

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ

Факультет мехатроніки та комп'ютерних технологій

Кафедра прикладної механіки та машин

Дипломна магістерська робота

на тему: Розроблення системи кваліметричного оцінювання складних технологічних систем

Виконав: студент групи МгЯС-20  
спеціальності 152 Метрологія та  
інформаційно-вимірвальна  
техніка

Освітня програма Якість,  
стандартизація, сертифікація

Ярослав БУРЯК

Керівник Ганна ХІМІЧЕВА

Рецензент Володимир ДВОРЖАК

Київ 2021

# КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ

Факультет мехатроніки та комп'ютерних технологій

Кафедра прикладної механіки та машин

Спеціальність 152 Метрологія та вимірювальні техніка

Освітня програма Якість, стандартизація та сертифікація

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ПММ

\_\_\_\_\_ Олександр МАНОЙЛЕНКО

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 року

## **ЗАВДАННЯ НА ДИПЛОМНУ МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Буряку Ярославу Юрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Розроблення системи кваліметричного оцінювання складних технологічних систем.

Науковий керівник роботи Хімічева Ганна Івнівна, д.т.н. проф.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затвержені наказом закладу вищої освіти від "04" жовтня 2021 року № 286

2. Строк подання студентом роботи 15 грудня 2021 рік.

3. Вихідні дані до роботи: процедури вимірювання та оцінювання згідно вимог VIM 3, показники оцінювання абсолютні та відносні, математичний апарат: методи нечіткої логіки та матричні методи, невизначеність результатів за типами А та В.

4. Зміст дипломної роботи (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ. Розділ 1 Аналіз теоретичних положень щодо застосування кваліметричних механізмів та інструментів Розділ 2 Розроблення методів та підходів щодо побудови системи кваліметричного оцінювання Розділ 3 Практичні рекомендації щодо застосування кваліметричних механізмів та інструментів оцінювання Загальні висновки. Список використаних джерел. Додатки.

## Консультанти розділів дипломної магістерської роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Вступ	Ганна ХІМІЧЕВА д.т.н. проф.		
Розділ 1	Ганна ХІМІЧЕВА д.т.н. проф.		
Розділ 2	Ганна ХІМІЧЕВА д.т.н. проф.		
Розділ 3	Ганна ХІМІЧЕВА д.т.н. проф.		
Висновки	Ганна ХІМІЧЕВА д.т.н. проф.		

5. Дата видачі завдання “05” жовтня 2021 року.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів дипломної магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка про виконання
1	Вступ	14.10.2021	
2	Розділ 1 Аналіз теоретичних положень щодо застосування кваліметричних механізмів та інструментів	27.10.2021	
3	Розділ 2 Розроблення методів та підходів щодо побудови системи кваліметричного оцінювання	15.11.2021	
4	Розділ 3 Практичні рекомендації щодо застосування кваліметричних механізмів та інструментів оцінювання	01.12.2021	
5	Висновки	03.12.2021	
6	Оформлення дипломної магістерської роботи (чистовий варіант)	06.12.2021	
7	Здача дипломної магістерської роботи на кафедру для рецензування (за 14 днів до захисту)	10.12.2021	
8	Перевірка дипломної магістерської роботи на наявність ознак плагіату (за 10 днів до захисту)	14.12.2021	
9	Подання дипломної магістерської роботи на затвердження завідувачу кафедри (за 7 днів до захисту)	17.12.2021	

Студент

\_\_\_\_\_

( підпис )

Ярослав БУРЯК

Керівник роботи

\_\_\_\_\_

( підпис )

Ганна ХІМІЧЕВА

Директор НМЦУПФ

\_\_\_\_\_

( підпис )

Олена ГРИГОРЕВСЬКА

## АНОТАЦІЯ

**Буряк Я.Ю. Розроблення системи кваліметричного оцінювання складних технологічних систем. – Рукопис.**

Дипломна магістерська робота за спеціальністю 152 Метрологія та вимірювальна техніка. Освітня програма: Якість, стандартизація та сертифікація – Київський національний університет технологій та дизайну, Київ, 2021 рік.

Дипломна магістерська робота присвячена питанням щодо розроблення системи кваліметричного оцінювання складних технічних систем з урахуванням вимог міжнародних стандартів стосовно її якості та безпеки.

В роботі проаналізовано методи кваліметричного оцінювання, показано різницю між поняттям «вимірювання» та «оцінювання». Доведено, що ці два поняття доцільно використовувати для процедур кваліметрії, які теоретично кваліметричні вимірювання складаються з двох етапів: вимірювання показників (властивостей) та оцінювання рівня якості.

До основних характеристик складних технічних систем віднесено якість та безпеку, які обумовлюються як вимогами нормативних документів, так і задоволеністю потенційних споживачів. Тобто вимагаються як якісного, так і кількісного оцінювання.

Доведено, що поєднання методології кваліметрії та метрології суттєво розширює можливості щодо забезпечення єдності вимірювань, підвищення точності та достовірності отриманих результатів.

Запропоновано класифікацію методів кваліметрії за такими ознаками як показники якості та джерело отримання інформації. Згідно даної класифікації методи поділено на об'єктивні евристичні, комбіновані.

Запропоновано для досягнення умов ефективності безпеки складної технічної системи запропоновано використовувати матрицю розгортання функції безпекового показника якості.

Для його визначення наведено методику оцінювання невизначеності результатів експертних вимірювань в основу якої покладено професійну та кваліметричну компетентність експерта.

***Ключові слова:*** складна технічна система, алгоритми та методи вимірювань, кваліметрія, невизначеність, похибки, безпека, якість.

## SUMMARY

**Buryak Ya. Development of a system of qualimetric evaluation of complex technological systems. - Manuscript.**

Master's thesis in the specialty 152 Metrology and Measurement Engineering. Educational program: Quality, standardization and certification - Kyiv National University of Technology and Design, Kyiv, 2021.

The master's thesis is devoted to the development of a system of qualimetric evaluation of complex technical systems, taking into account the requirements of international standards for its quality and safety.

The paper analyzes the methods of qualimetric evaluation, shows the difference between the concept of "measurement" and "evaluation". It is proved that these two concepts should be used for qualimetry procedures, which theoretically qualimetric measurements consist of two stages: measurement of indicators (properties) and quality level assessment.

The main characteristics of complex technical systems include quality and safety, which are determined by both the requirements of regulatory documents and the satisfaction of potential consumers. That is, both qualitative and quantitative evaluation are required.

It is proved that the combination of qualimetry methodology and metrology significantly expands the possibilities for ensuring the uniformity of measurements, improving the accuracy and reliability of the results. The classification of qualimetry methods according to such features as quality indicators and source of information is proposed.

According to this classification, the methods are divided into objective heuristic, combined. Proposed to achieve the safety conditions of a complex technical system, it is proposed to use a deployment matrix of the safety quality function. To determine it, the method of estimating the uncertainty of the results of expert measurements is based on the professional and qualimetric competence of the expert.

**Keywords:** *complex technical system, algorithms and measurement methods, qualimetry, uncertainty, errors, safety, quality.*

## ЗМІСТ

СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	7
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕОРЕТИЧНИХ ПОЛОЖЕНЬ ЩОДО ЗАСТОСУВАННЯ КВАЛІМЕТРИЧНИХ МЕХАНІЗМІВ ТА ІНСТРУМЕНТІВ.....	10
1.1. Застосування методів кваліметричних вимірювань для оцінювання складних технічних систем.....	10
1.2. Застосування інформаційних технології кваліметрії для оцінювання виробничих процесів.....	17
1.3 Застосування методів нечіткої логіки в процесах кваліметричного оцінювання.....	27
Висновки до першого розділу.....	33
РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ОЦІНЮВАННЯ РИЗИКІВ СКЛАДНИХ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ.....	35
2.1 Структурні складові організаційно-технічних систем та їх властивості.....	35
2.2 Вибір та обґрунтування показників для кваліметричного оцінювання складних технічних систем.....	40
2.3 Оцінювання безпекового показника якості на основі застосування кваліметричних методів.....	47
Висновки до другого розділу.....	56
РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ЗАСТОСУВАННЯ КВАЛІМЕТРИЧНИХ МЕХАНІЗМІВ ТА ІНСТРУМЕНТІВ ОЦІНЮВАННЯ....	58
3.1 Методика оцінювання ефективності заходів безпеки складних технічних систем.....	58
3.2 Методика оцінювання невизначеності результатів експертних вимірювань..	66
3.3 Застосування коефіцієнтів вагомості для кваліметричної оцінки продукції	73
Висновки до третього розділу.....	79
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	81
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	83
ДОДАТКИ.....	88

## СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

РФЯ – розготання функції якості

ТП – технологічний процес

БПЯ – безпековий показник якості

ПВ – показника властивостей

ЗВТ – засобів вимірювальної техніки

НД – нормативний документ

СТС – складні технічні системи

ПЯ – показник якості

БП – безпековий показник

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Сьогодні складні технічні системи мають досить широке розповсюдження. Вони охоплюють як технічні споруди, промислові підприємства, будівельні об'єкти, так і виробничі та технологічні процеси тощо. Функціонування цих систем пов'язано з різними ризиками, зокрема обумовленими вимогами безпеки. Це потребує постійного моніторингу показників (параметрів), тобто кваліметричного оцінювання. Останнє в свою чергу потребує формування кількісних оцінок, методів і засобів об'єктивного контролю. Проте для кількісного оцінювання рівня безпеки складної технічної системи потрібно мати спеціальні механізми та інструменти, які дозволяють об'єктивно та оперативно проводити оцінювання незалежно від місця, часу та об'єкта досліджень. Вцілому все це потребує запровадження системного оцінювання рівня безпеки на основі застосування принципів кваліметрії, встановлення системних взаємозв'язків між показниками якості, їх структурування, методів визначення коефіцієнтів вагомості та методик формування загальних результатів оцінювання якості та безпеки. Таким чином дослідження, що пов'язані з розробленням системи кваліметричного оцінювання складних технічних систем є своєчасними та актуальними.

**Мета роботи** полягає в розробленні кваліметричних принципів, методів та підходів щодо побудови системи оцінювання складних технічних об'єктів з урахуванням вимог міжнародних стандартів.

Для досягнення поставленої мети було сформульовано та вирішено такі **завдання**:

- проаналізувати теоретичні положення щодо застосування кваліметричних механізмів та інструментів;
- розробити методів та підходи щодо побудови системи кваліметричного оцінювання;
- визначити практичні рекомендації щодо застосування кваліметричних механізмів та інструментів оцінювання.

**Об'єктом досліджень** є удосконалення процесу кваліметричного оцінювання складних технічних систем.

**Предметом дослідження** є кваліметричні механізми та інструменти,



показники якості та безпеки, вимоги міжнародних стандартів, ризику

**Методи дослідження.** В роботі застосовано методи кваліметричного порівняльного та системного аналізу, стандартизації, експертних оцінок, математичного моделювання, нечіткої логіки.

#### **Наукова новизна.**

1. Для визначення безпекового показника якості складної технічної системи запропоновано застосовувати матричний метод, який дозволяє на основі застосування множини одиничних показників визначати властивості системи в залежності від різних стадій її життєвого циклу.

2. Запропоновано класифікувати методи кваліметрії за такими ознаками як показник якості та джерело отримання інформації. Згідно даної класифікації вони поділяються на об'єктивні, евристичні, комбіновані.

#### **Практичне значення.**

1. На основі застосування методів нечіткої логіки запропоновано алгоритм оцінювання якості та безпеки складних технічних систем. Такий підхід до побудови алгоритму дозволяє оцінювати показники якості та безпеки як з позиції виробника, так і з позиції потенційних споживачів.

2. Запропоновано процедури оцінювання простих та складних технічних систем та їх безпекового показника якості в основу яких покладено визначення двох числових параметрів: відносного показника та його вагомість.

3. Запропоновано методику оцінювання ефективності заходів безпеки складних технічних систем в основу якої покладено критерії, що обумовлюють формалізовані вимоги та показники і дозволяють кількісно їх оцінити.

**Апробація результатів досліджень.** Результати роботи були представлено та обговорено у вигляді доповіді на V міжнародній науково-практичній конференції «Мехатронні системи: інновації та інжиніринг» - «MSIE-2021» 04 листопада 2021 року, м. Київ.

**Структура й обсяг магістерської роботи.** Робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел, який включає 48 найменування та додатків. Повний обсяг роботи становить 88 сторінок, 11 таблиця, 14 рисунків та один додаток.

## РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕОРЕТИЧНИХ ПОЛОЖЕНЬ ЩОДО ЗАСТОСУВАННЯ КВАЛІМЕТРИЧНИХ МЕХАНІЗМІВ ТА ІНСТРУМЕНТІВ

1.1. Застосування методів кваліметричних вимірювань для оцінювання складних технічних систем

Вимірювання, тестування та контроль якості являє собою невід'ємну частину будь-якого виробничого процесу у т.ч. і оцінювання складних технічних систем.

Одною із складових сучасної метрології є кваліметрія. Вона вивчає методологію кількісного оцінювання якості об'єктів будь-якої природи (абстрактних і конкретних, продуктів праці, матеріальних і ідеальних товарів, послуг, предметів і процесів тощо). При цьому одією з важливих задач кваліметрії є забезпечення єдності і метрологічної простежуваності результатів оцінювання якості продукції та аналізу точності та достовірності отриманих оцінок [1]. Проте рішення даного завдання можливе тільки за умов комплексного поєднанні методології кваліметрії та метрології. Це пов'язано з тим що метрологія володіє потужним науковим, практичним та законодавчим інструментарієм. Зокрема це стосується шкали та еталони, методів та методик вимірювань величин та оцінювання точності отриманих результатів вимірювань. Все це згідно Закону України «Про метрологію та метрологічну діяльність» [2], необхідно для забезпечення єдності вимірювань у сфері кваліметрії.

Слід зазначити, що два ключових понять метрології та кваліметрії – «вимірювання» та «оцінювання» згідно із Міжнародним словником з метрології VIM3 [3], мають наступні визначення. Так, вимірювання (англ. - measurement) – це процес експериментального визначення одного або декількох значень величини, які обґрунтовано можуть бути приписані величині; при цьому вимірювана величина (англ. - measurand) – величина, що підлягає вимірюванню. Поняття величина (англ. - quantity) - властивість явища, тіла або речовини, що може бути виражена кількісно у вигляді числа із відмінною (відмітною) ознакою як основою для порівняння. Тому основою для порівняння (англ. - reference) може бути еталон,

одиниця вимірювання (одиниця величини), методика вимірювання, стандартний зразок або їх комбінації. Такий підхід до сфери дослідження сучасної метрології дозволяє розширити поняття вимірюваної величини.

Отже, поняття «вимірювання» безпосередньо пов'язане з такими поняттями, як результат вимірювання, єдність вимірювань, точність вимірювань, метрологічна простежуваність результатів вимірювань та іншими ключовими поняттями метрології, що дозволяє порівнювати результати вимірювань характеристик ідентичних об'єктів.

Оцінювання якості продукції – процедура знаходження значень показників якості та рівня якості продукції, які є її кількісними (числовими) характеристиками. Отже, застосовуючи поняття «оцінювання» у процедурі дослідження якості продукції неможливо об'єктивно порівняти результати дослідження якості ідентичної продукції, отримані в різних лабораторіях, різними методами і засобами, в різних умовах та здійснити метрологічну простежуваність результатів оцінювання. Тобто кваліметричне оцінювання має меншу об'єктивність та достовірність щодо отриманих оцінок.

Узагальненою характеристикою продукції є її якість (англ. - product quality) – сукупність характеристик продукції (процесу, послуги), які стосуються її здатності задовольняти встановлені і передбачені потреби (вимоги). Проведений аналіз чинних НД та літературних джерел [5] показав, що числовими оцінками якості продукції є одиничні абсолютні показники якості, відносні та комплексні показники та рівень якості продукції.

Для ефективного поєднання методології кваліметрії та метрології у сфері кваліметрії доцільно використати основні методи вимірювань та основні положення репрезентативної теорії вимірювання. Згідно [6, 7] метод вимірювання це загальний опис логічної послідовності операцій при вимірюванні. При цьому основою будь-якого вимірювання є порівняння вимірюваної величини з мірою, яка зберігає і відтворює одиницю даної величини. Методи вимірювань класифікують за такими ознаками: за способом використання міри; за способом порівняння з мірою; за повнотою порівняння з мірою.

За способом використання міри всі методи вимірювань розділяють на дві групи: методи різночасного або неявного порівняння з мірою та методи одночасного або безпосереднього, явного порівняння з мірою.

Методи різночасного, неявного порівняння основані на використанні вимірювальних приладів, шкали яких градуйовані в одиницях вимірюваних величин. Вони реалізуються шляхом застосування аналогових та цифрових вимірювальних приладів, шкали яких градуйовані в одиницях вимірюваної величини.

Методи одночасного (безпосереднього, явного порівняння) основані на використанні міри вимірюваної величини безпосередньо в процесі вимірювання. Вони поіляються на такі види: за способом порівняння з мірою (метод вимірювання заміщенням, метод заміщення; метод вимірювання протиставленням, метод протиставлення; компенсаційний метод вимірювання, компенсаційний метод; метод вимірювання доповненням, метод доповнення; метод збігу; резонансний метод вимірювання, резонансний метод); за повнотою порівняння з мірою: (нульовий метод вимірювання, нульовий метод; диференціальний метод вимірювання, диференціальний метод).

Відповідно до загальної класифікації вимірювань згідно із ДСТУ 2681-94 [4] та означенням вимірювання згідно із VIM3 [3] у кваліметрії, як і загалом у метрології, є змога застосовувати такі види вимірювань: прямі вимірювання; непрямі вимірювання (опосередковані вимірювання; сукупні вимірювання; сумісні вимірювання). Дана класифікація видів вимірювань, а також методика вимірювання та методика оцінювання точності результатів вимірювань ґрунтуються на аналізі понять «модель вимірювання» та «функція вимірювання».

Модель вимірювання являє собою математичний зв'язок між усіма величинами, про які відомо, що вони беруть участь у вимірюванні. У загальному вигляді модель вимірювання - це рівняння  $h(Y, X_1, \dots, X_n) = 0$ , де  $Y$  - вихідна величина в моделі вимірювання є вимірюваною величиною, значення якої має бути отримано виходячи із інформації про вхідні величини в моделі вимірювань  $X_1, \dots, X_n$ . У складніших випадках, коли є дві або більше вихідні величини, як у разі

сукупних та сумісних вимірювань, модель вимірювань складається із більше ніж одного рівняння.

Функція вимірювань - функція величин, значення якої, обчислене з використанням відомих значень вхідних величин в моделі вимірювань, є вимірним значенням вихідної величини в цій моделі вимірювань.

Якщо модель вимірювань  $h(Y, X_1, \dots, X_n) = 0$  може бути записана в явному вигляді як  $Y = f(X_1, \dots, X_n)$ , де  $Y$  вихідна величина в моделі вимірювань, то функція  $f$  є функцією вимірювань. У загальному випадку  $f$  може позначати алгоритм, за яким для значень вхідних величин  $x_1, \dots, x_n$  виходить відповідне єдине значення вихідної величини  $y = f(x_1, \dots, x_n)$ .

Функція вимірювань також використовується у процедурі аналізу точності вимірювання для обчислення непевності вимірювань  $u(y_{вим}), 1_y$ , пов'язаної з вимірним значенням  $y_{вим}, 1_y$  величини  $Y$ .

Основою для порівняння чи мірою величини у процедурі вимірювань у кваліметрії є стандартний (базовий, еталонний) зразок із характеристиками, встановленими у процедурі його метрологічної атестації. Числові значення характеристик еталонного зразка встановлюють згідно ДСТУ ГОСТ ISO 5725-1:2005 [8].

Методика вимірювання(процедура вимірювання) – це сукупність процедур і правил, виконання яких забезпечує одержання результату вимірювання з потрібною точністю [8, 9]. На практиці вимірювальна задача у метрології, загалом, складається із трьох етапів [10]: підготування вимірювального експерименту; проведення вимірювального експерименту; опрацювання результатів вимірювального експерименту.

На етапі підготування вимірювального експерименту основними вимірювальними операціями у процедурі вимірювання є: аналіз і опис вимірюваної величини  $X$  з урахуванням роду величини, опису явища, тіла або речовини, яким властива ця величина; вибір методу вимірювання та необхідних засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) для його реалізації; аналіз умов проведення вимірювального експерименту і формування модельного рівняння вимірювання для знаходження результату вимірювання  $x_{вим}, 1_x$ ; формування модельного

рівняння систематичної похибки результату вимірювання  $\Delta x_{вим}, I_x$  з урахуванням усіх чинників (інструментальних похибок ЗВТ, точності результату вимірювання;  $\Delta x_{інст}, I_x$  та методичних похибок;  $\Delta x_{мет}, I_x$ ; знаходження непевності результату вимірювання  $u(x_{вим}), I_x$  з урахуванням випадкових похибок).

Модельні рівняння двох основних видів вимірювань у кваліметрії та відповідних систематичних похибок, за якими знаходять непевність  $u(x_{вим}), I_x$  отриманих результатів вимірювань характеристик якості продукції, наведені нижче у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1

Модельні рівняння результатів вимірювання, систематичної похибки та непевності (невизначеності) результатів вимірювання характеристик якості продукції

Види вимірювання	Модельні рівняння:	
	а) результату вимірювання	б) систематичної похибки вимірювання
Прямі вимірювання	$x_{вим} = x_n, I_x$	$Dx_{вим} = Dx_{n,o} + Dx_{n,кв} + \sum_{j=1}^m Dx_{n,д,j} + Dx_{мет}, I_x$
	<p><math>x_{вим}</math> – результат вимірювання величини <math>X, I_x</math>; <math>x_n</math> – показ вимірювального приладу; <math>Dx_{вим}</math> – похибка результату вимірювання величини <math>X, I_x</math>; <math>Dx_{n,o}</math> – основна інструментальна похибка вимірювального приладу, <math>I_x</math>; <math>Dx_{n,кв}</math> – похибка квантування вимірювального приладу, <math>I_x</math>; <math>Dx_{n,д,j}</math> – j-та додаткова інструментальна похибка вимірювального приладу (<math>m</math> – число додаткових похибок), <math>I_x</math>; <math>Dx_{мет}</math> – методична похибка вимірювання величини <math>X, I_x</math>.</p> <p>Комбінована стандартна непевність результату прямого вимірювання за типом В:</p> $u_{св}(x_{вим}) = \sqrt{u_B^2(x_{вим})_{\Delta x_{n,o}} + u_B^2(x_{вим})_{\Delta x_{n,кв}} + \sum_{j=1}^m u_B^2(x_{вим})_{\Delta x_{n,д,j}} + u_B^2(x_{вим})_{\Delta x_{мет,мет}}, I_x}$ <p>де <math>u_B(x_{вим})_{\Delta x_{n,o}}</math> – стандартна непевність результату вимірювання за типом В, спричинена невилученою систематичною похибкою (НСП) <math>Dx_{n,o}, I_x</math>; <math>u_B(x_{вим})_{\Delta x_{n,кв}}</math> – стандартна непевність результату вимірювання за типом В, спричинена НСП <math>Dx_{n,кв}, I_x</math>; <math>u_B(x_{вим})_{\Delta x_{n,д,j}}</math> – стандартна непевність результату вимірювання за типом В, спричинена НСП <math>Dx_{n,д,j}, I_x</math>; <math>u_B(x_{вим})_{\Delta x_{мет,мет}}</math> – стандартна непевність результату вимірювання за типом В, спричинена неповною корекцією методичної похибки <math>Dx_{мет}, I_x</math>.</p>	
	<p>Непрямі вимірювання</p> $y_{вим} = f(x_1, \dots, x_n), I_y$ $Dy_{вим} = \sum_{i=1}^n \frac{\partial Y}{\partial x_i} \times Dx_{вим,i} + Dy_{мет}, I_y$ <p><math>y_{вим}</math> – результат вимірювання величини <math>Y, I_y</math>; <math>Dy_{вим}</math> – похибка результату вимірювання величини <math>Y, I_y</math>;  <math>Dx_{вим,i}</math> – сумарна похибка результату вимірювання величини <math>x_i, I_{x,i}</math>; <math>Dy_{мет}</math> – методична похибка вимірювання величини <math>Y, I_y</math>.</p> <p>Комбінована стандартна непевність результату непрямого вимірювання за типом В:</p> $u_{св}(y_{вим}) = \sqrt{\sum_{i=1}^n C_i^2 u_{св}^2(x_{вим,i}) + u_B^2(y_{вим})_{\Delta y_{мет,мет}}, I_y}$ <p>де <math>u_{св}(x_{вим,i})</math> – комбінована стандартна непевність за типом В результату вимірювання величини <math>x_i</math>;  <math>C_i = \frac{\partial Y}{\partial x_i}</math> – коефіцієнти вагомості складових <math>u_{св}(x_{вим,i})</math>; <math>u_B(y_{вим})_{\Delta y_{мет,мет}}</math> – стандартна непевність результату вимірювання за типом В, спричинена неповною корекцією методичної похибки <math>Dy_{мет}, I_y</math>.</p>	
<p><b>Примітка.</b> 1. Наведені у таблиці формули відповідають вимірюванням із одноразовими спостереженнями без урахування випадкових похибок. 2. Формули для знаходження комбінованої стандартної непевності результату вимірювання за типом В наведені за умовивідсутності кореляції між складовими.</p>		

За своєю сутністю кваліметричні вимірювання – це вимірювання, які дають змогу отримати числову оцінку якості досліджуваної продукції, а саме – рівень її якості. Кваліметрія здійснює оцінювання шляхом порівняння фізичних, економічних, естетичних та інших показників з еталонами. У метрології також є еталони, стандарти, але вони, як правило, стабільні й історично незмінні (метр, кілограм тощо), а кваліметричні еталони можуть змінюватись, вони є функцією часу, природного і соціального середовища.

Кваліметрія має здійснювати кваліметричні оцінки шляхом вимірювання і порівнянням числових значень показників. Крім того, за умови відповідності значень показників нормативним або еталонним значенням є реальна можливість отримати синергетичний ефект та обґрунтувати управлінські рішення щодо удосконалення об'єкту дослідження.

Кваліметричні вимірювання дозволяють представити якісні показники кількісними значеннями. Теоретично кваліметричні вимірювання складаються із двох основних етапів [9]: вимірювання різних показників (властивостей) продукції – механічних, просторових, електричних, магнітних, теплових, хімічного складу тощо та оцінювання рівня якості продукції на основі проведених вимірювань значень різних показників (властивостей).

Загалом перший етап кваліметричних вимірювань є суто технологічною частиною; другий етап є опрацюванням отриманих результатів з метою визначення рівня якості досліджуваної продукції. Такий підхід до кваліметричних вимірювань з позиції теорії вимірювань дозволяє вважати їх одним із видів непрямих вимірювань, а кваліметрію – одним із розділів метрології [11].

Відомі два основних методи оцінювання достовірної інформації стосовно об'єкта вимірювання – диференційний і комплексний.

Диференцій метод ґрунтується на використанні одиничних показників. При цьому одиничним вважають показник, що характеризує одну із властивостей об'єкту досліджень. У свою чергу одиничні показники поділяються на абсолютні та відносні.

Абсолютний показник  $P_i$  ( $i=1, 2, \dots, n$ , де  $n$ –число показників) чисельно





## 1.2. Застосування інформаційних технологій кваліметрії для оцінювання виробничих процесів

У кваліметрії існує декілька підходів до кількісного оцінювання якості будь-якого об'єкта в т.ч. і виробничого процесу з якого складається складна технічна система. Вони базуються на наступних семи принципах:

- якість являє собою сукупність тільки тих властивостей об'єкта, які пов'язані з досягненням поставленого результату і які проявляються в процесі використання об'єкта відповідно до його призначення;

- деякі складні і будь-які прості властивості можуть бути виміряні за допомогою абсолютного показника властивості  $Q_i$ , ( $i = 1, n$ ;  $n$  – кількість властивостей оцінюваного об'єкта), який виражається у специфічних для кожної властивості одиницях. Для вимірювань застосовують метрологічні, експертні, аналітичні методи;

- всі властивості, що формують якість, утворюють ієрархічну структуру вигляді дерева властивостей (нижчий ярус це найскладніша властивість, тобто якість об'єкта, а гілки вищого ярусу це прості і квазіпрості властивості);

- для зіставлення різних властивостей, що вимірюються в різних за розмахом і розмірності шкалах, використовується відносний безрозмірний показник  $K_i$ , який відображає ступінь наближення абсолютного показника властивості  $Q_i$  до еталонного  $Q_i^{em}$  і бракувального  $Q_i^{bp}$  показників, що характеризують найвищий і найнижчий рівні суспільних потреб. Відносний показник описується залежністю  $K_i = f(Q_i, Q_i^{em}, Q_i^{bp})$ , яка у разі застосування спрощеного методу кваліметрії може бути представлена функцією:

$$K_i = \frac{Q_i - Q_i^{bp}}{Q_i^{em} - Q_i^{bp}} ; \quad (1.3)$$

- для зіставлення щодо відносної важливості всіх властивостей, що входять в «дерево властивостей», використовуються безрозмірні коефіцієнти вагомості  $G_i$ , які визначають за допомогою експертного та аналітичного методів [12];

– кількісна оцінка якості виражається за допомогою показника  $K_K = \varphi(K_i, G_i, K_{ef})$ . Функція  $\varphi$  може виражатися різними поліномами, середніми тощо. При застосуванні спрощеного методу кваліметрії ця функція дуже часто може бути виражена за допомогою формули:

$$K_K = K_{ef} \sum_{i=1}^n K_i G_i ; \quad (1.4)$$

– якщо, крім якості об'єкта необхідно враховувати витрати на його виробництво і споживання – так звані сукупні витрати, то замість показника якості  $K$  використовується показник інтегральної якості.

Одним із головних завдань щодо визначення кількісної оцінки якості ( $K_K$ ), є розроблення алгоритму перетворення параметрів об'єкта досліджень (в нашому випадку складної технічної системи) в показники його якості. Зокрема, цілеспрямований пошук тієї мінімальної сукупності властивостей показників, які утворюють якість об'єкта. При цьому показники повинні задовольняти вимоги, щодо їх необхідності, достатності та незалежності [1-5].

Для вирішення цього завдання доцільно використовувати методи функціонально-типологічного аналізу. Суть даного аналізу полягає в тому, що якість розглядається як системи. При цьому розрізняють зовнішні споживчі якості, за якими судять про придатність продукції задовольняти певні потреби відповідно до призначення, і внутрішні споживчі якості – фізичні, що зумовлюють зовнішні якості і характеризують об'єкт (що створюється та експлуатують), який має структуру взаємопов'язаних фізичних властивостей складових його елементів.

Як було наведено вище у кваліметрії уживаються два терміни – вимірювання і оцінка. Якщо в метрології вимірювання розглядається як окремий випадок оцінок, то в кваліметрії вони характеризують два не супідрядні поняття. Так під кількісною оцінкою в кваліметрії розуміють деяку функцію відношення показника якості даної продукції до показника якості продукції, прийнятої за еталон. При цьому особливо вагому роль відіграють комплексні оцінки. Це пов'язано з тим, що вони відносяться до сукупності властивостей функцій.

Крім того в кваліметрії досить часто застосовується дисперсійний аналіз та

метод експертних оцінок.

Враховуючи, що кваліметрія об'єднує методи кількісної оцінки якості продукції[13] основним її завданням є обґрунтування номенклатури показників якості, розробка методів визначення показників якості продукції та їх оптимізації, принципи побудови узагальнених показників якості та умов їх використання у завданнях стандартизації й управління якістю продукції. Для вирішення цих завдань в кваліметрії застосовуються сучасні математичні методи з теорії ймовірності та статистики, лінійного, нелінійного і динамічного програмування, теорії масового обслуговування, теорії ігор, теорії оптимального керування та теорії випадкових процесів.

Розглянемо більш детально ці математичні методи. Згідно [1-2] сукупність вимірів – це одне з понять теорії точності вимірювань. У математичній статистиці окремі сукупності вимірів називаються вибірками. Вони являють собою ряд чисел, що відображують результати вимірювань, які розглядаються в дискретному часі  $t$ .

Характеристиками сукупності вимірів є - розмах ( $W$ ); одиниця вимірювання ( $[q]$ ); обсяг ( $n$ ) вимірів; обсяг ( $m$ ) множини вимірів; наповненість ( $F$ ) ; добротність ( $q$ ).

Однією з основних числових характеристик кожної числової змінної є математичне сподівання. Це узагальнене поняття середнього значення сукупності чисел на той випадок, коли елементи множини значень цієї сукупності мають різну важливість, пріоритет тощо. Крім того важливою числовою характеристикою є величина середнього значення, котра характеризує математичне сподівання відліку при безмежному повторенні процедури вимірювання і визначається за такою формулою:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (1.5)$$

Мірою розсіювання окремих результатів, одержаних з формули (1.5) навколо їх середнього значення служить друга числова характеристика – дисперсія ( $\sigma^2$ ). Чим більша дисперсія, тим значніше розсіювання результатів, тобто їх середнє квадратичне відхилення:

$$\sigma_x = \pm \sqrt{\sigma_x^2}. \quad (1.6)$$

Оскільки, випадкова величина може бути дискретною або задана густиною розподілу ймовірності, то теорія ймовірності наводить два означення математичного сподівання. Математичним сподіванням такої числової змінної  $\xi$ , якщо воно існує, називають інтеграл, узятий по області існування її густини розподілу, від добутку цієї випадкової змінної на її густину розподілу, тобто:

$$\mu \equiv E(\xi) = \int_x x p_\xi(x) dx. \quad (1.7)$$

Сподівання існує, якщо цей інтеграл абсолютно збіжний. Розмах  $W$  значень вимірів визначається як в генеральній, так і в звичайній сукупності вимірів. В теорії точності вимірювань розмах є головною числовою характеристикою розсіювання значень вимірів. Розмахом значень вимірів називається різниця між найбільшим і найменшим значеннями сукупності вимірів:

$$W = x_{\max} - x_{\min}. \quad (1.8)$$

Розмах генеральної сукупності за даних обставин вимірювань і ступеня квантування набуває постійного значення, визначає довжину інтервалу розсіювання величини  $X$ . Оскільки розмах вимірів генеральної сукупності являє собою постійну величину, то він є достовірною подією і серед усіх випадкових величин має найбільший ступінь довіри. Добротність  $q$  – це числова характеристика сукупності вимірів або іншого статистичного матеріалу, наприклад вибірок. Добротністю сукупності вимірів називається відношення обсягу  $n$  сукупності вимірів до обсягу  $k$  повної або очікуваної у звичайній сукупності повної групи показників вимірів:

Обсяг  $k$  обчислюється за формулою:

$$q = \frac{n}{k}, \quad (1.9)$$

де  $W$  – розмах значень вимірів;  $[q]$  – одиниця вимірювання.

$$k = \frac{W}{[q]} + 1. \quad (1.10)$$

З урахуванням цієї залежності перше рівняння приводиться до такого вигляду:

$$q = \frac{n[q]}{W + [q]}. \quad (1.11)$$

Ймовірність середнього значення дорівнює ймовірності випадкової величини в сукупності значень якої визначається це середнє значення, тобто

$$P(\mu) = P(X). \quad (1.12)$$

Абстрактний інтеграл, що фігурує в означенні математичного сподівання, можна замінити відповідним інтегралом Лебега-Стільтьєса. Розглянемо випадок композиції борелівської функції  $f$  та випадкової величини  $\xi$ :

$$E(f \circ \xi) = \int_x f(x) dF_\xi(x), \quad (1.13)$$

$F_\xi(x)$  – функція розподілу випадкової величини  $\xi$ .

Від цієї залежності приходимо до такої формули:

$$E(\xi) = \int_x x dF_\xi(x). \quad (1.14)$$

Стандартне відхилення або середнє квадратичне відхилення, позначається як  $S$  або  $\sigma$  – у теорії ймовірності і статистиці найпоширеніший показник розсіювання значень випадкової величини відносно її математичного сподівання. Він вимірюється в одиницях виміру самої випадкової величини. По суті, якщо взяти прикладні задачі, то стандартне відхилення – це найбільш використовуваний індикатор мінливості об'єкта, що показує, на скільки всередньому відхиляються індивідуальні значення ознаки  $x_i$  від їх середньої величини  $\bar{x}$ . Стандартне відхилення використовують під час розрахунку стандартної похибки середнього арифметичного, для побудови довірчих інтервалів, статистичної перевірки гіпотез, виміру лінійного взаємозв'язку між випадковими величинами.

Середньоквадратичне відхилення – дорівнює кореню квадратному з дисперсії випадкової величини:

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2}. \quad (1.15)$$

Відповідно до формул з обчислення дисперсії:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, \quad (1.16)$$

при невеликій вибірці ( $n \leq 40-50$ ) вводиться поправка Бесселя:

$$s = \sqrt{\frac{n}{n-1} \sigma^2} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (1.17)$$

де  $s$  — стандартне відхилення, незміщена оцінка середньоквадратичного відхилення випадкової величини  $X$  відносно її математичного сподівання;  $\sigma^2$  — дисперсія;  $x_i$  —  $i$ -й елемент вибірки  $\bar{x}$  — середнє арифметичне вибірки,  $n$  — обсяг вибірки [13].

Слід звернути увагу на відмінність стандартного відхилення (у знаменнику  $n-1$ ) від кореня з дисперсії (у знаменнику  $n$ ). Для малих обсягів вибірки оцінка дисперсії є дещо зміщеною на величину  $n/(n-1)$ , для нескінченно великого обсягу вибірки різниця між вказаними величинами зникає. Стандартне відхилення в ряді випадків виявляється кращим для використання, ніж дисперсія, з тієї причини, що виражається в тих же одиницях, що і середня арифметична величина. Порівняння особливостей розподілу варіантів у різних вибірках лише за показниками нормованого відхилення ( $\sigma$ ) недостатньо, а іноді неможливо. Для таких порівнянь застосовується відносний показник, який позначається символом  $t$  і зветься нормованим відхиленням.

Під час підготовки і проведення високоточних вимірювань на практиці враховують вплив таких чинників: об'єкту вимірювання; суб'єкту вимірювань; способу вимірювання; засобу вимірювання та умов вимірювання. Таким чином, перед вимірюванням необхідно створити собі модель досліджуваного об'єкту, котра надалі в міру надходження вимірювальної інформації може мінятися і уточнюватися. Чим повніше модель відповідає вимірюваному об'єкту або досліджуваному явищу, тим точніший вимірювальний експеримент. Якщо при багатократному вимірюванні однієї і тієї ж величини сталого розміру сумнівне значення результату вимірювання відрізняється від середнього значення більше ніж на  $3\sigma$ , то з ймовірністю 0,997 воно є помилковим і його необхідно відкинути, - це правило 3-х сигм. Правило 3-х сигм ( $3\sigma$ ) – практично всі значення нормально розподіленої випадкової величини лежать в інтервалі  $[\bar{x} - 3\sigma; \bar{x} + 3\sigma]$ . Точніше – не менш, ніж із 99,7 % достовірністю, значення нормально розподіленої випадкової величини знаходиться у вказаному інтервалі (за умови що величина  $x$  достеменно

відома, а не отримана в результаті обробки вибірки). Якщо істинне значення величини невідоме, то слід користуватися не  $\sigma$ , а  $s$ . Таким чином правило 3-х сигм перетвориться в правило трьох  $s$ .

Вибіркові дисперсії  $s^2$ ,  $S^2$  — це числові характеристики розсіювання значень випадкової вибірки, що являє собою сукупність результатів незалежних спостережень. Визначаються в звичайних сукупностях вимірів. У теорії точності вимірювань їх ще називають дисперсіями вимірів, або просто дисперсіями. Вибірковою дисперсією  $s^2$  називають половину середнього квадрата  $v^2$  відхилень значень вибірки:

$$s^2 \equiv \frac{v^2}{2} = \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n (x_j - x_i)^2 \quad (1.18)$$

Вибірковою дисперсією  $S^2$  називають половину середнього квадрата  $d^2$  різниць значень вибірки:

$$S^2 \equiv \frac{d^2}{2} = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n (x_j - x_i)^2 \quad (1.19)$$

Дисперсія  $s^2$  — це різниця середнього значення  $\bar{x}$  квадратів елементів вибірки і квадрата  $\bar{x}^2$  вибіркового середнього:

$$s^2 = \overline{x^2} - \bar{x}^2 \quad (1.20)$$

Дисперсія  $S^2$  це різниця середнього значення  $x^2$  квадратів елементів вибірки і середнього значення  $\overline{x_i x_j}$  добутку двох її елементів:

$$S^2 = \overline{x^2} - \overline{x_i x_j} \quad (1.21)$$

Вибіркові дисперсії мають такий вигляд:

$$s^2 = \overline{(x - \bar{x})^2} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2; \quad (1.22)$$

$$S^2 = \frac{n}{n-1} s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (1.23)$$

В основі дисперсійного аналізу покладено такий принцип: якщо на випадкову величину діють взаємно незалежні чинники  $A$ ,  $B$ , ..., то загальна дисперсія дорівнює сумі дисперсій, зумовлених дією окремо кожного з чинників:

$$\sigma^2 = \sigma_A^2 + \sigma_B^2 + \dots \quad (1.24)$$

Складовою етапу реалізації оцінювання якості є визначення інтегральної оцінки якості та рангування категорій з метою встановлення рангу якості однієї категорії відносно інших. Спочатку оцінюємо комплексний вплив категорій на оцінку якості:

$$Q_k = \frac{\sum_{n=1}^k (K, U, D)}{k} \times 100\% \quad (1.25)$$

де  $Q_k$  – інтегральна оцінка якості;  $k$  – число критеріїв оцінювання;  $K, U, D$  – категорії оцінювання [14].

Таким чином під кількісною оцінкою в кваліметрії слід розуміти функцію відношення показника якості даної продукції до показника якості продукції, що прийнята за еталон.

Слід зазначити, що при управлінні виробничими процесами підприємства особливе місце займає їх оцінювання. Це пов'язано з тим, що результати оцінки виступають в якості основи для прийняття рішень щодо вибору методів поліпшення, моделювання, реінжинірингу, оптимального використання залучених ресурсів тощо.

На практиці для оцінювання виробничих процесів застосовують різні методи: статистичний (шість сигм); аналітично-розрахунковий, на основі кількісних показників; матричний метод; аналіз критичних факторів успіху; аналіз ієрархій; збалансованих систем показників тощо. При цьому застосовують такі методичні підходи: комплексне оцінювання з позицій їх внеску в досягнення основних результатів та аналіз окремих процесів на основі функціональної його декомпозиції із застосуванням методів функціонально-вартісного аналізу; методику діагностики виробничих процесів, що заснована на врахуванні складових ефективності процесу, визначення коефіцієнтів пріоритетності за допомогою методу аналізу ієрархій; експрес-метод діагностики на основі коефіцієнтів ефективності (складності, контрольованості, ресурсоємності, регульованості тощо).

Проведений аналіз існуючих методів доводить, що комплексність охоплення



взаємодіючих процесів і характер інтерпретації чинників прийняття рішень в вище наведених методах неоднакові.

Для оцінки якості виробничих процесів використовують наступні методи.

Диференційний метод. Його перевагою є простота, проте цей метод має більше недоліків, ніж переваг, зокрема його недоліком є складність у прийнятті рішень щодо одиничних показників [1].

Лінійна залежність між оцінками показників якості та значеннями цих показників порівняно з нелінійною залежністю більш проста при розрахунках, проте нелінійна залежність дозволяє об'єктивніше оцінювати ці показники [17].

До недоліків функціональної залежності при комплексному методі оцінки слід віднести те, що при побудові математичної моделі середніх величин вважається, що кореляція між окремими властивостями відсутня або настільки маленька, що нею можна знехтувати. Однак в реальних умовах вони між собою тісно взаємопов'язані. Недоліком середніх показників є і те, що вони дають різні результати при розрахунках, тобто оцінки, визначені за формулами різних середніх, будуть відмінними між собою [16]. До недоліків комплексного методу додають і те, що кількість властивостей, необхідних і достатніх для оцінювання якості продукції, завжди менше кількості властивостей, які повною мірою характеризують його якість.

Складність роботи з великою кількістю властивостей вносить похибки на наступних операціях, які іноді можуть перевищити похибки, викликані урахуванням не всіх властивостей [1; 2].

Недоліком змішаного методу є те, що у кінцевому підсумку рівень якості виробничого процесу оцінюється диференціальним методом, а тому важко стверджувати, що процес взагалі має певний, кількісно певний, рівень якості відносно базового рівня.

Недоліком експертного методу оцінки якості є те, що об'єктивність експертного оцінювання та точність залежить в основному від кваліфікації експерта і від кількості наявної інформації щодо виробничого процесу.

Кваліметричний підхід характерний тим, що якість відображає три поняття:

якість як відповідність стандартам і технологічним вимогам, якість як основна характеристика продукту і якість як набір споживчих властивостей.

Кваліметрія оперує визначенням якості з відносними оцінками та визначає якість по відношенню до процесу, прийнятого за базу порівняння – рівень якості. Існують такі види показників якості процесу: одиничний, комплексний, груповий, узагальнений, відносний, інтегральний.

При застосуванні кваліметричної методики послідовність дій наступна:

1. Оцінювання ситуації. Це групування об'єктів оцінювання: визначення однорідних груп процесів, що підлягають порівняльному оцінюванню, етапів їх життєвого циклу (існування), які будуть мати різні властивості процесів; визначення особливих умов (наприклад, кліматичних), в яких відбувається реалізація процесу; визначення еталонних процесів (бенчмаркінг), з якими будуть зіставлятися процеси, що оцінюються та групування споживачів, тобто визначення однорідних груп споживачів – осіб або організацій, які пред'являють однакові вимоги до процесу, що оцінюється і виявлення основних споживачів, з позицій яких буде вироблено оцінювання якості.

2. Визначення рішень (кількісна оцінка якості необхідна для підтримки прийняття управлінських рішень).

3. Генерація показників якості, (побудова дерева властивостей).

4. Формування шкал і визначення коефіцієнтів вагомості.

З урахуванням розроблених шкал для вимірювання показників якості вибирають спосіб оцінювання їх відносної вагомості з метою комплексної оцінки якості найближчого рівня по дереву властивостей.

Узагальнену градацію виробничих процесів за рівнями якості та рівням їх удосконалення (модернізації) наведено в таблиці 1.2

Таблиця 1.2

Градації рівней якості та удосконалення виробничих процесів

Градація рівня якості	Якісна характеристика	Градація рівня розвитку
1	2	3
1. Найвищий рівень якості	відповідає вимогам міжнародних стандартів, перевершує кращі світові зразки	1. Найвищий рівень розвитку
2. Середній рівень якості	відповідає вимогам міжнародних стандартів і кращим світовим досягненням	2. Середній рівень розвитку

Закін табл 1.2

1	2	3
3. Задовільний рівень якості	відповідає вимогам міжнародних стандартів, технічних умов і задовольняє вимогам споживачів, але поступається кращим світовим досягненням, морально застаріла і підлягає модернізації(потребує підвищення ефективності)	3. Задовільний рівень розвитку
4. Низький рівень якості	морально застаріла, але користується попитом та не знята з виробництва; реалізована без відступів від вимог стандартів і ТУ; підлягає зняттю з виробництва (підлягає перегляду основних принципів розвитку)	4. Низький рівень розвитку
5. Незадовільний рівень якості	реалізовано з відступом від вимог стандартів і ТУ; підлягає зняттю з виробництва (потребує узагалі нової стратегії розвитку)	5. Незадовільний рівень розвитку

Як видно з таблиці для використання кваліметричного підходу до оцінки удосконалення (модернізації) якості розвитку потрібно мати систему оціночних показників якості, шкали їх оцінювання, та критерії за допомогою яких можлива інтерпретація отриманих результатів. При цьому деякі властивості та показники можуть бути оцінені за допомогою формалізованих методів, а інші – отримані тільки евристичним шляхом.

Таким чином, використання кваліметричного підходу щодо оцінки якості розвитку виробничих процесів дозволяє сформулювати адекватні управлінські рішення, обрати необхідний рівень якості та розробити організаційно-технічні заходи щодо їх удосконалення та модернізації.

### 1.3 Застосування методів нечіткої логіки в процесах кваліметричного оцінювання

Однією з найважливіших характеристик будь-якої продукції є її якість. При цьому, якщо на етапі виробництва поняття якості продукції характеризується технічним рівнем, то з виходом продукції на масовий ринок для споживачів це поняття якості все більше переходить в область невимірних характеристик. Тобто воно залежить від суб'єктивної задоволеності клієнта і може бути вимірено або проконтрольовано шляхом оцінки об'єктивних показників якості.

Як було зазначено раніше кожна продукції (послуга, процес)

характерезується властивостями з яких складається його якість. Проте із досить великої кількості властивостей (характеристику) потрібно обрати лише ті її властивості, які задовольняють вимоги потенційних споживачів.

В попередніх розділах роботи було проаналізовані методи оцінки якості продукції. При цьому, як було розглянуто раніше кожен з методів має певні свої переваги та недоліки. Наприклад, диференційний метод не дає загальної оцінки якості продукції; комплексний метод надає оцінку тільки за однією характеристикою; економічний метод відображає тільки рентабельність продукції. Порівняльну характеристику методів оцінки якості наведено в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3

#### Порівняльна характеристика методів оцінки якості

№	Метод оцінювання якості	Особливості застосування
1	Диференційний	Кількісно оцінюються окремі властивості виробу, що дозволяє приймати конкретні рішення з управління якістю продукції. В результаті використання цього методу відбувається порівняння рівня якості за різними показниками продукції.
2	Комплексного оцінювання	Застосовують в тих випадках, коли найдоцільніше оцінювати технічний рівень складних виробів тільки одним числом.
3	Змішаний метод	Оснований на сумісному застосуванні одиничних і комплексних (групових) показників якості. Одночасно використовують диференційний і комплексний методи.
4	Економічного оцінювання	Рівень якості залежить від економічного ефекту, який дорівнює різниці між результатом економічної дії і сумарними затратами на його отримання
5	Експертного оцінювання	Експертні методи застосовують для вирішення таких завдань: формулювання і уточнення мети оцінки якості продукції, розроблення класифікації продукції, побудова ієрархічної структурної схеми показників якості, визначення коефіцієнтів вагомості показників, визначення базових значень показників тощо.

Як видно з таблиці перші чотири методи дозволяють оцінити тільки технічний рівень продукції порівняно з іншою продукцією. Тільки пятий експертний метод, крім технічних показників продукції, дозволяє також оцінити естетичні, ергономічні, органолептичні тощо, які практично неможливо оцінювати іншими методами. Проте недоліком експертного методу є притаманний йому суб'єктивізм [2].

Отже категорія “якість” безпосередньо залежить від суб'єктивного

задоволення потенційного споживача. Якість – це ступінь відповідності НД, функціональному призначенню і задоволеності споживача.

Одним із ефективних механізмів оцінювання якості продукції з урахуванням потреб споживача є застосування методу нечіткої логіки, який дозволяє оперувати нечіткими вхідними даними.

Математичний апарат методу нечіткої логіки базується на таких поняттях як нечітка множина та лінгвістична змінна.

Розглянемо більш детально кожне з цих понять, нехай  $E$  – універсальна множина,  $x$  – елемент  $E$ , а  $R$  – певна властивість. Звичайна (чітка) підмножина  $A$  універсальної множини  $E$ , елементи якої задовольняють властивості  $R$ , визначається як множина впорядкованої пари  $A = \{\mu_A(x)/x\}$ , де  $\mu_A(x)$  – характеристична функція, що набуває значення 1, якщо  $x$  задовольняє властивості  $R$ , і 0 – в іншому випадку.

Нечітка підмножина відрізняється від звичайної тим, що для елементів  $x$  з  $E$  немає однозначної відповіді «ні» відносно властивості  $R$ . Тому нечітка підмножина  $A$  універсальної множини  $E$  визначається як множина впорядкованої пари  $A = \{\mu_A(x)/x\}$ , де  $\mu_A(x)$  – характеристична функція приналежності (або просто функція приналежності), що набуває значення в деякій впорядкованій множині  $M$  (наприклад,  $M = [0,1]$ ).

Функція приналежності вказує ступінь (або рівень) приналежності елемента  $x$  до підмножини  $A$ . Множину  $M$  називають множиною приналежностей. Якщо  $M = \{0,1\}$ , то нечітку підмножину  $A$  можна розглядати як звичайну або чітку множину.

Розглянемо множину  $X$  всіх чисел від 0 до 10. Визначимо підмножину  $A$  множини  $X$  всіх дійсних чисел від 5 до 8.

$$A = [5,8].$$

Проілюструємо графічно функцію приналежності множини  $A$  (рис. 1.1).

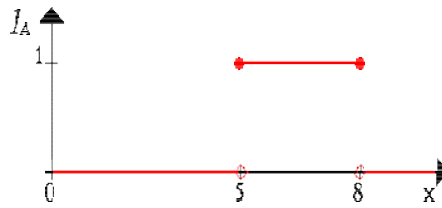


Рис. 1.1. Функція приналежності множини  $A$

Як видно з рисунку ця функція ставить у відповідність число 1 чи 0 кожному елементу в  $X$ , залежно від того, належить цей елемент підмножині  $A$  чи ні. При цьому можна інтерпретувати елементи, яким поставлена у відповідність 1, як елементи, що входять у множину  $A$ , а елементи, яким поставлений у відповідність 0, – як елементи, що не належать до множини  $A$ .

Лінгвістичною слід вважати змінну, значення якої являють собою слова або речення штучної або справжньої мови. Наприклад, температура – лінгвістична змінна, якщо вона набуває лінгвістичних, а не числових значень, тобто значення висока, не дуже висока, нормально низька, дуже низька, а не 40, 30, 23 5 т. д. [6]

Таким чином за допомогою лінгвістичних змінних можна приблизно описувати явища, які настільки складні або погано визначені, що їх неможливо описати в загальноприйнятих кількісних термінах. Лінгвістичні підходи, як правило застосовуються в процесах прийняття рішень, розпізнання образів, пошуку інформації тощо.

Лінгвістичною змінною називається набір  $\langle \beta, T, X, G, M \rangle$ , де  $\beta$  – найменування лінгвістичної змінної;  $T$  – множина її значень (терм-множина), що являють собою імена нечітких змінних, областю визначення кожної з яких є множина  $X$ . Множина  $T$  називається базовою терм-множиною лінгвістичної змінної;  $G$  – синтаксична процедура, що дає змогу оперувати елементами терм-множини  $T$ , зокрема, генерувати нові терми (значення). Множина  $TUG(T)$ , де  $G(T)$  – множина згенерованих термів, називається розширеною терм-множиною лінгвістичної змінної;  $M$  – семантична процедура, що дозволяє перетворити кожне нове значення лінгвістичної змінної, утворені процедурою  $G$ , на нечітку змінну, тобто сформувати відповідну нечітку множину.

Розглянемо лінгвістичну змінну з ім'ям  $b = \text{«температура в кімнаті»}$ . Тоді четвірку  $\langle T, X, G, M \rangle$ , що залишилася, можна визначити так: універсальна множина:  $T=[12, 35]$ ; терм-множина:  $X= \{\text{«холодно»}, \text{«комфортно»}, \text{«спекотно»}\}$  з такими функціями приналежності:

$$\mu_{\text{«холодно»}}(u) = \frac{1}{1 + \left| \frac{u-12}{6} \right|^{12}}; \quad (1.26)$$

$$\mu_{\text{«комфортно»}}(u) = \frac{1}{1 + \left| \frac{u-20}{3} \right|^8}; \quad (1.27)$$

$$\mu_{\text{«спекотно»}}(u) = \frac{1}{1 + \left| \frac{u-33}{8} \right|^{12}}; u \in U; \quad (1.28)$$

- синтаксичні правила  $G$ , що породжують нові терми з використанням квантифікаторів «не», «дуже» і «більш-менш»;
- семантичні правила  $M$ , задані в табл. 1.4.

Таблиця 1.4

## Правила модифікації функцій приналежності

Квантифікатор	Функція приналежності
Не $t$	$1 - \mu_t(u)$
Дуже $t$	$(\mu_t(u))^2$
Більш-менш $t$	$\sqrt{\mu_t(u)}$

На рис. 1.2 наведено графіки функцій приналежності термів «холодно», «не дуже холодно», «комфортно», «більш-менш комфортно», «спекотно» і «дуже спекотно» лінгвістичною змінною «температура в кімнаті».

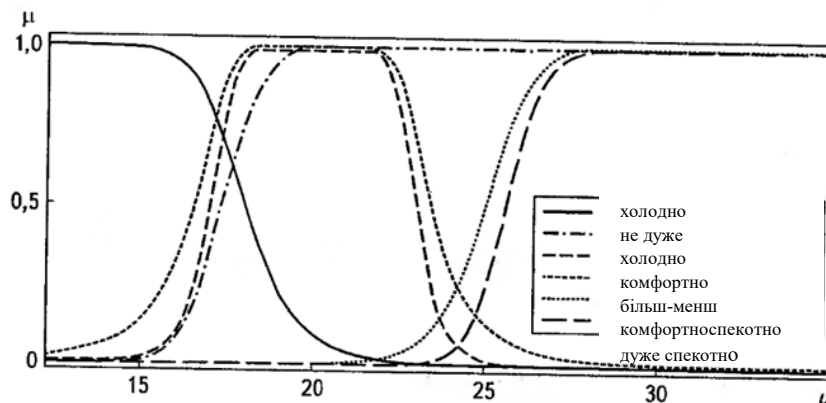


Рис. 1.2. Графіки функцій приналежності термів «холодно», «не дуже холодно», «комфортно», «більш-менш комфортно», «спекотно» і «дуже спекотно»

Таким чином перевагами fuzzy-систем є:

- можливість оперувати вхідними даними, що задані нечітко: наприклад, значення, що динамічно змінюються в часі (динамічні задачі), значення, що неможливо задати однозначно (результати статистичних опитувань, оцінювання якості послуг різними споживачами тощо);

- можливість нечіткої формалізації критеріїв оцінки і порівняння: оперування критеріями "більшість", "можливо", "переважно" тощо ( тобто можливість формалізації);

- можливість проведення якісних оцінок як вхідних даних, так і виведених результатів ( тобто не тільки значеннями даних, але і їхнім ступенем вірогідності і їх розподілом);

- можливість швидкого моделювання складних динамічних систем і їхній порівняльний аналіз із заданим ступенем точності (застосування принципів поведінки системи, описаними fuzzy-методами).

Таким чином застосування математичного апарату нечіткої логіки дозволяє: врахувати суб'єктивні характеристики продукції і послуг поряд з їхніми технічними характеристиками; моделювати оцінки якості продукції і послуг під кутом зору споживача.

Для підвищення рівня об'єктивного оцінювання продукція повинна володіти такими характеристиками: параметрами, що характеризують її технічний рівень; технічними характеристиками, які можуть мати числові вирази( проте споживачі сприймають їх по-різному); характеристикою, яку можна виразити виключно лінгвістичною змінною (не обов'язкова умова).

Для послуги ці критерії (характеристики) наступні: параметри послуги які можна виміряти і виразити числами, проте різні споживачі сприймають їх по-різному; суб'єктивні параметри надання послуги, які неможливо виміряти.

На рис. 1.3 наведено алгоритм оцінювання якості продукції на основі використання методу нечіткої логіки.



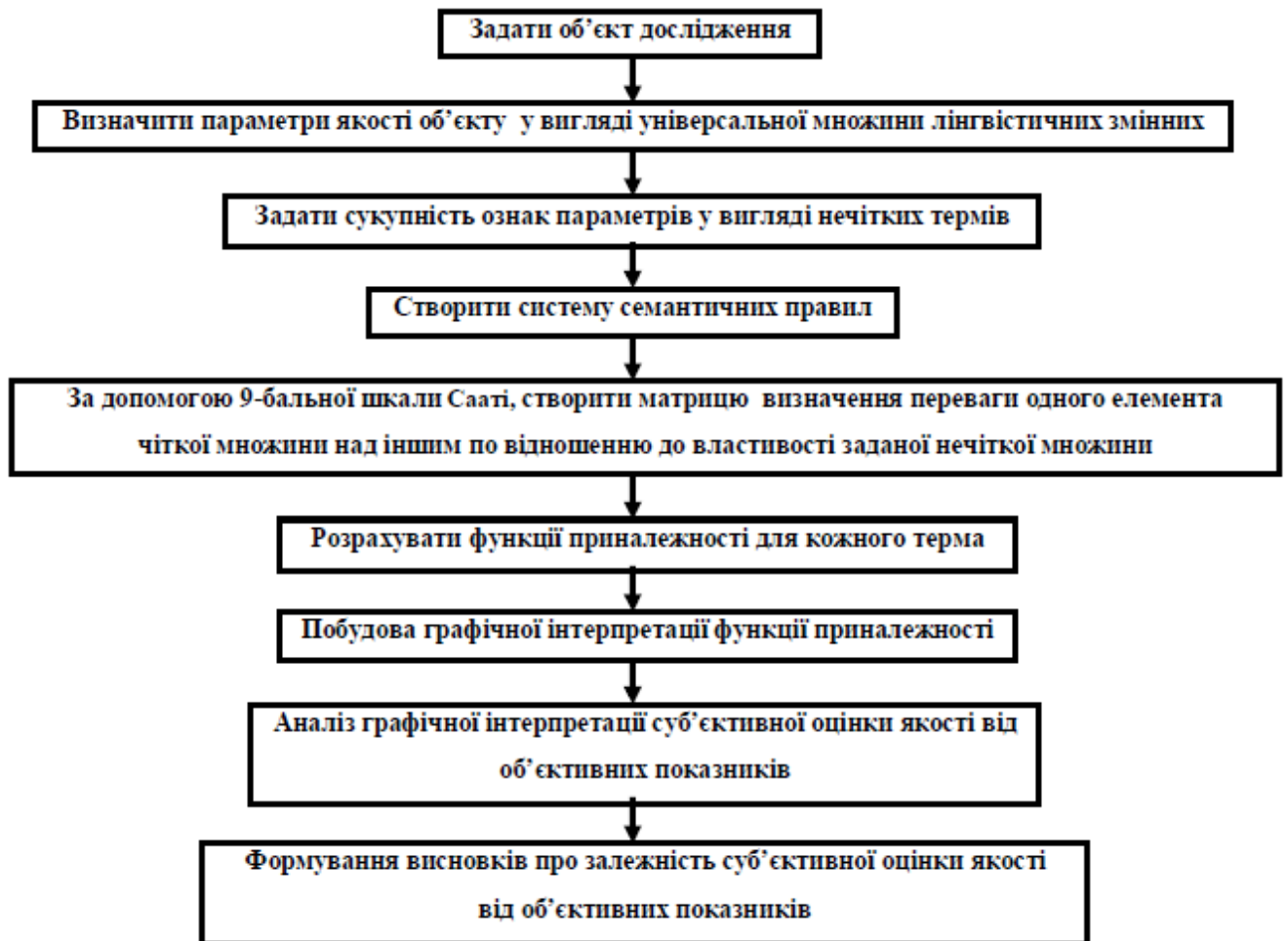


Рис. 1.3. Алгоритм оцінювання якості продукції та послуг з використанням методу нечіткої логіки

Таким чином використання в кваліметрії методів нечіткої логіки дозволяє оцінити якість продукції та послуг не тільки з позиції виробника, але й з урахуванням думки споживачів [15].

Висновки до першого розділу:

1. Доведено, що поєднання методології кваліметрії і метрології суттєво розширює можливості кваліметрії щодо забезпечення єдності вимірювань, підвищення точності та достовірності отриманих результатів вимірювань, характеристик (властивостей) якості продукції.

2. Застосування диференційного методу кваліметричних вимірювань дозволяє здійснювати роздільне порівняння окремих показників (абсолютних) з їх базовим (еталонними) значеннями, що підвищує достовірність і точність

отриманих результатів.

3. Одним із ефективних механізмів оцінювання якості продукції є застосування методу нечіткої логіки, що дозволяє оперувати нечіткими вхідними даними та враховувати потреби потенційних споживачів продукції.

## РОЗДІЛ 2 РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДІВ ТА ПІДХОДІВ ЩОДО ПОБУДОВИ СИСТЕМИ КВАЛІМЕТРИЧНОГО ОЦІНЮВАННЯ

### 2.1 Структурні складові та функціональні властивості складних технічних систем

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. Завдання щодо визначення рівня безпеки СТС, яка склягає в оцінюванні взаємопов'язаних матеріальних об'єктів (технічних засобів і персоналу тощо), що забезпечує їх функціонування за призначенням. Одним із шляхів вирішення цього завдання є застосування принципів, методів та підходів кваліметричного оцінювання рівня безпеки складної технічної системи.

Для цього необхідно документи з технічного регулювання, що діють в Україні, і систему в цілому наближати до вимог міжнародних стандартів. Зокрема це стосується пожежонебезпечних, вибухових, токсичних і радіаційних речовин. У країнах Європи при розробленні нормативних актів з пожежної безпеки використовується об'єктно-орієнтований підхід. Наприклад, у Великобританії з метою забезпечення пожежної безпеки в офісних приміщеннях діє затверджений урядом Посібник з оцінки небезпеки пожежної безпеки: офіси та магазини [17]. Цей посібник дає поради щодо складання оцінки ризику пожежної безпеки для всіх роботодавців, керівників та власників СТС. До одиничних БПЯ таких систем слід віднести: чутливість та можливість її зміни; "живучість"; постійний динамічний контроль всіх сповіщувачів; гнучість налаштувань; можливість монтажу багатьох сповіщувачів в одній системі; відсутність помилкових тривоги; витрати на обслуговування; можливість інтеграції в автоматичні системи управління технологічними процесами (АСУ ТП) будівлі.

Для реалізації в Україні нових вимог міжнародних та європейських стандартів розроблено проекти національних стандартів ДСТУ EN ISO 7010:2019 [18], ДСТУ ISO 23601 [19], ДСТУ EN 1838 [20], ДСТУ EN 50172 [21].

Експертна оцінка протипожежного стану СТС - це визначення кваліфікованим експертом відповідності приміщень, територій об'єкта вимогам нормативно-правових документів з питань пожежної та техногенної безпеки.

Європейським комітетом стандартизації (CEN) на реалізацію положень Директиви 2006/123/ЄС стосовно надання послуг на внутрішньому ринку розроблено і гармонізовано 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.

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.

В таблиці 2.1 наведено порівняльний аналіз та систематизацію показників стану безпеки СТС.

Таблиця 2.1

#### Порівняльний аналіз та систематизація показників стану безпеки СТС

№	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 системостворчими 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 СТС через аналітичні залежності та багатокритеріальну оптимізацію

Структурою системи є побудова і внутрішня форма організації системи, що виступає як єдність сталих взаємозв'язків між її елементами [22]. Важливе теоретичне значення у розумінні категорії складності мають властивості системи. За цілями та функціями системи стосовно безпеки виділяють 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.

До організаційних складових СТС слід віднести: 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 [23]); надійність (здатність системи функціонувати за умови відмови однієї або декількох підсистем) [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) [24]).

Аналіз структури складної системи доцільно проводити за допомогою методів кластерного аналізу. Ознаки класифікації в ході застосування кластерних підходів формалізації складних систем можуть бути як кількісні, так і якісні. При цьому формалізація складних систем за допомогою моделей і методів кластерного аналізу дозволяє з'єднувати суб'єктивні і об'єктивні ознаки елементів системи. Таким чином для нескінченного набору властивостей елементів, яким володіє реальна складна система, існує також нескінченна множина варіантів вибору обмежених кластерів. У випадку якщо множина ознак, що описуються елементи складної системи, є системою опису, а множина значень

кожної з ознак, що враховує конкретні об'єкти - описом цих складних систем, то аналоги- моделі складних систем – це системи множин, кожна з яких є описом.

Для вимірювання ознак застосовуються шкали найменувань, порядку, відносин, бальні, інтервалів [24,25].

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 - ( $j = 1, 2, \dots, q$ ), а номеру рядка- назва ознаки  $Z_i$  ( $i = 1, 2, \dots, p$ ). Інформаційним змістом матриць є відомість щодо присутності або відсутності кожної з ознак, 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 [25], при побудові структури йдеться лише про функції (структуру процесу) без визначення об'єктів, що реалізують ці функції, тобто підсистеми.

Таким чином виходячи з вищенаведеного слід вважати, що структура складної системи в дійсності не може бути тільки функціональною або тільки об'єктною. 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. У випадку якщо зв'язки відсутні, то досліджувати складну систему 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. 2.1). Отже, необхідно враховувати, що будь-яка система обов'язково є споживачем певних види ресурсів (матеріальних, інформаційних) інших систем, і постачальником певних видів ресурсів для них.



Рис. 2.1 Ділянки зв'язку підсистем складної технічної системи.

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. При цьому 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 [26]. Цей порядок базується на причинно-наслідкових зв'язках між явищами. В теорії систем причинний процес називають входом, а процес-наслідок - виходом.

До характерних особливостей складних систем можна віднести [27] велику 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; взаємодію із зовнішнім середовищем і функціонування в умовах дії випадкових факторів; різноманітність структури складної системи, яка обумовлена як властивостями її підсистем, так і об'єднанням підсистем в єдину систему; наявність керування, яке має ієрархічну структуру, а також розгалужену інформаційну мережу та інтенсивні інформаційні потоки.

Таким чином до основних властивостей складної технічної системи наявність великої кількості критеріїв оцінки якості функціонування як самої системи, так і її підсистем та отримання достовірної інформації щодо властивостей системи в цілому в результаті вивчення її окремих елементів.

## 2.2 Вибір та обґрунтування показників для кваліметричного оцінювання складних технічних систем

Для оцінювання якості будь-якого будь-якого об'єкту у т.ч складної технічної системи застосовується показники, які поділяються на узагальнені, комплексні та одиничні. Узагальнені показники характеризують загальний рівень якості (обсяг і частку застосування прогресивних технологій). Комплексні показники характеризують кілька властивостей об'єкту досліджень, включаючи витрати, що пов'язані з його розробкою, виробництвом і експлуатацією [26, 27].

Одиничні показники якості характеризують одну з властивостей об'єкту досліджень і класифікуються за групами [28].

Показник якості - це кількісна характеристика одного або декількох властивостей об'єкту, що входять до її якості, розглянута стосовно до певних умов її створення та експлуатації або споживання [29].

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

Важливим етапом кваліметричних досліджень є створення методики побудови (вибору, знаходження) показника порівняння для отриманого безпекового показника якості та подальше опрацювання результатів. Загалом безпека будь-якого об'єкту (виробів, процесів, послуг) – це багатofакторне поняття.

Для розв'язання багатокритеріальних задач у кваліметрії застосовуються матричні методи [30, 31]. На рис. 2.2 наведено матричне розгортання функції складної технічної системи.



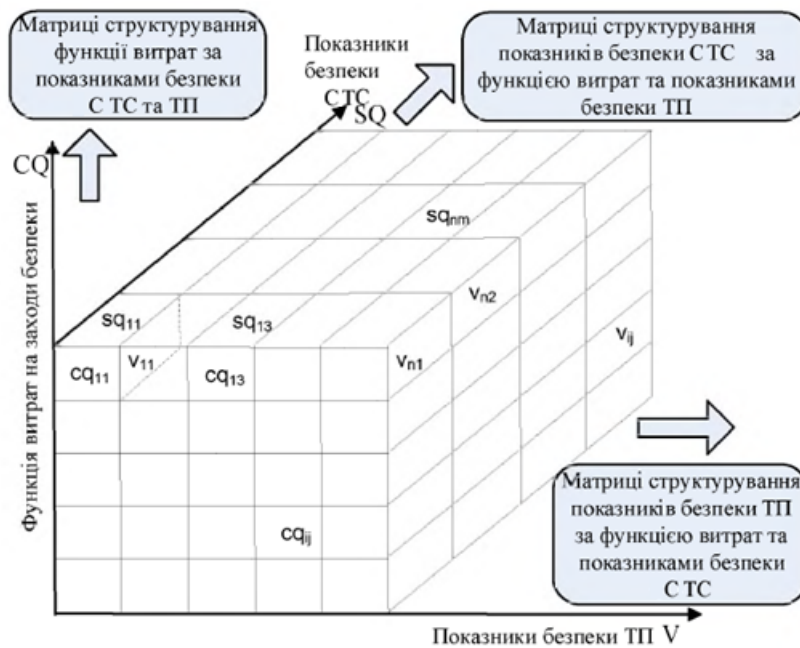


Рис. 2.2 Матричне розгортання функції безпеки складної технічної системи

Для планування, контролю та стимулювання підвищення безпеки необхідно надійно оцінити безпеку, за сукупністю усі показників, що її характеризують. Проте, крім вичерпності та надійності, інформація про безпеку повинна мати ще й кількісну форму вираження. Отримання такої інформації проводиться шляхом застосування методів кваліметрії.

Для реалізації принципів процесного підходу до управління безпекою СТС застосовують три матриці безпеки. Перша матриця – це множина одиничних показників  $\left| \left( (M_{sq})_o \right)_{pr} \right|$ . Вона характеризує стадію розроблення складної технічної

системи. Друга матриця – це реально існуючий об'єкт:  $\left| \left( (M_{sq})_o \right)_{sd} \right|$ . Третя матриця це

стадії підвищення рівня безпеки або утилізації системи  $\left| \left( (M_{sq})_o \right)_{sd} \right|$ . Принцип утворення і суть кожної з цих матриць безпеки є однаковим і полягає у складанні

підмножин  $\left[ (M_{sq})_{o-1}, (M_{sq})_{o-2}, \dots, (M_{sq})_{o-n} \right] \cup (M_{sq})_o$  [23]. Загалом кожна з цих підмножин є матрицею, що являє собою комплексний 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).

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

$$\left| (M_{sq})_o \right| = \begin{vmatrix} (s_{sq})_{o-11} & (s_{sq})_{o-12} & \dots & (s_{sq})_{o-1m_1} \\ (s_{sq})_{o-21} & (s_{sq})_{o-22} & \dots & (s_{sq})_{o-2m_2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ (s_{sq})_{o-m_1} & (s_{sq})_{o-m_2} & \dots & (s_{sq})_{o-mm_m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ (s_{sq})_{o-m_e1} & (s_{sq})_{o-m_e2} & \dots & (s_{sq})_{o-m_em_e} \end{vmatrix} \quad (2.1)$$

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 ( $m \in [1, 2, \dots, m_1, m_2, \dots, m_m, \dots, m_e, \dots, (m)_{max}]$ ) [24].

При цьому під час утворення у вигляд (2.1) одиничні БПЯ об'єкта розміщуються спрощеними групами (рядками) [25] так, щоб з них можна було отримати вектори - комплексні БПЯ нижнього рівня. Наприклад, з першого рядка 2.1

$$\left| (SQ_o)_1 \right| = \left| (s_{sq})_{o-11} (s_{sq})_{o-12} \dots (s_{sq})_{o-1m_1} \right| \quad (2.2)$$

Ці одиничні ПЯ описують окремі властивості безпеки СТС та змінні його характеристики параметрів протягом виготовлення. При цьому протягом виконання технологічних процесів частина одиничних БПЯ може трансформуватись в інші одиничні чи комплексні БПЯ та відкидатись [24].

Комплексні БПЯ вищого рівня отримують за принципом спільної характеристики об'єкта.

$$\left| (SQ_o)_{m_2m_2} \right| = \left| (SQ_o)_m (SQ_o)_{m+1} \dots (SQ_o)_{m+p} \right| \quad (2.3)$$

Звідси отримують локальну характеристику об'єднаних властивостей об'єкта [25]. Прикладом таких властивостей можуть слугувати ПЯ - надійності, економічності, витрат сировини, матеріалів, палива, ергономічні, екологічні тощо. Аналогічно 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)  $\left| (M_n)_o \right|$ .

З метою забезпечення єдиного подання векторів  $\left| (SQ_o)_m \right|$ , матриць  $\left| (SQ_o)_{mm} \right|$  і  $\left| (M_{sq})_o \right|$  та з погляду оцінювання безпеки будь-якого об'єкта, доцільно використовувати скористатись принципом оцінювання якості продукції і послуг у вигляді шкал відношень. Тобто йдеться про принцип утворення векторів-матриць на основі не абсолютних, а відносних одиничних БП. 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 2.4

$$\left( (s_{sq})_{o-mm} \right)_{ri} = \frac{\left( (s_{sq})_{o-mm} \right) - \left( (s_{sq})_{o-mm} \right)_{limi}}{\left( (s_{sq})_{o-mm} \right)_{tr} - \left( (s_{sq})_{o-mm} \right)_{limi}} \quad (2.4)$$

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

Для переважної більшості досліджуваних об'єктів сукупність БПЯ, що належать до 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 є відсутність потреби [26] у визначенні вагомості наведених БПЯ.

Згідно з принципами кваліметрії вимірювання окремих властивостей або самої якості в цьому врешті-решт повинно закінчуватися розрахунком відносного показника. Оскільки оцінка дає найбільш закінчену та важливу інформацію про властивість взагалі і якість зокрема [27], 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  $Q_{ij}$ .

$$K_{ij} = f(Q_{ij}; Q_{ij}^{er}) \quad (2.5)$$

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

$$K_{ij} = \phi\left(\frac{Q_{ij}}{Q_{ij}^{em}}\right) \quad (2.6)$$

Таким чином, у кваліметрії безпеки застосовуються обидва види: абсолютне вимірювання властивостей, тобто знаходження абсолютного показника  $Q_{ij}$  та відносне вимірювання (оцінювання) - визначення відносного показника  $K_{ij}$ . Проте 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  $Q_{ij}^{em}$ .

Різні шкали вимірювання абсолютних показників властивостей СТС 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.

Шкала вимірювання - це базове поняття метрології, яке дає змогу кількісно або іншим способом встановити властивість об'єкта. Вона 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. При цьому 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 тощо. 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 (табл 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	Еквівалентність	Еквівалентність, порядок	Еквівалентність, порядок, пропорційність або підсумовування інтервалів	Еквівалентність, порядок, пропорційність	Еквівалентність, порядок	Еквівалентність, порядок, пропорційність або підсумовування
Наявність нуля	Не має змісту	Не обов'язковою	Встановлюється за згодою	Вводиться природним способом		
Наявність одиниці вимірювань	Не має змісту	Не має змісту	Встановлюється за згодою	-	-	Наявна природна безрозмірна одиниця
Можливі перетворення шкали	Ізоморфне відображення	Монотонні	Лінійні	Множення на число		Відсутні

Шкала назв характеризується тільки відношенням еквівалентності якісного прояву властивості. Вимірювання здійснюються звірнням зразків за певною умовою з досліджуваною властивістю до їх співпадіння [28]. Шкала порядку описує властивості 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 шкал різниць (інтервалів) до відношення еквівалентності та порядку для властивості додається відношення пропорційності або підсумовування (різниць) між різними кількісними проявами властивості. Наприклад 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. Наприклад Шкала термодинамічна. Абсолютним шкалам притаманні всі ознаки шкал відношень, проте додатково в них наявне природне однозначне визначення одиниці вимірювань. Такі шкали відповідають відносним величинам - відношенням однойменних фізичних величин, які описуються шкалами відношень [29].

Кваліметричне оцінювання - приписування числових значень об'єктам чи подіям, яке здійснюється за певними визначеними правилами [30].

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.

Більшість властивостей, які вивчаються практичною метрологією, можна описати одновимірними шкалами, але існують властивості., які в принципі необхідно описувати багатовимірними шкалами.

Таким чином, для оцінювання безпеки найбільш придатною є 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.

На рис. 2.3 наведено процедури оцінювання простих і складних властивостей СТС та їх безпекового показника якості

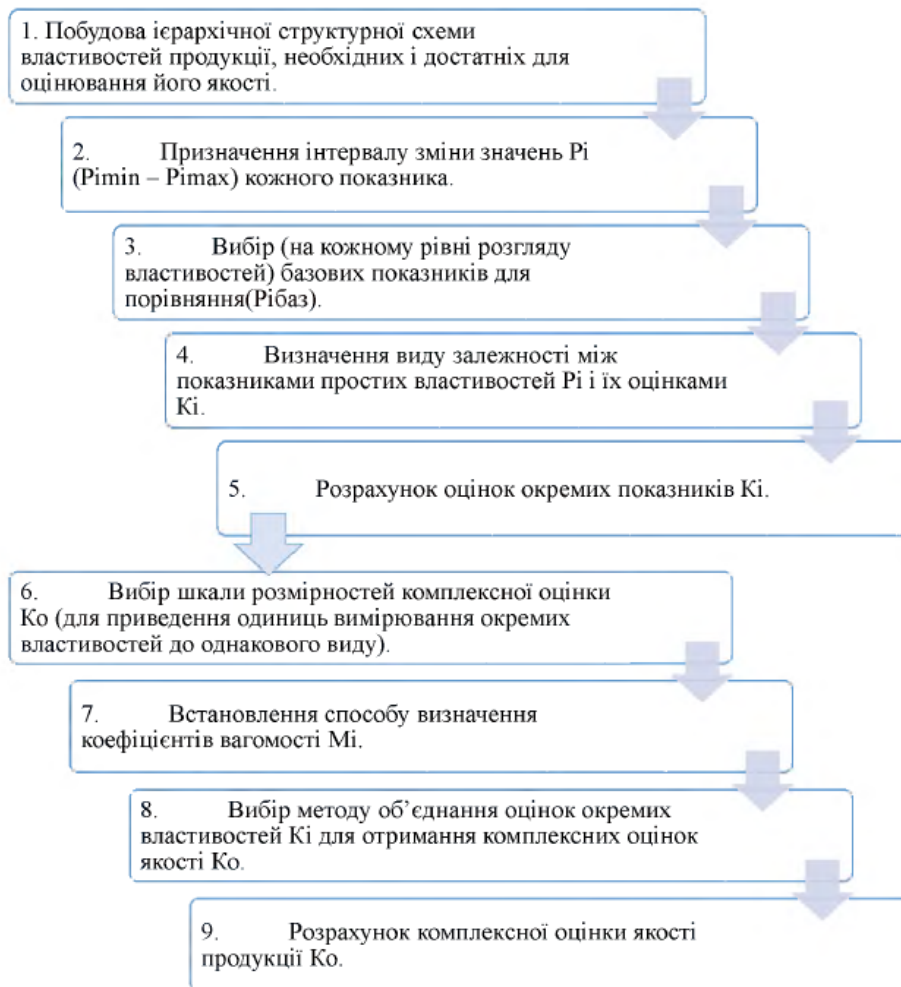


Рис. 2.3 Оцінювання простих та складних властивостей СТС

Як видно з рис. 2.3 кожна властивість якості визначається двома числовими параметрами - відносним показником  $K$  та вагомістю  $M$ . Для сучасних методів кваліметрії характерна така послідовність оцінювання: у першу чергу визначають вихідні умови безпеки СТС, а потім розраховують оцінки якості і приймають рішення.

Таким чином наведена послідовність, щодо оцінювання складних та простих властивостей СТС дозволяє визначати безпековий показник якості в розгорнутому виді, який складається із трьох матриць.

### 2.3 Оцінювання безпекового показника якості на основі застосування кваліметричних методів

При оцінюванні складної продукції, яка має широкую номенклатуру

показників якості, за допомогою диференційного методу практично неможливо встановити рівень її якості, а використання тільки одного комплексного методу не дозволяє об'єктивно врахувати всі значущі властивості продукції, що оцінюється [31]. Тому для оцінювання рівня якості продукції доцільно застосовувати одиничні і комплексні показники якості та змішаний метод. Отже, в процесі оцінювання, у випадку якщо враховуються не всі властивості буде мати місце похибка в комплексній оцінці якості. Вона як правило буде присутня в усіх розрахунках, оскільки не можливо врахувати всі властивості продукції, які характеризують її якість. Слід зазначити, що при виборі властивостей, необхідних для оцінювання якості, слід враховувати їх вагомість. При цьому потрібно дотримуватися наступного принципу: сумарна вагомість відкинутих властивостей у впорівнянні із сумарною вагомістю врахованих властивостей повинна бути відносно невелика.

У залежності від джерела і способу отримання інформації кваліметричні методи поділяються на об'єктивні, евристичні, статистичні і комбіновані (змішані), які наведено на рис. 2.4.



Рис. 2.4 Методи кваліметрії за видом показника якості та джерелом отримання інформації



Як видно з рис. 2.4 об'єктивні методи поділяють на вимірювальний, реєстраційний, розрахунковий і досвідченої експлуатації. Евристичні методи включають в себе органолептичний, експертний і соціологічний методи [28].

Розглянемо більш детально кожен з них.

Вимірювальний (лабораторний, інструментальний метод) щодо визначення показників якості ґрунтується на інформації, що отримана з використанням технічних засобів вимірювань (вимірювальних приладів, реактивів тощо). При цьому 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 [1] і охорони навколишнього середовища [6]. Перевагами даного методу є його об'єктивність і точність [7]. Метод дозволяє отримувати відтворювальні числові значення показників якості. До недоліків методу слід віднести складність і тривалість деяких вимірювань, необхідність спеціальної підготовки персоналу, придбання складного, часто дорогого устаткування тощо [8].

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 показником що оцінюється.

Серед евристичних методів найбільше поширення в кваліметрії є метод експертних оцінок. При його застосуванні велика увага приділяється рівню компетентності експерта. Для визначенні останньої можуть застосовуватися два способи. Перший спосіб полягає у визначенні кваліфікації експерта шляхом порівняння його оцінки зі значенням середньої оцінки, що умовно приймається за істинну. Другий спосіб визначення кваліфікації експертів передбачає набір спеціальних тестових завдань, які складені таким чином, що існує досить тісна залежність між результатами вирішення цих завдань і реальних задач. За результатами тестових завдань обирають експертів шляхом

вибору найкращих варіантів. Об'єктивним критерієм придатності експерта є значення похибки визначеної ним вагомості  $\Delta M$ , що дорівнює різниці між істинною (допустимою середньою) вагомістю  $M_{icm}$  та призначеною експертом -  $M$ :

$$\Delta M = |M_{icm} - M| . \quad (2.7)$$

Ця похибка складається з двох складових – систематичної та випадкової

$$\Delta M = |\Delta M_{сист} \pm \Delta M_{випад}| . \quad (2.8)$$

Систематичні й випадкові похибки обумовлюють різними причинами. Зокрема інформаційними - недостатньою або зайвою інформацією, особистими - станом нервової системи експерта тощо. Крім критеріїв кваліфікації експертів, важливим є питання визначення їх оптимальної кількості [32].

Процедура визначення коефіцієнтів вагомості показників якості починається з вибору їх номенклатури. При цьому основним обмеженням на вибір показників є наявність та доступність інформації для проведення розрахунків. Після відбору показників потрібно їх пронормувати – тобто знайти відносні показники якості. Для цього потрібно вибрати відповідну функцію належності значень показника стандартному інтервалу (наприклад [0...1]).

Коефіцієнти вагомості показників якості визначають за допомогою регресійного методу. Цей метод застосовується, коли кількість варіантів безпеки дорівнює або перевищує кількість вибраних показників. Вибір виду функції узагальненого показника 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-статистичного методу використовують середній зважений арифметичний показник (рівняння 2.9)

$$\begin{cases} K_1 = M_1 \cdot K_{11} + \dots + M_n \cdot K_{n1}, \\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots \\ K_j = M_1 \cdot K_{1j} + \dots + M_n \cdot K_{nj}, \\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots \\ K_r = M_1 \cdot K_{1r} + \dots + M_n \cdot K_{nr}, \end{cases} \quad (2.9)$$

де  $K_j$  - значення узагальненого показника  $j$ -го варіанту безпеки ( $J = 1, \dots, r$  - кількість оцінюваних варіантів заходів безпеки);

$K_{ij}$  - значення відносного  $i$ -го показника якості  $i$ -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  $[0 \dots 1]$ , за умови, що  $\sum_{i=1}^n M_i = 1$ .

Для встановлення числових значень узагальненого показника якості використовується їх лінійний рівномірний розподіл на проміжку  $[0 \dots 1]$ .

В таблиці 2.3 наведено значення розрахункових коефіцієнтів вагомості для різних розміру ризику

Таблиця 2.3

Значення розрахункових коефіцієнтів вагомості для розміру ризику [30]

Розмір ризику	Значення розрахункового коефіцієнта вагомості, Ксм.р.
Дуже високий	0,5
Високий	0,4
Середній	0,3
Низький	0,2
Дуже низький	0,1

Оцінка, що характеризує вірогідність виникнення ризику, якій теж присвоюється відповідний безрозмірний розрахунковий коефіцієнт вагомості наведено в табл. 2.4.

Таблиця 2.4

Значення розрахункових коефіцієнтів вагомості для вірогідності виникнення ризику [30]

Вірогідність	Значення вірогідності	Значення розрахункового коефіцієнту вагомості, $K_{ймов}$
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 ( $M_{КР}$ ) буде визначатися додаванням значення коефіцієнтів розміру ризику та оцінки вірогідності його виникнення, отже:

$$K_{ст.р} + K_{ймов} = M_{КР}, \quad (2.9)$$

Тобто, чим значення загального коефіцієнту ризику ( $M_{КР}$ ) ближче до 1, тим ступінь описаного ризику і його ймовірність є вищими.

Таким чином, БПЯ  $Q_1$  порівнюється з БПЯ базового рівня  $Q_1^{баз}$ ,  $Q_2 - з Q_2^{баз}, \dots, Q_n - з Q_n^{баз}$  ( $n$ - 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 наближеного значення показника до базового значення витрат і трудомісткість збільшуються. Тому окрім значення, до якого повинне наближатися значення БПЯ оцінюваного виробу, доцільно враховувати значення показника виробу виходити за межі якого не дозволяється.

Для врахування нижньої межі зміни показників використовується формула:

$$K_i = \frac{Q_i - Q_i^{кр}}{Q_i^{баз} - Q_i^{кр}}; \quad (2.10)$$

Для врахування верхньої межі зміни показників використовується формула:

$$K_i = \frac{Q_i^{кр} - Q_i}{Q_i^{кр} - Q_i^{баз}} \quad (2.11)$$

де  $Q_i^{sp}$  - гранично прийнятне значення показника (рівень критичний).

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

$$K_i = e^{-(Q_o)^{m_i}} \quad (2.12)$$

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

$Q_o$ - лінійна функція від  $Q_i$

$$Q_o = \frac{2Q_i - (Q_i^{max} + Q_i^{min})}{Q_i^{max} - Q_i^{min}}, \quad (2.13)$$

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

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

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

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:

$$K_i = e^{-(e^{-Q_o})} \quad (2.14)$$

Комплексний метод оцінювання якості систем безпеки, заснований на співставленні СТС, 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 СТС, що оцінюється, та базових зразків за показником приведеної вартості витрат на систему безпеки СТС і поданні кінцевого результату оцінювання у формі єдиного показника.

Комбінований метод оцінювання елементів СТС, 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.

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 СТС - інтегральна характеристика безпеки системи в цілому з точки зору її загальної ефективності. Вона 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.

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, природоохороні.

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 [33-34]. Зокрема, розрізняють показники: травмонебезпечності; небезпеки ураження електричним струмом; термічної небезпеки; пожежа- та вибухонебезпеки; хімічної небезпеки; біологічної небезпеки; небезпеки випромінювання, 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 тощо [35]

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 [36]. 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 тощо.

В номенклатуру оцінювальних показників для попередження повторного розгляду одних і тих самих властивостей оцінюваної продукції (системи) не слід вводити показники, що функціонально пов'язані із вже вибраними до неї показниками.

Для комплексного оцінювання якості продукції, якщо термін вислуги продукції перевищує один рік, використовують інтегральний показник [37], який визначається за формулою:

$$J = \frac{E_{sQ}}{V_0 \cdot \phi(t) + S(T)}, \quad (2.15)$$

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

$V_0$  - сумарні капітальні (одночасні) витрати на створення продукції, грн;  $S_n$  - сумарні експлуатаційні (поточні) витрати за весь термін вислуги, грн;  $t$  - термін вислуги продукції, роки;

$$\phi(t) = \frac{(1 + E_n)^t}{\sum_{i=1}^t (1 + E_n)^i} ; i = 1, \dots, t, \quad (2.16)$$

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

Вираз (2.15) справедливий при виконанні наступних умов: щорічний ефект від експлуатації продукції з року в рік залишається однаковим; щорічні експлуатаційні витрати також однакові;

Для випадку, коли ефект  $E_{SQ_i}$  і експлуатаційні витрати  $S(T_i)$  змінюються з часом, інтегральний показник визначається за формулою [38]:

$$J_{CQ} = \frac{\sum_{i=1}^t E_{SQ_i} \cdot (1 + E_n)^i}{V_o \cdot (1 + E_n)^t + \sum_{i=1}^t S(T_i) \cdot (1 + E_n)^i} \quad (2.17)$$

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.

Таким чином наведені вище кваліметричні методи та методики їх виконання дозволяють розрахувати та оцінити безпековий показник якості складної технічної системи.

## Висновки до другого розділу

1. Доведено, що складна технічна система являє собою ієрархичну структуру з множини підсистем та елементів, які пов'язані між собою і націлені на виконання єдиної мети. Характерною особливістю складних систем слід вважати досить велику кількість взаємопов'язаних між собою елементів та систем, що хаарктерезують різною фізичною сутністю та різноманітністю структур обумовлених їх властивостями.

2. Для оцінювання якості та безпеки складних технологічних систем застосовуються узагальнені комплексні та одиничні показники. При цьому для реалізації принципів процесного підходу щодо управління безпекою



СТС застосовують матричне розгортання функції безпеки.

3. Відносний безпековий показник якості складної технічної системи являє собою відношення наближеного значення показника до базового. При цьому повинні враховуватися межі зміни показників в форматі їх життєвого циклу.

4. Безпековий показник якості СТС являє собою інтегральну характеристику безпеки системи, яка визначається відношенням сумарного корисного ефекту від її експлуатації за призначенням до сумарних витрат до її створення та застосування.

## РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ЗАСТОСУВАННЯ КВАЛІМЕТРИЧНИХ МЕХАНІЗМІВ ТА ІНСТРУМЕНТІВ ОЦІНЮВАННЯ

### 3.1 Методика оцінювання ефективності заходів безпеки складних технічних систем

В основу методики покладено критерії, що обумовлюють ефективність застосування заходів безпеки СТС. До них віднесено визначення зв'язку даної системи щодо процесу функціонування СТС та безпекового показника якості; визначення мети заходів безпеки системи; формулювання вимог, яким повинен задовольняти обраний критерій; розроблення і аналіз переліку показників, що містить обраний критерій з визначенням можливості їх кількісної оцінки.

Для досягнення умов ефективності безпеки СТС згідно [39] запропоновано застосовувати функції БПЯ. Для аналітичного пошуку даної функції доцільно використовувати експертні методи [38].

Одним з найбільш ефективних інструментів щодо планування та забезпечення якості є метод її розгортання (структуризації) [38,39]. Застосування функцій якості дозволяє структурізувати потреби і побажання споживача щодо розгортання функцій і операцій діяльності по забезпеченню якості на кожному етапі життєвого циклу продукції (системи) [40].

Модель РФЯ є концептуальною моделлю перетворення вимог і запитів споживачів в характеристики безпеки з метою їх ефективного задоволення вимог[28]. Застосування даної моделі дозволяє забезпечити достатній рівень безпеки нової продукції (послуг) за рахунок визначення показників безпеки на етапі проектування та виготовлення. Проте, в галузі безпеки СТС застосування інструментарію РФЯ на даний час не набуло поширення у зв'язку з відсутність відповідного нормативно-методичного забезпечення.

В роботі для підвищення об'єктивності оцінювання стану безпеки СТС запропоновано застосовувати метод об'ємного розгортання функції БПЯ. Такий підхід 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.

Як правило, при реалізації методу РФЯ використовують серію матриць.

Зокрема матрицю споживчих вимог, матрицю структурування характеристик готової продукції, матрицю процесів і контролю [160]. Проте, існуючі підходи до побудови цих матриць не дозволяють забезпечувати процес оперативної оптимізації параметрів безпеки СТС із врахуванням змін вимог споживачів. Тому поєднання методу об'ємного РФЯ дозволить одночасно об'єднати процес оптимального погодження показників якості ТП, БПЯ та витрати на їх виконання.

На рис 3.1. наведено схему розгортання функції БПЯ представимо у виді об'ємної матриці.

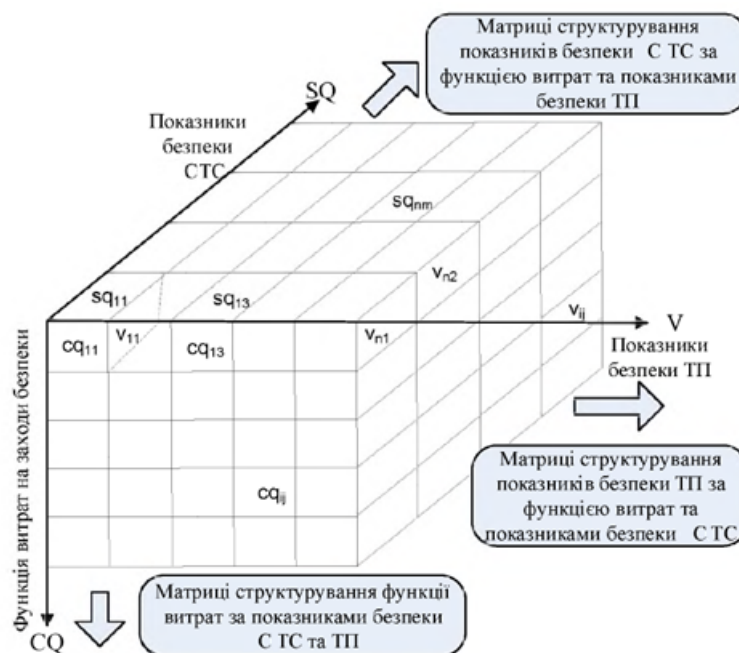


Рисунок 3.1 Об'ємна матриця розгортання функції БПЯ

Як видно з рис 3.1. вона дозволяє об'єднувати необхідну інформацію про властивості системи безпеки. Це обумовлено тим, що комірка містить три показники  $\{w_i, v_i, P_i\}$ , що характеризують стан конкретного елемента безпеки у залежності від показників якості ТП та витрат на забезпечення вимірювальних процедур.

Матриці розгортання функції витрат  $CQ$  за показниками БПЯ  $SQ$  та

показниками якості ТП  $V$  розташовані фронтально до об'ємної матриці і вони розгортаються вглиб її за окремими показниками БПЯ та показниками якості ТП, описуючи при цьому 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:

$$CQ = \begin{vmatrix} cq_{11} & cq_{12} & \dots & cq_{1j} \\ cq_{21} & cq_{22} & \dots & cq_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ cq_{n1} & cq_{n2} & \dots & cq_{nj} \end{vmatrix}, \quad (3.1)$$

де  $cq_{ij}$  - 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:

$$V = \begin{vmatrix} v_{11} & v_{12} & \dots & v_{1j} \\ v_{21} & v_{22} & \dots & v_{2j} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ v_{i1} & v_{i2} & \dots & v_{ij} \end{vmatrix}, \quad (3.2)$$

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 характеризують розгортання показників БПЯ за функцією витрат та показниками якості ТП. Матриця розгортання показників БПЯ матиме вид:

$$SQ_{nm} = \begin{vmatrix} sq_{11} & sq_{12} & \dots & sq_{1m} \\ sq_{21} & sq_{22} & \dots & sq_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ sq_{n1} & sq_{n2} & \dots & sq_{nj} \end{vmatrix}, \quad (3.3)$$

де  $sq_{ij}$  - показники БПЯ за функцією витрат та показниками якості ТП. Основні труднощі при заповненні описаних матриць полягають у визначенні взаємозв'язків між окремими показниками. Зокрема розділення витрат за окремими

показниками БПЯ при забезпеченні показників якості ТП [161]. Для сучасних ТП це складна досить задача, яка потребує пошуку раціональних шляхів щодо оптимізації значень показників якості ТП та значень показника БПЯ із витратами на їх забезпечення при побудові ефективної системи безпеки.

Реальні ТП характеризуються значною кількістю контрольованих параметрів та технологічних операцій. Тому для практичного застосування доцільно оперувати двовимірними матрицями та оптимізувати їх параметри. При цьому оптимізацію параметрів об'ємної матриці доцільно здійснювати шляхом поставки та вирішення трьох оптимізаційних задач (табл 3.1).

Таблиця 3.1

### 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  $Y_i$  будемо вважати [160], що існує деяка функція корисності -  $J_{ss}$ , тобто функція безпеки, 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:

$$J_i = e_i \frac{x_i}{y_i} \xrightarrow{d_{opt}} \max, \quad (3.4)$$

де  $e_i$ ; - ефекти перетворення входів  $x_i$ ; у виходи  $y_i$ ; , що визначають

якість виконання своєї функції окремим елементом безпеки; рішення, які приймаються для оптимізації системи безпеки.

В багатьох випадках визначення ефектів перетворення  $e$ , елементів системи безпеки є складним завданням, яке важко відобразити у виді залежності, тому ефективним шляхом вирішення даного завдання є застосування методів логіко-математичного моделювання. Такий підхід 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 його можна виразити у виді коефіцієнта кореляції  $r_{i\cdot}$ . В подальшому це дозволить використовувати методи кореляційного аналізу [161] для пошуку оптимальних співвідношень елементів матриці РФЯ безпеки. Крім того 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  $\{cq_i, vi, sq_i\}$  визначають ефективність побудови найнижчого рівня ієрархії системи безпеки, то від їх раціонального погодження, безпосередньо залежить ефективність системи безпеки.

Формалізацію процедури взаємного погодження  $\{cq_i, vi, sq_i\}$  можна здійснювати записавши умови вирішення оптимізаційних задач у вигляді:

$$\begin{aligned} e_i^1 &= \frac{sq_i}{v_i} \xrightarrow{cq \rightarrow \min} \rightarrow \max \\ e_i^2 &= \frac{sq_i}{cs_i} \xrightarrow{v \rightarrow \min} \rightarrow \max \\ e_i^3 &= \frac{v_i}{cq_i} \xrightarrow{sq \rightarrow \min} \rightarrow \max \end{aligned} \quad (3.5)$$

Загальний ефект  $e_i$  елемента матриці РФЯ безпеки можна визначити за формулою:

$$e_i = \lambda_1 \cdot e_i^1 + \lambda_2 \cdot e_i^2 + \lambda_3 \cdot e_i^3, \quad (3.6)$$

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 (3.5) доцільно здійснювати процедури спрощення цього виразу у залежності від вимог конкретного ТП. При цьому 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 обгрунтованих співвідношень між допуском на параметри ТП та точністю його вимірювання [38]. При застосуванні такого підходу умова оптимізації зводиться до вирішення задачі щодо пошуку раціонального співвідношення між точністю вимірювання технологічного параметра та витратами на його вимірювання [40].

Перспективним шляхом вирішення задачі оптимізації безпекових ефектів на етапі виробництва слід вважати приведення їх до єдиної вартісної форми. Для цього, наприклад доцільно застосовувати функції втрат якості Тагуті [41]. Це пов'язано з тим, що на відміну від традиційних методик, в методиці Тагуті будь-яке відхилення від номінального значення (вважається оптимальним) призводить до тієї чи іншої втрати якості. При цьому вважається, що в більшості випадків залежність втрати якості від розкиду параметрів добре апроксимується квадратичною функцією [40]. Проте, для випадку налагодження ТП функція втрат Тагуті не знайшла широкого застосування. Це пов'язано з тим, що вона використовує вартісну функцію, в якій втрати якості виражаються в

грошовому еквіваленті. Більш перспективним механізмом для підвищення БПЯ (на стадії виготовлення) є застосування підходу [41], в якому втрати якості розглядаються не в грошовому виразі, а як втрати точності кінцевої ланки. Для системи Безпеки СТС слід вважати кінцевою ланкою встановлення та контроль допусків на технологічні параметри.

На рис 3.2 наведено схему оцінювання комплексного показника результативності системи безпеки

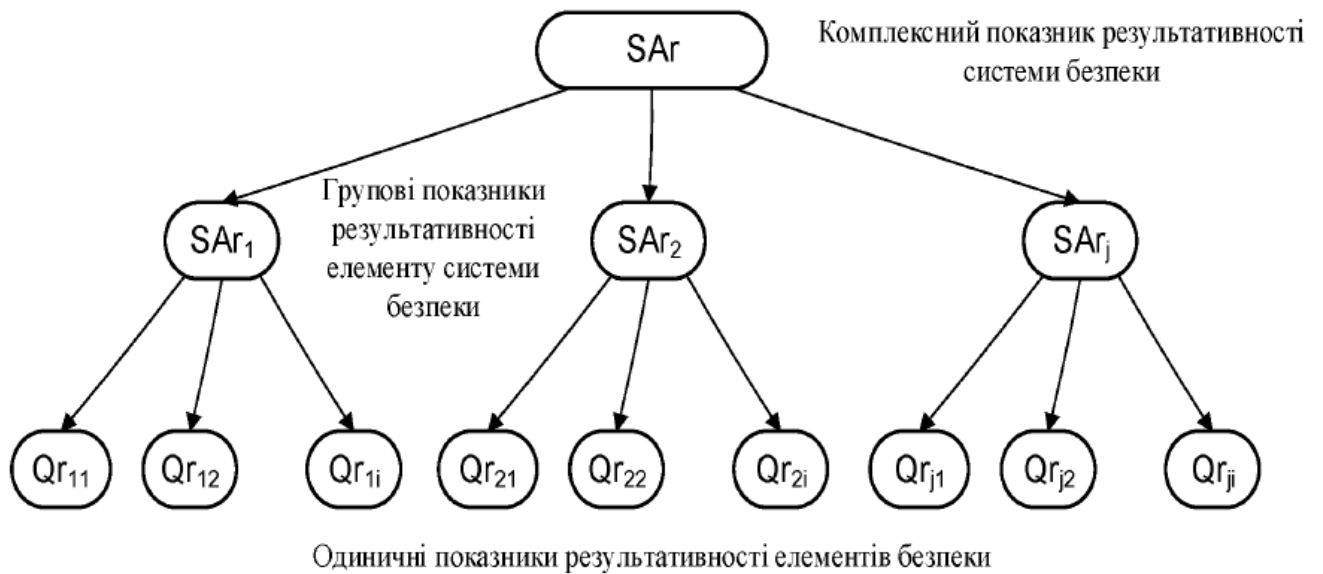


Рис. 3.2 Рівні оцінювання комплексного показника результативності системи безпеки

Як видно з рис 3.2 дана схема являє собою ієрархічну структуру, що має три рівні. Перший рівень – одиничні показники. Другий рівень – групові показники. Третій рівень – комплексний показник результативності системи безпеки.

На рис. 3.3 наведено алгоритм оцінювання комплексного показника результативності системи безпеки





Рис. 3.3 Алгоритм оцінювання комплексного показника результативності системи безпеки

Комплексний показник результативності системи безпеки СТС розраховується за формулою 3.7:

$$SA_r = \frac{\prod_{j=1}^n m_j \cdot SA_{rj}}{\prod_{j=1}^n m_j \cdot Kr_j} \quad (3.7)$$

де  $m_j$  - коефіцієнт вагомості елемента в структурі системи безпеки СТС, що встановлюється експертним методом;  $SA_{rj}$  - 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 СТС.

Таким чином наведена вище методика дозволяє своєчасно оцінювати рівень ефективності заходів безпеки складних технічних систем та розробляти організаційно-технічні заходи по їх підвищенню.

### 3.2 Методика оцінювання невизначеності результатів експертних вимірювань

В попередніх розділах роботи було доведено, що процес визначення показників якості та безпеки продукції, послуг, процесів супроводжується виникненням невизначеностей, зумовлених різними причинами. Практичний досвід показує, що це суттєво впливає на формування остаточної оцінки якості та безпеки об'єкта, що досліджується. При визначенні показників безпеки і якості складних технічних систем, найбільш затребованими є метод експертних оцінок. Проте для забезпечення єдності оцінювання цих показників потрібно чітко встановити вимоги до точності їх визначення.

Кількісною оцінкою точності вимірювань є невизначеність результату вимірювань. В роботах [41-42] наведено механізми та інструменти щодо обчислення невизначеності результатів отримання показників якості та безпеки. При цьому багато показників визначають, за допомогою експертних вимірювань. Остання потребує розроблення спеціальних рекомендацій методичного апарату для оцінювання невизначеності експертних вимірювань. При розробці рекомендацій доцільно використовувати методичний підхід щодо концепції невизначеності для оцінки якості експертних вимірювань.

Як видно з рис. 3.4 наведено основні етапи експертного оцінювання та причини виникнення невизначеності, які пов'язані з недосконалістю експертів, невірним вибором їх кількості та умовами проведення експертизи.



Рис. 3.4 Джерела невизначеності експертних вимірювань

Як видно з рис. 3.4 основну складову в джерела невизначеності експертного оцінювання (яка являє собою недосконалість експертів) можна оцінити за чотирма показниками. Це ступінь компетентності, ступінь надійності, ступінь зацікавленості та ступінь об'єктивності. При цьому компетентність експерта повинна поширюватися на об'єкт оцінювання якості (професійна компетентність) і методологію оцінювання (кваліметрична компетентність).

Професійна компетентність – це знання історії розвитку оцінюваного об'єкта (зміна його властивостей і показників якості); процесу його створення (дослідження, конструювання, виготовлення); значень показників якості різних модифікацій, зокрема найкращих аналогів; перспектив розвитку; результатів науково-дослідних робіт і патентних матеріалів, що можуть привести до зміни властивостей і показників якості потреб споживачів, умов і характеру потреб.

Кваліметрична компетентність забезпечує: чітке розуміння експертом підходу до оцінювання якості та безпеки; знання методів оцінювання якості; вміння користуватися різними типами оцінюваних шкал тощо. Зацікавленість експерта в результатах експертизи залежить від багатьох факторів. Зокрема ступеня завантаженості його основною роботою; цілей експертизи; характеру висновків, що можуть бути зроблені за результатами оцінювання якості; індивідуальними особливостями.

Об'єктивність (неупередженість) можна розглядати як вміння враховувати тільки ту інформацію, що визначає задоволення потреб даною продукцією, (послугою чи процесом). В свою чергу необ'єктивність полягає в завищеній або заниженій оцінці якості продукції і може бути обумовлена конформізмом. Необ'єктивність експерта найчастіше проявляється при оцінюванні реальних зразків продукції. Особливо це стосується експертів, що оцінюють показники якості продукції підприємств з якими вони пов'язані по роботі.

Стосовно ступеня надійності експерта можна вважати, що він визначається стабільністю його думки. При цьому рівень стабільності можна оцінити через відтворюваність в часі (протягом кількох турів оцінювання, здійснених через певні часові інтервали) результатів оцінювання експертом одного і того самого об'єкта.

На рис. 3.5 наведено методи, які доцільно застосовувати для визначення показників якості об'єкта.

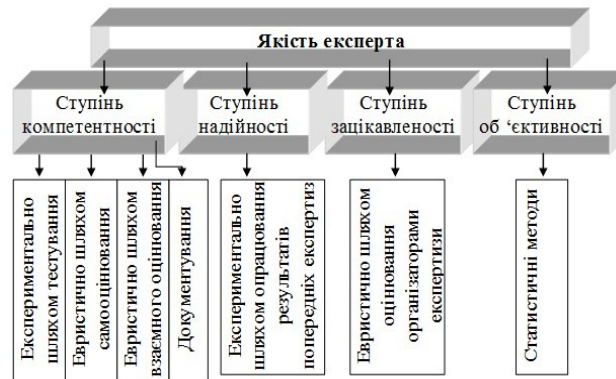


Рис. 3.5. Система ПЯ експерта та методи їх визначення

Як видно з рис 3.5 для оцінювання показників якості експертів існує досить багато методів. До основних слід віднести: евристичні, експериментальні статистичні та документальні.

Вищенаведені методи можна компонувати в різний спосіб і отримані оцінки сумувати з врахуванням їх важливості. Такий підхід дозволяє отримати комбіновану оцінку  $K_{\text{комб}}$ .

Розглянемо більш детально вище наведені методи та умови їх застосування.

Евристичні оцінки базуються на формуванні: самооцінки ( $Q_{\text{сам}}$ ), коли експерт самостійно оцінює свою професійну компетентність, тобто ступінь інформованості з різними сторонами об'єкта експертизи анкетуванням [43].

Ступінь самооцінки можна визначити як суму параметрів самооцінки експерта з врахуванням їх вагових коефіцієнтів. У цьому випадку ступінь самооцінки експертної групи буде визначатися як середнє значення самооцінок експертів групи; взаємооцінки ( $Q_{\text{вз}}$ ), коли з метою зменшення суб'єктивності оцінка компетентності кожного експерта  $K_{\text{вз}}$  визначається як середнє арифметичне з оцінок, які надані рештою експертів; оцінки організаторів експертизи ( $Q_{\text{оє}}$ ), це випадок, коли в кількісній формі надається характеристика зацікавленості експерта в участі у експертизі. При цьому значення параметрів  $K_{\text{сам}}$ ,  $K_{\text{вз}}$ ,  $K_{\text{оє}}$  доцільно представляти 10-бальною шкалою.

Експериментальні оцінки отримують за результатами спеціальних тестувань експертів на:

а) компетентність ( $Q_{кк}$ ), що дозволяє визначається рівень теоретичних знань та практичних вмінь експертів;

б) схильність до конформізму, при визначенні якої часто використовують «метод підставної групи».

Для простоти визначення конформізму експертів використовують вираз 3.8:

$$K_{ок} = П_{сам} - П_{груп}, \quad (3.8)$$

де  $П_{сам}$  і  $П_{груп}$  – відповідно кількість помилок експерта при самостійному винесенні суджень і сумісно з підставною групою;

в) відтворюваність результатів ( $Q_{вр}$ ) є свідченням певного ступеня надійності експерта. Вона може бути сформована за допомогою коефіцієнта кореляції рангу Спірмена між двома ідентичними турами експертної оцінки (наприклад, ранжуванні вагових коефіцієнтів), які були відтворені кожним  $j$ -тим експертом:

$$K_{(вр)j} = 10 \cdot r_j, \quad (3.9)$$

$$r_j = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n d_{ij}^2}{n^3 - n}, \quad (3.10)$$

де  $d_{ij}$  – різниця між рангами, присвоєними  $j$ -тим експертом ( $K_{експерт}$  – кількість експертів)  $i$ -тому коефіцієнту вагомості ( $n$  – кількість оцінюваних об'єктів) в першому і другому турах опитування.

Крім того можна також використовуючи спосіб відхилення від середнього (один тур експертної оцінки), вираз для розрахунку  $r_j$  буде мати вигляд:

$$r_j = \frac{1}{2} \cdot \sum_{i=1}^n [\overline{M}_i - M_{ij}], \quad (3.11)$$

де  $M_{ij}$  – значення коефіцієнта вагомості для  $i$ -того об'єкта, проставленого  $j$ -тим експертом;  $\overline{M}_i$  – середнє значення документальних об'єктивних даних про характеристики коефіцієнтів вагомості для даного об'єкта, розраховане на основі оцінок всіх експертів для цього об'єкта.

Даний метод потребує додаткового часу для повторних опитувань проте є і більш об'єктивним у порівнянні з евристичними оцінками.

Статистичне оцінювання базується на оцінюванні відхилення думки експерта від середньої думки групи експертів і базується на використанні:

а) методу ранжування оцінюваних величин (обчислення коефіцієнта конкордації, тобто узгодженості думок експертів) ( $Q_{рв}$ ), коли істинним значенням є середня оцінка експертів. Відповідно, чим менше значення відхилення індивідуальної оцінки експерта від колективної, тим більший показник конкордації чи узгодженості думок експертів. Коефіцієнт конкордації  $W$  для  $K_{експерт}$  експертів визначається, як

$$W = \frac{\sum_{i=1}^n d_i^2}{\frac{1}{12} \left[ K_{експерт}^2 \cdot (n^3 - n) - K_{експерт} \cdot \sum_{j=1}^L T_j \right]}, \quad (3.12)$$

де

$$d_i = S_i - \frac{\sum_{i=1}^n S_i}{n}, \quad S_i = \sum_{j=1}^{K_{експерт}} R_{ij}, \quad T_j = \sum_{i=1}^L (t_i^3 - t_i),$$

де  $L$  – кількість груп однакових рангів;  $t_i$  – кількість зв'язаних рангів в кожній групі;  $R_{ij}$  – ранги, виставлені кожним  $j$ -тим експертом по кожному  $i$ -тому об'єкту.

Оскільки  $0 \leq W \leq 1$ , то при  $W=0$  у  $N$  експертів повністю відсутня будь-яка узгодженість, а при  $W=1$  вона є повною.

Метод потребує значних витрат часу для здійснення повного об'єму обчислень, наприклад, у порівнянні з апіорними евристичними оцінками. При оцінюванні узгодженості думок експертів важливо визначити, якою мірою кожний експерт впливає на узагальнену узгодженість групи. Для цього послідовно з розрахунків вилучається один експерт та обчислюється коефіцієнт конкордації без врахування думок вилученого експерта. Якщо під час вилучення його думки  $W$  зростає, то це негативно його характеризує, якщо  $W$  зменшується, то – позитивно[43].

б) визначення числових значень оцінюваних величин ( $Q_{чз}$ ), в основі якого лежить поняття відстані між оцінками. Цей метод не потребує значних витрат;

в) оцінки об'єктивності ( $Q_{об}$ ), для яких потрібно розробляти спеціальні методики оцінювання об'єктивності експертів. Іноді для цього використовуються оцінки відхилення від середнього, що було описано вище.

Документальні оцінки ( $Q_{до}$ ) базуються на аналізі документальних об'єктивних даних про характеристики експертів. Вони можуть використовуватись паралельно з іншими методами визначення ПЯ експертів. Невизначеність в цьому випадку може бути пов'язана з наявністю неповної інформації про заслуги експерта.  $K(до)j$  – коефіцієнт документальної оцінки  $j$ -того експерта можна визначити як суму параметрів документальної оцінки експерта з врахуванням їх вагових коефіцієнтів. Тоді ступінь документальної оцінки експертної групи визначатиметься як середнє значення документальних оцінок експертів групи. Як і в попередніх випадках, доцільно використовувати 10-бальну шкалу.

Результати дослідження методів оцінювання ПЯ експертів в роботі представлено у вигляді табл. 3.2. Порівняння методів здійснено за критеріями оцінювання їхніх переваг, недоліків, та ступеня використання.

Таблиця 3.2

## Дослідження методів оцінювання показників якості експертів

Назва методу	Переваги	Недоліки	Максимальне застосування
Евристичні $Q_{сам}$ , $Q_{вз}$ , $Q_{оє}$	високі технологічні показники щодо реалізації та підготовки методу, а саме низька частота, трудомісткість, достатньо висока інформативність	суб'єктивність суджень	для оцінювання ступеня компетентності та зацікавленості експертів
Експериментальні $Q_{кк}$ , $Q_{вр}$	достатній рівень об'єктивності, а отже менша невизначеність результату оцінювання, яку можна оцінити середньоквадратичним відхиленням	довго тривалість реалізації, трудомісткість опрацювання результатів	для оцінювання ступеня компетентності та надійності експертів
Статистичні $Q_{рв}$ , $Q_{чз}$ , $Q_{об}$	висока об'єктивність	висока трудо та часомісткість підготовчих робіт та реалізації	для оцінювання ступеня об'єктивності експертів
Документальні $Q_{до}$	об'єктивність, обґрунтованість, висока технологічність реалізації методу	результати документальної оцінки залежать від галузі роботи експерта	для оцінювання компетентності експертів

В загальному випадку при врахуванні усіх показників якості експерта

комбінований показник якості  $j$ -того експерта буде мати вигляд 3.13:

$$Q_j = (Q_{самj} + Q_{взj} + Q_{оеj} + Q_{ккj} + Q_{врj} + Q_{рвj} + Q_{чзj} + Q_{обj} + Q_{доj}) / q, \quad (3.13)$$

де  $q$  – кількість складових, які враховувались під час розрахунку комбінованого показника якості  $j$ -того експерта [43].

Якщо кожен складову показника якості представляти у балах (10-бальна шкала), то  $1 < Q_j < 10$ , але можна задатись умовою, що

$$Q = \sum_{j=1}^{K_{експерт}} Q_j = 1. \quad (3.14)$$

Для того щоб здійснити правильний вибір кількості експертів доцільно використовувати теорія ймовірності [22, 23]. Оцінку кількості експертів  $K_{експерт}$  потрібно представляти з заданою довірчою ймовірністю  $P$  у діапазоні значень, притаманних для метрології (0,9 до 0,99) та з похибкою  $\Delta$ . Використовуючи вираз для розрахунку довірчого інтервалу, формулу для обчислення  $K_{експерт}$  можна записати, як ( $K_{експерт}$  є прототипом кількості спостережень):

$$K_{експерт} = \frac{t^2 \cdot S^2}{\Delta^2}, \quad (3.15)$$

де  $t$  – коефіцієнт Стюдента для заданої довірчої ймовірності;  $S$  – середньоквадратичне відхилення експертної оцінки.

Якщо  $S$  є невідомим (наприклад, експертиза здійснюється вперше), то похибку  $\Delta$  доцільно задавати до проведення оцінювання як частку від  $S$  відношенням

$$\Delta_1 = \frac{\Delta}{S}. \quad (3.16)$$

І тоді вираз (3.15) набує вигляду

$$K_{експерт} = \frac{t^2}{\Delta_1^2}, \quad (3.17)$$

звідки відповідно

$$\Delta_1 = \frac{t}{\sqrt{K_{експерт}}}. \quad (3.18)$$

Значення похибок  $\Delta_1$ , обчислених згідно з (3.18), для різної кількості



експертів  $K_{\text{експерт}}$  та довірчої ймовірності експертного оцінювання  $P_{\text{дов}}$ , зведено у табл. 3.3.

Таблиця 3.3

Значення похибок  $\pm\Delta_1$  для різної кількості експертів  $K_{\text{експерт}}$  та довірчої ймовірності експертної оцінки  $P_{\text{дов}}$

Кількість експертів \ $P_{\text{дов}}, \%$	2	3	4	5	7	10	15	20	30	40
90	4,50	1,75	1,80	1,00	<u>0,73</u>	0,58	0,45	0,39	0,31	0,26
95	8,98	2,48	1,59	1,24	<u>0,93</u>	0,71	0,55	0,47	0,37	0,31

Як видно з таблиці починаючи з кількості експертів 7, похибка  $\Delta_1$  є меншою за одиницю, а, отже, задана похибка оцінювання  $\Delta$  не перевищуватиме  $S$  і становитиме частку від нього. Тобто мінімальна кількість експертів не повинна бути меншою за 7 осіб. Дані таблиці 3.3 доцільно враховувати під час невизначеності типу В.

Оскільки для експертизи відводяться приміщення для роботи, то їх стан та кліматичні умови повинні відповідати вимогам щодо охорони праці. Невиконання нормованих вимог може спричинити виникнення несприятливих впливів на остаточну оцінку, тобто внести невизначеність.

В роботі [48] запропоновано невизначеність типу А розраховувати через середнє квадратичне відхилення оцінок експертів від середнього значення. Подібна процедура передбачена для рівноточних експертних вимірювань показників якості (що є прототипом збіжності для рівноточних спостережень в метрології) і для їх нерівноточних експертних вимірювань (що є прототипом відтворюваності для нерівноточних спостережень в метрології). Тобто оцінка експерта розглядається як прототип результату спостереження, що отримано засобом вимірювань.

Збіжність експертних оцінок по певному об'єкту оцінювання можна обчислювати за умови, що показники якості експертів є практично однаковими. Тоді невизначеність за типом А для  $i$ -того об'єкта оцінювання рахуватиметься згідно з формулою:

$$u_{Ai} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{K_{\text{експерт}}} (x_{ij} - \bar{x}_i)^2}{K_{\text{експерт}} \cdot (K_{\text{експерт}} - 1)}}, \quad (3.19)$$

де  $x_{ij}$  – результат експертного оцінювання, тобто невизначеності результатів експертного вимірювання експертна оцінка  $j$ -того експерта для  $i$ -того об'єкта;  $\bar{x}_i$  – середнє арифметичне значення експертних оцінок для всіх  $K_{\text{експерт}}$  експертів для  $i$ -того об'єкта.

Відповідно, стандартна невизначеність групи експертів, які оцінювали серію об'єктів одного і того самого призначення, обчислюватиметься як:

$$u_A = \sqrt{\sum_{i=1}^n u_{Ai}^2}, \quad (3.20)$$

де  $n$  – кількість оцінюваних об'єктів експертною групою.

Якщо комбіновані показники якості експертів є неоднаковими (а це зустрічається практично завжди), матимемо випадок нерівноточних спостережень [24]. Тоді експертна оцінка  $x_{ij}$  кожного експерта повинна мати свій коефіцієнт вагомості  $Q_j$ , що трансформується у вираз:

$$u_{Ai} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{K_{\text{експерт}}} (Q_j \cdot (x_{ij} - \bar{x}_i))^2}{Q \cdot (K_{\text{експерт}} - 1)}}, \quad (3.21)$$

де

$$\bar{x}_i = \frac{\sum_{j=1}^{K_{\text{експерт}}} (Q_j \cdot x_{ij})}{Q}, \quad Q = \sum_{j=1}^{K_{\text{експерт}}} Q_j. \quad (3.22)$$

де  $x_{ij}$  – результат експертного оцінювання, тобто експертна оцінка  $j$ -того експерта для  $i$ -того об'єкта;  $\bar{x}_i$  – середнє арифметичне експертних оцінок для всіх  $K_{\text{експерт}}$  експертів для  $i$ -того об'єкта;  $Q_j$  – коефіцієнт вагомості  $j$ -того експерта (3.12).

Для параметрів, які характеризують умови проведення експертизи, існують нормовані показники, відхилення від яких є причиною виникнення невизначеності типу В  $u_{B[44]}$ .

Отже, сумарна стандартна невизначеність експертних вимірювань  $u_c$  становитиме:

$$u_c = \sqrt{\sum_{i=1}^n u_{Bi}^2 + \sum_{j=1}^m u_{Aj}^2}. \quad (3.23)$$

Тоді розширена невизначеність  $U$

$$U = k \cdot u_c, \quad (3.24)$$

де  $k$  – коефіцієнт охоплення для заданої довірчої ймовірності  $P_{\text{дов}}$ .

Таким чином на основі отриманого значення розширеної невизначеності приймається рішення щодо рівня точності експертного дослідження та необхідності проведення додаткового.

### 3.3 Застосування коефіцієнтів вагомості для кваліметричної оцінки продукції

Значення коефіцієнта вагомості окремого показника властивостей (ПВ) має вирішальне значення для кінцевої кваліметричної оцінки [44]. Це пов'язано з тим, що коефіцієнти вагомості, як правило, отримуються на основі кваліметричної непевності [45]. Зокрема, це стосується значення показників властивостей, коли вони знаходяться за результатами вимірювання і є істотна випадкова складова відхилень контрольованого параметра.

Доцільність застосування коефіцієнтів вагомості, що отримані за складовими кваліметричної непевності, що супроводжує кваліметричну оцінку партії продукції окремого виробника за одиничним показником, слід визначати залежно від властивостей розподілу випадкових величин, якими є окремі спостереження за властивостями виробів.

Для оцінювання властивостей якості потрібно виділити групи показників властивостей. Останні повинні розрізнятися відповідно до того, як задано межі допустимих значень для кожного з ПВ. Наприклад, до першої групи зарахуємо показники, для яких подальше зростання значень характеристик після досягнення нормованого рівня не впливатиме позитивно на поліпшення якісних властивостей виробу (наприклад, опір ізоляції). До другої групи віднесемо показники властивостей, для яких, навпаки, чим вищий їх рівень, тим кращі властивості виробу (наприклад, похибка приладу). Третю групу сформулюють ПВ, значення яких

можуть змінюватись в заданому діапазоні і вищому рівню якості відповідатиме ступінь наближення значення показника властивості до певного оптимального значення з цього діапазону.

Зміна значень ПВ першої групи не матиме будь-якого істотного впливу на зміну рівня якості в цілому, тому предметом подальшого розгляду може бути лише друга і третя група показників. Наприклад, до таких показників властивості може належить розмір діаметра виробу  $Q$  з допустимими відхиленнями  $q_i^+$  та  $q_i^-$  та оптимальним значенням  $q_i^0$ , яке не завжди повинно збігатися із серединою діапазону  $q_i$  допустимих відхилень вимірних значень.

Для визначення рівня якості виробу за цим окремим показником властивостей скористаємось поданим прикладом визначення діаметра. Зробимо припущення, що випадкові величини, якими є результати багаторазових вимірювань, розподілені за певним експериментальним законом, що близький до відомого табличного закону. Межі  $q_i^-$  та  $q_i^+$ , визначають діапазон допустимих значень діаметра, за яких виріб буде визнано відповідним до встановлених вимог.

Нехай треба порівняти рівень якості двох партій виробів за показником властивостей, яким є вказаний параметр. У результаті експериментальних досліджень однакової кількості зразків, відібраних від кожної партії, визначено експериментальні густини розподілу ймовірності випадкових значень вимірюваного параметра. Співвідношення отриманих характеристик в загальному випадку можна подати в трьох варіантах: розподіли характеризуються приблизно однаковими оцінками розкиду (дисперсіями) значень вимірюваної величини, але оцінки математичного сподівання їх відрізняються; розподіли мають різний розкид, але близькі за оцінками математичного сподівання; розподіли відрізняються і за розкидом, і за оцінками математичного сподівання.

На рис. 3.6 наведено експериментальні розподіли густини ймовірності випадкової величини, що відрізняється оцінками математичного сподівання.

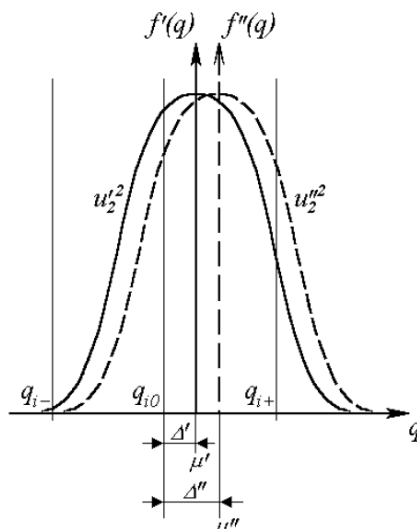


Рис. 3.6 Експериментальні розподіли густини імовірності випадкової величини, що відрізняються оцінками математичного сподівання

Як видно з рис. вказані розподіли випадкових величин мають приблизно однакові оцінки дисперсії  $u_2'^2[\mu'] \approx u_2''^2[\mu'']$  і відрізняються лише оцінками математичного сподівання  $\mu'$ . При цьому характеристика, що показана суцільною лінією, має менше відхилення  $\mu'$  від оптимального значення  $q_{i0}$   $|q_{i0} - \mu'| = \Delta' < \Delta'' = |q_{i0} - \mu''|$ , тобто репрезентує партію з вищим рівнем якості, ніж характеристика, показана пунктиром. Оскільки обидва розподіли мають приблизно однакові характеристики розкиду значень випадкових величин, то, відповідно, є близькими і оцінки міжгрупової непевності [44] вимірювання діаметра. В цьому випадку неможливо оцінити коефіцієнт вагомості за складовими кваліметричної непевності вказаного ПВ. Проте в ньому немає потреби, оскільки мірою якості є відхилення  $\Delta' < \Delta''$ . Чим ближче до  $q_{i0}$ , що, наприклад, розташоване посередині  $(q_{i+} - q_{i-})$ , розраховане за рядом експериментальних значень  $\bar{q}_i' = \mu'$ , тим, відповідно, вищий рівень якості досліджуваної партії [3].

В іншому випадку, коли розподіли значень вимірюваних випадкових величин характеризуються різним розкидом і, відповідно, мають різну дисперсію, а математичні сподівання або відрізняються, або є близькими, визначення коефіцієнта вагомості за характеристикою міжгрупової непевності може мати вирішальне значення.

На рис. 3.7 наведено експериментальні розподіли густини імовірності

випадкової величини, що відрізняються оцінками дисперсії

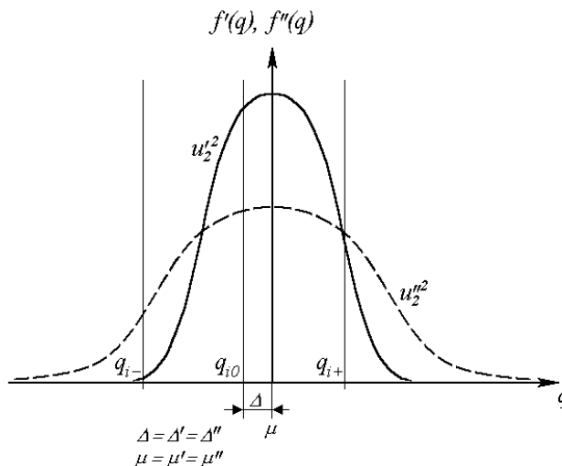


Рис. 3.7. Експериментальні розподіли густини імовірності випадкової величини, що відрізняються оцінками дисперсії [45, 47].

Як видно з рис. 3.7 зробити висновок про співвідношення якісних рівнів порівнюваних партій за математичними сподіваннями неможливо, оскільки  $\mu' = \mu'' = \mu$ . У такому разі, лише розрахувавши значення коефіцієнтів вагомості, що відносяться як квадрати обернених оцінок міжгрупових дисперсій, згідно з формулою 3.22

$$w_1 / w_2 / \dots / w_p = u_{q_1}^{-2} / u_{q_2}^{-2} / \dots / u_{q_p}^{-2}, \quad (3.25)$$

можна виконати порівняння партії виробів за вказаним показником властивостей  $i$ , відповідно, використати характеристику діаметра як значення одиничного показника якості в комплексному показнику якості згідно з формулою (3.23)

$$U = f(q_1 w_1, q_2 w_2, \dots, q_i w_i), \quad (3.26)$$

$Q = \{q_1, q_2, \dots, q_i\}_{i=1, n}$  — множина показників властивостей;  $W = \{w_1, w_2, \dots, w_i\}_{i=1, n}$  — множина вагових коефіцієнтів для кожного елемента  $q_i$ . Хоча з порівняння двох розподілів випадкових величин (рис. 3.7) очевидно, що характеристика, подана пунктиром, стосується партії виробів з гіршими якісними властивостями, оскільки за формою законів вже можна зробити висновок, що  $u_2'^2[\mu''] > u_2'^2[\mu']$ , однак без застосування значення коефіцієнта вагомості відсутня міра, що характеризує співвідношення між рівнями якості порівнюваних об'єктів.

На рис. 3.8 наведено експериментальні розподіли густини імовірності випадкової величини, що відрізняються оцінками і математичного сподівання, і дисперсії.

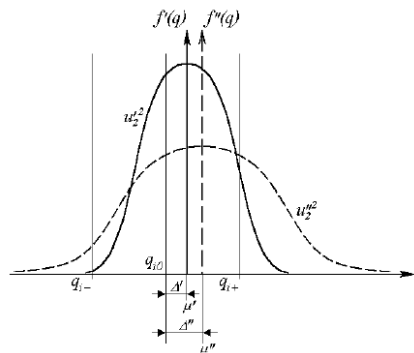


Рис. 3.8 Експериментальні розподіли густини імовірності випадкової величини, що відрізняються оцінками і математичного сподівання, і дисперсії

Як видно з рис. 3.8 коефіцієнт вагомості є інформаційно надлишковою, оскільки вже з порівняння математичних сподівань досліджуваних виробів видно, що рівень партії виробів, які характеризує пунктирна лінія, є нижчим [46].

Таким чином коефіцієнти вагомості, що отримані за складовими кваліметричної непевності, доцільно застосовувати лише в тому випадку, коли висновок про рівень якості виробу ґрунтується на результатах вимірювання значень показників властивостей, для яких визначено оптимальне значення. Застосування таких коефіцієнтів вагомості може мати вирішальне значення для кількісної оцінки якості в тому випадку, коли експериментальні закони розподілу густини ймовірності випадкової величини, якою є значення показника властивості, що змінюється у заданому діапазоні, характеризуються близькими оцінками математичного сподівання.

### Висновки до третього розділу

1. На основі аналізу основних етапів експертного вимірювання встановлено основні причини виникнення невизначеності його результатів. Зокрема недосконалість експертів, невірний вибір їх кількості та умови проведення експертизи.

2. Запропоновано методику розрахунку невизначеності результатів

експертних вимірювань, використання якої дозволяє гармонізувати процес оцінювання точності результатів таких вимірювань з міжнародними вимогами (зокрема представити результати експертних вимірювань на основі використання концепції невизначеності).

3. Доцільність застосування коефіцієнтів вагомості, що отримані за складовими кваліметричною невпевненості слід визначати залежною від властивостей розподілу випадкових величин, якими є спостереження за властивостями виробів.



## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. За своєю сутністю кваліметричні вимірювання це вимірювання, які дозволяють отримати числову оцінку якості (рівень якості). Кваліметричні оцінки отримують шляхом вимірювання і порівняття числових значень показників (параметрів).

2. Під кількісною оцінкою кваліметрії слід розуміти функцію відношення показника якості даної продукції до показника прийнятого за еталон.

3. Кваліметрія оперує визначенням якості з відносними оцінками та визначає якість по відношенню до процесу прийнятого за базу порівняння. При цьому застосовують такі показники якості процесу як одиничний, комплексний, груповий, узагальнений, відносний, інтегральний.

4. Проведено порівняльний аналіз методів оцінки якості (дифенційного, комплексного змішеного, експертного оцінювання) та визначено переваги та недоліки кожного із них.

5. Доведено, що визначення рівня безпеки складної технічної системи безпосередньо пов'язані з рівнем безпеки її підсистем та взаємозв'язаних елементів, що забезпечують її функціонування за призначенням.

6. До характерних особливостей складних технічних систем слід віднести велику кількість пов'язаних між собою елементів та систем, багатовимірність, взаємодії з зовнішнім середовищем, різноманітні структури, наявність розгалуженої інформаційної мережі, а також інтенсивні інформаційні потоки, що потребують своєчасного інформаційного оцінювання.

7. Для оцінювання складних технічних систем застосовувати комплексний безпековий показник якості, який являє собою результат кількісного розрахунку ризиків, значення яких перевищує порогові рівні безпеки.

8. Для управління безпекою СТС запропоновано застосовувати методи регресійного аналізу, зокрема матричне розгортання функції безпеки. Такий підхід дозволяє простежувати безпеку, СТС протягом її життєвого циклу.

9. Згідно з принципами кваліметрії, вимірювання окремих властивостей складної технічної системи повинно закінчуватися розрахунком відносного показника якості та безпеки.

10. Запропонована методика, яка дозволяє оцінити невизначеність результатів експертних вимірювань. Зокрема доведено, що дана невизначеність обумовлюється професійною та кваліметричною компетентністю есперта.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Куць В.Р. Кваліметрія: [навчальний посібник] / В.Р. Куць, П.Г. Столярчук, В.М. Друзюк. – Львів: Вид-во Національного університету “Львівська політехніка”, 2012. – 256 с.
2. Закон України про метрологію та метрологічну діяльність, №1060-IX від 03.12.2020р./ Верховна Рада України. – Офіц. вид. –К.: Парлам. вид-во, 2014. – 28 с. – (Бібліотека офіційних видань). – (Закон України).
3. International vocabulary of metrology: Basic and general concepts and associated terms (3rd edition - VIM3). - JCGM 200:2008 (E/F). – 90 p.
4. Метрологія. Терміни та визначення: ДСТУ 2681-94. – [Чинний від 1996-01-01]. – К.: Держстандарт України, 1994. – 68 с. - (Державний стандарт України).
5. Азгальдов Г.Г. Метрология и квалиметрия: вопросы идентификации/ Г.Г Азгальдов, А.В. Костин // Мир измерений, 2010. -№1. - С. 4–7.
6. Методи та засоби визначення показників якості продукції: [навчальний посібник] /[Т.З. Бубела, П.Г. Столярчук, Є.В. Походило та ін.] – Львів: Вид-во Національного університету “Львівська політехніка”, 2012. – 292 с.
7. International Electrotechnical Vocabulary. Electrical and electronic measurements and measuring instruments. Part 311. General terms relating to measurements: IEC 60050-300:2001. – [Execute Date: 2001-07-31]. - Publisher: International Electrotechnical Commission (IEC). - Publication Date: 2001-07-01. – 257 p. - (International standard).
8. Uncertainty of measurement - Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995). - ISO/IEC Guide 98- 3:2008. – 120 p.
9. Точність (правильність) і прецизійність методів і результатів вимірювання. Частина 1. Основні положення та визначення: ДСТУ ГОСТ ІСО 5725-1:2005 (ГОСТ ІСО 5725-1:2003, IDT). - [Чинний від 2005-30-12]. – К.: Держспоживстандарт України, 2006. –29 с. - (Національний стандарт України).
10. Основи метрології та вимірювальної техніки: [підручник для вузів в

двох томах]/ [М. Дорожовець, В. Мотало, Б. Стадник та ін.]; За ред. професора Б.І. Стадника. – Львів: Вид-во Національного університету “Львівська політехніка”. - 2005. - Т2. Вимірювальна техніка. – 656 с.

11. **Мотало В.П.** Система оцінювання якості продукції з використанням віртуальної міри якості /Стадик Б.І, Мотало В.П., Мотало А.В. // Стандартизація, сертифікація, якість. – 2009. - № 2. – С. 48-55.

12. **Мотало В.П., Мотало А.В.** Аналіз основних проблем теорії кваліметричних вимірювань / Мотало В.П, Мотало А.В. // Стандартизація, сертифікація, якість, 2011. – № 1. – С. 60-64. .

13. Стандартизація, метрологія та кваліметрія у машинобудуванні : [навч. посіб. для ВНЗ] / Л. І. Боженко ; ред. Л. І. Крючкович. - Львів : Світ, 2003. - 328 с.

14. Карпенко С.Г., Попов В.В. Інформаційні системи і технології. Київ: МАУП, 2004 р. - 229 с.

15. *Азгальдов Г.Г. Теория и практика оценки качества товаров. – М: Экономика, 1989. – 256 с.*

16. *Заде Л. Понятие лингвистической переменной и ее применение к принятию приближенных решений. – М.: Мир, 1976. 165 с.*

17. *Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003.– 736 с.* Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement. Second edition [Text]. – ISO, Switzerland, 1995. – 101 p.

18. ДСТУ EN ISO 7010:2019 Графічні символи. Кольори та знаки безпеки. Зареєстровані знаки безпеки (EN ISO 7010:2012; A1:2014; A2:2014; A3:2014; A4:2014; A5:2015; A6:2016; A7:2017, IDT; ISO 7010:2011; Amd 1:2012; Amd 2:2012; Amd 3:2012; Amd 4:2013; Amd 5:2014; Amd 6:2014; Amd 7:2016, IDT)

19. ДСТУ ISO 23601:2019 Ідентифікація безпечності. Знаки на планах евакуації (ISO 23601:2009, IDT)

20. ДСТУ EN 1838:2019 Світлотехніка. Освітлення аварійне (EN 1838:2013, IDT)

21. ДСТУ EN 50172:2019 Системи евакуаційного освітлення (EN 50172:2004, IDT)

22. Kowalczyk, A. Standard uncertainty determination of the mean for correlated data using conditional averaging metrology and measurement systems [Text] / A. Kowalczyk, A. Szlachta, R. Hanus // *Metrology and Measurement System*. – 2012. – Vol. 19, Issue 4. – P. 787–796.

23. Gutiérrez, R. An uncertainty model of approximating the analytical solution to the real case in the field of stress prediction [Text] / R. Gutiérrez, M. Ramírez, E. Olmeda, V. Díaz // *Metrology and Measurement System*. – 2015. – Vol. 22, Issue 3. – P. 429–442. doi: 10.1515/mms-2015-0031

24. Кондрук, Н. Е. Розробка системи обробки нечіткої експертної інформації [Текст] / Н. Е. Кондрук // *Управління розвитком складних систем*. – 2014. – № 18. – С. 173–176.

25. Данилкович, А. Г. Вибір номенклатури показників якості гідрофобізованого хутряного велюру експертним методом [Текст] / А. Г. Данилкович, Н. Б. Хлебнікова, Н. В. Омельченко // *Східно-Європейський журнал передових технологій*. – 2014. – Т. 5, № 3 (71). – С. 34–39. doi: 10.15587/1729-4061.2014.2761

26. Parratt, J. A. Expert validation of a teamwork assessment rubric: A modified Delphi study [Text] / J. A. Parratt, K. M. Fahy,

27. M. Hutchinson, G. Lohmann, C. R. Hastie, M. Chaseling, K. O'Brien // *Nurse Education Today*. – 2016. – Vol. 36. – P. 77–85. doi: 10.1016/j.nedt.2015.07.023

28. Снитюк, В. Є. Оптимізація процесу оцінювання в умовах невизначеності на основі структуризації предметної області та аксіоми незміщеності [Текст] / В. Є. Снитюк, Г. М. Гнатієнко // *Штучний інтелект*. – 2008. – № 3. – С. 217–223.

29. De Carlo, P. J. The design and development of an expert system prototype for enhancing exam quality [Text] / P. J. De Carlo,

30. N. Rizk // *International Journal of Advanced Corporate Learning (IJAC)*. – 2010. – Vol. 3, Issue 3. – P. 10–13. doi: 10.3991/ijac.v3i3.1356

31. Гунькало, А. В. Покращення рівня якості продукції компетентними

експертами [Текст] / А. В. Гунькало, О. І. Шпак // Тех- нологический аудит и резервы производства. – 2014. – Т. 4, № 1 (18). – С. 36–38. doi: 10.15587/2312-8372.2014.26368

32. Байцар, Р. Сертифікація професійної компетентності персоналу [Текст] / Р. Байцар, М. Сколодра, О. Гарасим // Вимірю- вальна техніка та метрологія. – 2008. – № 69. – С. 108–113.

33. Chin, K.-S. An evidential reasoning based approach for quality function deployment under uncertainty [Text] / K.-S. Chin, Y.-M. Wang, J.-B. Yang, K. K. Gary Poon // Expert Systems with Applications. – 2009. – Vol. 36, Issue 3. – P. 5684–5694. doi: 10.1016/j.eswa.2008.06.104

34. Lin, V. S. Accuracy and bias of experts' adjusted forecasts [Text] / V. S. Lin, P. Goodwin, H. Song // Annals of Tourism Research. – 2014. – Vol. 48. – P. 156–174. doi: 10.1016/j.annals.2014.06.005

35. Hong, D. H. Fuzzy linear regression analysis for fuzzy input–output data using shape–preserving operations [Text] / D. H. Hong, S. Lee, H. Y. Do // Fuzzy Sets and Systems. – 2001. – Vol. 122, Issue 3. – P. 513–526. doi: 10.1016/s0165-0114(00)00003-8

36. Yang, M.-S. Fuzzy least-squares linear regression analysis for fuzzy input–output data [Text] / M.-S. Yang, T.-S. Lin // Fuzzy Sets and Systems. – 2002. – Vol. 126, Issue 3. – P. 389–399. doi: 10.1016/s0165-0114(01)00066-5

37. Seraya, O. V. Linear regression analysis of a small sample of fuzzy input data [Text] / O. V. Seraya, D. Demin // Journal of Automation and Information Sciences. – 2012. – Vol. 44, Issue 7. – P. 34–48. doi: 10.1615/jautomatinfscien.v44.i7.40

38. İçen, D. Error measures for fuzzy linear regression: Monte Carlo simulation approach [Text] / D. İçen, H. Demirhan // Applied Soft Computing. – 2016. – Vol. 46. – P. 104–114. doi: 10.1016/j.asoc.2016.04.013

39. Livotov, P. Estimation of new-product success by company's internal experts in the early phases of innovation process [Text] / P. Livotov // Procedia CIRP. – 2016. – Vol. 39. – P. 150–155. doi: 10.1016/j.procir.2016.01.181

40. Kuo, T.-C. Integration of environmental considerations in quality

function deployment by using fuzzy logic [Text] / T.-C. Kuo, H.-H. Wu, J.-I. Shieh, // Expert Systems with Applications. – 2009. – Vol. 36, Issue 3. – P. 7148–7156. doi: 10.1016/j.eswa.2008.08.029

41. Carnevalli, J. A. Review, analysis and classification of the literature on QFD [Text] / J. A. Carnevalli, P. C. Miguel // International Journal of Production Economics. – 2008. – Vol. 114, Issue 2. – P. 737–754. doi: 10.1016/j.ijpe.2008.03.006

42. Chan, L.-K. Quality function deployment: A literature review [Text] / L.-K. Chan, M.-L. Wu // European Journal of Operational Research. – 2002. – Vol. 143, Issue 3. – P. 463–497. doi: 10.1016/s0377-2217(02)00178-9

43. Бехтерев, В. М. Влияние коллектива на личность [Текст] / В. М. Бехтерев, М. В. Ланге. – М.: Работник просвещения, 1998. – 244 с.

44. Новицкий, П. В. Оценка погрешностей результатов измерений [Текст] / П. В. Новицкий, И. А. Зограф. – Л.: Энергоатомиздат, 1991. – 304 с.

45. Вентцель, Е. С. Теория вероятностей [Текст] / Е. С. Вентцель. – М.: Наука, 1969. – 576 с.

46. Обозовський, С. С. Інформаційно – вимірювальна техніка: Методологічні питання теорії вимірювань [Текст] / С. С. Обозовський. – К.: ІСДО, 1993. – 424 с.

47. Метрологія та вимірювальна техніка: підруч. [для студ. вузів електротехнічних спец.] / [Є.С. Поліщук, М.М. Дорожовець, В.О. Яцук, В.М. Ванько, Т.Г. Бойко]; за ред. проф. Є.С. Поліщука. – Львів: Бескид Біт, 2003. – 544 с.

48. Бубела Т.З. Дослідження невизначеності результатів експертних вимірювань в системі управління якістю [Електронний ресурс] / Т.З. Бубела, М.М. Микійчук, А.В. Гунькало, О.В. Бойко, О.Є. Басалкевич. – Режим доступу: <http://journals.uran.ua/eejet/article/viewFile/71607/70796>

# ДОДАТКИ