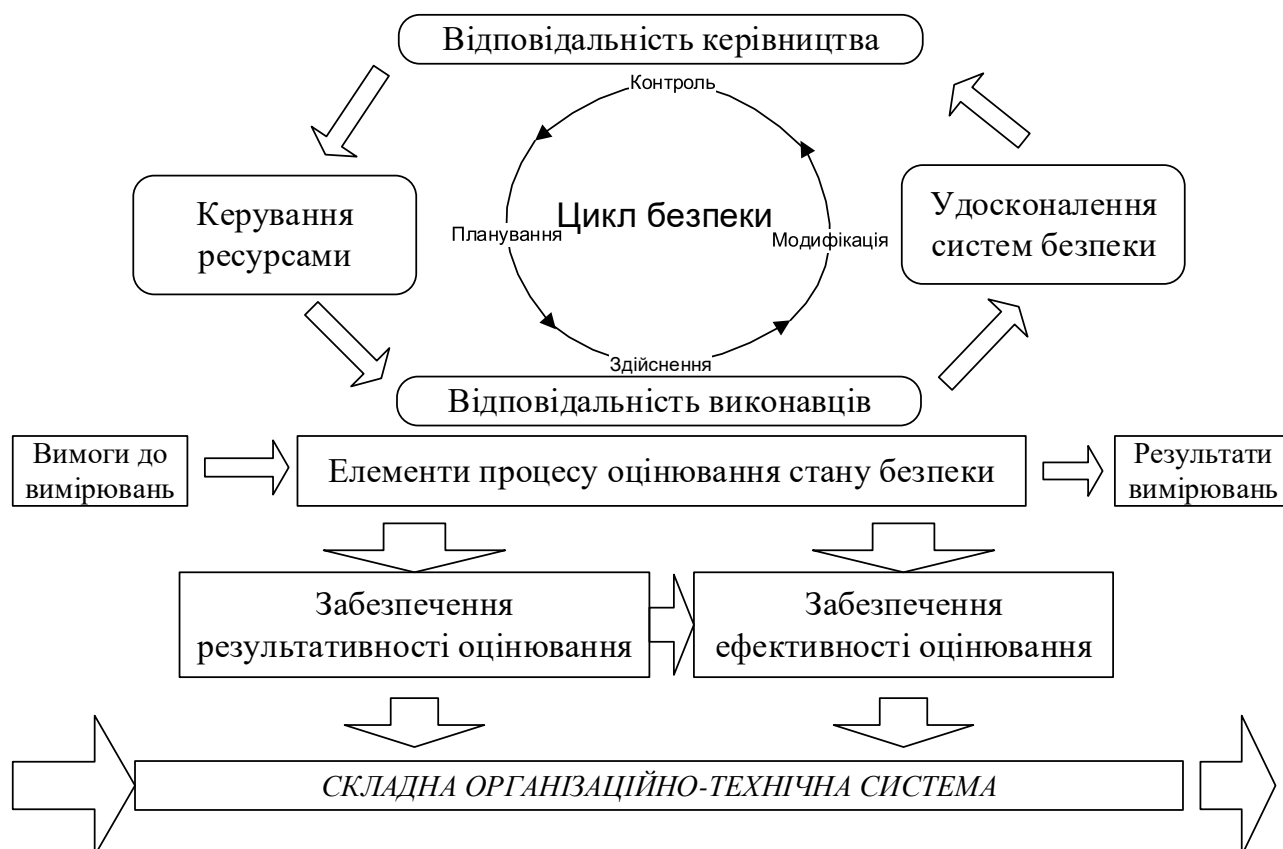


Рисунок 3 – Модель життєвого циклу безпеки складної організаційно-технічної системи

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

$$J_{CQ} = \frac{\sum_{i=1}^t E_{SQi} \cdot (1 + E_n)^i}{V_o \cdot (1 + E_n)^t + \sum_{i=1}^t S_n(T_i) \cdot (1 + E_n)^i} \quad (6)$$

де  $E_{SQ}$  – сумарний корисний ефект від експлуатації або споживання продукції;  $V_o$  – сумарні капітальні (одночасні) витрати на створення продукції, грн;  $S_n$  – сумарні експлуатаційні (поточні) витрати, грн;  $t$  – термін вислуги продукції, роки.

У чисельник формули 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, естетичні, ергономічні показники з показниками економічними.

Для концептуалізації оцінювання з врахуванням ризику, застосовується параметр часу. Невідомо, які події  $X$  насправді відбудуться і якими будуть наслідки  $IC$ , оскільки стосовно цього існують невизначеності  $U$  (рис.4). 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  $IC$ ). Щоб виразити невизначеність щодо величин  $RS$ ,  $X$  та  $IC$  традиційно застосовували ймовірність, і цей показник відповідає деяким основним вимогам валідації (рис.5).

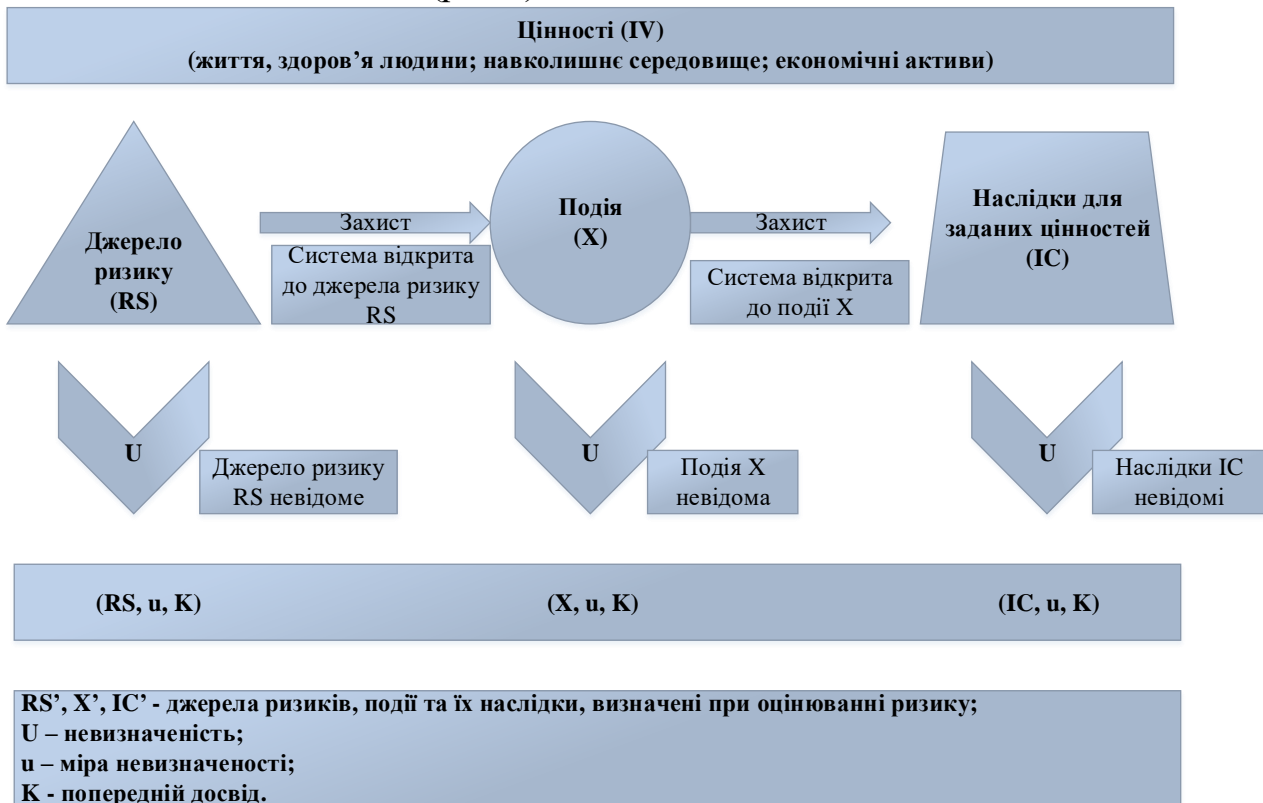


Рисунок 4 – Концептуальна модель, що пов'язує ризик, джерела ризику, події та наслідки (  $RS, X, IC$  ) – фактичні та  $(RS', X'$  та  $IC')$  – зазначені в оцінці ризику

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

$$K'_o = \varphi(P_i) \cdot K_o \quad (7)$$

де  $P_i$  – кількісне значення  $i$ -го безпекового показника якості елемента СОТС;  $K_i$  – відносний БПЯ. Ця регулювальна функція  $\varphi(P_i) = e^{-t}$  при деяких умовах перетворюється в нуль, тим самим перетворюючи в нуль і комплексний БПЯ  $K'_o$ .

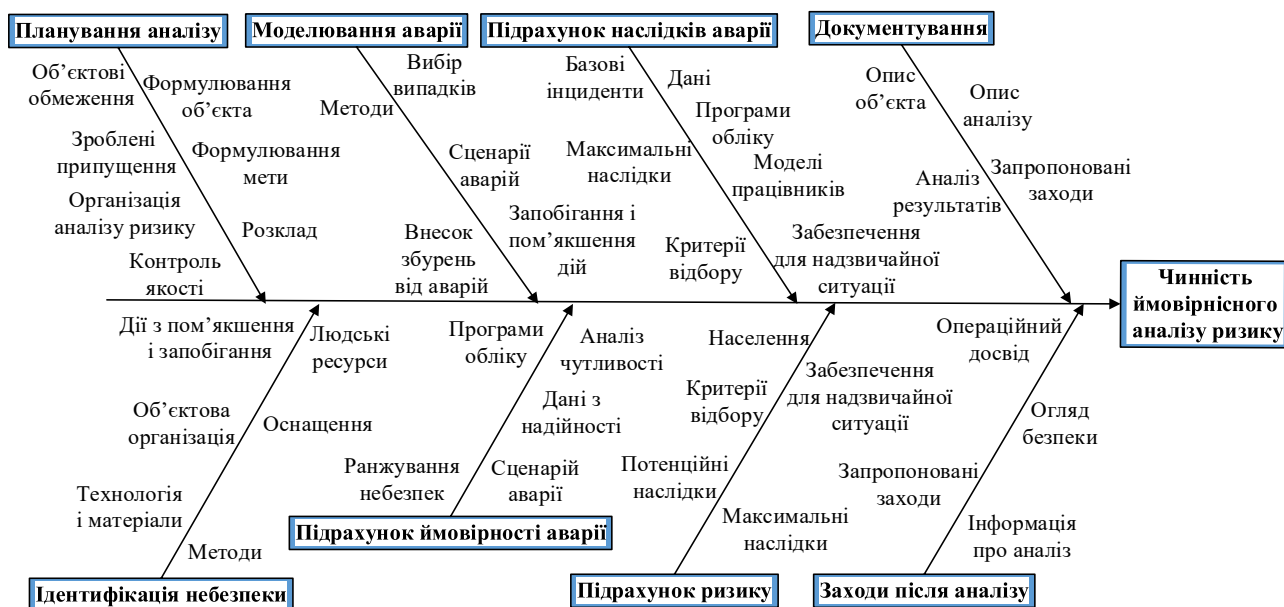


Рисунок 5 – Узагальнена схема валідації ймовірнісного аналізу ризиків

Відповідно до впливу ризиків та ймовірності їх виникнення, для складання ієрархії ризиків використовувалася бальна форма (табл. 2).

Таблиця 2 – 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 високий. Це найбільші ризики, на які у системі повинні звертати особливу увагу.	A
Середній вплив / Велика ймовірність виникнення	Високий. Ці ризики мають або велику ймовірність виникнення, або значний вплив	B
Середній вплив / Середня ймовірність виникнення	Середній. Існує середня ймовірність того, що можуть виникнути ризики зі значним впливом.	C
Середній вплив / Мала ймовірність появи Низький вплив / Середня ймовірність появи	Низький. Ці ризики можуть виникати за певних обставин і мати низький або середній вплив	D



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 заснований на аналізі матриці ризиків (таблиця 3).

Таблиця 3 – Матриця ризиків відповідно до ймовірності виникнення ризику та його впливу

Ймовірність виникнення ризику	Низький вплив (Незначний, його потрібно лише зареєструвати)	Середній вплив (Зрозумілий 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

У третьому розділі розглянуто питання підвищення точності та ефективності методів і засобів оцінювання показників якості системи безпеки СОТС. Типову структуру системи безпеки представлено у виді трирівневої ієрархічної системи.

Представлено графічну модель системи безпеки (рис. 6), 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 можна відобразити як:

$$J_{SQ} \xrightarrow{D \rightarrow opt} \sum_{i=1}^n T_i \cdot J_i = \sum_{i=1}^n T_i \cdot \sum_{j=1}^m T_{ij} J_{ij}, \quad (8)$$

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 здійснено з припущенням, що ефективність елементів системи безпеки, в першу чергу визначається ефективністю перетворення входів  $x_{ij}$  (цілей) у виходи  $y_{ij}$ , що можна відобразити залежністю (8):

$$J_{ij} = e_{ij} \frac{x_{ij}}{y_{ij}} \xrightarrow{d_{opt}} \max, \quad (9)$$

де  $e_{ij}$  - ефекти перетворення входів  $x_{ij}$  у виходи  $y_{ij}$ , що визначають якість виконання своєї функції окремим елементом безпеки.

Для моделі функції системи безпеки (рис. 6), вираз для функції якості, із врахуванням (8), (9) матиме вигляд:

$$J_{SQ} \xrightarrow{D \rightarrow opt} T_E \times e_E \cap T_R \times J_R + \varepsilon_{SQ},$$

$$J_E = \|T_{E-i}\|^{i=\overline{1,n}} \times \|e_{ij}^E\|_{j=\overline{1,m}}^{i=\overline{1,n}},$$

$$J_R = \|T_{R-i}\|^{i=\overline{1,n}} \times \|e_{ij}^R\|_{j=\overline{1,m}}^{i=\overline{1,n}}$$
(10)

Формалізація задач оцінювання ефектів окремих елементів системи безпеки, а також неточності моделювання її функції якості є складною науково-технічною проблемою та потребує окремого дослідження.

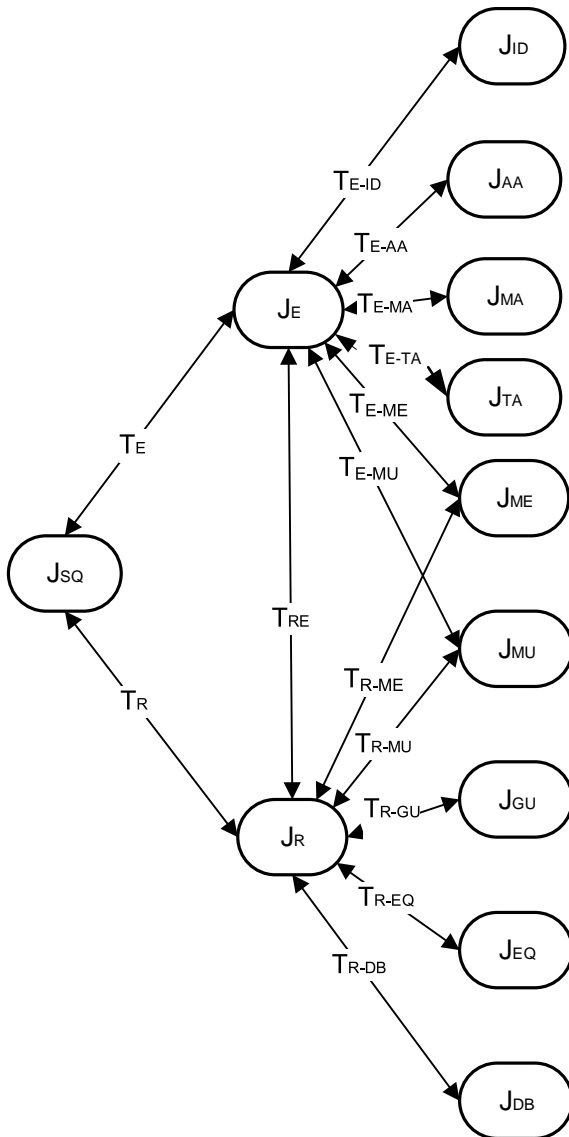


Рисунок 6 – Графічна модель декомпозиції функції якості  $J_{SQ}$  системи безпеки СОТС, де  $J_R$  – підсистема забезпечення результативності заходів безпеки,  $J_E$  – підсистема забезпечення ефективності. Елементи:  $J_{ID}$  – забезпечення ідентифікації ризиків;  $J_{AA}$  – забезпечення відповідності 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

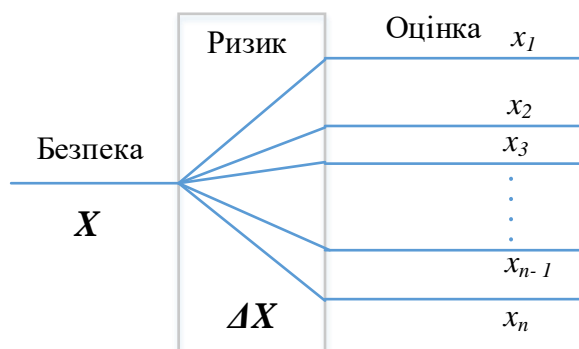
Також для оцінювання ефективності безпеки та її окремих елементів можна використовувати метод структурування їх функції якості, а оцінку неточності відображення функції БПЯ моделлю (10) можна оцінити за результатами послідовних досліджень її відповідності за показниками ефективності.

У 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.

Для прискорення визначення узгодженості та достовірності комплексних оцінок запропоновано методику аналізу показників безпеки шляхом застосування послідовності методів виявлення неоднорідності групових оцінок: 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.



У подальшому опрацюванні результатів оцінювання систем безпеки СОТС у вигляді отриманих комплексних безпекових показників якості обґрунтовано застосування математичного апарату теорії оцінювання похибок та непевності результатів вимірювань згідно з моделлю отримання оцінки безпеки (рис. 7)

Рисунок 7 – Модель отримання оцінки безпеки за впливом невизначеності ризику

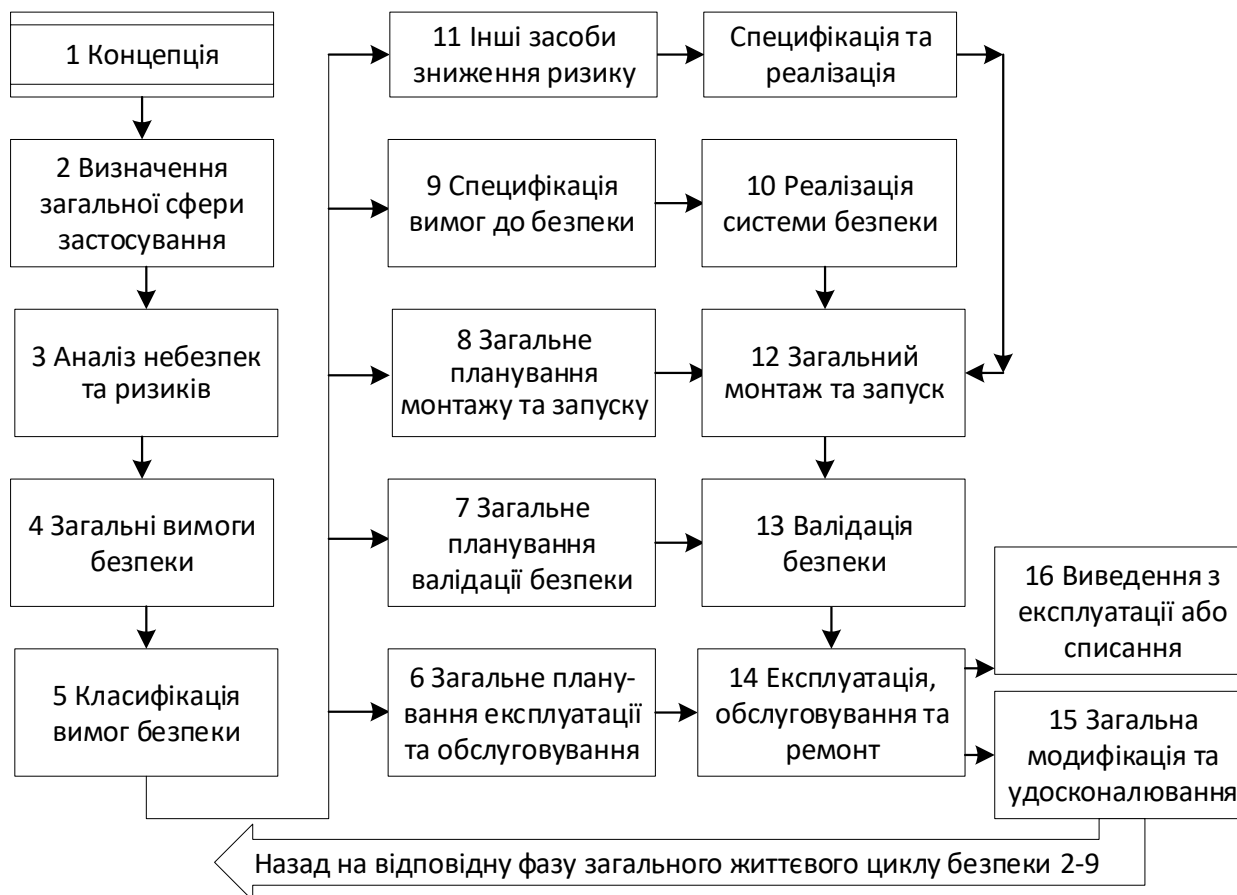


Рисунок 8 – Вплив на ризики у життєвому циклі безпеки

У цьому розділі представлено дослідження, які містять такі нові науково-практичні результати:

- модифікована схема оптимізації системи безпеки СОТС розширює функціональні можливості досліджень впливних факторів та її оцінювання;

- новий спосіб реалізації концепції безпеки СОТС, який на відміну від відомих відрізняється високою ефективністю завдяки розробленню оцінок результативності та ефективності систем безпеки СОТС у колі зворотного зв'язку життєвого циклу (рис. 8).

Для визначення ймовірності та рівня наслідків ризиків щодо їх значущості використовуються така шкала – «низький», «незначний», «середній», «значний», «неприйнятний» (табл. 4).

Таблиця 4 – 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

Формалізація моделі безпеки СОТС та процес оптимізації її структури відображено у вигляді (11), 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.

$$SS_w \Rightarrow \begin{cases} Q = Q(x, y, a, \Omega, t) \rightarrow extr \\ a = \Phi_1(a^0, y, x, \Omega, t) \\ y = \Phi_2(a, y^0, x, \Omega, t) \\ a^0, a^1 \in A, i = \overline{1, n_A}; x \in X, i = \overline{1, n_X}; \\ y^0, y^1 \in Y, i = \overline{1, n_Y}; t \in R[t_0, t_1]; \\ \omega_i \in \Omega, i = \overline{1, n_\Omega} \rightarrow const \end{cases} \quad (11)$$

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.

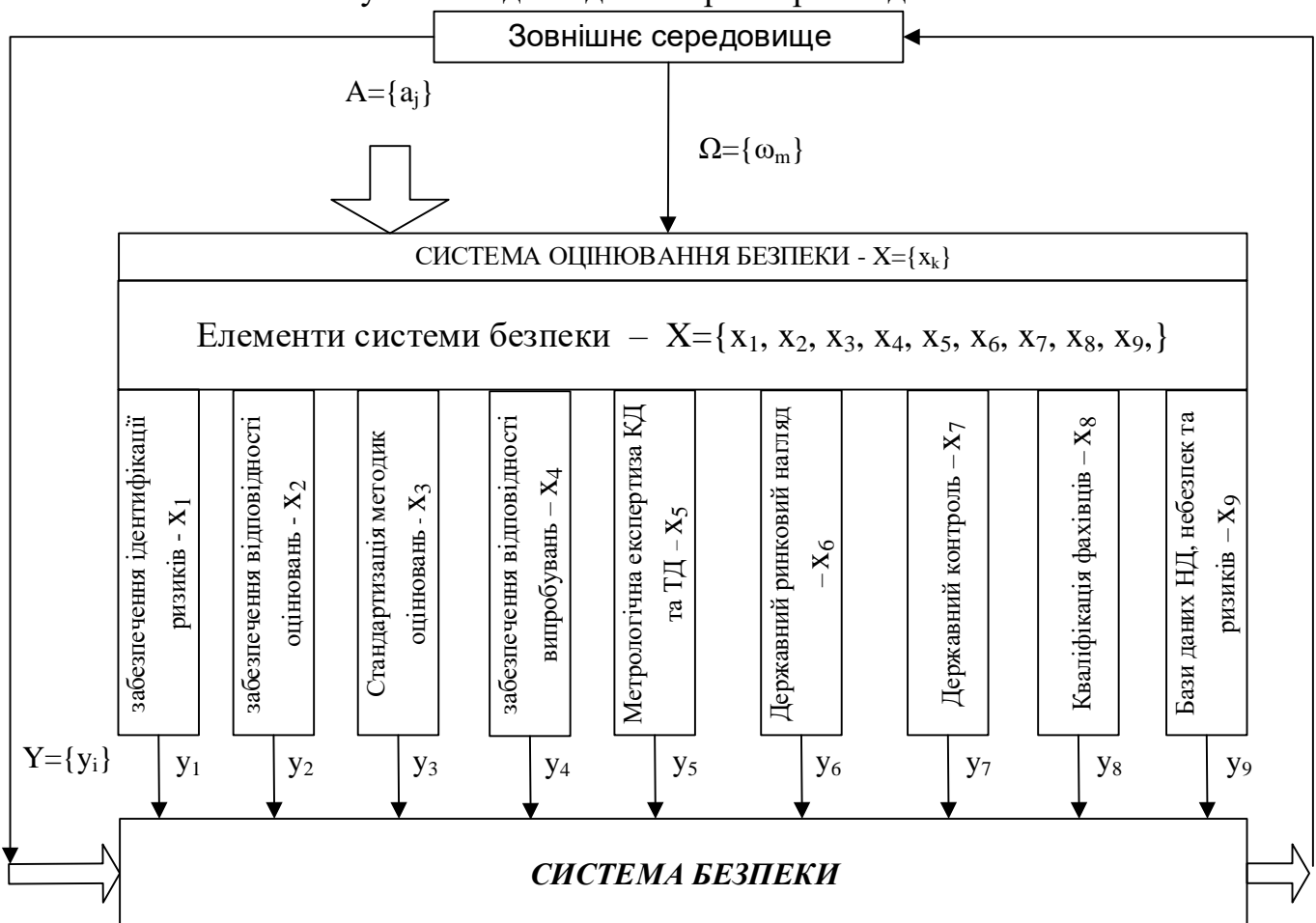


Рисунок 9 – Концептуальні елементи системи оцінювання безпеки СОТС

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.

Для підвищення ефективності безпеки СОТС необхідно оптимізувати структуру та значення її внутрішніх елементів  $Q = Q(x, y, a, \Omega, t) \rightarrow \max_A$ ,  $j_i(X, A, \Omega) \leq b_i, i = \overline{1, m}$  - функція втрат якості  $i$ -го елемента;  $X^{opt} = \min j_X(x_k) \rightarrow \max_Y P_W$ ,  $b_i$  - граничне значення функції втрат якості  $i$ -го елемента;  $P_W$  - ймовірність досягнення мети заходами безпеки СОТС.

Системний підхід до менеджменту безпеки дає змогу виділити принципи побудови систем управління якістю в галузі безпеки СОТС:

- 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.



Рисунок 10 – Схема розташування запропонованих елементів інфраструктури якості з метою досягнення функціональності зворотного зв'язку «виробник-наглядові органи»

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.

Обґрунтовані принципи управління якістю та безпекою СОТС дають змогу запропонувати введення в інфраструктурі якості ланки зворотного зв'язку, що також відповідає загальним принципам вимог до побудови СУЯ серії стандартів ISO 9001, та наведено на рис.10.

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.

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.

Із наведеного в роботі аналізу 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.

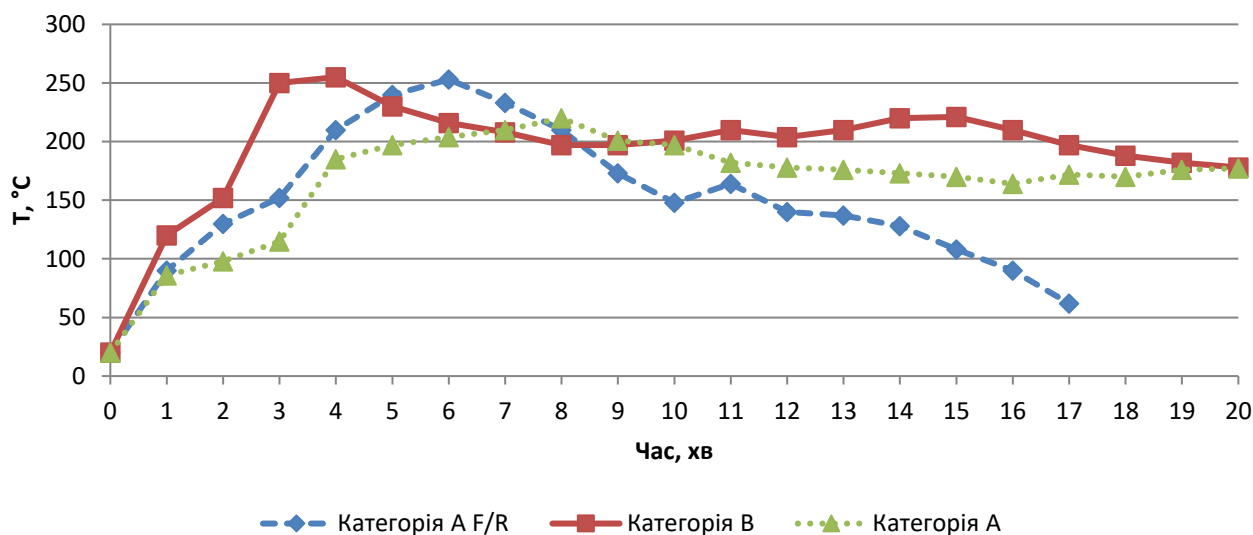


Рисунок 11. Графік температурних показників випробувань кабелів за категоріями

До недоліків цього підходу можна віднести:

- стійкість до змін, що унеможлиблює будь-які зміни у реакції матеріалу на вогонь;
- складність у підрахунку остаточної оцінки, яку не можна розрахувати перед тестом;

- підвищені вимоги до кваліфікації та досвіду працівників;
- не гнучкий процес, при якому за необхідності більше часу або фінансових ресурсів буде скорочувати фазу тестування;
- зниження ризику - це вже тестування готового продукту, а не його окремих частинок.

Отже, на підставі застосування запропонованих показників безпеки загальне значення відповідності методу випробувань буде збільшено.

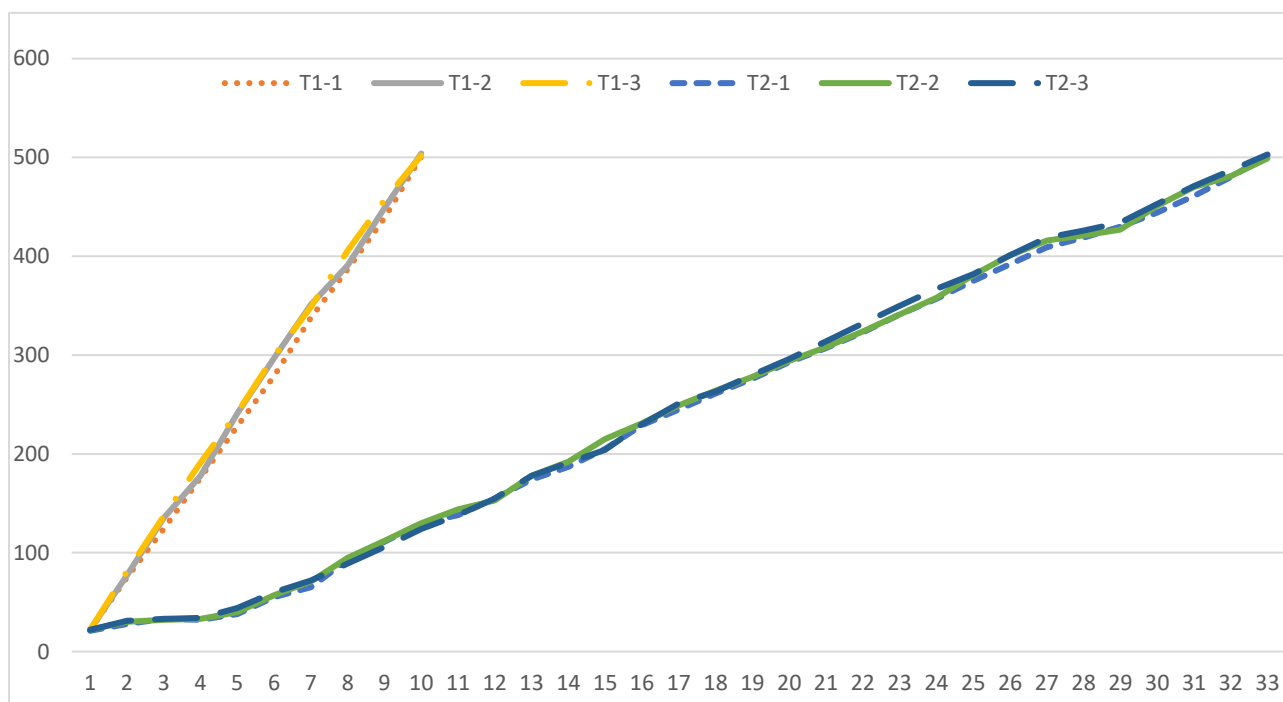


Рисунок 12. Порівняння теплопередачі через сталевий конструкційний матеріал та зміни температури (°C) за час (а) на неопалюваній поверхні плити, де: T1-1, T1-2, T1-3 - зразки без покриття, T2-1, T2-2, T2-3 - зразки з покриттям SFR-A.

Таблиця 5 – Показники безпеки вогнезахисних покриттів для сталевих конструкцій

Вид випробування	T2-1	T2-2	T2-3	$\bar{x}$	$s^2$	$SQi$
Показник часу досягнення усередненої за 6 термopарами критичної температури (рис. 12), с	1912	1926	1907	1915.00	10.77778	0,9674
Показник залежності температури для часу 30хв, °C	461	470	471	467.33	3.37037	0,786

Як один із шляхів вирішення проблеми підвищення об'єктивності оцінювання стану безпеки СОТС застосовано 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).



У цьому контексті при розгортанні функції БПЯ відповідно до (10), оптимізацію параметрів об'ємної матриці необхідно здійснювати шляхом постановки та вирішення трьох оптимізаційних задач, які наведені у Таблиці 6.

Розглядаючи систему безпеки як глобальний, для даного виробництва, процес, що об'єднує ряд елементів, кожен з яких має вхід  $x_i$  та вихід  $y_i$  обґрунтовано вважатимемо, що існує деяка функція корисності, котру назвемо функцією безпеки –  $J_{SS}$ , і яку можна використовувати для оцінювання якості функціонування системи безпеки.

Таблиця 6 – Оптимізаційні задачі при структуруванні функції БПЯ

Оптимізаційна задача	Порядок оптимізації	Результат
Задача 1	$SQ \rightarrow set$ $V \rightarrow set$ $CQ \rightarrow var$	Оптимізація витрат при заданих значеннях показників БПЯ та ТП
Задача 2	$SQ \rightarrow set$ $V \rightarrow var$ $CQ \rightarrow set$	Оптимізація складу та значень показників якості ТП при заданих витратах та показниках БПЯ
Задача 3	$SQ \rightarrow var$ $V \rightarrow set$ $CQ \rightarrow set$	Оптимізація складу та значень показників БПЯ при заданих витратах та показниках якості ТП

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:

$$J_i = e_i \frac{x_i}{y_i} \xrightarrow{d_{opt}} max, \quad (12)$$

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.

Матриця розгортання показників БПЯ матиме вид:

$$SQ_{nm} = \begin{vmatrix} sq_{11} & sq_{12} & \dots & sq_{1m} \\ sq_{21} & sq_{22} & \dots & sq_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ sq_{n1} & sq_{n2} & \dots & sq_{ij} \end{vmatrix}, \quad (13)$$

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. 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.

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, відображена на рис.3. Одиничні показники складають перший рівень оцінювання і вважаються рівнозначними.



Рисунок 13 – Алгоритм оцінювання комплексного показника результативності системи безпеки СОТС

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

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 СОТС розраховується за формулою:

$$SAr = \frac{\prod_{j=1}^n m_j \cdot SAr_j}{\prod_{j=1}^n m_j \cdot Kr_j} \quad (14)$$

де  $m_j$  - коефіцієнт вагомості елемента в структурі системи безпеки СОТС, 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.

У роботі застосовано анкету експертного оцінювання комплексного показника результативності системи безпеки нафтоперекачувальної станції та алгоритм оцінювання відповідності системи безпеки СОТС за показниками результативності (рис. 13).

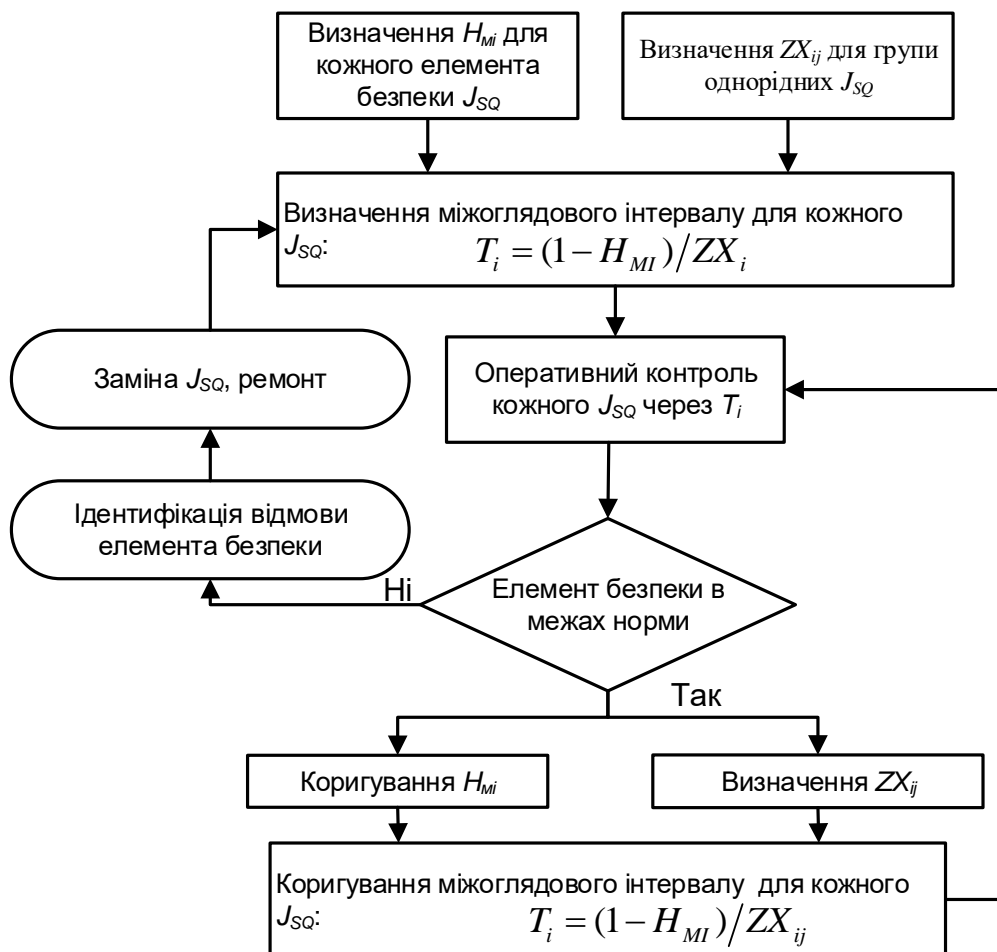


Рисунок 14 – Блок-схема алгоритму дотримання міжоглядового (контрольного) інтервалу для елементів систем безпеки СОТС

Результати досліджень показали придатність методів до аналізу ризику враження блискавкою в загальній оцінці системи безпеки СОТС.

У випадку встановлення однакової періодичності термінів профілактики і контролю параметрів безпеки, тобто для інтервалу часу між оглядами/ремонтom  $\theta_i = \theta$ ,  $i = \overline{1, m}$ , вираз частоти появи гранично допустимого рівня значення БПЯ елемента системи безпеки СОТС можна записати так:

$$H = \frac{1}{2^m} \lambda_j \theta^{2m} \prod_{i=1}^m \lambda_{s,i}. \quad (15)$$

де  $\lambda_j$  - параметр потоку появи ГДР в  $j$ -му елементі. Ймовірність появи ГДР на протязі часу  $t$  можна виразити:

$$P(t) = 1 - e^{-H \cdot t}. \quad (16)$$

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.

## 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 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., Рудик Ю. Material test and results estimation by safety indexes. *Вимірвальна 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 проєктів 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»*, 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. 102 с. – ISBN 978-617-7363-88-9

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 нафтогазпромислового 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: Видавництво Львівської політехніки, 2017. С. 125-126. ISBN 978-966-941-044-3

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 H02N 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.

## 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. Національний університет «Львівська політехніка», Міністерство освіти та науки України, Львів, 2021.

Дисертація присвячена вирішенню науково-прикладної проблеми, яка полягає у створенні процедури оцінювання безпеки складних організаційно-технічних систем кваліметричними методами з урахуванням ризиків.

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

Обґрунтовано вдосконалення математичної багатокритеріальної моделі 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 визначення її оптимізаційних умов за допомогою функції втрат якості.

Розроблено і апробовано підхід до виявлення і коригування 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.

**Ключові слова:** безпека складної системи, показник якості, оцінювання відповідності, стандартизація, оцінювання ризиків, ефективність, метрологічне забезпечення, невизначеність вимірювання, результативність, контроль якості, технічне регулювання, пожежна безпека, система блискавкозахисту.

## АННОТАЦИЯ

**Рудык Ю.И. Оценивание безопасности сложных организационно-технических систем кваліметрическими методами с учетом рисков. - На правах рукописи.**

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.01.02 - стандартизация, сертификация и метрологическое

обеспечение. Национальный университет «Львівська політехніка», Министерство образования и науки Украины, Львов, 2021.

Диссертация посвящена решению научно-прикладной проблемы, которая заключается в создании процедуры оценки безопасности сложных организационно-технических систем кваліметрическими методами с учетом рисков.

Представлена концепция структурирования показателя безопасности на основе матрицы по функции потерь и степени риска сложных организационно-технических систем и предложено оценивать количественные характеристики комплексного показателя безопасности, которые позволят определять мгновенное состояние безопасности системы и ее состояние в определённый период времени. Сформулированы методологические основы получения интегрального показателя безопасности с использованием математических зависимостей построения матриц функций защиты, обеспечивает получение объективной и объективной оценки безопасности в системе технического регулирования на основе обратной связи в инфраструктуре качества. На основе обработки закона распределения вероятности последствий опасных ситуаций предложено определение уровня точности оценки безопасности сложных организационно-технических систем, совместимого с точностью использования данных и методов анализа, что повышает воспроизводимость результатов определения безопасности показателя качества.

Обосновано совершенствование математической многокритериальной модели оценки безопасности сложных организационно-технических систем в виде целевой функции, которая основана на зависимости комплексного показателя безопасности качества от значений отдельных характеристик состояния безопасности объекта относительно риска, и определение ее оптимизационных условий с помощью функции потерь качества.

Разработан и апробирован подход к выявлению и коррекции оперативного определения безопасности сложных организационно-технических систем, для которых методы кваліметрии нетипичными, что повышает эффективность функционирования информационной системы мониторинга безопасности в условиях быстрых изменений требований.

**Ключевые слова:** безопасность сложной системы, показатель качества, оценки соответствия, стандартизация, оценка рисков, эффективность, метрологическое обеспечение, неопределенность измерения, результативность, контроль качества, техническое регулирование, пожарная безопасность, система молниезащиты.

## ANNOTATION

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

The dissertation is prepared for obtaining a degree of Doctor of Science (S.D.) in technical sciences on a specialty 05.01.02 - standardization, certification and metrological support. – Lviv Polytechnic National University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Lviv, 2021.

The dissertation is devoted to solving a scientific and applied problem which consists of creating a safety estimation procedure for complex organizational and technical systems

(COTS) by qualimetric methods that take risks into account. 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 concept of structuring the safety indicator based on the matrix by cost function and degree of risk for complex organizational and technical systems is presented and it is proposed to evaluate the quantitative characteristics of the complex safety indicator, which will determine the instantaneous safety status of the system and its state over time. Methodological bases of obtaining an integrated safety quality indicator using mathematical dependences of construction of safety function matrices are formulated, which provides an unbiased and objective safety assessment in the system of technical regulation based on feedback in the quality infrastructure.

Based on the elaboration of the law of distribution of the dangerous situations consequences probability, it is proposed to determine the safety assessment accuracy level of complex organizational and technical systems, compatible with the accuracy of data and analysis methods, which increases the reproducibility of safety indicators.

It is proposed to establish a scale for the integrated safety quality indicator according to the relative parameters of influence in the form of a mathematical relation, which gives a physical justification for the comparability of assessments.

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

Substantiation of improvement of mathematical multicriterial model of safety assessment of complex organizational and technical systems in the form of objective function, which is based on dependence of complex safety quality indicator on values of separate characteristics of safety condition of object on risk, and definition of its optimization conditions by quality loss function.

An approach to identifying and adjusting the operational security definition of complex organizational and technical systems for which qualimetry methods are atypical has been developed and tested, which increases the efficiency of the security monitoring information system in the face of rapid changes in requirements.

The results of theoretical and experimental research 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 of 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.

According to the proposed method of establishing the level of accuracy of COTS security assessment, compatible with the accuracy of data use and analysis methods, the cost-effectiveness of choosing an assessment method or improving COTS security tools is determined.

The proposed method of assessing the safety of qualimetry objects with the direct participation of the user based on geographic information tools ensures the effective functioning of the information system for monitoring the safety of COTS.

The developed concept of security indicators express control of COTS (type "check-list") and the defined ways of their rationing will promote a functioning efficiency increase of safety monitoring information system. The proposed optimized quality infrastructure with the addition of elements that are influenced by government agencies and professional associations, forms an objective and reliable information on the safety of the COTS. This division contributes to the structuring of knowledge, allows to assess the effectiveness of different methods of safety assessment and the selection of the best design solutions, considering the specifics of the risk, conditions and scenarios of risk development in the COTS.

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