Українська інженерно-педагогічна академія

Міністерство освіти та науки України

Кваліфікаційна наукова
праця на правах
рукопису

Сороколат Наталія Андріївна

УДК 006.06(043)

ДИСЕРТАЦІЯ
УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ОБ'ЄКТІВ КВАЛІМЕТРІЇ З ЗАСТОСУВАННЯМ НЕЛІНІЙНИХ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ

152 – Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка

15 – Автоматизація та приладобудування

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

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

_____Н.А. Сороколат

Науковий керівник: Черняк
Олена Миколаївна, кандидат
технічних наук, доцент

Харків – 2023

АНОТАЦІЯ

Сороколат Н. А. Удосконалення методів оцінювання якості об’єктів кваліметрії з застосуванням нелінійних функціональних залежностей – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 152 – Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка – Українська інженерно-педагогічна академія, Харків, 2023.

Об'єктом дослідження є –. оцінювання якості об’єктів кваліметрії які мають різну природу.

Предметом дослідження є застосування нелінійних функціональних залежностей для удосконалення методів оцінювання якості.

Метою дослідження є удосконалення методів оцінювання якості об'єктів різної природи, враховуючи різнорозмірність одиничних показників якості, які дозволять ефективно використовувати функціонально-залежні статистики для визначення комплексного показника якості об'єктів кваліметрії.

Наукова новизна одержаних результатів.

Вперше запропоновано нову функціональну залежність між виміряними значеннями одиничних показників якості об’єктів кваліметрії та їх оцінками на безрозмірній шкалі та отримано її числові характеристики, що дає можливість її застосування для оцінювання якості об’єктів різної природи.

Вперше отримано функцію щільності оцінок одиничних показників якості об’єктів кваліметрії на безрозмірній шкалі, що дозволяє вирішувати практичні задачі з оцінювання та управління якістю, використовуючи функціонально-залежні статистики.

Вперше запропоновано визначати комплексний показник якості будь якого об'єкту кваліметрії, застосовуючи чисельні методи інтегрування, квадратурні та кубатурні формули, що дозволяє вирішувати практичні задачі з мінімальною похибкою.

У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету і задачі дисертаційної роботи, визначено наукову новизну і практичну цінність отриманих результатів, подано загальну характеристику роботи.

У першому розділі проведено аналіз існуючих наукових підходів до кількісного оцінювання якості об’єктів кваліметрії різної природи, які мають різні показники якості з різними шкалами вимірювання. Розглянуто ряд сучасних наукових робіт, пов’язаних з оцінюванням якості продукції, процесів та послуг, визначено їх недоліки та можливі межі застосування.

Аналізу наукових публікацій та фундаментальної наукової літератури показав, що у кваліметрії існує декілька нерозв'язаних задач. Розв'язання цих задач може сприяти розробці нових практичних методик, які були б досить універсальними та ефективними для оцінки якості різних об'єктів. Нові методики мають мати прикладне значення, повинні бути застосовні при оцінюванні якості в різних системах, а саме, у побуті, на виробництві та ін.

Наразі ще не вироблено універсальної методики, тому дослідник повинен у кожному іншому випадку приймати рішення щодо вибору того чи іншого методу. Це ускладнює завдання і не дозволяє автоматизувати процес. Тому необхідно продовжити дослідження з цього питання, щоби нівелювати недоліки існуючих. Це питання являється надзвичайно актуальною задачею.

Під час аналізу наукової літератури в галузі методів оцінювання якості об'єктів кваліметрії було встановлено, що існуючі методи оцінювання якості переважно спрямовані на оцінювання якості продукції та базуються на усередненні одиничних показників якості для отримання комплексного або інтегрального показника. Проте такий підхід не є прийнятним для оцінювання якості інших об'єктів в кваліметрії, таких як процеси чи системи, наприклад системи управління процесами або підприємствами в цілому. Тому є необхідність у розробці та науковому обґрунтуванні нових методів оцінювання якості, які враховували б неоднорідність показників якості об'єктів різної природи.

Проблемам оцінювання якості об’єктів присвячено ряд наукових робіт вітчизняних і зарубіжних вчених, серед яких: Б. І.Стадник, Р. І. Байцар, П. Г.

Столярчук, Т. З. Бубела, Т. Г. Бойко,. Г. Г. Азгальдов, У. Леонард, Д. Гринвуд, Т. Пітерс, Р. Уотерман, К. Ісікава, А. Гор та ін. Аналіз наукової літератури перерахованих авторів показав, що існуючі методи, в основному спрямовані на оцінку якості продукції і полягають в усередненні одиничних показників якості при визначенні комплексного або інтегрального показника якості. Це не прийнятно для оцінювання якості інших об'єктів кваліметрії, наприклад процесів чи систем. Тому необхідно розробити і науково обґрунтувати нові методи оцінювання якості, які враховували б неоднорідність показників об'єктів різної природи.

Однією із останніх робіт, пов'язаних з оцінюванням якості об'єктів різної природи являється дисертація Бубели Т. З., в якій досліджувались інструменти для забезпечення єдності оцінювання якості різних об'єктів. Основними результатами даної роботи є те, що обґрунтовано створення системи забезпечення єдності оцінювання якості, для функціонування якої структуровано вимоги щодо формування єдиних підходів до оцінювання якості об'єктів з метою їх порівняння. Крім того запропоновано концепцію створення системи забезпечення єдності оцінювання якості об'єктів різної природи, застосування якої дає змогу розвинути основні її складові, а саме науково-теоретичну, організаційно-методичну та нормативно-технічну.

Дисертаційна робота Гунькало А.В. пов'язана з оцінюванням результативності та ефективності процесів систем управління якістю (СУЯ), при цьому розроблено шкали оцінювання результативності та ефективності функціонування процесів СУЯ, застосування яких дозволяє прийняти рішення щодо впровадження коригувальних і/або запобіжних дій з управління процесами. У роботі Тріщ Г. М. виділено 4 групи показників якості процесів за ознакою оптимальності, для яких розроблено систему математичних залежностей між одиничними різнорозмірними показниками якості та їх оцінками на безрозмірній шкалі, яка дає можливість отримати кількісну оцінку якості будь-якого процесу.

У дисертаційних роботах Горбенко Н. А., Кім Н. А., Катрича О. О. запропоновано іншу систему залежностей між одиничними різнорозмірними показниками якості процесів з безрозмірною шкалою оцінювання. В якості

залежностей застосували функції, які враховують максимальне і мінімальне допустимі значення показника якості процесу, його найкраще (оптимальне) значення та мають параметр форми, який дозволяє змінювати напрямок та крутизну функцій, міняючи при цьому результат оцінювання. Критичний аналіз наукових робіт, пов'язаний з методами оцінювання якості об’єктів кваліметрії показав, що кожен з них має ряд недоліків, які можливо зменшувати, застосовуючи методи ефективного використання статистичної інформації.

Проведений огляд літературних джерел підтвердив актуальність задачі удосконалення методів оцінювання якості об’єктів кваліметрії, які мають різну природу та їх показники мають різні шкали вимірювання, за рахунок визначення універсальних математичних залежностей між виміряними показниками якості та їх оцінкою на безрозмірній шкалі та ефективного використання статистичної інформації.

У другому розділі дисертації запропоновано новий вид функціональних залежностей між виміряними значеннями показників якості об’єкту кваліметрії та їх оцінкою на безрозмірній шкалі, які враховують тільки їх максимально допустиме та мінімально допустиме значення та може застосовуватися як для оцінювання якості продукції, так і для оцінювання якості процесів, систем та послуг. Змінюючи параметр форми та масштабу , можна змінювати крутизну залежності. Такий тип залежності можна вважати універсальним.

Розглянуто широку класифікацію об’єктів кваліметрії та методів оцінювання показників якості, яка достатня, щоби показати важливість та різноманітність наукових завдань, які необхідно вирішувати у науковому сенсі при оцінювання якості. Судячи з широкої класифікації об’єктів кваліметрії та значного набору методів оцінювання зрозуміло, що для удосконалення методів оцінювання якості потрібно проведення наукових досліджень щодо створення універсальних методів, які би задовольняли дослідника та споживача.

Вивчено існуючі функціональні залежності для отримання оцінок показників якості на безрозмірній шкалі, виявлено їх переваги та недоліки. Зроблено висновок, що існуючі залежності не дозволяють бути ефективними, так як потребують

застосування експертних оцінок та складних розрахунків, що вимагає наявності висококваліфікованих фахівців, що затрудняє їх застосування на практиці.

Запропонована функціональна залежність базується на застосуванні функції помилок. Функція помилок є складною функцією, яка застосовується в математичній фізиці та математичній статистиці для вирішення практичних завдань. Розвиток комп'ютерної техніки останнім часом дозволив використання функції помилок для широкого кола завдань.

Запропонована функція має нелінійний характер, що відповідає теоретичним принципам кваліметрії та обґрунтовується тим, що оцінки показників якості об’єкту оцінювання змінюються у незначній мірі по краях оцінювання. Отже, для практичного використання є важливим мати інформацію про зміни показників всередині їх допустимого діапазону.

На відміну від існуючих залежностей, які потребують складних обчислень та використання експертних методів, запропоновані залежності використовують функцію, яка вже вбудована в Microsoft Excel (ФОШ). Це означає, що не потрібно створювати спеціальне програмне забезпечення для автоматизації процесу оцінювання, що розширює можливості застосування цих залежностей на об’єкти різної природи, такі як процеси, продукція, знання у різних галузях економіки та інші.

Запропоновані математичні залежності можуть бути практичним інструментом для застосування в оцінюванні якості різних типів об'єктів. Вони також можуть бути включені до нормативних документів на рівні організації або підприємства для впровадження процедури оцінювання якості.

Наступний етап алгоритму моніторингу та оцінювання якості об'єктів кваліметрії включає вибір математичного інструменту, залежно від наявної статистичної інформації, розуміння фізичного процесу з часом та наявної інформації про типові об'єкти кваліметрії, що вже були вивчені раніше. Для наступного етапу оцінювання необхідно мати достатню кількість інформації про характеристики часового ряду, яку потрібно збирати, оцінювати та аналізувати з метою вирішення

практичних завдань, наприклад, прогнозування показників якості на етапі технологічного процесу виготовлення.

Для управління якістю будь якого об'єкту кваліметрії доводиться часто використовувалися статистичні методи оцінювання та управління, де основна інформація полягає в тому, щоби знати закон розподілу оцінок показників якості на безрозмірній шкалі. Тому в межах даного розділу досліджується закономірності розподілу оцінок показники якості на безрозмірній шкалі.

Для управління оцінками показників якості будь якого об’єкту кваліметрії необхідно отримати функціонально залежні статистики. Отримання одиничних показників якості являється одним із етапів вирішення практичних завдань з управління якістю, тому пропонується їх застосувати для наступного завдання, а саме визначення закону їх розподілу, як випадкових величин. Адже відомо, що знання закону розподілу показників якості, як випадкових величин дозволяє вирішувати практичні завдання з невеликою кількістю статистичних даних.

Для вирішення першої задачі необхідно мати велику кількість статистичних даних, тому, пропонується застосувати генератор випадкових величин, який вбудований в Microsoft Exel. Пропонується згенерувати велику кількість випадкових величин за нормальним законом розподілу, функція щільності якого підпорядкована закону Нормального розподілу.

Знаючи закон розподілу будь якого показника якості, як випадкової величини та застосовуючи запропоновану функціональну залежність отримали закон розподілу оцінок показників якості на безрозмірній шкалі. Знаючи закон розподілу оцінок, як випадкової величини, появляється можливість вирішення прикладних задач існуючими статистичними методами.

Запропоновано алгоритм визначення закону розподілу оцінок показників якості, як випадкової величини, який дасть можливість вирішувати практичні задачі з застосуванням функціонально залежних статистик.

Одним із діючих методів висунення гіпотези про модель розподілу вважається визначення типу кривої Пірсона, до яких відноситься розподіл таких величин. Знання типу кривою Пірсона дозволить більш ефективно проводити наукові

дослідження з визначення моделі розподілу дійсних значень показників якості об’єктів. Для цього необхідно по вибірці результатів оцінювання обчислити оцінки квадрата коефіцієнта асиметрії та коефіцієнта ексцесу і на їх перетині відшукати точку на площині кривих Пірсона, яка відповідатиме певному типу статистичної моделі розподілу.

У результаті статистичного моделювання вияснили, що за умови, коли одиничні показники якості підпорядковані закону Нормального розподілу і використовується запропонована функціональна залежність, то закон розподілу оцінок показників якості відповідає закону Рівної імовірності.

У третьому розділі розглянули теоретичні обґрунтування застосування різних методів інтегрування для розроблення методики визначення комплексного показника якості. З аналізу зрозуміло, що при інтегруванні методом трапецій похибка дещо більша, ніж похибка методу середніх прямокутників, проте не завжди зручно використовувати саме цей метод. Метод трапецій є зручним у випадку, коли відсутній сам графік функції. У випадках коли все ж таки є графік, доцільніше користуватися методом середніх прямокутників.

Розроблено покрокову методику оцінювання комплексного показника якості з застосуванням квадратурних та кубатурних формул на прикладі оцінювання процесу забезпечення безпеки праці на виробництві на прикладі машинобудівного цеху. Запропоновану методику можна вважати універсальною, оскільки її можна застосовувати для будь яких приміщень та підприємств.

Для перевірки ефективності методики оцінки безпеки праці було проведено дослідження у виробничому цеху, де було ідентифіковано шкідливі виробничі чинники: температура повітря, відносна вологість повітря, швидкість руху повітря, шум та локальна вібрація.

Наукова новизна запропонованого методу полягає у тому, що вперше пропонується визначати комплексний показник якості при оцінюванні якості багатокритеріальних об’єктів кваліметрії графоаналітичним методом. Запропонований метод має такі переваги над існуючими, це висока точність, так як похибкою методу являється похибка визначення інтегралу. Крім того, зменшуючи

крок інтегрування можна зменшувати похибку методу. Також універсальність, адже можна застосовувати для багатокритеріального оцінювання об’єктів кваліметрії різної природи. Перевагою являється простота у застосуванні та програмуванні з метою автоматизації розрахунків.

Ключові слова: Якість; оцінки показників якості; комплексний показник якості; кваліметрія; об'єкт кваліметрії; багатокритеріальне оцінювання; безпека праці; функція помилок; функціонально залежні статистики.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

І. Публікації в яких опубліковані основні наукові результати дисертації

Статті у наукових виданнях, включених до переліку наукових фахових видань України

1. Черняк О. М., *Сороколат Н. А.*, Каницька І. В. Застосування методу інтегрування для оцінювання якості об’єктів кваліметрії. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях*. 2020. № 4 (6). С. 93–98.

2. Черняк О. М., *Сороколат Н. А.*, Каницька І.В. Графоаналітичний метод визначення комплексного показника якості об’єктів кваліметрії. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2020. № 4 (14). С. 169–175.

3. Черняк О. М., *Сороколат Н. А.*, Каницька І. В., Багаєв І.О., Фатєєва Л. Ю. Стандартизація режимів стерилізації текстильних матеріалів в умовах пандемії (COVID-19) методом іонізуючого випромінювання. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях*. 2021. № 4 (10). С. 101–107.

4. Черняк О. М., *Сороколат Н. А.*, Багаєв І. О., Фатєєва Л. Ю. Застосування функціональної залежності для багатокритеріального оцінювання безпеки праці, як об’єкта кваліметрії. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2022. № 1 (19). С. 76–84.

5. *Сороколат Н. А.*, Фатєєва Л. Ю. Оцінювання якості процесів системи управління безпекою праці, згідно вимог міжнародного стандарту ISO 45001:2018. *Машинобудування*. 2022. № 29. С. 89–96.

6. *Сороколат Н. А.*, Фатєєва Л. Ю. Застосування функції помилок для оцінювання якості об’єктів кваліметрії. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях*. 2022. № 4 (14). С. 53–58.

7. Черняк О. М., *Сороколат Н. А.*, Бурдейна В. М., Фатєєва Л. Ю., Багаєв І. О. Застосування методу середніх прямокутників для отримання комплексного

показника безпеки праці. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості.* 2023. № 1 (23). С. 115–122.

8. Черняк О. М., *Сороколат Н. А.*, Фатєєва Л. Ю., Багаєв І. О., Тріщ Ю. В. Застосування методу інтегрування для отримання комплексного показника безпеки праці. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях*. 2023. № 1 (15). С. 60-67.

ІІ. Публікації, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

Матеріали й тези конференції

9. *Сороколат Н.*, Каницька І. Застосування методу інтегрування для оцінювання якості об’єктів кваліметрії. *Science. Innovation. Quality:* 1st International Scientific-Practical Conference SIQ - 2020, (м. Бердянськ, 17-18 грудня 2021 р.). Бердянськ, 2020. С. 524-527.

10. Черняк О. М., *Сороколат Н. А.*, Каницька І. В. Методика багатокретиріального оцінювання якості об'єктів кваліметрії різної природи. *Радіоелектроника та молодь у XXI столітті:* матеріали 25-ї міжнар. молодіж. форум (м. Харків 20 – 22 квітня 2021 р.). Харків, 2021. Т.4. С. 167-168.

11. Черняк О. М., Сороколат Н. А. Оцінювання якості об'єктів кваліметрії з застосуванням інформаційних технологій. *Якість, стандартизація та метрологічне забезпечення*: матеріали міжнар. наук-практ. конф. (м. Харків, 25-26 січня 2022 року). Харків, 2022. С. 54.

12. Черняк О. М., *Сороколат Н. А.* Алгоритми моніторингу, вимірювання та оцінювання процесів системи управління безпекою праці. *Наука. Інновації. Якість*: матеріали націон. наук-практ. форуму (м. Харків, 09-10 серпня 2022 року). Харків, 2022. С. 19-20.

13. Черняк О. М., *Сороколат Н. А.* Застосування функції помилок для оцінювання якості об’єктів різної природи. *Якість, стандартизація та метрологічне забезпечення*: матеріали ІІ міжнар. наук-практ. конф. (м. Харків, 14-15 березня 2023 року). Харків, 2023. С. 74.

14. *Сороколат Н. А.* Багатокритеріальне оцінювання впливу пандемії COVID-19 на психічний стан людей кваліметричним методом. *Стратегічні орієнтири сталого розвитку в Україні та світі*: збірник тез доповідей ІІ Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених (м. Чернігів, 21 квітня 2023 р.). Чернігів: НУ «Чернігівська політехніка», 2023. С. 41-42

ABSTRACT

Sorokolat N. A. Development of a method of controlling the tightness of the cladding of nuclear reactor elements using fractal geometry – Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in specialty 152 - Metrology and Information and Measuring Technology - Ukrainian Engineering and Pedagogical Academy, Kharkiv, 2023.

The object of the research is quality assessment of qualimetry objects of different nature.

The subject of the research is the use of nonlinear functional dependencies to improve quality assessment methods.

The purpose of the study is to improve the methods of assessing the quality of objects of different nature, taking into account the multidimensionality of single quality indicators, which will allow the effective use of functionally dependent statistics to determine a comprehensive indicator of the quality of qualimetry objects.

Scientific novelty of the results.

For the first time, a new functional relationship between the measured values of single quality indicators of qualimetry objects and their estimates on a dimensionless scale is proposed and its numerical characteristics are obtained, which makes it possible to use it to assess the quality of objects of different nature.

For the first time, the density function of estimates of single indicators of quality of qualimetry objects on a dimensionless scale is obtained, which allows solving practical problems of quality assessment and management using functionally dependent statistics.

For the first time, it is proposed to determine a complex indicator of the quality of any qualimetry object using numerical integration methods, quadrature and cubature formulas, which allows solving practical problems with minimal error.

The introduction substantiates the relevance of the topic, formulates the purpose and objectives of the dissertation, defines the scientific novelty and practical value of the results obtained, and provides a general description of the work.

The first chapter analyses the existing scientific approaches to quantitative assessment of the quality of qualimetry objects of different nature, which have different quality indicators with different measurement scales. A number of modern scientific works related to the assessment of the quality of products, processes and services are considered, their shortcomings and possible limits of application are identified.

An analysis of scientific publications and fundamental scientific literature has shown that there are several unsolved problems in qualimetrics. Solving these problems can help to develop new practical methods that would be sufficiently versatile and effective for assessing the quality of various objects. The new methods should be of applied value, applicable to quality assessment in various systems, namely, in everyday life, at work, etc.

So far, no universal methodology has been developed, so the researcher must make a decision on the choice of a particular method in each case. This complicates the task and makes it impossible to automate the process. Therefore, it is necessary to continue research on this issue in order to eliminate the shortcomings of the existing ones. This issue is an extremely urgent task.

When analysing the scientific literature in the field of methods for assessing the quality of qualimetry objects, it was found that existing quality assessment methods are mainly aimed at assessing product quality and are based on averaging single quality indicators to obtain a complex or integral indicator. However, this approach is not appropriate for assessing the quality of other objects in qualimetrics, such as processes or systems, such as process or enterprise management systems. Therefore, there is a need to develop and scientifically substantiate new methods of quality assessment that would take into account the heterogeneity of quality indicators of objects of different nature.

A number of scientific works by domestic and foreign scientists are devoted to the problems of assessing the quality of objects, including: B. I. Stadnyk, R. I. Baitzar, P. G. Stolyarchuk, T. Z. Bubela, T. G. Boyko,. G. G. Azgaldov, W. Leonard, D. Greenwood, T. Peters, R. Waterman, K. Ishikawa, A. Gore, and others. An analysis of the scientific literature of the above authors has shown that existing methods are mainly aimed at assessing product quality and consist in averaging single quality indicators when

determining a complex or integral quality indicator. This is not acceptable for assessing the quality of other qualimetric objects, such as processes or systems. Therefore, it is necessary to develop and scientifically substantiate new methods of quality assessment that would take into account the heterogeneity of indicators of objects of different nature.

One of the most recent works related to the quality assessment of objects of different nature is the dissertation by T. Bubela, which investigated tools for ensuring the unity of quality assessment of different objects. The main results of this work are that the creation of a system for ensuring the uniformity of quality assessment is substantiated, for the functioning of which the requirements for the formation of uniform approaches to assessing the quality of objects for the purpose of their comparison are structured. In addition, the author proposes the concept of creating a system for ensuring the uniformity of quality assessment of objects of different nature, the application of which makes it possible to develop its main components, namely, scientific and theoretical, organisational and methodological, and regulatory and technical.

Gunkalo A.V.'s dissertation is related to the evaluation of the efficiency and effectiveness of quality management system (QMS) processes, and scales for evaluating the efficiency and effectiveness of the functioning of QMS processes have been developed, the use of which allows making decisions on the implementation of corrective and/or preventive actions for process management. G. M. Trishch identified 4 groups of process quality indicators on the basis of optimality, for which a system of mathematical dependencies between single multidimensional quality indicators and their estimates on a dimensionless scale was developed, which makes it possible to obtain a quantitative assessment of the quality of any process.

In the dissertations of N. A. Gorbenko, N. A. Kim, and O. O. Katrycha, another system of dependencies between single multidimensional quality indicators of processes with a dimensionless evaluation scale was proposed. As dependencies, functions are used that take into account the maximum and minimum permissible values of the process quality indicator, its best (optimal) value and have a shape parameter that allows changing the direction and slope of the functions, while changing the evaluation result. A critical analysis of scientific papers related to the methods for assessing the quality of qualimetry

objects has shown that each of them has a number of disadvantages that can be reduced by applying methods of effective use of statistical information.

The conducted review of literature sources confirmed the urgency of the task of improving the methods of assessing the quality of qualimetry objects, which have different nature and their indicators have different measurement scales, by determining universal mathematical dependencies between the measured quality indicators and their assessment on a dimensionless scale and the effective use of statistical information.

In the second chapter of the thesis, a new type of functional dependencies is proposed between the measured values of the quality indicators of the qualimetry object and their assessment on a dimensionless scale, which take into account only their maximum and minimum permissible values and can be used both for assessing the quality of products and for assessing the quality of processes, systems and services. By changing the shape and scale parameters, you can change the slope of the relationship. This type of relationship can be considered universal.

A broad classification of qualimetry objects and methods for assessing quality indicators is considered, which is sufficient to show the importance and diversity of scientific tasks that need to be solved in the scientific sense in quality assessment. Judging by the wide classification of qualimetry objects and a significant set of evaluation methods, it is clear that in order to improve quality assessment methods, it is necessary to conduct research to create universal methods that would satisfy the researcher and the consumer.

The existing functional dependencies for obtaining estimates of quality indicators on a dimensionless scale are studied, their advantages and disadvantages are identified. It is concluded that the existing dependencies do not allow to be effective, since they require the use of expert assessments and complex calculations, which requires the availability of highly qualified specialists, which makes it difficult to apply them in practice.

The proposed functional dependence is based on the use of the error function. The error function is a complex function used in mathematical physics and mathematical statistics to solve practical problems. The development of computer technology has recently made it possible to use the error function for a wide range of tasks.

The proposed function has a nonlinear character, which corresponds to the theoretical principles of qualimetry and is justified by the fact that the estimates of the quality indicators of the object of evaluation change insignificantly along the edges of the evaluation. Therefore, for practical use, it is important to have information about changes in indicators within their permissible range.

Unlike existing dependencies that require complex calculations and the use of expert methods, the proposed dependencies use a function that is already built into Microsoft Excel (FOSH). This means that there is no need to create special software to automate the valuation process, which expands the possibilities of applying these dependencies to objects of different nature, such as processes, products, knowledge in various sectors of the economy, etc.

The proposed mathematical dependencies can be a practical tool for use in assessing the quality of various types of objects. They can also be included in regulatory documents at the level of an organisation or enterprise to implement the quality assessment procedure.

The next stage of the algorithm for monitoring and evaluating the quality of qualimetry objects includes the selection of a mathematical tool, depending on the available statistical information, understanding of the physical process over time, and the available information on typical qualimetry objects that have already been studied. For the next stage of assessment, it is necessary to have sufficient information about the characteristics of the time series to be collected, evaluated and analysed in order to solve practical problems, for example, to predict quality indicators at the stage of the manufacturing process.

To manage the quality of any qualimetry object, statistical methods of evaluation and management are often used, where the main information is to know the law of distribution of quality indicator scores on a dimensionless scale. Therefore, in this section, we study the regularities of the distribution of quality indicator scores on a dimensionless scale.

To manage the estimates of quality indicators of any qualimetry object, it is necessary to obtain functionally dependent statistics. Obtaining single quality indicators is one of the stages of solving practical problems in quality management, so it is proposed to

use them for the next task, namely, determining the law of their distribution as random variables. It is known that knowledge of the law of distribution of quality indicators as random variables allows solving practical problems with a small amount of statistical data.

To solve the first task, it is necessary to have a large amount of statistical data, therefore, it is proposed to use a random variable generator that is built into Microsoft Exel. It is proposed to generate a large number of random variables according to the normal distribution law, the density function of which is subject to the law of Normal Distribution.

Knowing the law of distribution of any quality indicator as a random variable and applying the proposed functional dependence, we obtained the law of distribution of quality indicator scores on a dimensionless scale. Knowing the law of distribution of scores as a random variable, it becomes possible to solve applied problems using existing statistical methods.

The article proposes an algorithm for determining the law of distribution of estimates of quality indicators as a random variable, which will allow solving practical problems using functionally dependent statistics.

One of the current methods of hypothesising a distribution model is to determine the type of Pearson curve to which the distribution of such quantities belongs. Knowledge of the type of Pearson curve will allow for more efficient research to determine the distribution model of the actual values of the quality indicators of objects. To do this, it is necessary to calculate the estimates of the square of the skewness coefficient and the kurtosis coefficient from a sample of the assessment results and find a point on the plane of the Pearson curves at their intersection that will correspond to a certain type of statistical distribution model.

As a result of statistical modelling, it was found that, provided that the single quality indicators are subject to the law of Normal distribution and the proposed functional dependence is used, the law of distribution of quality indicators' estimates corresponds to the law of Equal probability.

In the third section, we consider the theoretical justifications for the use of various integration methods to develop a methodology for determining a comprehensive quality

indicator. The analysis shows that when integrating by the trapezoidal method, the error is somewhat higher than the error of the average rectangle method, but it is not always convenient to use this method. The trapezoidal method is convenient when there is no graph of the function. In cases where there is a graph, it is more appropriate to use the method of average rectangles.

The article develops a step-by-step methodology for assessing a complex quality indicator using quadrature and cubature formulas on the example of assessing the process of ensuring labour safety at work on the example of a machine-building shop. The proposed methodology can be considered universal, as it can be applied to any premises and enterprises.

To verify the effectiveness of the methodology for assessing occupational safety, a study was conducted in a production shop, where the following harmful production factors were identified: air temperature, relative humidity, air velocity, noise and local vibration.

The scientific novelty of the proposed method lies in the fact that for the first time it is proposed to determine a comprehensive quality indicator when assessing the quality of multicriteria qualimetry objects using the graph-analytical method. The proposed method has the following advantages over the existing ones: high accuracy, since the error of the method is the error in determining the integral. In addition, by reducing the integration step, the method error can be reduced. It is also versatile, as it can be used for multi-criteria evaluation of qualimetry objects of different nature. The advantage is ease of use and programming for the purpose of automating calculations.

Keywords: *Quality; assessment of quality indicators; complex quality indicator; qualimetry; object of qualimetry; multicriteria assessment; occupational safety; error function; functionally dependent statistics.*

LIST OF PUBLISHED WORKS ON THE TOPIC OF THE DISSERTATION

I. Publications in which the main scientific results of the dissertation are published

Articles in scientific journals included in the list of scientific professional journals of Ukraine

1. Cherniak O. M., *Sorokolat N. A*., Kanytska I. V. Application of the integration method for assessing the quality of qualimetry objects. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technology*. 2020. no. 4 (6). P. 93–98.

2. Cherniak O. M., *Sorokolat N. A*., Kanytska I. V. Graph analytical method for determining the complex quality indicator of qualimetry objects. *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*. 2020. no. 4 (14). P. 169–175.

3. Cherniak O. M., *Sorokolat N. A*., Kanytska I. V., Bahaiev I. O., Fatieieva L. Y. Standardization of sterilization regimes for textile materials under pandemic conditions (COVID-19) by the method of ionizing radiation. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technology*. 2021. no. 4 (10). P. 101–107.

4. Cherniak O. M., *Sorokolat N. A*., Bahaiev I. O., Fatieieva L. Y. Application of functional dependence for multi-cretirial assessment of labor safety as an object of qualimetry. *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*. 2022. no. 1 (19). P. 76–84.

5. *Sorokolat N. A*., Fatieieva L. Y. Quality assessment of the occupational safety management system processes according to the requirements of the ISO 45001:2018 international standard. *Engineering*. 2022. no. 29. P. 89–96.

6. *Sorokolat N. A.*, Fatieieva L. Y. Application of the error function to assess the quality of qualimetry objects. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technology*. 2022. no. 4 (14). P. 53–58.

7. Cherniak O. M*., Sorokolat N. A.*, ,Fatieieva L. Y., Bahaiev I. O. Application of the method of average rectangles to obtain a comprehensive indicator of occupational safety. *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries.* 2023. no. 1 (23). P. 115–122.

8. Cherniak O. M., *Sorokolat N. A.*, Fatieieva L. Y., Bahaiev I. O., Trishch Y. V. Application of the integration method to obtain a complex indicator of labor safety. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technology*. 2023. no. 1 (15). P. 60-67.

II. Publications certifying the approbation of the dissertation materials

Conference materials and abstracts

9. *Sorokolat N.*, Kanytska I. Application of the integration method to assess the quality of qualimetry objects. *Science. Innovation. Quality:* 1st International Scientific-Practical Conference SIQ - 2020 (Berdiansk, 17-18 December 2021). Berdiansk, 2020. P. 524-527.

10. Cherniak O., *Sorokolat N.*, Kanytska I. Methodology for multicriteria quality assessment of qualimetry objects of different nature. *Radio electronics and youth in the XXI century*: materials of the 25th International Youth Forum (Kharkiv, 20-22 April 2021). Kharkiv, 2021. Vol.4. P. 167-168.

11. Cherniak O. M., *Sorokolat N. A.* Assessment of the quality of qualimetry objects using information technology. *Quality, standardisation and metrological support*: materials of the international scientific and practical conference (Kharkiv, 25-26 January 2022). Kharkiv, 2022. P. 54.

12. Cherniak O. M., *Sorokolat N. A.* Algorithms for monitoring, measuring and evaluating the processes of the occupational safety management system. *Science. Innovations. Quality*: materials of the national scientific and practical forum (Kharkiv, 09-10 August 2022). Kharkiv, 2022. P. 19-20.

13. Cherniak O. M., *Sorokolat N. A.* Application of the error function for assessing the quality of objects of different nature. *Quality, standardisation and metrological support*: materials of the II international scientific and practical conference (Kharkiv, 14-15 March 2023). Kharkiv, 2023. P. 74.

14. *Sorokolat N.* Multi-criteria assessment of the impact of the COVID-19 pandemic on the mental state of people using the qualimetric method. *Strategic guidelines for sustainable development in Ukraine and the world*: collection of abstracts of the II

International Scientific and Practical Conference of Young Scientists (Chernihiv, 21 April 2023). Chernihiv: National University of Chernihiv Polytechnic, 2023. P. 41-42

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ…….. 25
ВСТУП…….…….. 26
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ОБ’ЄКТІВ КВАЛІМЕТРІЇ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ДОСЛІДЖЕНЬ …… 33
1.1 Кваліметрія. як галузь науки та аналіз шляхів її розвитку……..…….. 33
1.2 Аналіз існуючих підходів до методів оцінювання якості об’єктів кваліметрії ……. 38
1.3 Аналіз математичних залежностей між виміряним значеннями та їх безрозмірними оцінками…… 45
1.4 Інформаційні методи оцінювання якості технологічних процесів 59
Висновки до першого розділу та постановка задач досліджень…… 69
Список використаних джерел…… 72
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ОБГРУНТУВАННЯ МЕТОДОЛОГІЇ ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ОБЄКТІВ КВАЛІМЕТРІЇ…….. 84
2.1 Аналіз підходів до структурування характеристик та класифікації об’єктів кваліметрії..... 84
2.2 Теоретичне обґрунтування застосування нелінійних функціональних залежностей……..... 99
2.3 Застосування функції помилок для оцінювання якості об’єктів кваліметрії…… 109
2.4 Оцінювання закономірностей функціонально–залежних статистик……... 117
Висновки до другого розділу……...… 130
Список використаних джерел…….. 131

РОЗДІЛ 3 ВИЗНАЧЕННЯ КОМПЛЕКСНОГО ПОКАЗНИКА ЯКОСТІ ОБЄКТІВ КВАЛІМЕТРІЇ……..…… 133

3.1 Застосування методів інтегрування для визначення комплексного показника якості……. 133

3.1.1 Метод прямокутників……. 133

3.1.2 Метод середніх прямокутників……. 134

3.1.3 Метод лівих та правих прямокутників……. 138

3.1.4 Метод трапецій……... 141

3.1.5 Метод Монте-Карло……... 143

3.2 Методика оцінювання комплексного показника якості об’єктів кваліметрії…… 147

3.2.1 Оцінювання процесу безпеки праці на виробництві 147

Висновки до третього розділу……. 155

Список використаних джерел…….. 156

ВИСНОВКИ…… 157

ДОДАТКИ……... 159

Додаток А. Документи, які підтверджують впровадження основних результатів дисертаційної роботи……. 160

Додаток Б. Список опублікованих праць за темою дисертації…….. 162

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

ISO	- міжнародний стандарт
БВК	- безперервний вибірковий контроль
ККД	- коефіцієнт корисної дії
МОПЯ	- методи оцінювання показників якості
ПЯ	- показники якості
СУЯ	- систем управління якістю
ТП	- технологічний процес
ФСОЯ	- фахові системи оцінювання якості

ВСТУП

Однією з ключових цілей сталого розвитку будь якої держави, є розвиток виробництва високоякісних товарів. Це відкриває шлях для виведення національних товарів на європейські та міжнародні ринки, що у свою чергу спонукає вітчизняних виробників виготовляти конкурентоздатну продукцію на рівні з якісними зарубіжними аналогами. Просування конкурентоздатних якісних товарів на європейські та глобальні ринки сприяє зміцненню національної валюти, сприяє стабільному росту національної економіки, створює сприятливе середовище для розкриття підприємницького потенціалу, здорової конкуренції та покращення якості життя та здоров'я населення.

Якість продукції чи послуги вітчизняних підприємств стало їх новою філософією, адже підприємства - лідери світової економіки довели, що для досягнення поставлених високих цілей в галузі якості необхідний постійний процес їх оцінювання, аналізування та неперервного управління. Як відомо з висловлювань провідного вченого в галузі якості У. Шухарта: «Управляти можна тільки тим, що можна виміряти». Оцінюванням якості об'єктів різної природи (об’єкти кваліметрії) займається наука - кваліметрія, яка вивчає їх оцінювання в кількісному вираженні з метою отримання інформації, необхідної для прийняття рішення при подальшому управлінні їх якістю.

Аналізу наукових публікацій та фундаментальної наукової літератури показав, що у кваліметрії існує декілька нерозв'язаних задач. Розв'язання цих задач може сприяти розробці нових практичних методик, які були б досить універсальними та ефективними для оцінки якості різних об'єктів. Нові методики мають мати прикладне значення, повинні бути застосовні при оцінюванні якості в різних системах, а саме, у побуті, на виробництві та ін.

Особлива увага в кваліметрії приділяється отриманню комплексного показника якості, оскільки об'єкти дослідження мають багато різних показників, які вимірюються в різних одиницях. Існують різні методики та підходи для отримання комплексних оцінок, серед яких використовуються різні види середніх значень -

зважена арифметична, геометрична, гармонійна, а також застосовуються принципи теорії машинного "розпізнавання образів". Усі існуючі методи мають місце, але розроблення нового методу розширить їх спектр та збільшить рівень можливостей для особи, яка приймає рішення щодо вибору того чи іншого методу для вирішення конкретної прикладної задачі.

Наразі ще не вироблено універсальної методики, тому дослідник повинен у кожному іншому випадку приймати рішення щодо вибору того чи іншого методу. Це ускладнює завдання і не дозволяє автоматизувати процес. Тому необхідно продовжити дослідження з цього питання, щоби нівелювати недоліки існуючих. Це питання являється надзвичайно актуальною задачею.

Під час аналізу наукової літератури в галузі методів оцінювання якості об'єктів кваліметрії було встановлено, що існуючі методи оцінювання якості переважно спрямовані на оцінювання якості продукції та базуються на усередненні одиничних показників якості для отримання комплексного або інтегрального показника. Проте такий підхід не є прийнятним для оцінювання якості інших об'єктів в кваліметрії, таких як процеси чи системи, наприклад системи управління процесами або підприємствами в цілому. Тому є необхідність у розробці та науковому обґрунтуванні нових методів оцінювання якості, які враховували б неоднорідність показників якості об'єктів різної природи.

У кваліметрії, під час оцінювання якості фізичних об'єктів, велику вагу має тип математичної залежності між виміряним показником якості та його оцінкою на безрозмірній шкалі. Такі показники якості, як правило, розподілені не рівномірно і можуть мати не лінійну залежність з їх безрозмірною оцінкою. Багато фахівців вважають, що найскладніше завдання в оцінюванні якості - це визначення ступеня їх вагомості. Проте, нарівні з коефіцієнтами вагомості, також велике значення має тип залежності між показником якості та його оцінкою, що об'єднані математичною моделлю.

Існуючі математичні залежності між виміряними значеннями показників якості та їх оцінкою на безрозмірній шкалі мають ряд недоліків, а саме:

- вони потребують участі експертів для вибору того чи іншого коефіцієнту або

при побудові шкал оцінювання. Це потребує високої кваліфікації експертів, часу та коштів; для автоматизації процесу оцінювання існуючі методики потребують спеціального програмування, що теж потребує високої кваліфікації, часу та коштів.

Тому знаходження такої математичної залежності, яка би мала властивість універсальності потребує проведення ряду наукових досліджень, застосовуючи математичні можливості та нові знання.

Для ефективного використання отриманої інформації у вигляді оцінок показників якості у безрозмірних величинах необхідно проводити опрацювання результатів. Їх ефективність залежить від кількості існуючої інформації. Тому важливим завданням при оцінюванні якості об’єктів кваліметрії являється визначення закономірностей розподілу отриманих результатів, як випадкової величини. Адже знання закону розподілу дозволяє використовувати малу кількість статистичних даних. Це дозволить вирішувати практичні задачі з більшою ефективністю,

Проведений аналіз фундаментальної наукової літератури та публікації дозволяє поставити мету та задачі досліджень.

Зв’язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційна робота виконана в рамках наукових досліджень Української інженерно-педагогічної академії, зокрема за темами:

«Удосконалення кваліметричних методів оцінювання ризиків при забезпеченні якості виробів медичного призначення» (ДР № 0122U200930);

«Удосконалення кваліметричних методів оцінювання безпеки та гігієни праці на промисловому підприємстві» (ДР №0119U101873);

«Адаптація та передача методики здійснення діяльності щодо стандартів» (НДР № 20-28);

«Адаптація та передача методики здійснення діяльності щодо оцінки відповідності у сфері дії технічних регламентів та методик здійснення діяльності щодо стандартів» (НДР №21-10).

Мета і задачі дослідження. Метою роботи являється удосконалення методів оцінювання якості об'єктів різної природи, враховуючи різнорозмірність одиничних

показників якості, які дозволять ефективно використовувати функціонально-залежні статистики для визначення комплексного показника якості об'єктів кваліметрії.

Для досягнення мети планується вирішення таких задач:

1. Провести аналіз існуючої класифікації об’єктів кваліметрії та методів оцінювання їх якості та доповнити її з урахуванням функціональних залежностей та застосування функціонально залежних статистик.

2. Проаналізувати існуючі математичні залежності між виміряними показниками якості об’єктів та їх оцінкою на безрозмірній шкалі, визначити їх недоліки та запропонувати універсальну залежність, яку можна було б ефективно застосовувати для оцінювання якості об’єктів кваліметрії різної природи та визначити її числові характеристики.

3. Визначити функцію щільності оцінок одиничних показників якості на безрозмірній шкалі за умови, що числові значення одиничних показників розподілені за нормальним законом розподілу.

4. Визначити закон розподілу випадкових величин безрозмірних оцінок показників якості за умови, що виміряні значення показників якості підпорядковуються закону нормального розподілу.

5. Запропонувати методику оцінювання комплексного показника якості об'єкту кваліметрії з застосуванням квадратурних та кубатурних формул, використовуючи методи інтегрування.

6. Провести експериментальні дослідження з апробації методики застосування функціональної залежності та методу інтегрування для визначення комплексного показника якості об’єктів кваліметрії.

Об’єкт дослідження – оцінювання якості об’єктів кваліметрії які мають різну природу.

Предмет дослідження – застосування нелінійних функціональних залежностей для удосконалення методів оцінювання якості.

Методи дослідження. Теоретичні дослідження базуються на фундаментальних принципах кваліметрії, методах математичного моделювання, теорії математичної статистики, теорії параметричних статистик. Для аналізу, збору

і обробки інформації використовувалися методи теорії ймовірності та математичної статистики.

Методичні дослідження реалізувалися розробкою та апробацією методик оцінювання якості об’єктів кваліметрії різної природи із застосування метод інтегрування та використанням квадратурних та кубатурних формул.

Наукова новизна одержаних результатів.

Вперше запропоновано нову функціональну залежність між виміряними значеннями одиничних показників якості об’єктів кваліметрії та їх оцінками на безрозмірній шкалі та отримано її числові характеристики, що дає можливість її застосування для оцінювання якості об’єктів різної природи.

Вперше отримано функцію щільності оцінок одиничних показників якості об’єктів кваліметрії на безрозмірній шкалі, що дозволяє вирішувати практичні задачі з оцінювання та управління якістю, використовуючи функціонально-залежні статистики.

Вперше запропоновано визначати комплексний показник якості будь якого об'єкту кваліметрії, застосовуючи чисельні методи інтегрування, квадратурні та кубатурні формули, що дозволяє вирішувати практичні задачі з мінімальною похибкою.

Практичне значення одержаних результатів.

Практична цінність отриманих результатів полягає в тому, що запропоновано методику оцінювання комплексного показника якості об'єкту кваліметрії з застосуванням квадратурних та кубатурних формул, використовуючи методи інтегрування. Методика універсальна, так як може бути застосована до об’єктів будь якої природи, адже враховує тільки оцінки показників якості.

Результати теоретичних та експериментальних досліджень впроваджені в ТОВ ООВ «ПРОМСТАНДАРТ» у вигляді методики оцінювання процесів системи управління якістю (СУЯ) відповідно до вимог міжнародних стандартів ДСТУ ISO 9001:2015.

Теоретичні положення, що розглядаються в дисертаційній роботі, використовуються в навчальному процесі Української інженерно-педагогічної

академії при вивченні навчальних дисциплін:

«Інформаційні системи оцінювання якості»; «Кваліметрічні методи оцінювання інформаційно-вимірювальних систем»; «Управління якістю технологічних процесів»;

- практичної роботи з дисципліни «Управління якістю в системі технічного регулювання»;

- при виконанні курсових та дипломних проектів магістрів для спеціальності 175 «Інформаційно-вимірювальні технології» освітньо-професійної програми «Якість, стандартизація та сертифікація».

Особистий внесок здобувача. Основні теоретичні, розрахункові та експериментальні результати отримано здобувачем самостійно. Наукові положення, що виносяться на захист, та висновки дисертаційної роботи належать автору.

У роботах, опублікованих у співавторстві:

– запропоновано покроковий алгоритм визначення узагальненого показника якості об’єкту кваліметрії різної природи, застосовуючи інтегрування методом трапецій [1];.

– запропоновано методику визначення комплексного показника якості об’єкту кваліметрії з застосуванням інтегрування, яка враховує отримання оцінок одиничних показників якості [2];

– запропонвано математичну модель поглинутої дози випромінювання матеріалом, що дозволить розробити систему нормативних режимів технології радіаційно-фізичної стерилізації та забезпечити законодавчі та нормативні вимоги гігієни в умовах пандемії [3];

– запропоновано застосування функціональної залежності між окремими показниками шкідливих виробничих чинників та їх значеннями на безрозмірній шкалі, це дає кількісно оцінити безпеку праці на виробництві [4];

– запропоновано алгоритм моніторингу, вимірювання та оцінювання процесів, який може служити типовим регламентним документом при впровадженні системи управління охороною здоров’я та безпекою праці [5];

– запропоновано застосувати функцію помилок, яка забезпечує вимоги до

показників якості, дозволяє ефективно отримувати оцінки на безрозмірній шкалі [6];

– запропоновано покроковий алгоритм визначення комплексного показника безпеки праці з допомогою інтегрування методом середніх прямокутників [7];

– запропоновано покроковий алгоритм визначення комплексного проказника безпеки праці, застосовуючи інтегрування методом трапецій [8].

Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати досліджень доповідалися на наукових конференціях: 1st International Scientific-Practical Conference SIQ – 2020 «Science. Innovation. Quality» (Berdyansk, 2020); 25-й Міжнародний молодіжний форум «Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті» (Харків, 2021); Міжнародна науково-практична конференція «Якість, стандартизація та метрологічне забезпечення» (Харків, 2022); Національний науково-практичний форум «Наука. Інновації. Якість» (Харків, 2022): II Міжнародна науково-практична конференція «Якість, стандартизація та метрологічне забезпечення» (Харків, 2023); II Міжнародна науково-практична конференція молодих учених «Стратегічні орієнтири сталого розвитку в Україні та світі» (Чернігів, 2023 р.).

Публікації результатів дисертації. Результати досліджень, що подані в дисертації, опубліковані у 14 наукових працях, у тому числі у 8 статтях у наукових фахових виданнях; у наукових виданнях, апробаційного характеру опубліковано 6 тез доповідей в збірниках конференцій.

Структура і обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Повний об’єм дисертаційної роботи становить 164 сторінок, з них обсяг основного тексту – 134 сторінок: 5 рисунків на 8-ми окремих сторінках, 34 рисунка по тексту, 1 таблиця на 1-ій окремій сторінці, 2 таблиці по тексту, 2 додатки на 6-ти сторінках, список використаних джерел із 141 найменування на 15-ти сторінках.

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ОБ'ЄКТІВ КВАЛІМЕТРІЇ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ДОСЛІДЖЕНЬ

Усі види теоретичної та практичної діяльності так чи інакше пов'язані з якістю, чи технологій, чи продукції, чи послуг, що у результаті призводить до позитивних економічних, екологічних, безпекових чи інших результатів. Тому важливо на усіх стадіях життєвого циклу продукції чи послуги розробляти, впроваджувати та застосовувати ефективні методи оцінювання якості та вводити управлінські рішення з метою отримання показників якості, які би задовольняли вимоги споживачів.

У розділі вивчаються та аналізуються існуючі методи кваліметрії, що застосовуються для оцінювання якості об'єктів різної природи та проводиться їх аналіз на предмет ефективності та обґрунтованості. Вивчається науковий досвід вітчизняних та закордонних науковців у частині розробки методів кваліметрії для різних видів продукції, послуг та процесів.

1.1 Кваліметрія. як галузь науки та аналіз шляхів її розвитку

Як відомо, кваліметрія – це предмет науки, який вивчає методи кількісного оцінювання якості об'єктів різної природи з метою прийняття управлінських рішень, якщо це пов'язано з технологічними процесами. Загалом, роль кваліметрії має значний науковий та прикладний вплив на різні процеси. А саме:

- розроблення науково обґрунтованих методів оцінювання якості об'єктів кваліметрії;
- оцінювання науково - технічного та прикладного рівня конструкторської та технологічної документації;
- визначення шляхів оптимізації технологічних процесів та виробництв;
- визначення доцільності розроблення та виготовлення нової продукції;
- визначення оптимальних вимог до якості об'єктів кваліметрії;
- визначення соціальних вимог щодо якості послуг та їх оптимізація.

У кваліметрії вивчаються такі завдання [1]:

- вивчає вимоги щодо якості продукції, а саме її технічних характеристик;

- розробляє методологію визначення чисельності одиничних показників якості у об’єктах кваліметрії;

- розробляє принципи та визначає методи кваліметричних підходів щодо оцінювання якості;

- визначає ключові та найважливіші одиничні показник якості, стандартизує їх та рекомендує до застосування;

- визначає вимоги до нормативних документів (стандартів) на якість продукції;

- рекомендує правила та методики визначення оптимальної вартості продукції для забезпечення її конкурентоспроможності;

- визначає можливості реалізації продукції на ринках збуту продукції за найвигідніших умов;

- прогнозує, планує, проектує та конструює нові типи продукції;

- проводить оцінювання та атестацію кваліфікації працівників та виробничих підрозділів, які задіяні у виготовлені продукції;

- визначає вимоги до методів контролю продукції та випробувань;

- визнає схему підтвердження відповідності продукції;

- визначає процедури оцінювання внутрішніх систем якості;

- вивчає зміни попиту на продукцію та її конкурентоспроможності

Методи кваліметрії [2]:

1. Інструментальний – характеризується отриманням кількісних характеристик показників якості продукції за допомогою засобів вимірювальної техніки з заданими похибками;

2. Розрахунковий – характерний застосуванням математичних залежностей показників якості продукції від їх параметрів;

3. Статистичний – характерний збиранням, та опрацюванням статистичної інформації про показники якості продукції;

4. Органолептичний – характеризується збором інформації у результаті аналізу сприйняття органами чуття людини;

5. Експертний – характеризується аналізом експертних рішень щодо якості продукції;

6. Соціологічний – характерний тим, що у якості експертів являються споживачі продукції;

7. Диференційований – характерний порівнянням виміряних показників якості продукції з показниками базового (еталонного) зразка;

8. Комбінований – характерний спільним використання двох, або більше методів кваліметрії.

Перелічені методи кваліметрії направлені на отримання оцінок якості об’єктів кваліметрії у кількісному вираженні, що дає можливість приймати управлінські рішення щодо задоволення вимог споживача. Як відомо, управляти можна тим, що можна поміряти (оцінити). Тобто будь яка система управління якістю не буде ефективною, якщо не буде ефективних методів оцінювання показників якості об’єктів кваліметрії та їх узагальнених показників в цілому.

Показники якості ділять на такі групи [1]:

1. Призначення - характеризує ступінь виконання продукцією своїх прямих функцій;

2. Транспортабельності – характеризує ступінь зручності та надійності транспортування, включаючи габарити, час, умови та інше;

3. Безпечності – характеризує безпеку продукції при її виробництві, транспортуванні, експлуатації;

4. Технологічності – характеризує міру ефективності технічних, конструкторських та технологічних рішень за різними параметрами;

5. Надійності – характеризує продукцію на предмет виконання основної функції протягом певного періоду часу;

6. Стандартизації – характеризує ступінь використання у конструкції продукції стандартних елементів;

7. Естетичні – характеризує властивості продукції відповідати естетичним признакам;

8. Економічні – характеризує витрати на здійснення життєвого циклу продукції;

9. Ергономічні – характеризує комплекс показників «людина - середовище» з урахуванням особливостей людини;

10. Патентно–правові – характеризує рівень патентного захисту, чистоти;

11. Екологічні – характеризує вплив на довкілля на усіх етапах життєвого циклу продукції;

Перелічені групи показників складаються з показників нижчого рівня, а ті, у свою чергу, складаються з показників ще нижчого рівня. У результаті об'єкт кваліметрії, як правило, характеризується якоюсь кількістю n показників якості. Вони можуть досліджуватись окремо, наприклад, необхідно дослідити зміну одного показника з часом, щоби впливати на технологічний процес виготовлення. Або необхідно визначити комплексний показник якості однієї із груп, наприклад визначити комплексний показник технологічності, який складається з множини n одиничних. Якщо урахувати більшу кількість одиничних показників, то комплексний показник буде більш точним, але затратним. Тому при визначенні комплексного показника якості необхідно враховувати такі фактори, що підтверджують публікації [3 - 5].

Одиничні показники якості, як правило, мають різні одиниці або діапазони вимірювання, що ускладнює методику оцінювання, тому особливу увагу приділяють визначенню комплексного показника якості. У наукових працях пропонуються ряд варіантів, застосовуючи різні види середніх (арифметична; геометрична; гармонійна) [6 - 10].

Найчастіше, для отримання комплексного показника якості, приймають середнє геометричне значення, при цьому не враховують вагових коефіцієнтів одиничних показників [11,12]:

$$K_0 = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^{n} K_{ij}}\ , \qquad (1.1)$$

де n – кількість одиничних показників якості;

K_i. – одиничний показник якості.

У кваліметрії відоме рівняння якості [13]:

$$V_p = \sum_k \sum_j W_{jk} C_{jp} - P_p \sum_k M_k , \quad (1.2)$$

де V_p - сумарна оцінка споживача виробу p;

W_{jk} - значення, яке споживач k надає показнику j;

C_{jp} - рівень j - го показника p - го виробу;

P_p - ціна p - го виробу;

M_k - коефіцієнт, що характеризує значимість грошової одиниці для k - го споживача.

Формулу, де враховується середньо геометрична величина одиничних показників якості має вид [2]:

$$K_0 = \sum M_j \sqrt{\prod_{j=1}^{n} K_j^{M_j}} , \quad (1.3)$$

де M_j - вагомості одиничних показників.

У [14] для отримання комплексного показника якості застосовують середньо гармонійну оцінку:

$$K_j = \frac{\sum_{j=1}^{n} M_j}{\sum_{j=1}^{n} \frac{M_j}{K_j}}. \quad (1.4)$$

Перевага цієї оцінки у простоті обчислення.

У роботах [15, 16] показано, що немає значної різниці між середнім оцінкою показника якості за формулою середнього геометричного та середнього арифметичного при великій кількості одиничних показників якості n. Але при малій

кількості n<10, формула середнього геометричного дає менше значення, тобто буде зменшувати комплексний показник якості. Крім того, якщо хоча би один з показників дорівнював нулю, то комплексний показник теж перетворюється у нуль. Це відповідає філософії якості, а саме, якщо один з показників «брак», то увесь виріб теж бракується.

Таким чином, в даний час ще не вироблено універсальної методики, тому дослідник повинен у кожному іншому випадку приймати рішення щодо вибору методу. Це ускладнює завдання і не дозволяє автоматизувати процес. Крім того необхідно залучати експертів, що є дорого та не практично. Тому необхідно продовжити дослідження з цього питання, щоби нівелювати недоліки існуючих. Це питання являється надзвичайно актуальною задачею.

Одиничні показники , як правило мають різні шкали та діапазони оцінювання, тому ще одним важливим завданням у кваліметрії являється способи переведення різнорозмірних показників якості у єдину, безрозмірну шкалу. Це дозволить ефективно використовувати існуючу інформацію про показники якості та збільшувати її кількість, що, в свою чергу, підвищить достовірність оцінювання.

1.2 Аналіз існуючих підходів до методів оцінювання якості об’єктів кваліметрії

Фундаментальною науковою працею у галузі кваліметрії являється дисертаційна робота проф. Бубела Т. З. [17], яка стосується системи оцінювання різних об’єктів.

У роботі [17] були висунуті принципи та методологія створення системи, що забезпечує єдність оцінювання якості об'єктів, незалежно від їх природи. Крім того, була запропонована та науково обґрунтована концептуальна та формалізована модель, яка разом утворює імітаційну модель фахових систем оцінювання якості, відому як «фахова кваліметрія».

У роботі [17] було проведено аналітичне порівняння між комплексним кваліметричним методом та системним підходом до оцінювання якості об'єктів, що привело до пропозиції використовувати принципи системології для кваліметричних

досліджень і впровадити концепцію системної кваліметрії. В результаті було визначені класифікаційні критерії, на основі яких було запропоновано класифікацію для об'єктів кваліметрії, показників якості та методів їх визначення з врахуванням принципів системного аналізу.

У дослідженнях, згаданих у роботах [18-20], була запропонована методологія оцінювання якості, яка ґрунтується на системному підході. З метою поліпшення ефективності оцінки якості було обґрунтовано необхідність аналізу оцінюваних об'єктів як систем з огляду на закономірності їх розвитку. З метою забезпечення єдності щодо формування номенклатури показників якості в окремих галузях запропоновано створення збалансованої системи показників якості, яка базується на збалансованій системі цілей якості.

В роботах [21-23] запропоновано систему представлення остаточної оцінки якості об’єктів кваліметрії у вигляді гнучкої структури, що дозволяє комбінувати форми представлення кінцевого результату оцінювання якості та подавати їх кількома версіями одночасно для забезпечення якомога вищого ступеня задоволеності цілей оцінювання якості. За результатами дослідження запропоновано оптимізовану інфраструктуру якості. Здійснено порівняльний аналіз чинних підходів до побудови систем технічного регулювання як фундаментальної бази щодо забезпечення належної якості продукції та послуг. З метою забезпечення об’єктивності оцінювання якості запропоновано створення фахових систем оцінювання якості.

У роботі [17] досліджено фахові системи оцінювання якості (ФСОЯ) з використанням методів системного аналізу, теорії систем та теорії дослідження операцій. На основі аналізу загальної мети та завдань ФСОЯ була розроблена концептуальна та формалізована модель, що складає імітаційну модель складної організаційно-технічної та інформаційної системи. Встановлено, що задача створення ФСОЯ відноситься до зворотних задач оптимізації згідно з класифікацією методів оптимізації та синтезу складних організаційно-технічних систем. Було обґрунтовано критерій ефективності ФСОЯ, що включає мінімізацію витрат на їх створення та функціонування при досягненні системою своєї мети та завдань.

Також виявлено, що вимоги до якості змінюються швидко, тому обґрунтована потреба в оцінюванні сталого розвитку ФСОЯ. Запропоновано використати інформаційний підхід і розроблено відповідну методику. Для аналізу процесу нагромадження інформації під час оцінювання ступеня сталого розвитку ФСОЯ (рівня різноманітності управлінських рішень в межах ФСОЯ) запропоновано використовувати кількісний показник, пояснено його сутність [17].

У науковій роботі [17] було запропоновано розвиток методів визначення показників якості об’єктів довкілля, зокрема концепцію експрес-контролю стану ґрунтів. Ця концепція має наступні переваги та можливості:

- формування інформаційної моделі стану земель (ґрунтів).
- створення бази даних різних типів ґрунтів та їх забруднень на основі територіального принципу.
- забезпечення єдності оцінювання стану ґрунтів з використанням кваліметричного підходу до комплексної оцінки їх якості.
- можливість управління ґрунтами, сертифікації земель та нагляду за сертифікованими ґрунтами.
- покращення процесу збору інформації про параметри ґрунтів шляхом впровадження експрес-методів контролю, що дозволяє скоротити тривалість, трудомісткість та витрати на аналіз.
- покращення процесу прийняття рішень для управління довкіллям загалом.

У роботі [17] також було обґрунтовано переваги адмітансного методу перед традиційними фізико-хімічними методами. Використання цього методу дозволяє збирати інформацію про параметри ґрунтів з метою оперативного забезпечення функціонування інформаційних систем екологічного моніторингу. Також проведено експериментальні дослідження характеристик ємнісних первинних перетворювачів, які показали, що електрохімічні комірки з платиновими електродами та електродами з нержавіючої сталі є найбільш ефективними та стабільними в часі.

У результаті досліджень було встановлено, що реактивна складова адмітансу може бути використана для оцінювання типу забруднювачів. Зокрема, сильніший

електроліт призводить до більшої зсуву вправо частотної залежності реактивної складової адмітансу. Запропоновано класифікувати забруднювачі за цим принципом та будувати типові адмітансограми для різних видів ґрунтів та їх забруднювачів.

Крім того досліджено характер частотної залежності адмітансу від температури та різних концентрацій розчинів. За результатами досліджень запропоновано спосіб визначення загальної концентрації солей у ґрунті а, отже, новий спосіб фізико-хімічного аналізу, де інформативним параметром є частота змінного сигналу. Обґрунтовано його переваги, основні з яких полягають у інваріантності інформативного сигналу до зміни температури та у забезпеченні вищої чутливості в порівнянні з існуючими. З метою оцінювання метрологічних аспектів реалізації способу обчислено значення сумарної невизначеності під час його здійснення.

Автором [17] здійснено дослідження електрохімічних ефектів у водних розчинах під дією ззовні прикладеної гармонічної сили, зокрема обґрунтовано та пояснено явище «від'ємної провідності» у розчинах. Досліджено можливості використання рентгенофлуоресцентного методу для забезпечення інформаційної системи моніторингу довкілля оперативними даними.

У дисертаційній роботі [17] розглядаються нормативно-технічні аспекти визначення показників якості у харчовій промисловості. Проаналізовано проблематику нормотворчості в Україні в галузі органічного виробництва та запропоновано шляхи її вирішення. На основі результатів експериментальних даних та аналізу статистичної інформації рекомендовано нормувати показники якості органічної продукції, а саме показники її безпеки, шляхом встановлення еколологічно допустимої концентрації шкідливих компонентів з врахуванням територіального принципу, що дозволить відрізняти органічну продукцію від звичайної.

На основі проведених експериментальних досліджень автором [17] було показано, що адмітансний метод може бути застосований для оперативної ідентифікації харчової добавки аспартаму у фруктових напоях. Це дозволяє виявляти факти фальсифікації шляхом контролю вмісту аспартаму за електричними

параметрами. Також було досліджено перспективи використання вихорострумового методу для контролю приладів температурної діагностики, що має велике значення для оперативного забезпечення необхідних технологічних режимів у харчовій промисловості. Результати цих досліджень були опубліковані у статтях та наукових роботах [24-28].

Автором [17] була розроблена методика розрахунку невизначеності результатів експертного оцінювання показників якості. Використання цієї методики є одним з аспектів нормативно-технічної складової системи, що забезпечує єдність оцінювання якості. Були сформовані рекомендації щодо нормування показників якості експертів, що дозволяє створити базу для їх атестації.

Також було проведено моделювання сигналів електрохімічних систем, що дало змогу виявити ряд особливостей. Врахування цих особливостей дозволяє здійснювати коригувальні дії для мінімізації впливу несприятливих явищ у системі, яка складається з первинних перетворювачів і об'єктів, під час контролю показників якості розчинів. Також важливо правильно підбирати конструктивні параметри електрохімічних комірок та матеріал електродів, залежно від особливостей самого об'єкта і умов проведення контрольних випробувань.

Крім того, було сформульовано пропозиції щодо здійснення оперативного контролю метрологічних характеристик засобів аналітичного призначення. Для досягнення цієї мети запропоновано проводити калібрування вимірювального каналу RLC-метрів аналітичного призначення за допомогою інтелектуалізованих пристроїв, які базуються на кодо-керованих мірах. Це означає використання кодо-керованих мір імпедансу, значення яких встановлено за стандартними зразками, а також застосування методу заміщення, диференційного або компенсаційного методів вимірювання опору під час калібрування.

Було проведено аналітичне дослідження шляхів побудови кодо-керованих мір імпедансу, а також виявлено їх недоліки. Були сформульовані пропозиції щодо практичної реалізації кодо-керованих мір адмітансу (імпедансу) на основі активних імітаторів.

В результаті аналітичного дослідження особливостей процесу оцінювання об'єктів, які швидко прогресують за якістю, були визначені проблемні аспекти у цій сфері та запропоновано шляхи їх вирішення. Було запропоновано метод оперативного оцінювання якості об'єктів з використанням гнучкого алгоритму, реалізація якого дає можливість максимально врахувати вимоги кожного споживача [17, 29-31].

Важливий вклад у розвиток кваліметрії вніс проф. Бойко Т. Г., у роботах якого представлені теоретичні засади оцінювання, з застосуванням теорії математичної статистики та теорії систем. У статті [32] проведені наукові дослідження єдиних нормативів та методик щодо забезпечення єдності оцінювання якості продукції та точності. Пропонується враховувати прецизійність обладнання та достовірність результатів оцінювання. При цьому визначають довірчий інтервал, у якому знаходиться оцінка показника якості за умови, що відомо закон їх розподілу, як випадкової величини. Серія подібних досліджень опубліковані також у роботах [33-35].

У роботі [36] було представлено метод оцінювання якості послуг, які надаються торговими організаціями. Основна ідея цього методу полягає в встановленні кількісних залежностей між вимогами споживачів і технічними можливостями організацій, а також у визначенні кореляційних зв'язків між ними. Для досягнення цієї мети пропонується поєднати правила нечіткої логіки (Fuzzy Logic) і метод розгортання функцій якості (QFD - Quality Function Deployment) [37].

У роботі також пропонується використовувати методику перетворення нечітких даних з використанням Fuzzy Logic [38] як експертний метод оцінювання.

У статті [39] пов’язують оцінювання якості продукції з процесом постійного покращення. Пропонується застосовувати процес бенчмаркінгу. Суть полягає у тому, щоби визначити ефективне підприємство, результати діяльності якого приймають за бажані (еталонні) і надалі вивчають та переймають їх досвід. Технологія та досвід застосування такої технології для оцінювання якості діяльності підприємств представлено у роботах [40 - 45].

У роботі [46] розглядаються можливості застосування методів кваліметрії для застосування у процесі підтвердження відповідності продукції. При цьому пов’язують види продукції з типами підприємств, при цьому вивчають можливі ризики. Показано, що кількісна оцінка якості може показати кореляцію між цими категоріями Типові завдання представлено у ряді наукових праць [47-49].

Застосування вагових коефіцієнтів для оцінювання законів розподілу випадкових величин показників якості продукції представлено у науковій праці [50]. Вважається, що вагові коефіцієнти пов’язані з математичним сподіванням. Коефіцієнти використовують для оцінювання степені узгодженості теоретичного та експериментального закону розподілу випадкових величин. Розвиток застосування вагових коефіцієнтів опубліковано у роботах [51-56].

Кваліметричну модель та інструментарій оцінювання персоналу на прикладі випробувальних лабораторій представлено у роботі [57]. Вона дозволяє:

- збільшити компетентність керівника і фахівців у сфері управління персоналом;

- створити чітке та придатне ділове середовище, що сприяє взаємовідносинам між працівниками та організацією;

- підвищити рівень трудової мотивації та відповідальності кожного працівника, підрозділу, його керівника та всього колективу.

Принципи створення кваліметричних моделей були описані в дослідженнях [58, 59]. Вітчизняні вчені розробляли відповідні моделі для цілеспрямованого формування якісної професійної діяльності персоналу [60-62]. Питання оцінювання персоналу в навчальних закладах були розглянуті у дослідженнях [63-65].

Профеор Байцар Р. І. здійснює розвиток кваліметричних методів в частині оцінювання систем управління якістю, на відповідність вимог міжнародних стандартів ISO серії 9000. Так у роботах [66-72] представлені дослідження щодо оцінювання результативності та ефективності систем управління якістю. Розроблені теоретичні положення та представлені інженерні методики для їх застосування в промисловості.

У публікації проф. Столярчука П. Г. запропоновано алгоритм оцінювання рівня якості продукції у випадку слабко-структурованих вербально-символьних даних [73].

З результатів проведеного аналізу наукових публікацій можна зробити висновок, що класифікація об’єктів широка, методів оцінювання багато, тому є необхідність розвивати та удосконалювати існуючі методи та підвищувати достовірність оцінювання.

1.3 Аналіз математичних залежностей між виміряним значеннями та їх безрозмірними оцінками

З теорії кваліметрії відомо, що однією із основних проблем оцінювання якості об’єктів являється обґрунтування виду залежності між виміряним значенням одиничного показника якості та його оцінкою, бажано на безрозмірній числовій шкалі. Існує декілька підходів за яким вивчають вид математичної залежності між числовим значенням показника якості P_{ij} та його оцінкою K_{ij}. З теорії кваліметрії відомо, що залежності можуть бути лінійними, не лінійними та виражені у неявному виді. Якщо залежність лінійна, то вона має відношення числового значення показника якості до базового чи еталонного. Тому, якщо значення базового показника – стале число, то при змінюванні числового значення показника якості відбудеться пропорційна зміна [2]:

$$K_{ij} = \frac{P_{ij}}{P_{ij}^{баз}}. \qquad (1.5)$$

Така залежність можлива, але у рідких випадках, коли до оцінки не великі вимоги, тобто непотрібна достовірна оцінка а достатньо приблизної.

У кваліметрії існує видозмінена формула за рахунок введення додаткового показника, а саме показника браку $P_{ijбр}$. Тобто числового значення показника якості об’єкту кваліметрії, при якому він буде бракований. Але за умови, що числове

значення $Р_{ijбр}$ відповідає нижньому допустимому значенню показника якості. У такому випадку залежність буде не лінійною, а формула (1.5) буде мати вид [2]:

$$К_{ij} = \frac{Р_{ij} - Р_{ij\,бр}}{Р_{ij}^{баз} Р_{ij\,бр}}. \qquad (1.6)$$

Для отримання оцінки показника якості використовують залежність (1.6), якщо об’єкт кваліметрії відповідає конкретним умовам, а саме її застосовували для оцінювання ступеня відповідності будь-якого показника засобу вимірювальної техніки вимогам технічних умов.

$$К_{ij} = 100\exp(1 - \frac{x + \Delta x}{T}). \qquad (1.7)$$

де x - дійсне числове значення показника;

Δx - похибка його визначення;

T – значення гранично допустимого відхилення.

Значного застосування отримала залежність виду [17]:

$$К_{ij} = F(x) = \exp(-\exp(-x)). \qquad (1.8)$$

Залежність такого виду може бути застосована для об’єктів різної природи, але має той недолік, що не має можливості змінювати її нелінійну форму. Тобто усі об’єкти кваліметрії отримують однакову нелінійну оцінку.

Для оцінювання естетичних та ергономічних властивостей об’єктів кваліметрії застосовують закон Вебера–Фехнера, за яким існує зв'язок між значенням показника якості та його оцінкою за формулою:

$$P_{ij} = K \log K_{ij}. \qquad (1.9)$$

де К - деяка постійна.

Залежність можна отримати експертним методом за методикою, коли група експертів у прямокутній системі координат ставлять точки, які відповідають оцінкам кожного показника якості. Після чого об’єднують точки та отримують нелінійну форму. Наступним кроком являється апроксимація отриманої кривої лінії та переходять до аналітичної залежності.

Існують також експертний метод визначення залежності між показником і оцінкою відрізняється від методів, в яких використовуються формули, єдині для всіх показників, більшою гнучкістю і точністю. Насправді, при оцінці властивості експерт враховує і економічну ефективність (зрозуміло, в тій мірі, в якій він це може зробити, виходячи з наявної у нього інформації), і призначення даної продукції, і можливі умови експлуатації і безліч інших факторів. Однак перед експертом стоїть надзвичайно складне завдання «оцінити число - числом», тобто перевести значення абсолютного показника у відносний (оцінку). Для полегшення цієї задачі в роботі [62] запропоновано «метод головних точок», принцип якого полягає в тому, що експерт проводить операцію оцінки в кілька послідовних етапів. Щоб визначити вид залежності, використовуючи «метод головних точок», необхідно:

- розбити значення показника на зони, розділені реперними точками (ними можуть бути верхній і нижній межі, оптимальне значення показника і т. д), і задатися значенням оцінки в цих точках. Нанести точки в системі координат: по осі абсцис - значення абсолютного показника, по осі ординат - оцінку;

- вивчивши тенденцію зміни залежності в інтервалі між реперними точками, визначити вид функції та побудувати її графік;

- від графічної залежності перейти до аналітичної, яка описує цю криву.

Слід зазначити, що побудова кривої по трьом точкам дозволить розробити лише досить грубу математичну модель оцінки. Подальше дослідження залежності і знаходження більшого числа точок призведе до уточнення моделі, а отже, до більш об'єктивних оцінок.

При розробці даного методу оцінки властивостей доцільно виходити з ряду положень [2, 58]:

1. Якщо для кожної властивості кожного виду продукції будувати свій графік функції, то складність і великий обсяг роботи зроблять вкрай скрутним практичне застосування методу. Отже, не має бути надмірно великої множини кривих.

2. Не існує єдиної залежності для всіх властивостей, для всіх умов експлуатації. Тому не може бути єдиної функціональної залежності.

3. Необхідно знайти оптимальну кількість залежностей. Вони повинні досить точно описувати залежність між показником і оцінкою будь-якого з безлічі властивостей. У той же час бажано працювати з порівняно невеликою кількістю кривих. Отже, одна крива повинна застосовуватися для оцінки групи властивостей.

4. Кожна залежність повинна описуватися аналітично.

5. Відповідність між залежністю і оцінкою конкретного показника якості досягається зміною параметрів у формулі.

Один із прикладів в роботі [2] розглядають оцінку похибки вимірювального приладу, яка залежить від випадкової і систематичної складових основної похибки, варіації і т. д. Крім цього розглядають тільки максимально спостережувану похибку. Крива залежності числової оцінки від похибки приладу (рисунок 1.1) описується рівнянням:

$$К_п = 1 - \left(\alpha \frac{Р_п}{Р_п^{max}}\right)^{\beta}, \qquad (1.10)$$

де $К_п$ - оцінка похибки;

$Р_п$ - значення похибки даного приладу;

$Р_п^{max}$ - значення основної допустимої похибки;

α - коефіцієнт, що визначає значення оцінки при $Р_п = Р_п^{max}$, $\alpha \leq 1$;

β - коефіцієнт, що характеризує крутизну кривої, тобто швидкість зміни значення оцінки в залежності від зміни значення показника ($\beta > 1$).

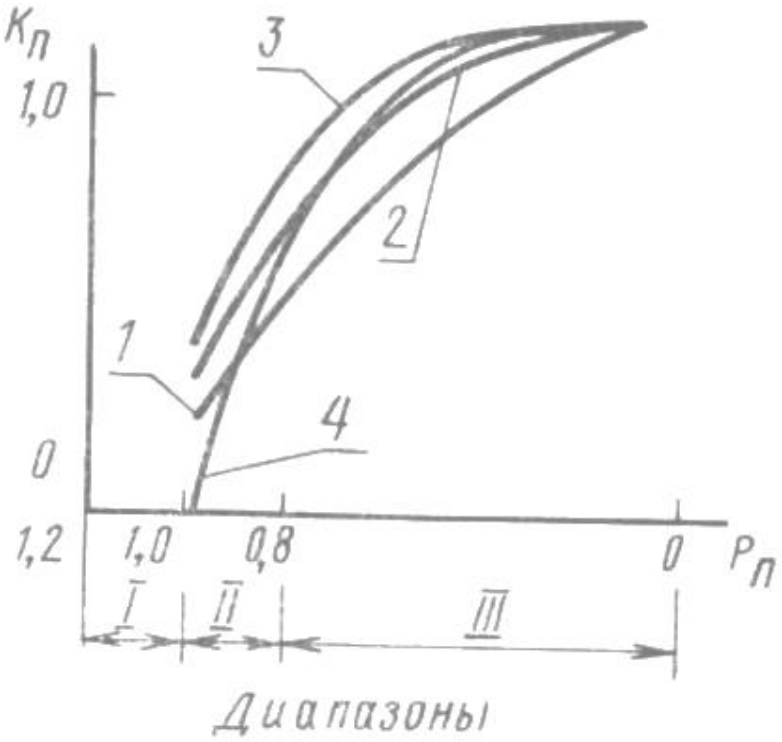


Рисунок 1.1 – Крива залежності числової оцінки від похибки приладу [2]

1. α = 0,9; β = 2 3. α = 0,9; β = 3

2. α = 0,9; β = 4 4. α = 1; β = 4

Ще на одному прикладі в роботі [2] розглядається об'єкт кваліметрії - квартира, при якому встановлено характер залежності між висотою стелі житлової кімнати $Р_м$ і його оцінкою $К_в$. При вирішенні цього завдання розглядають два випадки:

а) допустима висота стелі має одну межу - нижню, тоді оцінка має вигляд:

$$К_в = \frac{1-\left(\alpha\frac{р_в^{мин}}{Р_в}\right)^{\beta}}{1-\left(\alpha\frac{р_в^{мин}}{р_в^{опт}}\right)^{\beta}} \qquad (1.11)$$

б) допустима висота має нижню і верхню межі, тоді оцінка має вигляд :

$$К_в = \frac{1-\left(\alpha\frac{Р_в}{р_в^{макс}}\right)^{\beta}}{1-\left(\alpha\frac{р_в^{опт}}{р_в^{макс}}\right)^{\beta}}. \qquad (1.12)$$

Другий випадок відрізняється від попереднього наявністю другої асиметричною гілки кривої (рисунок 1.2).

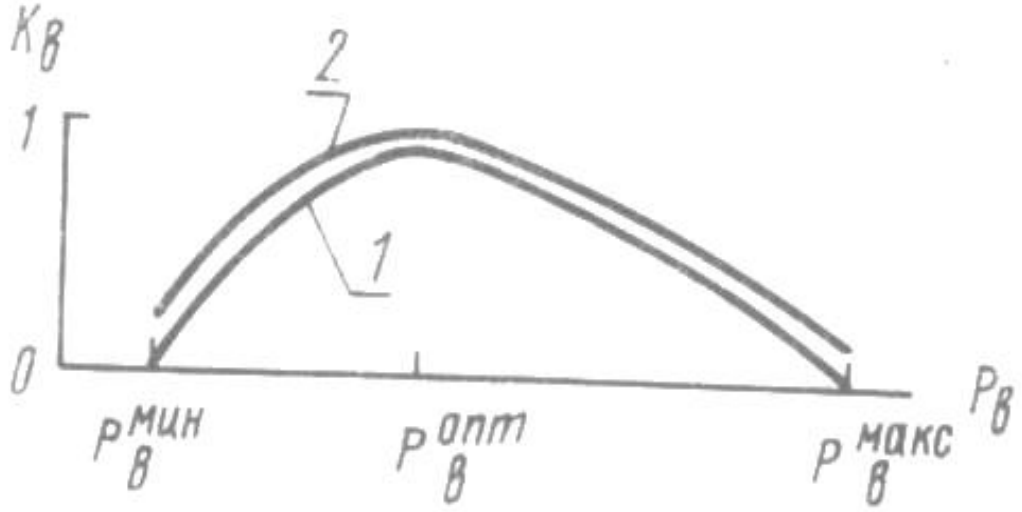


Рисунок 1.2 – Сімейство кривих залежності висоти стелі та оцінкою [2]

1 – при α = 1; β = 3;

2 – при α = 0,95; β = 2

Ще на одному прикладі в роботі [2] розглядається об'єкт кваліметрії – довговічність виробів машинобудування. Довговічність - показник, значення якого можна умовно розбити на три періоди.

$$К_д = \left(\frac{1-\alpha}{1-\frac{1}{\alpha}}\right)^{-\frac{Р_д}{Р_д^{опт}}} \quad (1.13)$$

Графічний вид таких залежностей представлено на рисунку 1.3.

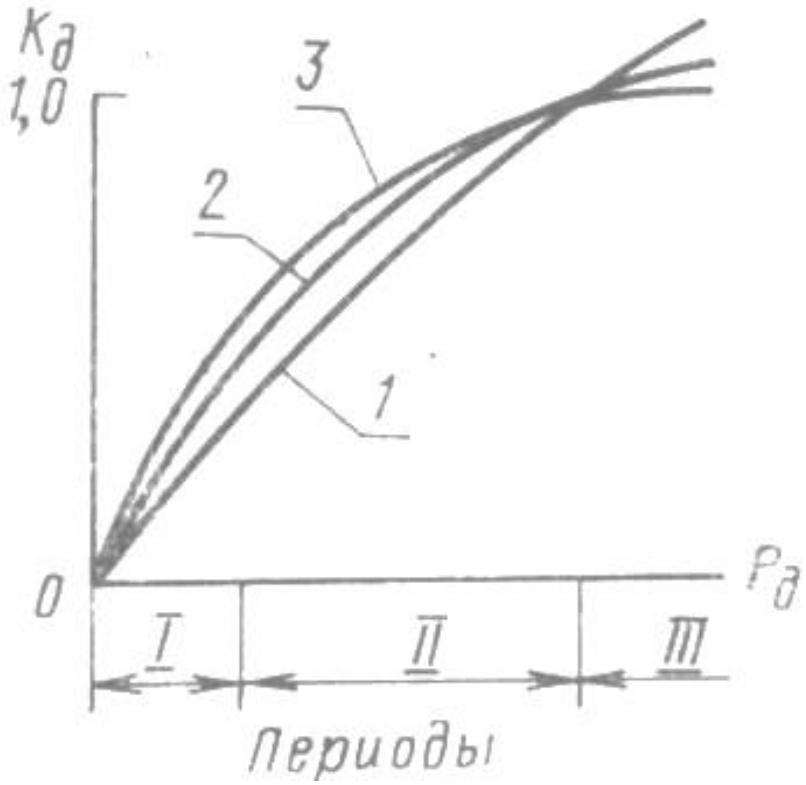


Рисунок 1.3 – Сімейство кривих залежності довговічності та оцінок
1 – при α = 1; 2 – при α = 5; 3 – при α = 10.

Ще на одному прикладі в роботі [2] розглядається об'єкт кваліметрії – коефіцієнт корисної дії (ККД). Прикладом може служити такий найважливіший показник машин, як к. п. д. Щось схоже відбувається і з показником «похибка» вимірювальних приладів.

Такий вид зв’язку між показниками P_j і оцінкою K_j досить точно описує статечна функція (рис. 1.4).

$$K_j = \left(\frac{P_j}{P_j^{опт}}\right)^n, \qquad (1.14)$$

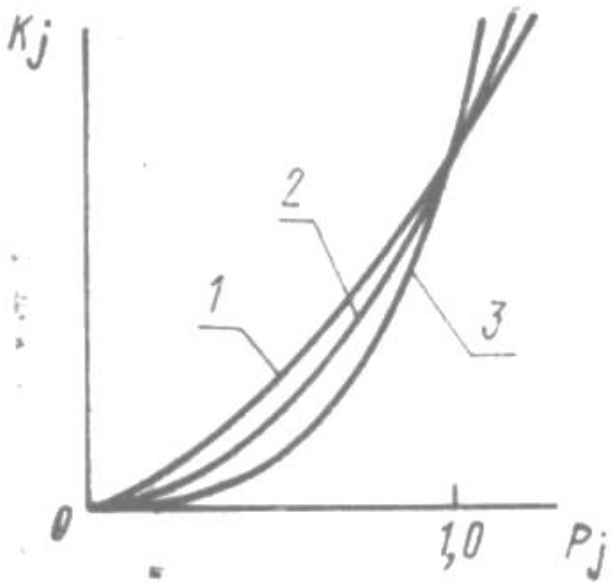


Рисунок 1.4 – Сімейство кривих залежності ККД та оцінок
1 – при n = 1,5; 2 – при n = 2; 3 – при n = 3.

Наведені в роботі [2, 58] приклади показують, що розробка спрощених моделей для оцінки основних властивостей різних об'єктів може відкрити цікаві можливості для групування та класифікації показників та оцінок ряду різних властивостей. При вдалому вирішенні цього питання наступним етапом може стати стандартизація кривих і змінних параметрів формул, що описують ці криві. Така стандартизація полегшить роботу по оцінці властивостей якості.

Головним недоліком такого методу являється те, що для кожного об’єкту необхідна клопітка робота експертів, тому такий метод застосовується у окремих випадках, коли інші методи не можливо застосувати.

Так, наприклад, для оцінювання похибок засобів вимірювальної техніки у [2] залежність оцінки від похибки описується формулою:

$$К_{ij} = 1 - \left(\alpha \frac{Р_п}{Р_п^{max}}\right)^{\beta}, \qquad (1.15)$$

де $К_{ij}$ - оцінка похибки;

$Р_п$ - значення похибки засобу вимірювальної техніки;

$Р_п^{max}$ – максимальне допустиме значення похибки;

α - коефіцієнт;

β – параметр форми, який характеризує крутизну.

Таких прикладів у науковій літературі безліч, адже кожному об’єкту кваліметрії відповідає окрема залежність, тому їх може бути багато. Таке завдання вирішується у дисертаційній роботі [74]. Об'єктом кваліметрії являються процеси, які необхідно оцінювати для здійснення управлінських дій.

У роботі [74] визначено специфічні особливості систем управління якістю (СУЯ) підприємств, як сукупності процесів, що склало передумови для розробки методології оцінювання процесів. У роботі [74] запропоновано метод визначення комплексного показника якості механічної обробки деталі типу «поршень» двигуна внутрішнього згорання. Така методика може бути застосована для оцінювання інших об’єктів кваліметрії. Недоліком її являється складність застосування різнорозмірних шкал трансформація їх у одну, кодовану шкалу на осі ОХ. Для цього необхідно застосовувати афінні перетворення, тобто ділення відрізка у заданому відношенні. Це потребує високої кваліфікації дослідника, що затрудняє її застосування на виробництві.

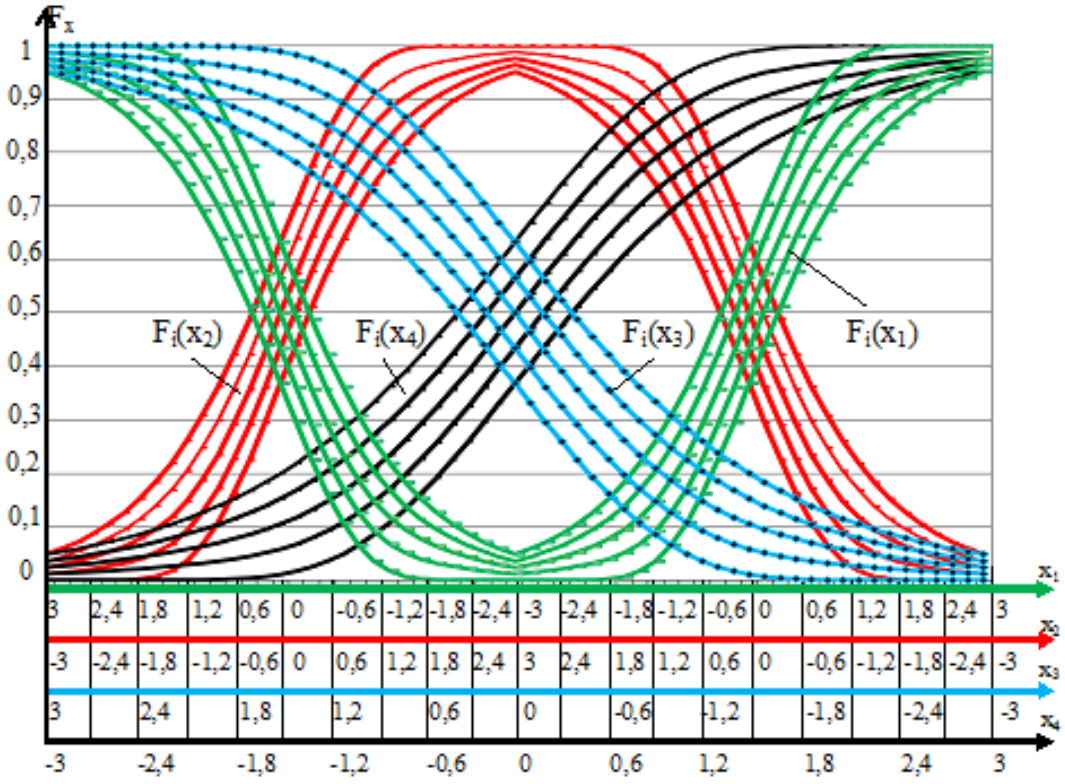


Рисунок 1.5 – Залежності показників якості та їх оцінки з урахуванням усіх груп показників якості процесів

Для оцінки показників якості процесів СУЯ, на відміну від оцінки виробів і технологічних систем, якість пропонується визначати максимальною величиною відхилення від оптимального значення. Вводяться показники, які враховують оптимальне значення і величину поля розсіювання показника якості процесу [74].

Показник розсіювання характеристики об’єкту кваліметрії.

$$K_p = \begin{cases} \dfrac{X_{\min} - X_{опт}}{T}, \text{ якщо } |X_{\min} - X_{опт}| > |X_{\max} - X_{опт}| \\ \dfrac{X_{\max} - X_{опт}}{T}, \text{ якщо } |X_{\min} - X_{опт}| < |X_{\max} - X_{опт}| \end{cases} \quad (1.16)$$

Показник миттєвого розсіювання характеристики об’єкту кваліметрії.

$$K_{p(t)} = \begin{cases} \dfrac{X_{\min}(t) - X_{опт}}{T}, \text{ якщо } |X_{\min}(t) - X_{опт}| > |X_{\max}(t) - X_{опт}| \\ \dfrac{X_{\max}(t) - X_{опт}}{T}, \text{ якщо } |X_{\min}(t) - X_{опт}| < |X_{\max}(t) - X_{опт}| \end{cases} \quad (1.17)$$

Показник запасу розсіювання характеристики об’єкту кваліметрії.

$$K_з = 1 - \begin{cases} \dfrac{X_{\min} - X_{опт}}{T}, \text{ якщо } |X_{\min} - X_{опт}| > |X_{\max} - X_{опт}| \\ \dfrac{X_{\max} - X_{опт}}{T}, \text{ якщо } |X_{\min} - X_{опт}| < |X_{\max} - X_{опт}| \end{cases} \quad (1.18)$$

Показник миттєвого запасу розсіювання характеристики об’єкту кваліметрії.

$$K_{з(t)} = 1 - \begin{cases} \dfrac{X_{\min}(t) - X_{опт}}{T}, \text{ якщо } |X_{\min}(t) - X_{опт}| > |X_{\max}(t) - X_{опт}| \\ \dfrac{X_{\max}(t) - X_{опт}}{T}, \text{ якщо } |X_{\min}(t) - X_{опт}| < |X_{\max}(t) - X_{опт}| \end{cases} \quad (1.19)$$

Для підвищення якості процесу, повинні виконуватися такі умови:

$$1 > K_m \to 0;\ 0 < K_з \to 1.$$

Запропоновані коефіцієнти враховують оптимальне значення показника якості процесу, тому можуть бути прийняті як критерій оптимізації при управлінні якістю на різних етапах виробництва і дозволять комплексно оцінити якість процесів СУЯ. Детально, з застосуванням реальних об'єктів кваліметрії, методологія оцінювання якості процесів представлена в наукових публікаціях [75-81].

Продовження розвитку методології оцінювання якості процесів системи управління якістю представлено у дисертаційній роботі [82]. У якості математичної залежності математичної залежності використовували:

$$\Phi_x = \begin{cases} 0 & X_i \le X_{imin} \\ \left[\frac{X_i - X_{imin}}{X_{imax} - X_{imin}}\right]^{\left(\frac{R}{X_{max} - X_{min}}\right)} & X_{imin} < X_i < X_{imax} \\ 1 & X_i \ge X_{imax} \end{cases} \qquad (1.20)$$

де X_{imin} та X_{imax} - граничні значення характеристик процесів;

X_i – дійсне (виміряне) значення.

R – поле розсіювання між граничними характеристиками.

Графічний вид залежностей (1.20), при умові, що параметр форми змінюється від нуля до одиниці з кроком 0,1 представлено на рисунку 1.6.

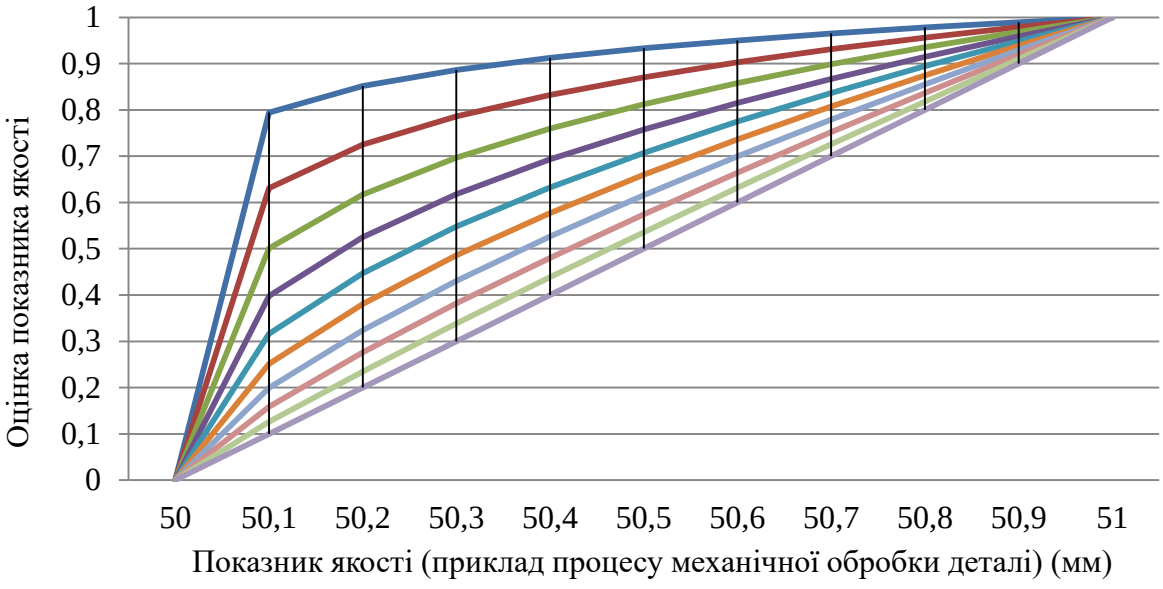


Рисунок 1.6 – Вид математичної залежності (1.20) [82]

Графічний вид залежностей (1.20), при умові, що параметр форми змінюється від одиниці до десяти з кроком 1 представлено на рисунку 1.7.

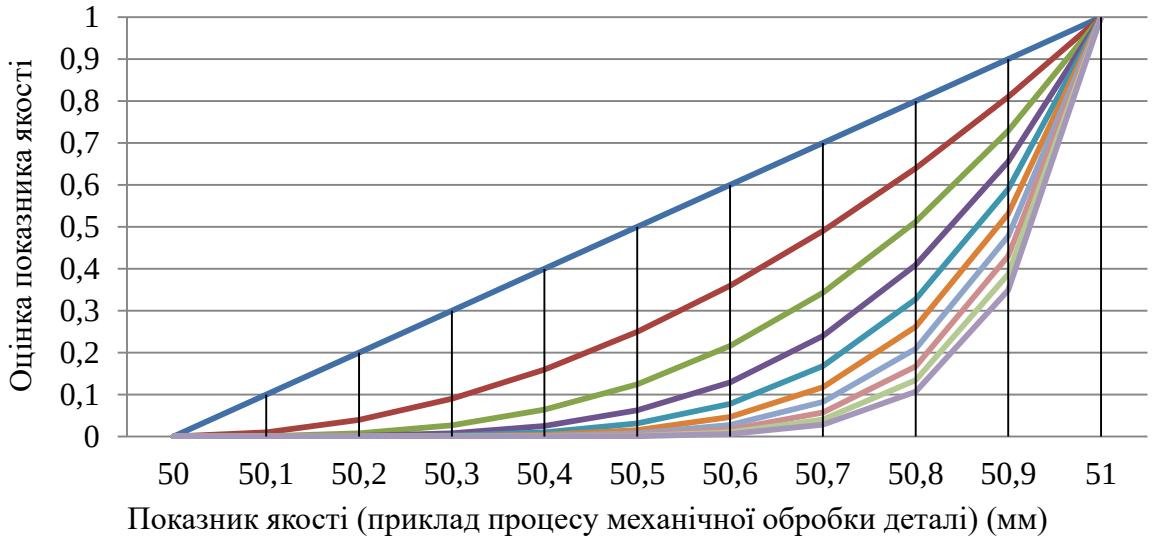


Рисунок 1.7 – Вид математичної залежності (1.20) [82]

Якщо найкращий показник якості прямує до середини поля допуску, то математична залежність має вид:

$$\Phi_x = \begin{cases} \left[\frac{X_i - X_{imin}}{t_i - X_{imin}}\right]^{\left(\frac{R}{(X_{max} - X_{min})}\right)} & X_{imin} \le X_i \le t_i \\ \left[\frac{X_i - X_{imax}}{t_i - X_{imax}}\right]^{\left(\frac{X_{max} - X_{min}}{R}\right)} & t_i < X_i \le X_{imax} \\ 0 & X_{imin} > X_i > X_{imax} \end{cases} \quad (1.21)$$

Система залежностей у такому випадку буде мати вид (рисунок 1.8).

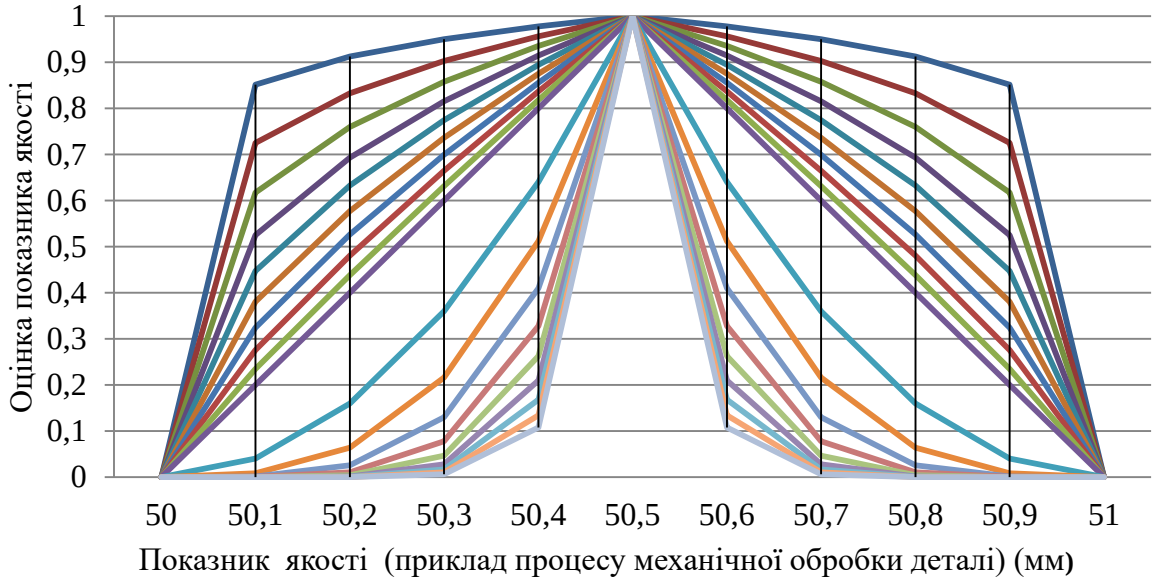


Рисунок 1.8 – Вид математичної залежності (1.21) [82]

У публікаціях [83-86] представлені методики застосування залежностей (1.20) та (1.21) для оцінювання якості різнорозмірних процесів.

У публікаціях [87–93] вдосконалено функцію бажаності оцінювання показників якості різнорозмірних процесів системи управління на безрозмірній шкалі за рахунок об'єктивного визначення її параметру форми з метою забезпечення її уніфікації. Введено інтервальні числові характеристики якості процесу, які дозволять вирішувати практичні задачі оцінювання, враховуючи його важливість у системі управління якістю. Показано на прикладі процесів олійного виробництва, що довжина інтервалу оцінювання може становити до 0,3% поля допуску показника якості процесу, що дає можливість для вибору варіантів управління.

Такі самі залежності (1.20) та (1.21) застосовували у роботах [94-98], у яких запропоновано застосовувати їх для визначення умов праці. Фіксуючи шкідливі фактори через певні проміжки часу, було отримано годинний ряд, і запропоновано ввести коефіцієнт, що їх характеризують, а саме коефіцієнт розсіювання; коефіцієнт миттєвого розсіювання; коефіцієнт запасу розсіювання; коефіцієнт миттєвого запасу розсіювання,

У наукових роботах [99–102] залежності (1.20) та (1.21) застосовували для вирішення вирішено актуальної науково-прикладної задачі в галузі оцінки ризиків

виробів медичного призначення та розроблено методики їх оцінки на етапах виробництва та експлуатації, враховуючи вимоги міжнародних стандартів. Визначено функції щільності безрозмірних оцінок показників якості виробів медичного призначення як функціонально залежних статистик у разі, коли їх поодинокі показники якості підпорядковані нормальному закону розподілу за певних параметрів. Запропоновано методику оцінки ризиків (імовірностей) влучення оцінки показника якості виробів медичного призначення в заданий «інтервал оцінювання» та визначено ймовірність переходу між інтервалами.

Провівши аналіз і враховуючи їх перераховані недоліки, у роботах [103-110] пропонується ще один вид залежностей, функція якої має вид:

$$f(q)=\frac{1}{1+ab^{-kq}} \tag{1.22}$$

Значення a та b визначається як:

$$b=b_1^{\frac{1}{(q\min-q\max)k}}, \tag{1.23}$$

де: $$b_1=\frac{(1-q_{max})q_{min}}{(1-q_{min})q_{max}}.$$

q_{min} та q_{max} – гранично допустимі значення.

Після алгебраїчних перетворень:

$$a=\frac{(1-q_{min})}{q_{min}}b^{kq_{min}} \tag{1.24}$$

Функція (1.22) має точку перегину при: $q_{пер}=\frac{\ln a}{k\ln b}$.

Параметр форми k у залежності (1.22) впливає на її крутизну вздовж осі OX. Міняючи k, можна керувати кривизною залежності (1.22) і таким чином отримувати різні оцінки при однакових результатах вимірювань параметрів якості.

1.4 Інформаційні методи оцінювання якості технологічних процесів

Процес оцінювання якості пов'язаний з інформацією та ефективними методами її опрацювання. У прикладних дисциплінах прийнято називати такі методи, як статистичні методи управління якістю, так як для їх застосування використовують статистичну інформацію. Статистичні методи управління якістю поширилися не лише на методи аналізу та оцінювання якості об’єктів кваліметрії, а й на контроль функціонування технологічних процесів (ТП) та приймальний контроль продукції. Основні сфери використання статистичних методів показані на рисунку 1.9 [111].

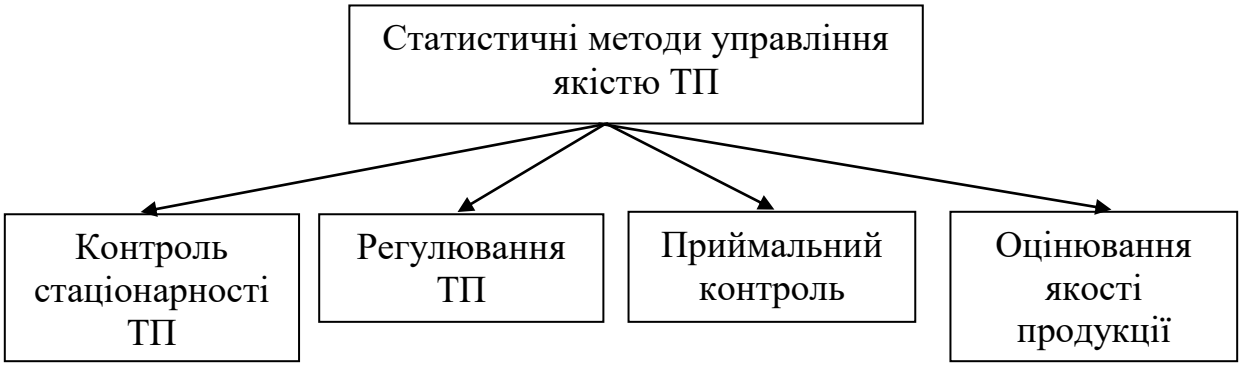


Рисунок 1.9 – Основні галузі застосування статистичних методів в управлінні якістю

Контроль стаціонарності ТП - це встановлення статистичними методами значень показників точності та стабільності технологічних процесів та визначення закономірностей його протікання у часі. Він використовується для дослідження загальних тенденцій зміни якості виробів на етапах проектування, виробництва та експлуатації, при цьому виділяються та аналізуються різні випадкові фактори, що впливають на якість виробів. У якості математичного апарату застосовуються методи дисперсійного, регресійного і кореляційного аналізу.

Статистичне регулювання технологічних процесів використовується на етапі виробництва для контролю ходу процесу виготовлення партії за вибірками невеликого обсягу. Одним із основних технічних засобів статистичного регулювання є контрольна карта. Тому основні методи статистичного регулювання

можна класифікувати за типами контрольних карток. Розрізняють контрольні карти за кількісними та якісними ознаками [111].

Статистичний приймальний контроль використовується при різних видах контролю та випробувань виробів, а саме: приймальному контролі якості; контрольних (атестаційних) випробуваннях і т. п. Приймальний контроль є методом оцінювання якості великих партій продукції шляхом прийняття рішення про приймання чи бракування всієї партії на підставі якості однієї чи кількох випадкових вибірок. Оцінюючи якості виробів з використанням приймального контролю якості необхідно керуватися відповідними стандартами [111].

Статистичний метод оцінювання якості продукції використовується для кількісного оцінювання якості продукції під час вирішення низки завдань управління якістю: планування якості продукції; вибір варіантів під час створення нової продукції; обґрунтування нормативів при розробці нових стандартів на продукцію та експлуатаційних нормативів; спостереження за динамікою змін якості продукції у часі.

Будь-який процес управління базується на реалізації наступних елементів:

1) отримання інформації про стан об'єкта;

2) опрацювання інформації про стан об'єкта;

3) Ухвалення рішень про зміну стану об'єкта;

4) вплив на об'єкт виконавчими органами.

Для здійснення процесу управління необхідно створити інформаційне забезпечення, яке ґрунтується на низці наукових досліджень, наукових фактів та відомого досвіду. Найбільш розповсюдженим математичним апаратом моделювання технологічних процесів є теорія кореляції та планування експерименту. Методика моделювання технологічних процесів досить ґрунтовно розроблена і широко застосовується в різних галузях національної економіки завдяки роботам науковців як у галузі математики, так і прикладних наук. Однак регресійні моделі мають деякі недоліки:

1) моделі не завжди дають точне математичне описання процесу;

2) дуже складно стежити за станом технологічного процесу за допомогою регресійних рівнянь, так як включають інколи не лінійності високого порядку, тому вони практично непридатні для цілей управління.

Інформаційне забезпечення технологічних процесів необхідно базувати на статистичному дослідженні точності та стабільності процесу. Точність технологічних процесів – це властивість, яка зумовлює близькість дійсних та номінальних значень виробленої продукції. Стабільністю називається властивість технологічного процес, що зумовлює сталість розподілів ймовірностей його параметрів протягом деякого проміжку часу без втручання ззовні.

Розробці методів аналізу точності та стабільності технологічних процесів присвятили свої роботи ряд науковців та наукових шкіл, які мають багато спільного, незважаючи на специфічні особливості застосовуваних методів у різних виробництвах. В одних випадках в основі методів аналізу лежать показники точності та стабільності технологічних операцій, що вимагають розрахунку середнього значення та дисперсії вибірок, в інших - необхідний підрахунок числа дефектів або дефектних одиниць продукції.

У першому випадку в умовах автоматизованого виробництва оперативність одержуваної інформації не відповідає продуктивності обладнання. Визначаються критерії рівня налаштування, зміщення центру розсіювання похибок виготовлення деталей, стабільності процесу. Інформація про стан технологічного процесу на момент її опрацювання не відображає справжньої ситуації. У другому випадку інформація має констатуючий характер.

Не допомагають вирішити цю проблему контрольні карти, що широко використовуються в серійному виробництві, розроблені У. А. Шухартом. Він запропонував оцінювати стан технологічних операцій за вибірковими значеннями середнього арифметичного та середнього квадратичного відхилення та на їх основі розробив першу контрольну карту для регулювання технологічних процесів . Основний її недолік – трудомісткість.

Д. Шайніним, з метою зниження трудомісткості карти Шухарта, було запропоновано карту регулювання, яка не потребує обчислення статистичних оцінок.

Вона ґрунтується на послідовному аналізі А. Вальда. Карта має три області: 1 – "не втручатися"; 2 - "продовжити виміри"; 3 - "здійснити підналагодження". При контролі послідовно проводяться вимірювання виробів і визначається, в який з інтервалів потрапив результат . Значення кожного наступного виміру підсумовується з попереднім, після чого заноситься до відповідної клітини картки. Не виключає необхідності вимірювання фактичного значення контрольованого параметра, проте перевага карти Шайні в тому, що при її використанні налагоджувачу не потрібно покладатися на свою інтуїцію.

Л. Нельсон запропонував ще більше прощену карту регулювання, яка також заснована на принципі послідовного аналізу Вальда. Як вимірювальний прилад використовується граничний калібр, що відповідає номінальному значенню контрольованого параметра. Результати вимірювань зображені на карті крапками. Якщо результат більше номінального, то точка ставиться правіше і вище попередньої, якщо правіше і нижче - результат менше номіналу. Контроль триває, поки ряд точок не опиниться в одній із областей: "не втручатися" або "виконати налагодження". Перевага картки Нельсона в тому, що при її використанні не потрібно жодних обчислень. Однак на цій карті не можна дізнатися величину підналагодження. Крім того, оскільки вироби, що мають номінальні розміри, не увійдуть у калібр, то значення середнього арифметичного, що спостерігається, не збігається із заданим номінальним значенням.

Найбільш проста – зонна контрольна карта. Вона поділена на сім зон, кратних середньому квадратичному відхилення, яким присвоєно рангові бали від одного до восьми. При контролі проводиться послідовне підсумовування балів, що відповідають зонам, у які потрапляють результати вимірювань. При перетині центральної лінії сума балів стає рівною нулю, починається новий цикл підсумовування . Процес вважається налагодженим, якщо сума балів не менше восьми. Зонна карта, як засіб діагностики змін, що відбуваються, більш ніж у десять разів перевершує карту Шухарта. Її недоліком є необхідність вимірювань фактичних значень параметрів та відсутність кількісних характеристик стану технологічних операцій.

Узагальнюючи вищевикладені приклади контрольних карток, можна виявити певну тенденцію за час її побудови. Чим простіше карта, а отже , вища оперативність роботи з нею, тим нижча інформативність контролю та можливість управління технологічними процесами . Прагнення підвищити інформативність контролю, навпаки, пов'язане з більш складними обчислювальними діями , що знижує оперативність контролю та управління технологічних процесів (карти Шухарта та Шайніна).

Для підвищення інформативність контролю за допомогою граничних калібрів необхідно враховувати інформацію про вид розподілу значень контрольованого параметра. У такому разі замість складної подвійної карти Шухарта можна використовувати карту дефектних виробів, а контроль проводити за допомогою граничних калібрів, налаштованих на більш вузькі порівняно з допуском межі контролю. Однак величини усунення центру розсіювання розмірів не фіксуються результатами контролю . Крім цього, при розробці картки не враховується, що контроль на вузьких межах дозволяє знизити обсяг вибірки, необхідний для досягнення такого ж ризику виробника, як і на широких межах.

У переліку завдань інформаційного забезпечення першочергове місце посідає вибір методів оцінювання якості продукції. Розглянемо три основні напрямки, які на нашу думку є актуальними в автоматизованому виробництві. Насамперед це статистичний приймальний контроль готової продукції, потім методи безперервного вибіркового контролю у процесі виробництва та, нарешті, методи подальшого оцінювання якості продукції.

У промисловості багатьох країн успішно використовується і постійно вдосконалюється статистичний приймальний контроль, який здійснюється як за кількісною , так і за альтернативною ознакою. Контроль за кількісною ознакою більш інформативний, ніж контроль за альтернативною ознакою, оскільки для одного обсягу партії потрібен менший обсяг вибірки. Однак в умовах масового виробництва економічність контролю за альтернативною ознакою є причиною широкого застосування. Розроблено кілька систем формування планів статистичного

приймального контролю. Американський стандарт ABC - STD - 105 D заснований на визначенні приймального рівня дефектності та ризику виробника.

На основі бракувального рівня дефектності LQ та ризику споживача Х. Ф. Додж та Х. Д. Ромінг розробили плани статистичного приймального контролю . Виробник планує систему приймального контролю за заданими значеннями граничного рівня дефектності та ризику споживача в односторонньому порядку, задаючи величину середнього рівня дефектності та ризику виробника. У свою чергу, споживач планує статистичний приймальний контроль за заданими значеннями вхідного рівня дефектності та ризику виробника.

Система альтернативного контролю, заснована на мінімізації значень обсягів вибірок та приймальних чисел з метою зниження вартості контролю та підвищення його оперативності, працює за умови рівності AQL (Середній вихідний рівень дефектності) і LQ (бракувальний рівень дефектності) . У цій системі передбачено використання планів статистичного приймального контролю з приймальним числом менше трьох.

У своїх роботах В. А. Лапідус [112] зазначає, яку величезну роль у промисловості та економіці відіграють статистичні методи . У США та Німеччині статистичний контроль є невід'ємною частиною економічної системи регулювання якості. Широке впровадження статистичних методів у промисловість це одна з найважливіших складових "японського дива" .

У зв'язку з безперервністю технологічного процесу автоматизованого виробництва необхідна розробка відповідної технології контролю, що забезпечує безперервний прийом продукції. Питанням розробки планів контролю у процесі виробництва приділяється поки що недостатньо уваги.

Теоретичні дослідження в галузі розробок методів безперервного вибіркового контролю можна поділити на дві основні групи. Дослідження першої групи пов'язані з розробкою методів, що забезпечують задані гарантії лише споживачеві. Друга група досліджень присвячена методам, які забезпечують задані гарантії споживачеві та виробнику одночасно .

Методи першої групи ґрунтуються на тому, що споживачеві гарантується задана межа середнього вихідного рівня дефектності. Тобто, споживачеві гарантується не тільки заданий середній рівень дефектності у тривалій (нескінченній) послідовності прийнятих виробів, а й певний рівень дефектності у заданій кінцевій (короткій) послідовності прийнятих виробів . Недоліком даних методів є те, що вони не дозволяють виготовлювачу вибрати план контролю, оптимальний для його (виготовлювача) конкретних умов виробництва. У тих випадках, коли виробник завдяки заходам з управління якістю продукції та високою культурою виробництва досягає сталого рівня якості, він несе невиправдано високі витрати на приймальний контроль якості, що гарантує захист від локальної нестабільності рівня дефектності, використовуючи більш жорсткий план контролю . Заходи, які проводить виготовлювач , спрямовані на усунення джерел систематичного погіршення якості продукції, що дає можливість підтримувати стійкий рівень якості. Завжди доцільніше попередити появу шлюбу, ніж потім виявити його при приймальному контролі. Тому в першу чергу інтереси виробника вимагають, щоб великі витрати на попередження шлюбу обов'язково давали економію коштів при приймальному контролі. Отже, виробнику необхідно вибирати такий план контролю, який при забезпеченні заданої гарантії споживачеві мінімізує витрати на контроль. Збалансований захист інтересів споживача та виробника - основна проблема, яку необхідно вирішувати в цьому випадку.

Х. Ф. Доджем розроблено методи, що належать до другої групи методів безперервного вибіркового контролю (БВК). Доджем було запропоновано два безперервних вибіркових плани - БВК-1 і БВК-2 [113]. Процедура вибіркового контролю за планом БВК-1 полягає у наступному:

- Спочатку здійснюється суцільний контроль у міру виготовлення виробів;

- якщо i виробів, взятих підряд, виявляються бездефектними, переходять до вибіркового контролю, відбираючи з потоку продукції необхідну частину f ;

- при виявленні шлюбу негайно повертаються до суцільного контролю. Недолік цього плану - у тому, що за несприятливих обставин обсяг контролю може виявитися досить значним.

При використанні плану БВК-2 до суцільного контролю вдаються лише в тому випадку, якщо при вибірковому контролі інтервал між двома виявленими бракованими виробами менше заданого. При вибірковому контролі цей план допускає наявність одного або декількох дефектних виробів, частка яких залежить як від відсотка помилок, так і від інтервалу між ними. Контроль здійснюється у такій послідовності :

- починають з організації суцільного контролю виробів у міру їх виготовлення;

- якщо і виробів, взятих поспіль, виявляться бездефектними, то переходять до вибіркового контролю, відбираючи необхідну їх частину f ;

- при виявленні дефекту вибірковий контроль продовжується, але з цього моменту підраховується кількість перевірених виробів;

- якщо серед наступних k браковані вироби не зустрічаються, то триває вибірковий контроль, але якщо виявиться дефектний виріб, повертаються до суцільного контролю.

План БВК-2 відрізняється від плану БВК-1 тим, що при виявленні бракованих виробів переходять до суцільного контролю не відразу, а після виявлення ще одного дефектного виробу. Для цього плану характерний той самий недолік, що й для плану БВК-1, а саме, важко заздалегідь спланувати обсяг контролю , що унеможливлює використання планів в автоматизованих виробництвах.

А. Вальдом розроблено ще більш гнучкіша методика контролю порівняно з планами БВК-1 і БВК-2, суть якої полягає у тому, що перевіряється по одному або кількох виробах із партії і після кожної перевірки приймається одне з трьох можливих рішень: 1) партію прийняти; 2) партію повернути; 3) перевірити ще один виріб (або групу виробів). Контроль необхідно продовжувати доти, доки накопичиться інформація, достатня до ухвалення чи відхилення партії. У методиці послідовного контролю є важливий елемент, а саме, висновок про якість виготовленої продукції приймається з урахуванням накопиченої інформації, що дозволяє використовувати принципи послідовного контролю в автоматизованому виробництві.

Вальд і Вольфовітц, використовуючи метод послідовного контролю, доопрацювали процедуру БВК, яка зводиться до наступного:

- із кожних k виготовлених виробів перевіряється одне;

- результат контролю заноситься на графік;

- вибірковий контроль припиняється в одному із двох випадків:

а) якщо траєкторія контролю перетне приймальну пряму - при цьому якість виробів, що виготовляються, вважається прийнятною;

б) якщо ступінчаста лінія перетинає бракувальну пряму - якість виробів вважається неприйнятною;

- якщо ступінчаста лінія перетинає пряму бракувальну, це означає , що частка шлюбу перевищила допустиму. Тому потрібно так скоригувати виробничий процес, щоб припинити подальше надходження шлюбу та виготовити поспіль *i* придатних виробів. Зрештою, партія загалом міститиме частку шлюбу, яка не перевищує допустиму;

- коли вимога, зазначена в попередньому пункті, буде виконана , можна повернутися до проведення вибіркового контролю.

Перевагою безперервного вибіркового плану контролю є можливість нанесення на графік плану запобіжних кордонів таким чином, щоб виробничий цех отримував сигнал про порушення ТП заздалегідь, тобто. до того, як східчаста лінія перетне бракувальну пряму. Оперативне втручання у ТП може запобігти виходу за пряму бракувальну.

Х. Ф. Доджем було запропоновано принцип контролю, який закладено в так званих "ланцюгових" послідовних вибіркових планах. Застосування цих планів є доцільним у ситуації, коли проведення контролю пов'язане з великими витратами. Прагнення наскільки можна обмежитися вибірками невеликого обсягу призводить у випадках до використання планів з приймальним числом С= 0. Недоліки таких планів вже було зазначено. Додж показав, як можна не збільшуючи обсяги вибірок, покращити такі плани. Принцип " ланцюгового " послідовного контролю у тому, що рішення відхилити партію виноситься за результатами перевірок кількох вибірок. Передбачається, що продукція, що підлягає контролю, виготовляється безперервно, і

вироби всіх партій мають приблизно однакову якість. У чому полягає суть методу Доджа.

З кожної партії відбирається вибірка обсягом п виробів і кожен виріб перевіряється на відповідність технічним умовам. Приймальне число в принципі дорівнює нулю (С = 0); якщо ж у останніх і вибірках не виявляється жодного бракованого виробу, тоді як виняток допускається С = 1. Партія приймається, якщо у вибірці обсягом п не було виявлено жодного дефектного виробу. Партія відхиляється, якщо ви маєте два або більше бракованих виробів. Якщо ж у вибірці виявлено лише один бракований виріб, партію приймають за умови , що у вибірках із попередніх і партій бракованих виробів не було [113].

Якщо розглядати теорію статистичних оцінок з позицій застосування в масових автоматизованих виробництвах, то можна виділити дві основні причини, які суттєво обмежують її застосування. Перша – точні результати можуть бути отримані лише за результатами контролю великої кількості партій, отже, інформація про стан ТП надійде зі значними затримками в часі і не може бути використана для оперативного втручання в хід процесу. Друга – статистичний аналіз стану ТП заснований на дослідженні похибок виготовлення, які підпорядковуються безперервним розподілам (законам Гауса, Максвелла , модуля різниці тощо), а в основі теорії незміщених оцінок лежать дискретні розподіли. Отже, можна зробити висновок, що виникла потреба у створенні методів оцінки результатів контролю, які дозволять уникнути зазначених недоліків.

Висновки до першого розділу та постановка задач досліджень

Після аналізу наукових публікацій та фундаментальної наукової літератури було виявлено, що у кваліметрії існує декілька нерозв'язаних задач. Розв'язання цих задач може сприяти розробці нових практичних методик, які були б досить універсальними та ефективними для оцінки якості різних об'єктів. Нові методики мають мати прикладне значення, повинні бути застосовні при оцінюванні якості в різних системах, а саме, у побуті, на виробництві та інше.

Особлива увага в кваліметрії приділяється отриманню комплексного показника якості, оскільки об'єкти дослідження мають багато різних показників, які вимірюються в різних одиницях. Існують різні методики та підходи для отримання комплексних оцінок, серед яких використовуються різні види середніх значень - зважена арифметична, геометрична, гармонійна, а також застосовуються принципи теорії машинного «розпізнавання образів». Усі існуючі методи мають місце, але розроблення нового методу розширить їх спектр та збільшить рівень можливостей для особи, яка приймає рішення щодо вибору того чи іншого методу для вирішення конкретної прикладної задачі.

Наразі0 ще не вироблено універсальної методики, тому дослідник повинен у кожному іншому випадку приймати рішення щодо вибору того чи іншого методу. Це ускладнює завдання і не дозволяє автоматизувати процес. Тому необхідно продовжити дослідження з цього питання, щоби нівелювати недоліки існуючих. Це питання являється надзвичайно актуальною задачею.

Під час аналізу наукової літератури в галузі методів оцінювання якості об'єктів кваліметрії було встановлено, що існуючі методи оцінювання якості переважно спрямовані на оцінювання якості продукції та базуються на усередненні одиничних показників якості для отримання комплексного або інтегрального показника. Проте такий підхід не є прийнятним для оцінювання якості інших об'єктів в кваліметрії, таких як процеси чи системи, наприклад системи управління процесами або підприємствами в цілому. Тому є необхідність у розробці та науковому обґрунтуванні нових методів оцінювання якості, які враховували б

неоднорідність показників якості об'єктів різної природи.

У кваліметрії, під час оцінювання якості фізичних об'єктів, велику вагу має тип математичної залежності між виміряним показником якості та його оцінкою на безрозмірній шкалі. Такі показники якості, як правило, розподілені нерівномірно і можуть мати нелінійну залежність з їх безрозмірною оцінкою. Багато фахівців вважають, що найскладніше завдання в оцінюванні якості - це визначення ступеня їх вагомості. Проте, нарівні з коефіцієнтами вагомості, також велике значення має тип залежності між показником якості та його оцінкою, що об'єднані математичною моделлю.

Існуючі математичні залежності між виміряними значеннями показників якості та їх оцінкою на безрозмірній шкалі мають ряд недоліків, а саме:

- вони потребують участі експертів для вибору того чи іншого коефіцієнту або при побудові шкал оцінювання. Це потребує високої кваліфікації експертів, часу та коштів;
- для автоматизації процесу оцінювання існуючі методики потребують спеціального програмування, що теж потребує високої кваліфікації, часу та коштів.

Тому знаходження такої математичної залежності, яка би мала властивість універсальності потребує проведення ряду наукових досліджень, застосовуючи математичні можливості та нові знання.

Для ефективного використання отриманої інформації у вигляді оцінок показників якості у безрозмірних величинах необхідно проводити опрацювання результатів. Їх ефективність залежить від кількості існуючої інформації. Тому важливим завданням при оцінюванні якості об’єктів кваліметрії являється визначення закономірностей розподілу отриманих результатів, як випадкової величини. Адже знання закону розподілу дозволяє використовувати малу кількість статистичних даних. Це дозволить вирішувати практичні задачі з більшою ефективністю.

Проведений аналіз фундаментальної наукової літератури та публікації дозволяє поставити мету та задачі досліджень.

Мета дослідження - удосконалити методи оцінювання якості об'єктів різної природи, враховуючи різнорозмірність одиничних показників якості, які дозволять ефективно використовувати функціонально-залежні статистики для визначення комплексного показника якості об'єктів кваліметрії.

Для досягнення мети планується вирішення таких задач:

1. Провести аналіз існуючої класифікації об’єктів кваліметрії та методів оцінювання їх якості та доповнити її з урахуванням функціональних залежностей та застосування функціонально залежних статистик.

2. Проаналізувати існуючі математичні залежності між виміряними показниками якості об’єктів та їх оцінкою на безрозмірній шкалі, визначити їх недоліки та запропонувати універсальну залежність, яку можна було б ефективно застосовувати для оцінювання якості об’єктів кваліметрії різної природи та визначити її числові характеристики.

3. Визначити функцію щільності оцінок одиничних показників якості на безрозмірній шкалі за умови, що числові значення одиничних показників розподілені за нормальним законом розподілу.

4. Визначити закон розподілу випадкових величин безрозмірних оцінок показників якості за умови, що виміряні значення показників якості підпорядковуються закону нормального розподілу.

5. Запропонувати методику оцінювання комплексного показника якості об'єкту кваліметрії з застосуванням квадратурних та кубатурних формул, використовуючи методи інтегрування.

6. Провести експериментальні дослідження з апробації методики застосування функціональної залежності та методу інтегрування для визначення комплексного показника якості об’єктів кваліметрії.

Список використаних джерел

1. Кваліметрія як наука, її роль, методи і області практичного застосування. Показники якості продукції. URL: http://um.co.ua/8/8-2/8-214662.html (дата звернення: 15.11.2022).

2. Азгальдов Г. Г., Райхман Э. П. О квалиметрии. Москва: Издательство стандартов, 1972. 172 с.

3. Шакин Ю. Объективно оценивать качество. *Стандарты и качество*. 1966. № 11.

4. Райхман Э. П. Метрологические вопросы квалиметрии. *Стандарты и качество*. 1969. № 4.

5. Азгальдов Г. Г. О методах измерения о оценке качества продукции. Вып. 1. Москва: ВНИИС, 1969. 106 с.

6. Зарипов Р. Х., Иванов В. В. Послесловие к русскому изданию. Моль А. Теория информации и эстетическое восприятие. Москва, 1966.

7. Зак С. Е. Качественные изменения и структура. *Вопросы философии*. 1967. № 1. С. 50-58.

8. Майминас Е. З. Некоторые проблемы анализа и оптимизации процессов экономического планирования. *Проблемы оптимального планирования*: междунар. семинара по вопросам оптимизации планирования и межотраслевого баланса. (Берлин, 5-10 апреля 1965 г.). Москва, 1966.

9. Кравченко В. А., Арутюнов В. Х. Некоторые вопросы применения системно-структурного подхода к классификации моделей объектов прогнозов. *Материалы по науковедению*: III Киевский симпоз. по науковед. и научн.-техн. прогнозир. Вып. 5. Киев, 1970.

10. Вентцель Е. С. Исследование операций. *Наука и жизнь*. 1968. №12.

11. Белявский А. К. Крупноблочное жилищное строительство. Москва: Власть Советов, 1936. 302 с.

12. Целикова А. Т. Аттестация продукции и рентабельность. *Стандарты и качество*. 1969. № 10.

14. Райхман Э. П. Некоторые недостатки методик комплексной оценки качества изделий машиностроения. *Стандарты и качество*.1969. № 1.

15. Трищ Р. М. Слитюк Е. А. Обобщённая точечная и интервальная оценки качества изготовления детали ДВС. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2006. №1. С. 63 – 67.

16. Трищ Р. М., Слитюк Е. А. Точечная и интервальная оценки качества изделий. *Вісник НТУ „ХПІ”. Збірник наукових праць. НТУ „ХПІ”*.2006. №27. С. 96 – 102.

17. Бубела Т. З. Система забезпечення єдності оцінювання якості об’єктів різної природи : дис. д-ра. техн. наук: 05.01.02. Львів, 2023. 340 с.

18. Бубела Т. З. Побудова національної системи оцінювання якості . *Стандартизація, сертифікація, якість. Науково-технічний журнал*. 2013. №1(80). С. 49-53.

19. Бубела Т. З. Системный подход к оцениванию качества. *Международный журнал Технического университета Варна «Устойчивое развитие»*. 2013. №12. С. 56-62.

20. Герасим М. Р., Бубела Т. З. Метрологічне забезпечення якості продукції. *Технологічний аудит та резерви виробництва*. 2014. № 1/4(15). С. 14-15.

21. Бубела Т. З. Концептуальні засади створення фахових систем вимірювання якості. *Електротехнічні і комп’ютерні системи. Науково-технічний журнал*. 2012. № 06(82). С. 210-215.

22. Микийчук М. М., Бубела Т. З., Столярчук П. Г. Комбінований метод оцінювання якості продукції. *Стандартизація, сертифікація, якість. Науково-технічний журнал*. 2011. №2(69). С. 52-55.

23. Бубела Т. З., Бойко Т. Г., Походило Є. В., Столярчук П. Г. Метод визначення параметрів вагомості показників якості продукції. *Методи та прилади контролю якості. Науково-технічний журнал*. 2007. №18. С. 76-79.

24. Бубела Т. З., Столярчук П. Г., Гриневич Б. Ю., Микийчук М. М. Метод ідентифікації харчових добавок (підсолоджувачів) з метою виявлення фальсифікації продукції. *Вісник НТУ «Харківський політехнічний інститут»*. 2010. №46. С. 3-7.

25. Бубела Т. З., Воробець О. В. Безпечність та якість харчової продукції. Вимірювальна техніка та метрологія. *Міжвідомчий науковотехнічний збірник*. 2010. №71. С. 139-144.

26. Микийчук М. М., Бойко Т. Г., Бубела Т. З. Параметрична модель для оцінювання якості технологічних процесів. *Автоматика, вимірювання та керування. Вісник НУ «Львівська політехніка»*. 2007. №574. С. 89-93.

27. Бубела Т. З., Бойко Т. Г., Столярчук П. Г. Порівняння однотипної продукції різних виробників задля задоволення потреб споживача. *Стандартизація, сертифікація, якість. Науково-технічний журнал.* 2007. №2. 35 С. 65-69.

28. Бойко Т. Г., Бубела Т. З., Походило Є. В. Імовірність правильного визначення якісного рівня продукції. *Методи та прилади контролю якості. Науково-технічний журнал*. 2006. №17. С. 90-93.

29. Бойко Т.Г., Бубела Т. З., Столярчук П. Г. Оцінювання якісного рівня як імовірнісна задача. *Методи та прилади контролю якості. Науково-технічний журнал*. 2006. №16. С. 73-76.

30. Шаповал М. І. Менеджмент якості. Київ: Знання, 2003. 475 с.

31. Bobrek M., Socovic M. Integration concept and synergetic effect in modern management. *Journal of Materials Processing Technology*. №175 (1). 2006. pp. 33-39.

32. Бойко Т. Г. Забезпечення єдності і точності кваліметричного оцінювання продукції. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»*. Вип. 639. 2009. С. 175-179.

33. Бойко Т. Г., Бубела Т. З., Походило Є. В. Оцінювання вірогідності визначення показників якості продукції. *Автоматика-2006* : матеріали XIII міжнар. конф. з автоматичного управління (м. Вінниця, 25–28 вересня 2006 р.). Вінниця, УНІВЕРСУМ, 2007. С. 158–161.

34. Бойко Т.Г., Бубела Т.З. Аналіз складових вірогідності результатів оцінювання якісного рівня продукції. *Метрологія–2006*. V міжн. наук.-практ. конф., (м. Харків 10–12 жовт. 2006 р). Харків, 2006. Наукові праці (том 1). С. 55–57.

35. Дунаев Б. Б. Точность измерений при контроле качества. Київ : Техніка, 1981. 151 с.

36. Бойко Т. Г., Мельник В. В. Кваліметричне оцінювання інтернет-магазинів з використанням FUZZY logic та QFD. *Системи розроблення та поставлення продукції на виробництво*: матеріали І між нар. наук.-практ. конф., м. Суми, 17-20 травня 2016 р. Суми, 2016. С. 38-40.

37. Kazançoğlu Y., Aksoy M. A Fuzzy Logic-based Quality Function Deployment for selection of E-Learning provider. *The Turkish Online Journal of Educational Technology*. Vol. 10, No 4. P. 39-45.

38. Opricovic S., Tzeng G. H. Defuzzification within a multicriteria decision model. International Journal of Uncertainty. *Fuzziness and Knowledge-Based Systems*. 2003.Vol. 11, No 5. P.635–652.

39. Бойко Т., Мельник В. Інтегроване формування показників властивостей для кваліметричного оцінювання продукції. *Вимірювальна техніка та метрологія*. Вип. 74. С. 107-114.

40. Ашуев А. М. Бенчмаркінг та інформаційне забезпечення процесу нововведень. *Зб. наук. праць Донецького державного університету. Сер.: Економіка*. 2004. Т.5. Вип. 34: Економіка та маркетинг підприємства і території. С. 140-146.

41. Козак Н. Бенчмаркінг як інструмент підвищення конкурентоспроможності компанії. *Управление компанией*. 2000. № 1 – 2.

42. Camp R. C. Benchmarking: the search for best practices that lead to superior performance. *Quality Progress*. January, 1989. P. 62-82.

43. Vaziri H. K. Using competitive benchmarking to set goals. *Quality Progress*. October, 1992. P.81-85.

44. Тибінь А. М., Мисик О .В. Ефективність використання бенчмаркінгу для підвищення ділової досконалості підприємства. URL: https://uareferats.com/index.php/referat/details/7107 (дата звернення: 25.12.2022).

45. Харрингтон Х. Дж.,. Харрингтон Дж. С. Бенчмаркинг в лучшем виде! 20 шагов к успіху. Санкт-Петербург: Питер, 2004. 340 с.

46. Бойко Т. Г. Використання методології кваліметрії для реалізації сучасних вимог щодо діяльності з технічного регулювання. *Вісник Національного університету Львівська політехніка*. №753. С. 51-56.

47. Бойко Т. Г. Формування теоретичних та нормативно-технічних засад оцінювання якісного рівня продукції: автореф. дис. д-ра. техн. наук: 05.01.02. Львів, 2010. 34 с.

48. Бойко Т. Забезпечення довіри споживача до результатів оцінювання якісного рівня продукції. *Вимірювальна техніка і метрологія*. 2008. № 69. С. 138-142.

49. Коршунов Д. Чи потрібні нам стандарти на номенклатуру показників якості? *Стандартизація, сертифікація, якість*. 2003. № 5. С. 29.

50. Бойко Т. Обґрунтування застосування коефіцієнтів вагомості для кваліметричної оцінки партії продукції. *Вимірювальна техніка і метрологія*. 2012. № 73. С. 110-113.

51. Бойко Т. Г., Гриневич Б. Ю. Отримання коефіцієнтів вагомості для кількісної оцінки якості продукції за складовими непевності оцінювання. *Вимірювальна техніка і метрологія*. 2011. № 72. С. 111–116.

52. Хомів Б., Лупенко С. Застосування вагових коефіцієнтів при оцінюванні опінії текстової інформації у web-документах. Збірник тез доповідей XV наук. конф. Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя. (Тернопіль, 14-15 грудня 2011 року). Тернопіль, 2011. С. 96

53. Сікоза О. М., Яремчук Н. А. Обчислення невизначеності при експертному оцінюванні вагових коефіцієнтів. *Системи обробки інформації*. 2011. Вип. 1. С. 48-51.

54. Boyko T. Bubela T. Uncertainty of Measurement Results in the Process of Product Qualitative Level Identification. *Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems*: Technology and Applications: Proceedings of the 6th IEEE International Workshop (Prague, 15-17 September 2011). Prague, Czech Republic, 2011. P. 586-589.

55. Бойко Т. Г. Гриневич Б. Ю. Характеристики якості кваліметричного оцінювання продукції та коефіцієнти вагомості на їх основі. *Вимірювальна техніка і метрологія*. 2012. № 76. С. 122-126.

56. Бойко Т.Г. Моделювання кількісної оцінки якості продукції з врахуванням невизначеності оцінювання. *Математичне та імітаційне моделювання систем*: п'ята наук.-практ. конф. з міжн. участю (м. Київ, 21–25 червня 2010 р.). Київ, 2010. С. 78-79.

57. Сколоздра М. М., Байцар Р. І., Сопільник Л. І. Методика формування кваліметричної моделі компетентності персоналу випробувальних лабораторій. *Якість технологій та освіти*. 2011. № 2. С. 81-86.

58. Єльникова Г. Адаптивна школа та адаптивне управління в освіті: зб. наук. праць / за заг. ред. Г. Є. Гребенюка. Харків : Стиль Іздат, 2007. С. 93-100.

59. Єльникова Г., Ануфрієва О. Діагностика управлінської компетентності керівника загальноосвітнього навчального закладу. Підготовка керівника середнього закладу освіти: навч. посіб. / за ред. Л. Даниленко. Київ: Міленіум, 2004. С. 77-102.

60. Ануфрієва О. Оцінка роботи загальноосвітнього закладу 1-го ступеня за кінцевими результатами : курс лекцій. Київ : Міленіум, 2003. 32 с.

61. Борова Т. Самокорекція процесу засвоєння знань учнями основної школи : автореф. дис. … канд. пед. наук : 13.00.01. Київ, 2001. 20 с.

62. Дмитренко Г., Олійник В., Ануфрієва О. Цільове управління: вимірювання результативності діяльності учнів і педагогів. Київ: ЦІППО, 1996. 84 с.

63. Єльникова О. Управління впровадженням інтерактивних освітніх технологій в навчальний процес загальноосвітнього навчального закладу : автореф. дис. … канд. пед. наук: 13.00.01. Київ, 2006. 20 с.

64. Касьянова О. М. Волобуєва Т.Б. Моніторинг в управлінні навчальним закладом. Управлінський супровід моніторингу якості освіти. Харків : Основа, 2004. 96 с.

65. Полякова Г. Адаптивне управління навчальним процесом в умовах загальноосвітнього комплексу : автореф. дис. … канд. пед. наук : 13.00.01. Київ, 2003. 20 с.

66. Бичківський Р., Гунькало А. СУЯ: оцінювання ефективності функціонування. *Стандартизація, сертифікація, якість*. 2005. № 4. С. 42 - 46.

67. Бичківський Р. В., Гунькало А. В. Аналіз затрат на якість продукції. *Вимірювальна техніка та метрологія*. 2005. Вип. 65. С. 178-183.

68. Бичківський Р.В., Гунькало А.В., Краснопольська О.І. Планування і оцінювання рівня якості продукції. Вісник НУ «Львівська політехніка». 2005. № 530. С. 185-194.

69. Гунькало А., Бичківський Р. Оцінка впливу сертифікації системи управління якістю на виготовлення якісної продукції. *Вимірювальна техніка та метрологія*. 2006. Вип. 67. С. 184 - 190.

70. Гунькало А. В., Байцар Р. І. Оцінювання задоволеності споживачів в системі менеджменту. *Маркетинг та логістика в системі менеджменту*: тези доп. VI між нар. наук.-прак. конф. Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2006. С. 79-81.

71. Байцар Р., Німас А., Гунькало А. Аналіз ефективності діяльності ВАТ «Бориславський завод радіоелектронної медичної апаратури». *Якість – 2006*: зб. матеріалів всеукр. наук.-техн. конф. Харків: Стандартизація, сертифікація, якість, 2006. С. 33-41.

72. Байцар Р. И., Гунькало А. В. Мониторинг процессов в системе менеджмента качества. *Проблемы современной гражданской авиации:* труды междунар. науч.-техн. конф. Баку, Азербайджан: Национальная академия авиации, 2007. С. 10-13.

73. Бойко О. П., Столярчук П. Г. Оцінювання рівня якості продукції з використанням теорії нечітких множин. *Вимірювальна техніка та метрологія*. 2009. № 70. С. 203-206.

74. Тріщ Г. М. Розробка методології оцінювання процесів систем управління якістю підприємств з урахуванням вимог міжнародних стандартів : дис. канд. техн. наук: 05.01.02. Львів, 2023.169 с.

75. Трищ Г. М. Метод оценки результативности процессов системы управления качеством предприятия. *Восточно-европейский журнал передовых технологий*. 2009. № 4/3 (40). С. 26-29.

76. Трищ Г. М., Коробко С. И. Процессный подход в управлении качеством. *Сучасні технології в машинобудуванні*. 2010. Вип. 4. С.273-278

77. Тріщ Г. М. Система залежностей для оцінювання процесів систем управління якістю підприємств. *Восточно-европейский журнал передовых технологий*. 2013. № 4/3 (64). С. 60-63.

78. Трищ Г. М. Метод оценки качества изделий. *Человек – технологии – середа:* сборник тезисов 1-ой междунар. науч.-практ. конф. (г. Судак, 15-19 сентября 2009 г.). Судак, 2009. С. 106-108.

79. Трищ Г. М. Модель надежности системы управления качеством предприятия. *Качество технологий – качество жизни:* сборник тезис. 2-ой междунар. науч.-практ. конф. (г. Судак, 15-19 сентября 2010 г.). Судак, 2010. С. 3-4.

80. Трищ Г. М., Ефремова В. И. Определение информационных взаимосвязей между процессами для оценки системы управления качеством. Збірник тез доповідей XLIV наук.-практ. конф. наук.-педагог. працівн., науков., аспір. та співроб. акад. (м. Харків, 17-18 лютого 2011 р.). Харків, 2011. С. 35.

81. Трищ Г. М. Особенности систем управления качеством предприятий, как объекта исследования. *Качество технологий – качество жизни*: сборник тезис. 4-ой междунар. науч.-практ. конф. (г. Харьков 15-19 сентября 2011 г.). Харьков, 2011. С. 64.

82. Горбенко Н. А.. Розробка методології оцінювання систем управління якістю підприємств з урахуванням вимог міжнародних стандартів: дис. … канд. техн. нау: 05.01.02. Харків, 2014. 165 с.

83. Горбенко Н. А. Оцінювання процесів систем управління якістю підприємств. *Технологический аудит и резервы производства*. 2013. № 5/5(13). С. 22-24.

84. Горбенко Н. А., Тріщ Г. М., Денисенко М. В., Катрич О. О. Особливості системи управління якістю підприємств з урахуванням вимог міжнародних стандартів. *Машинобудування*. 2013. Вип. 12. С. 77-82.

85. Горбенко Н. А., Тріщ Г. М., Катрич О. О. Оцінювання якості процесів систем управління якістю (СУЯ) підприємств згідно вимог міжнародних стандартів ISO серії 9000. *Машинобудування*. 2014. Вип. 13. С. 122-127.

86. Горбенко Н. А., Катрич О. О. Оценивание процессов системы менеджмента качества предприятий на соответствие требований международных стандартов серии ISO 9000. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*: *Механіко-технологічниі системи та комплекси*. 2014. № 40(1083). С. 20-25.

87. Катрич О. О. Розвиток кваліметричних методів оцінювання процесів систем управління якістю підприємств відповідно до вимог міжнародних стандартів: автореф. дис. …. канд. техн. наук: 05.01.02. Харків, 2015. 163 с.

88. Катрич О. О., Горбенко Н. А. , Тріщ Г. М. Оцінювання якості процесів систем управління якістю (СУЯ) підприємств згідно вимог міжнародних стандартів ISO серії 9000. *Машинобудування*. 2014. № 13. С. 122-127.

89. Катрич О. А. Прогнозирование процессов системы менеджмента качества. *Вісник Національного технічного університету „ХПІ”: збірник наукових праць. Серія: Механіко-технологічниі системи та комплекси*. 2015. № 21(1130). С. 170-175.

90. Yevstafeva E. O., Dyadyura K. A., Katrich O. A. Synergetic approach to the description of realization of the product at the stages of design, manufacturing and operation. *Системи обробки інформації: збірник наукових пра*ць. 2015. № 6 (131). С. 50-57.

91. Катрич О. О. Наукові підходи до оцінювання якості процесів. *Науковий журнал «Science Rise»*. 2015. № 4/2(9). С. 70-72.

92. Схема "Кількісне оцінювання якості об`єктів та процесів": пат. 30447 Україна: № s201500660; заявл. 08.05.2015; опубл. 29.05.2015, Бюл. № 18.

93. Схема «Оцінювання якості систем»: пат. 30446 Україна. № 2004042416; заявл. 08.05.2015; опубл. 29.05.2015, Бюл. № 18.

94. Черняк О. М. Удосконалення кваліметричних методів оцінювання безпеки та гігієни праці у виробничих приміщеннях: дис. канд. техн. наук: 05.01.02. Харків, 2019. 138 с.

95. Черняк О.М., Тріщ Р. М. Денисенко А. М. Методика оцінювання шкідливих чинників, які впливають на здоров'я робітників машинобудівного підприємства. *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях*. 2019. № 5 (1330). С. 70-76.

97. Черняк О. М., Денисенко А. М. Методика оцінювання шкідливих та небезпечних чинників, що впливають на здоров'я робітників промислового підприємства. *Проблеми та перспективи розвитку системи безпеки життєдіяльності*: зб. наук. праць XIV міжнар. наук.-практ. конф., (м. Львів, 28 – 29 березня 2019 р.). Львів, 2019. С. 334-336.

98. Черняк О. М. Кваліметричні методи оцінювання безпеки праці на машинобудівному підприємстві. *Управління якістю в освіті та промисловості: досвід, проблеми та перспективи*: тези доп. IV міжнар. наук.-практ. конф., (м. Львів, 16–17 травня 2019 р.). Львів, 2019. С. 146-147.

99. Денисенко А. М. Удосконалення кваліметричних методів оцінювання ризиків при забезпеченні якості виробів медичного призначення: дис. … канд. Техн.. наук: 05.01.02. Харків, 2019. 167 с.

100. Тріщ Р. М., Артюх С. М., Лис Ю. С. Оцінювання якості процесів при виготовленні виробів медичного призначення. *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях*. 2019. № 10 (1335). С. 63-78.

101. Денисенко А. М., Грінченко Г. С., Бурдейна В. М., Лис Ю. С. Методика управління ризиками для системи управління якістю при виготовленні виробів медичного призначення. *Системи управління, навігації та зв'язку.* 2019. №3 (55). С. 25-30.

102. Тріщ Р. М, Денисенко А.М. Кваліметричні методи оцінювання безпеки праці на машинобудівному підприємстві. *Управління якістю в освіті та промисловості: досвід, проблеми та перспективи*: тези доп. IV міжнар. наук. - практ. конф., (м. Львів, 16–17 травня 2019 р.). Львів, 2019. С. 141-142.

103. Кім Н. І. Удосконалення методів оцінювання якості об’єктів кваліметрії за рахунок ефективного використання статистичної інформації: дис. … канд. техн. наук: 05.01.02. Харків. 2017. 147 с.

104. Кім Н. І., Трищ Г. М., Денисенко А. Н. Квалиметрический подход к оцениванию качества процессов университета. *Системи управління, навігації та зв’язку*. 2015. № 3(35). С. 145-150.

105. Кім Н. І., Тріщ Р. М., Кіпоренко Г. С. Залежність між виміряними показниками якості об’єктів різної природи та їх оцінкою на безрозмірній шкалі. *Машинобудування*. 2016. № 18. С.145-149.

106. Ким Н. И., Трищ Р. М. Закономерности и рассеивания безразмерных показателей качества объектов различной природы. *Збірник наукових праць. Системи управління, навігації та зв’язку. Серія: Метрологія та вимірювальна техніка*. 2016. №4(40). С. 143 -145.

107. Трищ Р. М., Шиг М., Горбенко Н. А., Ким Н. И. Методология оценивания систем менеджмента качества предприятий с учетом требований международных стандартов: монография. Харьков. 2016. 130 с.

108. Кім Н. І., Горбенко Н. А. Критерії оцінювання систем управління якістю організацій на етапі проектування. *Системи розробки та постановки продукції на виробництво:* І міжнар. наук.-практ. конф., (м. Суми, 17-20 травня 2016 р.), Суми, 2016. С. 53-54.

109. Ким Н. И., Денисенко А. Н., Трищ А. Р. Квалиметрический подход к оцениванию качества объектов различной природы статистическими методами. *Системи управління, навігації та зв’язку. Серія: Метрологія та вимірювальна техніка*. 2017. № 4(44). С. 56 -59.

110. Кім Н., Тріщ Р. Закономірності розсіювання безрозмірних показників якості об'єктів різної природи. URL: http://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/17730/2299.pdf?sequence=3&isAllowed=y (дата звернення: 05.02.2023).

111. Тріщ Р. М. Розвиток наукових основ управління якістю в машинобудуванні в умовах обмеженої кількості інформації: дис. док. техн. наук: 05.01.02. Київ, 2007. 323 с.

112. Лапидус В. А. О принципах и мерах по применению статистических методов в рыночных условиях и отношениях. *Надежность и контроль качества*. 1994. № 4. С. 1-18.

113. Хэнсен Б. Л. Контроль качества. Теория и применение. Москва: Прогресс, 1968. 518с.

113. Григорович В. Г., Юдин С. В., Козлова Н. О., Шильдин В. В. Информационные методы в управлении качеством. Москва: РИА «Стандарты и качество», 2001. 208 с.

РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНІ ОБГРУНТУВАННЯ МЕТОДОЛОГІЇ ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ОБЄКТІВ КВАЛІМЕТРІЇ

Відомо, що у кваліметрії існує ряд завдань, які потребують постійного розвитку та удосконалення, а саме:

- який вид залежності між виміряними одиничними показниками якості та їх оцінкою, бажано на безрозмірній шкалі?

- як визначити вагомість одиничних показників якості?

- у який спосіб отримати узагальнений показник якості?

У даному розділі наукового дослідження розглядаються теоретичні основи та обґрунтування виду математичної залежності між виміряним значенням одиничного показника якості та його оцінкою за умови, що об’єкти кваліметрії мають різну природу. Також пропонується принципово новий математичний підхід до отримання узагальненого показника якості, який звільнений від недоліків існуючих методів, які базуються на усередненні даних.

2.1 Аналіз підходів до структурування характеристик та класифікації об’єктів кваліметрії

У фундаментальній монографії [1] наведено одну з найбільш повно обґрунтованих класифікацій показників якості продукції (таблиця 2.1).

Таблиця 2.1 – Основні групи та підгрупи показників якості продукції

Показники призначення

- класифікаційні показники
- показники функціональні і технічної ефективності
- конструктивні показники
- показники складу і структури

Показники надійності

- безвідмовності
- довговічності
- ремонтопридатності
- збережуваності

Естетичні показники

- інформаційної виразності
- раціональності форми
- цілісності композиції
- досконалості виробничого виконання і стабільності товарного вигляду

Показники технологічності

- трудомісткості
- матеріаломісткості (показники складу і структури)
- собівартості

Показники транспортабельності

- середня трудомісткість підготовки одиниці продукції до транспортування
- середня вартість пакування партії продукції в певну тару
- середня вартість перевезення одиниці продукції на 1 км певним транспортним засобом
- середня тривалість розвантаження

Показники уніфікації

- коефіцієнт використовуваності
- коефіцієнт повторюваності
- коефіцієнт взаємної уніфікації для груп виробів
- коефіцієнт уніфікації для групи виробів

Патентно-правові показники

- патентного захисту
- патентної чистоти

Екологічні показники

- вміст шкідливих домішок, що викидаються в навколишнє середовище
- ймовірність викидів шкідливих частинок, газів, випромінювань при зберіганні, транспортуванні, експлуатації або споживанні продукції
- наявність очисного обладнання

Показники безпеки

- ймовірність безпечної роботи людини протягом певного часу
- час зношування захисних пристроїв
- опір ізоляції електричних частин, з якими можливе зіткнення людини
- електрична міцність високовольтних мереж тощо

Економічні

- витрати на розроблення, виготовлення випробування пробних зразків
- собівартість виготовлення продукції
- витрати на витратні матеріали при експлуатації об'єктів

Щодо класифікації показників якості (ПЯ) послуг, то це питання належним чином до кінця є невивченим. Варто відзначити, що міжнародний досвід у визначенні вимог до якості послуг є досить обмеженим, і в порівнянні з матеріальними продуктами, деталізація його менша. Це пояснюється перевагою "невідчутних" і часто змінюваних властивостей у структурі послуг. Недостатність постійних та чітких критеріїв для оцінки властивостей послуг значно ускладнює процедури стандартизації - важливого елемента нормування та управління якістю [2]. Крім того, послуги можуть надаватись не лише людьми (лікарі, учителі, артисти), але й через відповідні рекреаційні місця - оточуюче середовище (наприклад, відпочинок у Карпатах), різні організації (оздоровчі спортивні групи, спілка мисливців та рибалок) та ідеї (платформа певної політичної організації). Тому міжнародний стандарт ISO 9004.2 включає вимоги до якості послуг, які складаються лише з таких груп показників:

Кількісні показники:

- Час очікування на надання послуги.
- Тривалість самої послуги.
- Характеристики використовуваного обладнання, інструментів і матеріалів.
- Надійність, точність та повнота надання послуги.
- Рівень безпеки.
- Рівень механізації та автоматизації.

Якісні показники:

- Ввічливість, чуйність та компетентність персоналу.
- Довіра до персоналу.
- Рівень майстерності персоналу.
- Комфортність та дизайн приміщення, де надається послуга.
- Ефективність комунікації між виконавцем та клієнтом.

Отже, класичні підходи до структурування ПЯ є неефективними і потребують застосування системного підходу до представлення об’єкта кваліметрії, який як і його складові виконує низку функцій.

Оцінка якості виробів, процесів та послуг завжди була важливою як для виробника, так і для споживача. Оскільки якість визначається як ступінь, до якої сукупність характеристик задовольняє вимоги [3], необхідно мати чіткий набір інструментів для визначення цих характеристик. Крім того, кінцевим результатом процесу оцінювання якості повинна бути кількісна оцінка, для чого доцільно використовувати показники якості, які представляють кількісні характеристики однієї або кількох властивостей продукції в певних умовах її створення, експлуатації або споживання [4].

Запропонована класифікація методів оцінювання показників якості (МОПЯ) [2]:

- за часом реалізації: оперативні та традиційні;
- за забезпеченням необхідного ступеня об’єктивності інформації про значення показника якості: об’єктивні та суб’єктивні;
- за сутністю: експериментальні, реєструвальні, розрахункові, експертні, соціологічні, органолептичні, комбіновані, текстологічні;
- за способом отримання кількісного значення показника якості: прямі та непрямі.

За сутністю реалізації методу оцінювання запропоновано класифікацію методів оцінювання, схема якої представлена на рисунку 2.1 [2].

Пропонується встановити ще одну класифікаційну ознаку для методів оцінювання показників якості, а саме – спосіб отримання кількісного значення показника якості, відповідно до якого поділити всі методи на прямі та непрямі. До прямих віднесемо експериментальний, органолептичний, реєстраційний, комбінаторний методи, до непрямих – експертний, соціологічний, розрахунковий та текстологічний методи, реалізація яких може здійснюватись на основі знань, отриманих раніше та зафіксованих у пам’яті чи документально [2].

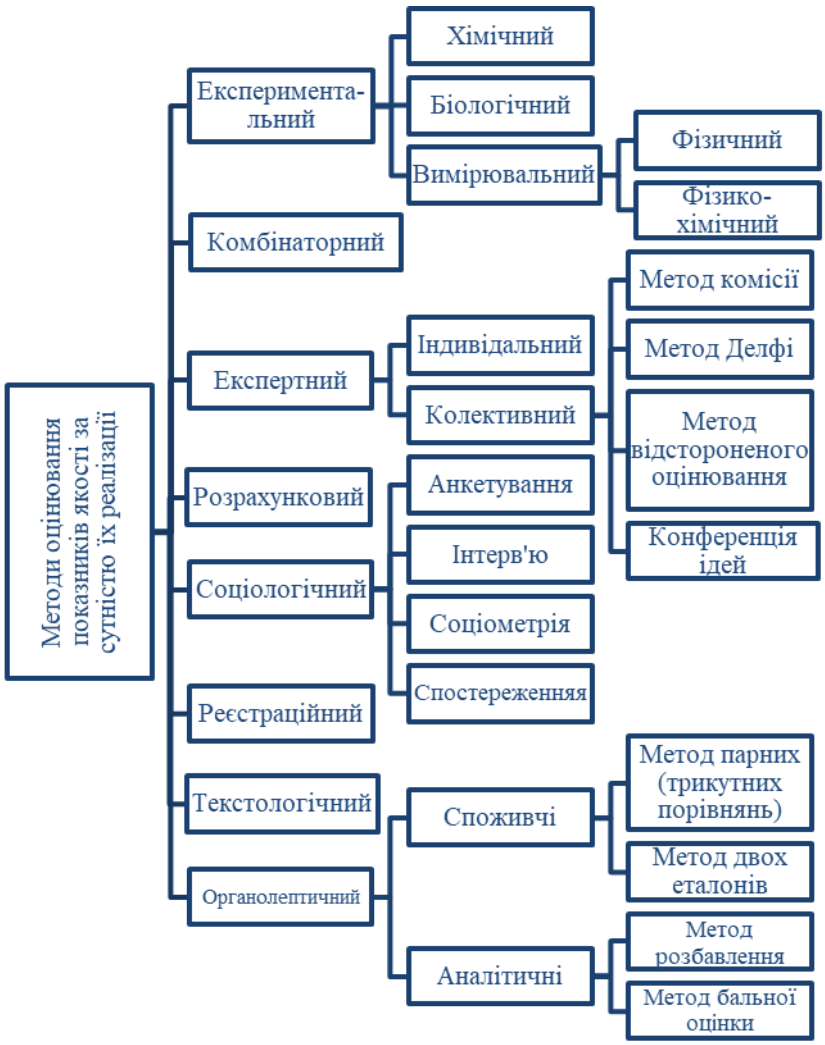


Рисунок 2.1 – Схема класифікації методів оцінювання показників якості за критерієм сутності їх реалізації

У науковій роботі [2] пропонується встановити ще одну класифікаційну ознаку для МОПЯ, а саме – спосіб отримання кількісного значення ПЯ, відповідно до якого поділити всі методи на прямі та непрямі. До прямих віднесемо експериментальний, органолептичний, реєстраційний, комбінаторний методи, до непрямих – експертний, соціологічний, розрахунковий та текстологічний методи, реалізація яких може здійснюватись на основі знань, отриманих раніше та зафіксованих у пам’яті чи документально.

Експериментальний метод є найпоширенішим у всіх галузях господарства. Особливо він має широке застосування в промисловості. В літературі його ще називають інструментальний метод, тобто такий, який, зазвичай, реалізується з

використанням технічних засобів (інструментів). Переваги такого методу полягають в тому, що він усуває суб’єктивні похибки, дає можливість автоматизувати процес контролю, забезпечує високу продуктивність та точність визначення показників якості. Експериментальний метод реалізується шляхом проведення вимірювальних операцій (реалізація виміювальних методів), або проведення хімічного чи біологічного експерименту.

Метод розрахунку ґрунтується на використанні інформації, отриманої шляхом застосування теоретичних або емпіричних залежностей. Цей метод широко використовується під час проектування продукції, коли продукт ще не може бути наданий експериментальним дослідженням або випробуванням. Він також використовується для визначення продуктивності, тривалості служби та ремонтоздатності об'єктів оцінки.

Експертний метод оцінювання використовується в тих випадках, коли неможливо або дуже важко застосувати методи об'єктивного визначення числових значень показників якості такими методами як вимірювальний, реєстраційний або розрахунковий. Експертний метод базується на використанні узагальненого досвіду й інтуїції фахівців-експертів. Результати загальної експертної оцінки якості продукції характеризуються невизначеністю та недостатньою обґрунтованістю. Така експертна оцінка є попередньою, обмеженою і приблизною у характеристиці якості оцінюваного об'єкта. На підставі такої експертної оцінки можливо не приймати важливі інженерно-технічні рішення. Проте варто відзначити, що експертний метод часто є єдиним можливим для оцінки багатьох показників якості технічних та інших продуктів і широко застосовується згідно з розробленими методиками. Експертні методи поділяються на індивідуальні та колективні, а також на підгрупи.

Індивідуальні експертні методи передбачають використання думок експертів, які формулюються кожним експертом самостійно, без урахування думок інших експертів. До індивідуальних експертних методів входять інтерв'ю та анкетування.

Метод інтерв'ю полягає в організації співбесіди аналітика з експертом, під час якої експерт відповідає на запитання аналітика. Метод анкетування (аналітичного експертного оцінювання) полягає у наданні експертом письмових відповідей на

запитання анкети. Проте цей метод має свої недоліки, зокрема, експерт може не зрозуміти запитання анкети або проявити суб'єктивність.

Основними перевагами індивідуальних методів експертної оцінки є простота організації процедури, зрозумілість, використання знань та досвіду кожного окремого експерта. Однак недоліком цих методів є обмеженість знань та інформації експертів у суміжних галузях діяльності.

З урахуванням цього, колективні експертні методи, які сприяють формуванню єдиної спільної думки через взаємодію залучених фахівців-експертів, набули ширшого поширення на практиці. Серед колективних методів експертної оцінки можна виділити метод комісії (включаючи проведення виробничих нарад, конференцій, семінарів, дискусій за "круглим столом"), методи Дельфі, відстороненого оцінювання та конференцію ідей.

Метод комісії полягає у розробці експертами оптимального варіанту досягнення поставленої мети з урахуванням всіх пропозицій та ідей, висловлених під час наради. Позитивним аспектом цього методу є можливість залучення фахівців із широким спектром знань у суміжних галузях науки та практики для експертизи. Проте, його недоліками є можливий суб'єктивізм, наявність стереотипів мислення та схильність експертів до компромісу.

Метод відстороненого оцінювання передбачає вибір оптимального незалежного рішення з числа пропозицій, що були висловлені експертами на нараді. Робота наради складається з двох етапів: висунення ідей та їх критичний аналіз.

Метод Дельфі є одним з колективних методів експертної оцінки, в якому проводиться експертне опитування серед групи спеціалістів у декілька турів (зазвичай 3-4 тури) з метою вибору найкращого рішення.За методом Дельфі учасникам пропонується висловлювати свої думки, обґрунтовувати їх, а на кожному наступному етапі опитування їм надається нова, уточнена інформація щодо висловлених думок, яку отримують в результаті обчислення збігу думок, виходячи з попередніх етапів роботи. Цей процес триває до практично повного збігу думок.

Конференція ідей подібна до мозкового штурму, але відрізняється від нього темпом проведення нарад та допустимою короткою та конструктивною критикою ідей у формі реплік та коментарів.

Соціологічний метод визначення показників якості ґрунтується на масових опитуваннях населення або окремих його соціальних груп, тобто осіб, які не є фахівцями в тій чи іншій галузі соціологічних досліджень. Опитування проводиться шляхом анкетування, голосування, інтерв'ювання, проведення виставок, конференцій і т.п. Соціометрія характеризується тим, що цей метод опитування спрямований на виявлення міжособистісних відносин шляхом реєстрації взаємних почуттів симпатії і неприязні між учасниками групи (наприклад, при оцінці студентської групи або іншого колективу). Спостереження - це систематичне та цілеспрямоване сприйняття явища або об'єкта, результати якого фіксуються дослідником у певній формі і після цього перевіряються та аналізуються. Реалізація соціологічних методів потребує науково обґрунтованих систем збирання та опрацьовування інформації з використанням прогресивних інформаційних технологій. За результатами використання методу формується суспільна думка про якість того чи іншого об'єкта оцінювання.

Органолептичні методи - це методи, що ґрунтуються на аналізі сприйняття людиною. Вони використовуються для оцінки якісних показників, які не можна виміряти за допомогою приладів або хімічних методів. Одним з різновидів органолептики є метод попарних порівнянь, під час реалізації якого дегустатору подають пари об'єктів, в яких одним об'єктом є оцінюваний, а інший – еталонний і відрізняються вони, як правило, лише одним показником. Представником аналітичної групи органолептичних методів є метод розбавлення, суть якого полягає в порівнянні показників якості досліджуваного об'єкта та зразка з відомими ПЯ. При цьому останній розбавляють то моменту, поки його властивості не зрівняються з властивостями оцінюваного об'єкта. Результат оцінювання формуватиметься на онові підрахунку кількості розбавлень. Органолептичний метод в історичному плані передував експериментальному, однак до цих пір не має достатньо розвинутої

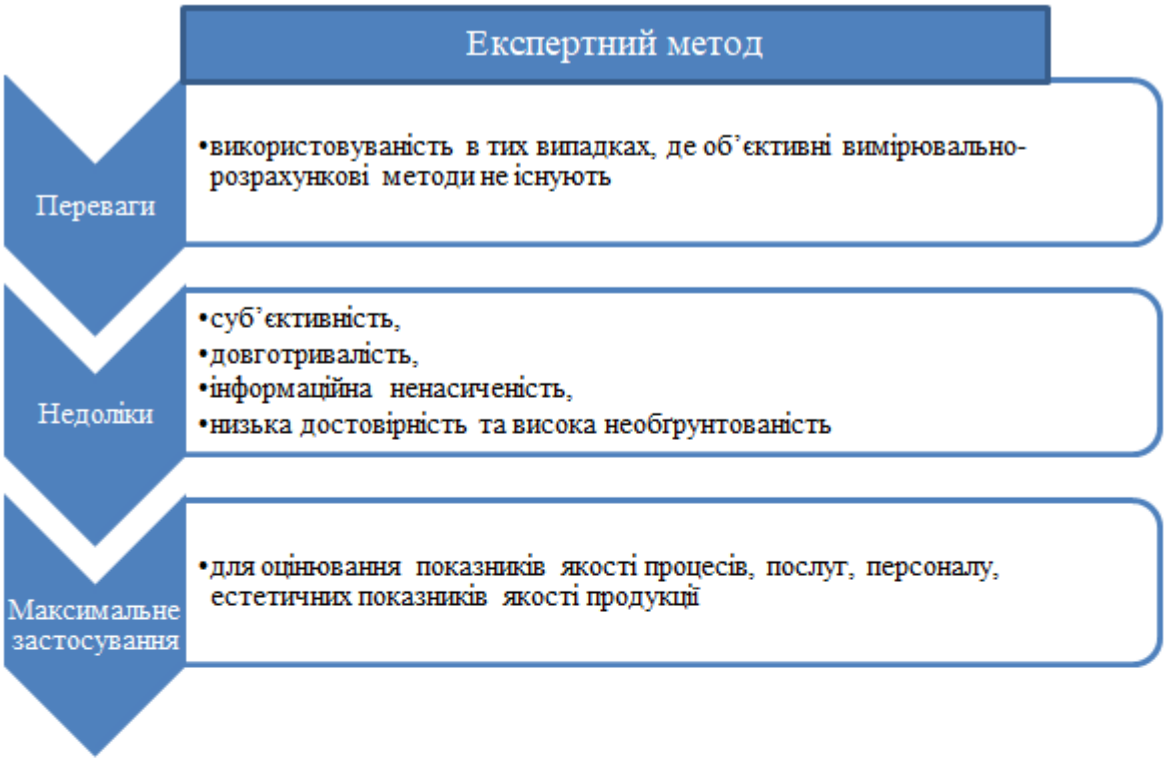
наукової бази. Широке застосування такі методи отримали в медицині, харчовій та парфумерній промисловості.

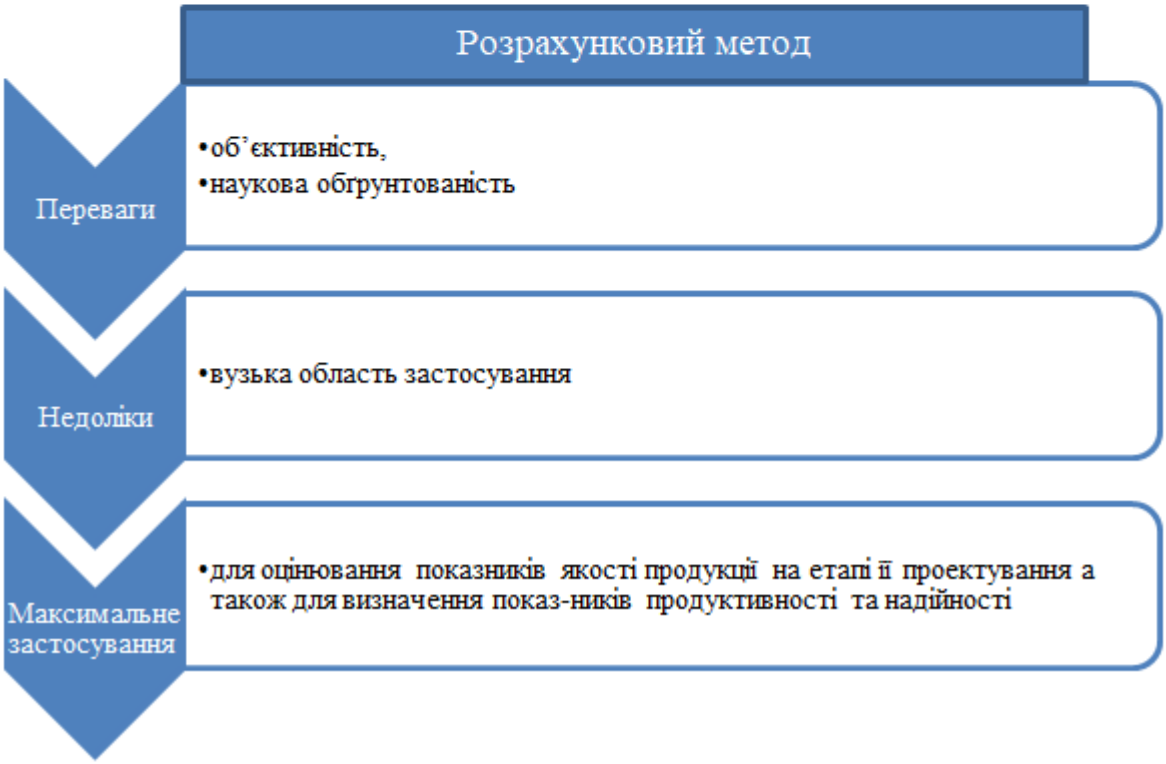
Реєстраційний метод є методом, що базується на використанні отриманої інформації шляхом підрахунку кількості подій, предметів або витрат. Наприклад, підраховується кількість відмов якогось технічного засобу (втрата працездатності), кількість одиниць виробленої продукції за певний проміжок часу і т.п. Цим методом визначають показники уніфікації, патентно-правові та ін.

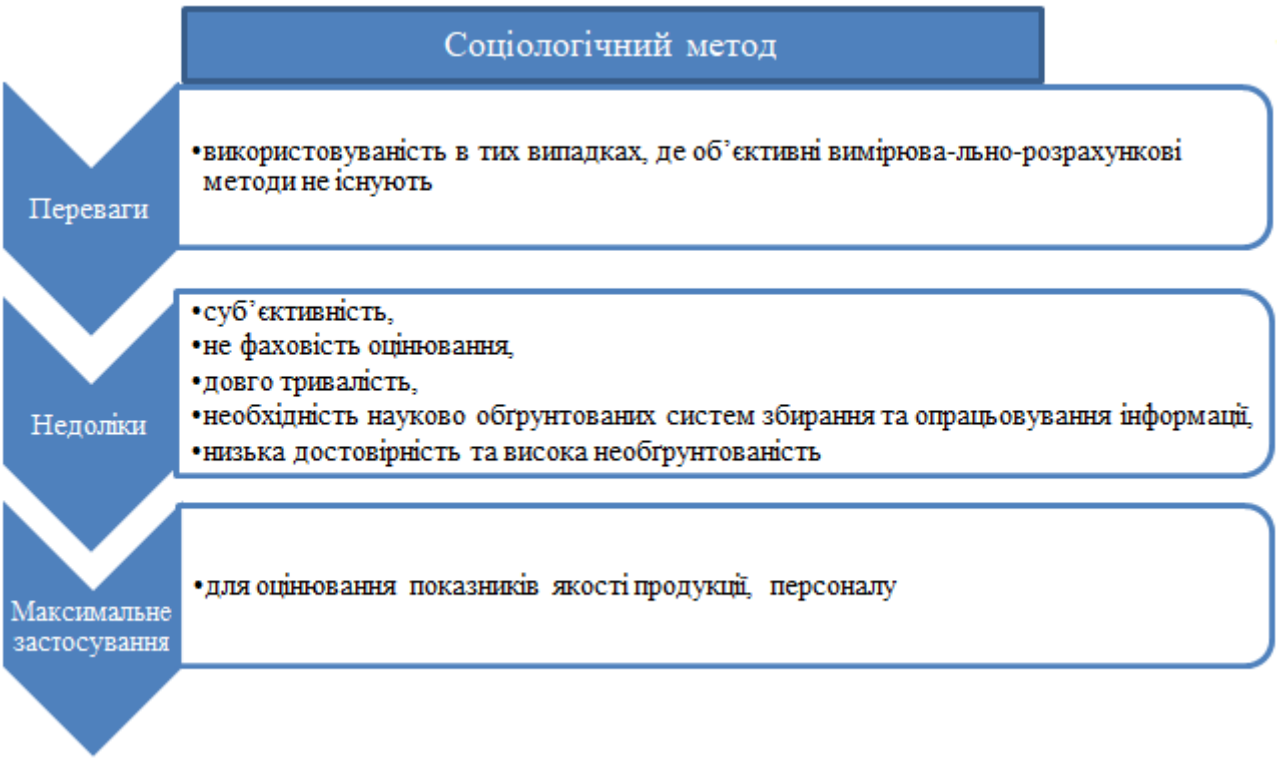
Комбінаторний метод – метод, який поєднує вимірювальний та органолептичний методи визначення показників якості.

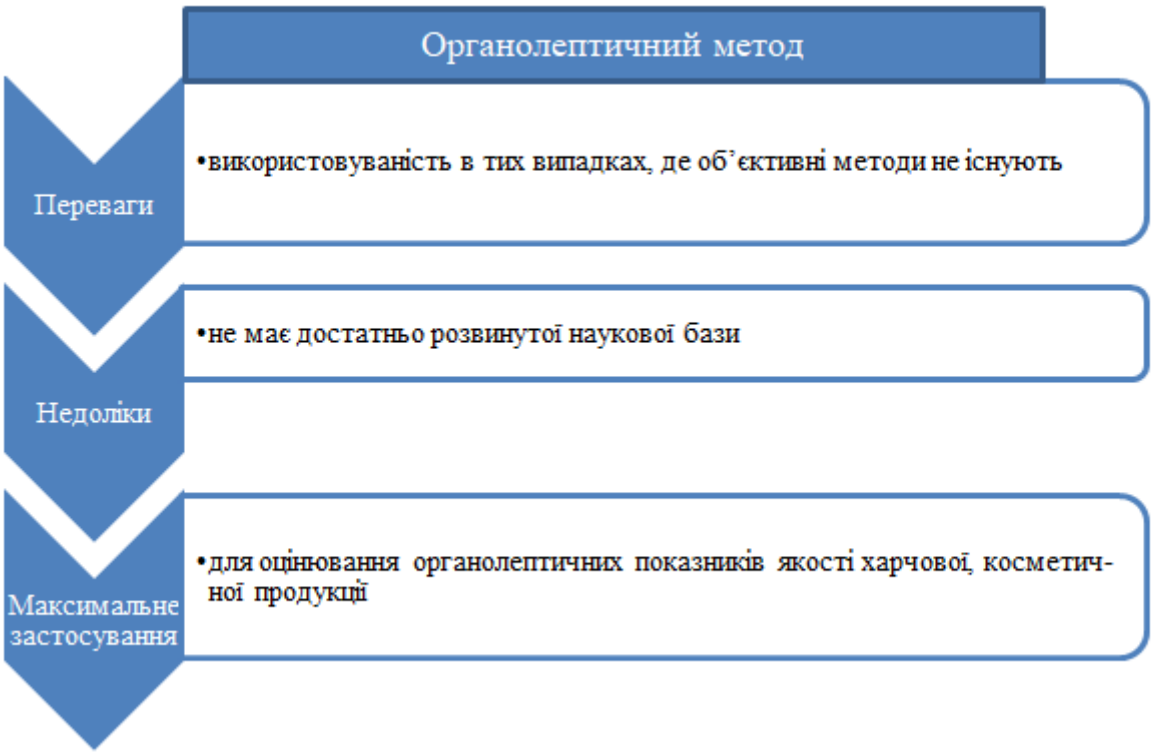
Текстологічний метод базується на тому, що інформація про значення показників якості отримується зі спеціалізованої літератури і з нормативної та експлуатаційної документації на об’єкт оцінювання.

Для використання вибору оптимального МОПЯ для конкретного об'єкта за встановлених умов, можна представити результати аналізу у вигляді рисунку 2.2. На цих схемах будуть порівнюватись методи за такими критеріальними ознаками, як переваги, недоліки та ступінь застосовуваності. Ці дані нададуть інформацію, яка допоможе вибрати найкращий МОПЯ для відповідного об'єкта, враховуючи встановлені умови.


Експертний метод
Переваги
•використовуваність в тих випадках, де об'єктивні вимірювально-розрахункові методи не існують
Недоліки
•суб'єктивність,
•довготривалість,
•інформаційна ненасиченість,
•низька достовірність та висока необґрунтованість
Максимальне застосування
•для оцінювання показників якості процесів, послуг, персоналу, естетичних показників якості продукції


Розрахунковий метод
Переваги
•об'єктивність,
•наукова обґрунтованість
Недоліки
•вузька область застосування
Максимальне застосування
•для оцінювання показників якості продукції на етапі її проектування а також для визначення показ-ників продуктивності та надійності


Соціологічний метод
Переваги
•використовуваність в тих випадках, де об'єктивні вимірюва-льно-розрахункові методи не існують
Недоліки
•суб'єктивність,
•не фаховість оцінювання,
•довго тривалість,
•необхідність науково обґрунтованих систем збирання та опрацьовування інформації,
•низька достовірність та висока необґрунтованість
Максимальне застосування
•для оцінювання показників якості продукції, персоналу


Органолептичний метод
Переваги
•використовуваність в тих випадках, де об'єктивні методи не існують
Недоліки
•не має достатньо розвинутої наукової бази
Максимальне застосування
•для оцінювання органолептичних показників якості харчової, косметич-ної продукції

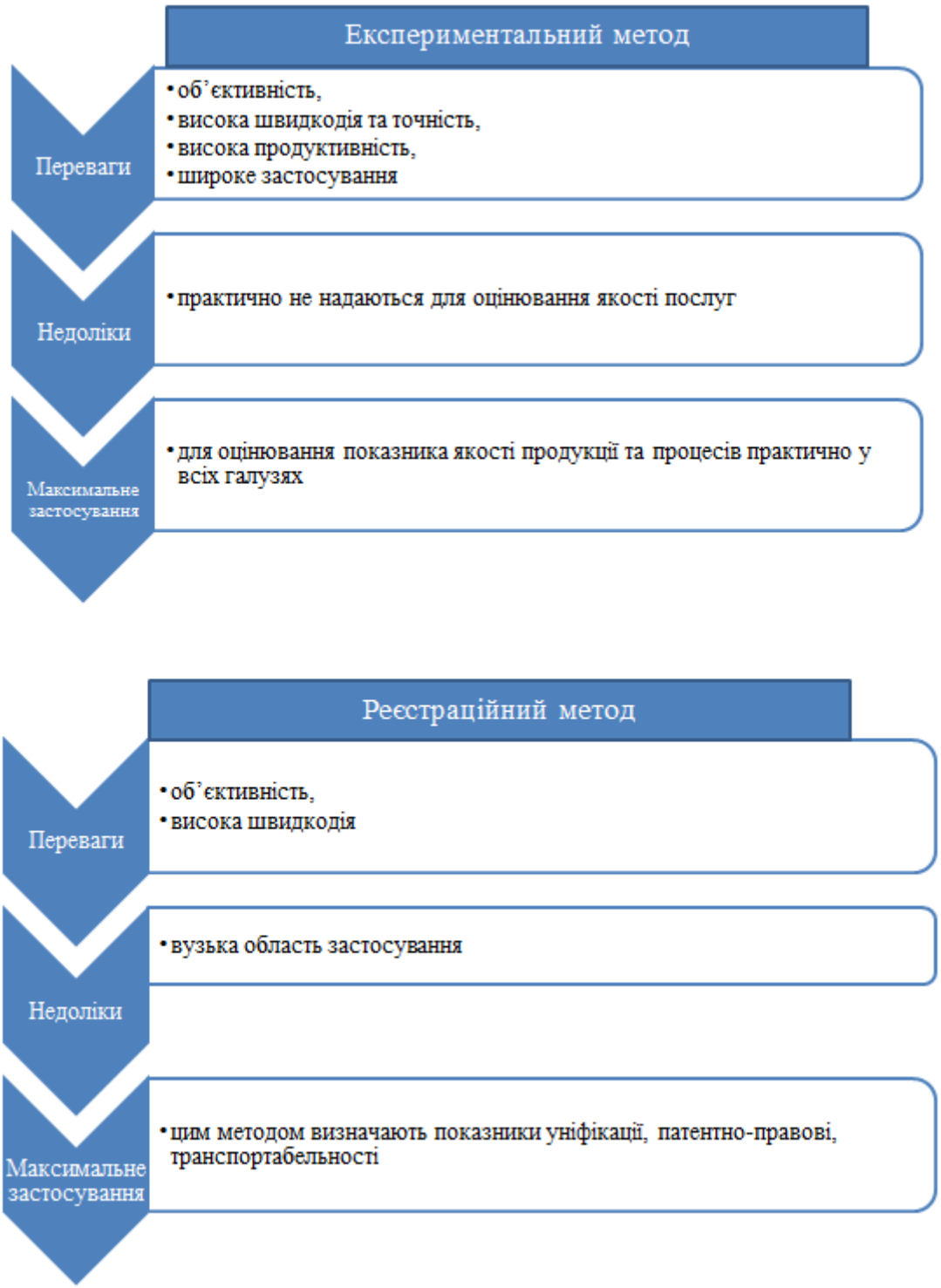
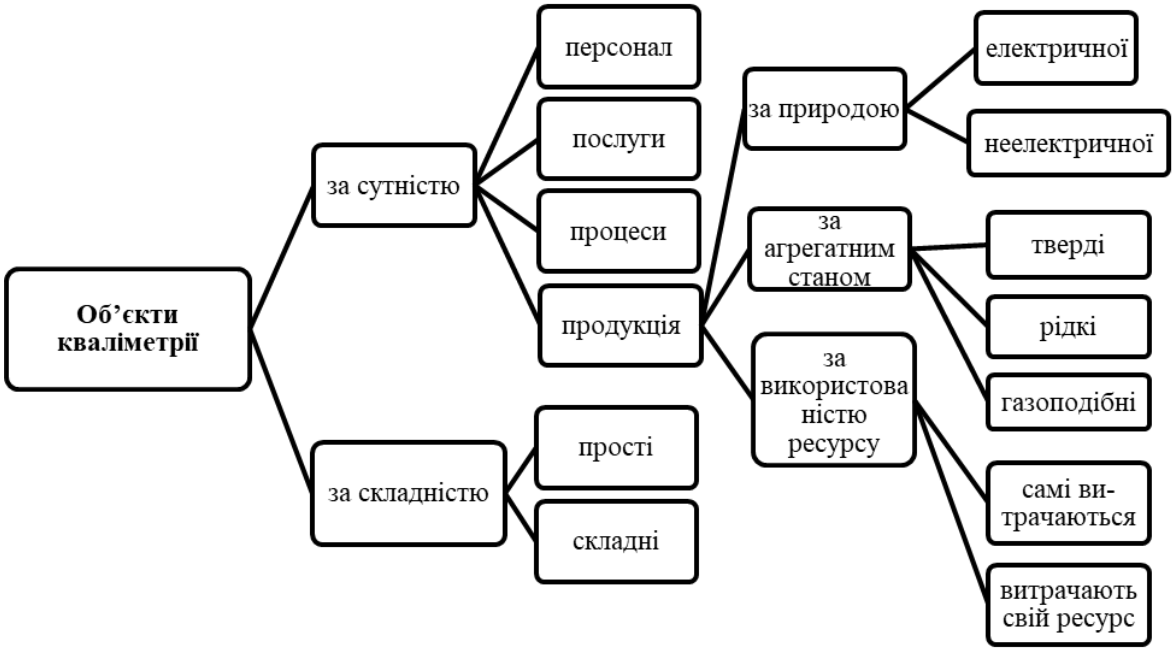
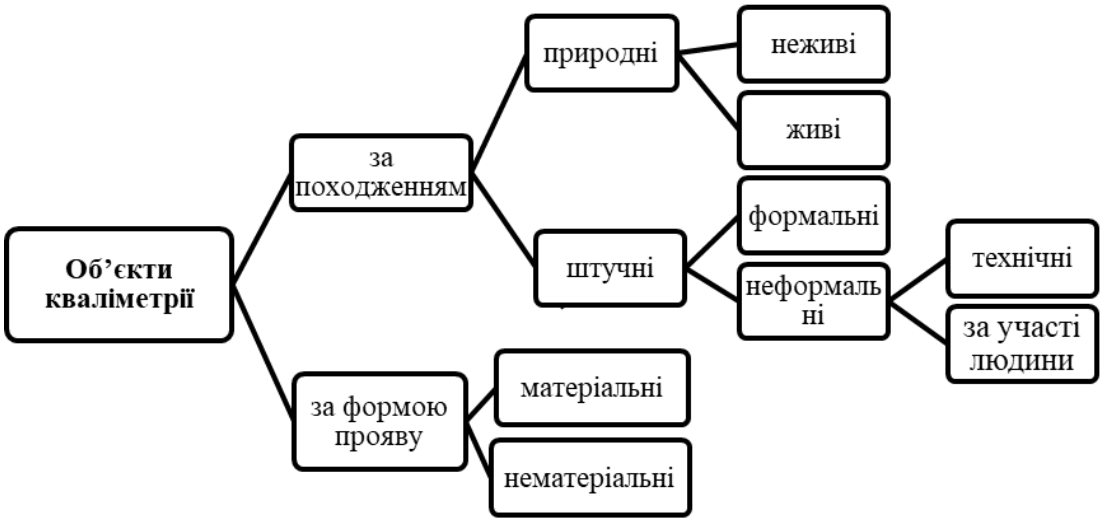


Рисунок 2.2 – Порівняння методів оцінювання показників якості

Варто зазначити, що в літературі зустрічаються класифікації лише продукції з точки зору кваліметрії та й те лише за одним критерієм [5, 6]. Слід пам'ятати, що

класифікаційну структуру, зображену на рисунку 2.3, можна розвивати глибше за потреби уточнення специфіки об’єктів кваліметрії.





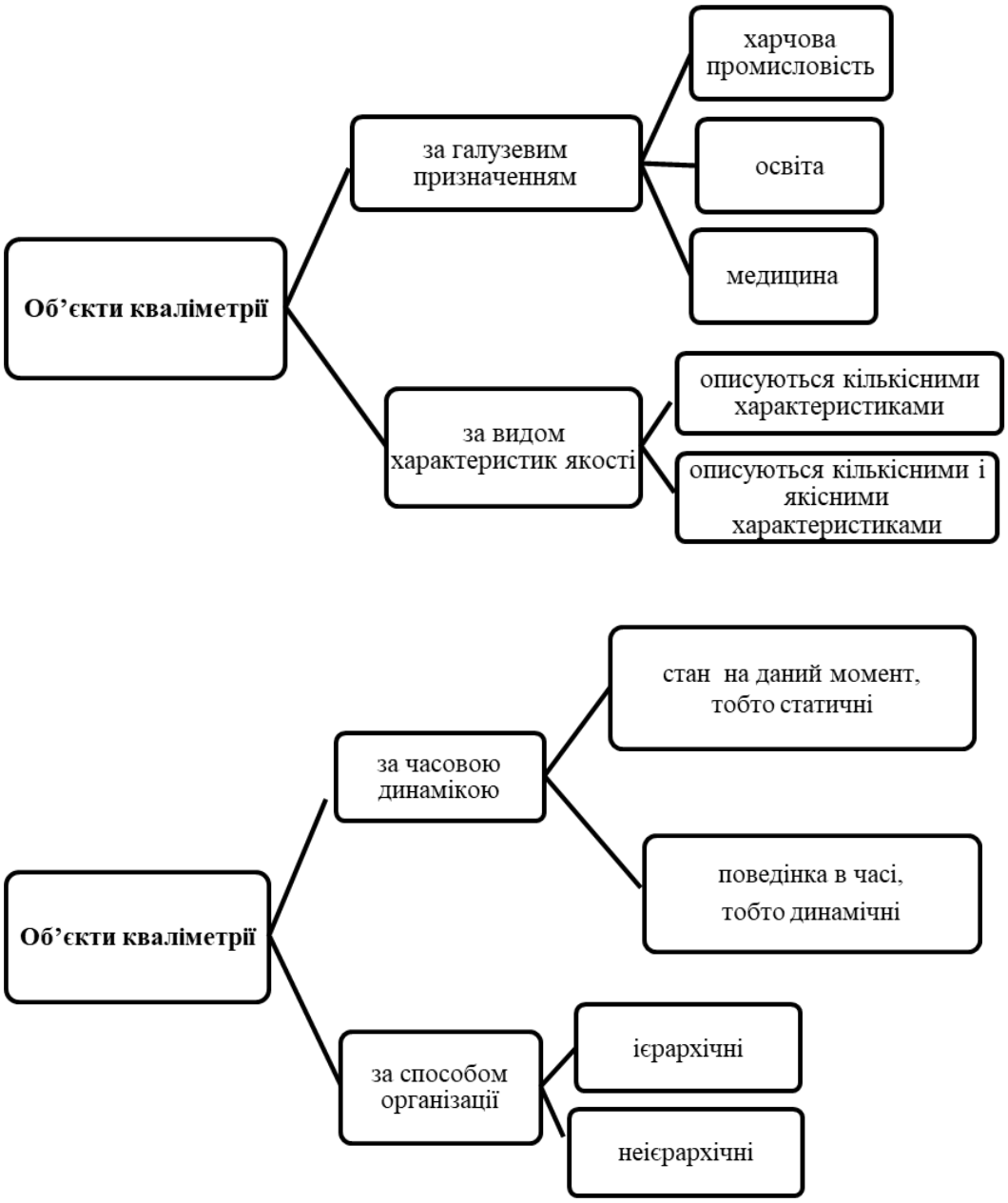


Рисунок 2.3 – Класифікація об’єктів кваліметрії

По-перше, за сутністю їх можна поділити на продукцію, послуги, процеси, персонал. В свою чергу, продукцію можна розмежувати за її природою на об’єкти електричної та неелектричної природи. До об’єктів електричної природи відносять елементи електричних кіл, а саме резистори, конденсатори, котушки індуктивності, тощо. До об’єктів неелектричної природи належать об’єкти довкілля (вода, ґрунти, повітря), продукти харчової, легкої, машинобудівної та інших галузей людської діяльності. За використовуваністю ресурсу продукцію можна поділити на таку, що

сама витрачається під час її використання (наприклад, матеріали, харчові продукти, косметика), та таку, що лише витрачає свій ресурс під час її використання (наприклад, меблі, прилади, інструменти). Виходячи з агрегатного стану продукції, її можна класифікувати, як тверді (сипкі), рідкі, та газоподібні, що мають свої особливості оцінювання показників якості. Варто також означити поділ об'єктів на одиничні (наприклад, продукт) та системи (наприклад, довкілля) (хоча такий поділ є відносним), а за формою прояву – матеріальні та нематеріальні. За аналогією можна класифікувати послуги та процеси. Крім цього, усі об'єкти кваліметрії можна поділити на такі, що характеризуються лише кількісними характеристиками (наприклад, деталі пристрою), та ті, що характеризуються як кількісними, так і якісними характеристиками (наприклад, пристрій).

За способом організації об'єкти оцінювання можна поділити на ієрархічні, структура елементів яких представляється деревом (до них належить більшість об'єктів оцінювання) та неієрархічні, структура яких представлена нечітко визначеною мережею (наприклад, поведінка природного живого об'єкта, розклад занять у навчальному закладі). Варто ввести в класифікаційну систему об'єктів кваліметрії такий критерій їх поділу, як «за походженням» [7]. З цього погляду об'єкти можна поділити на природні і штучні, що створені людиною, або є результатом її діяльності. В свою чергу, природні поділяються на живі та неживі, а об'єкти, створені людиною – на неформальні та формальні. Прикладом останніх може бути мова, математична система. Формальні технічні – це об'єкти, створені людиною, що мають конкретну програмовану ціль. Формальні з участю людини – об'єкт-система, до складу якої входить особа, яка підпорядкована меті технічної чи соціальної складової (наприклад, водій автомобіля, пілот літака, керівник організації). Оскільки в роботі пропонується фаховий підхід до оцінювання якості, то їх неодмінно потрібно класифікувати і за галузевим призначенням, оскільки цей критерій є чи не одним з визначних під час формування номенклатури показників якості та вибору методів їх визначення.

Це не повна класифікація методів оцінювання показників якості, але достатня, щоби показати важливість та різноманітність наукових завдань, які необхідно вирішувати у науковому сенсі при оцінювання якості об’єктів кваліметрії.

Судячи з широкої класифікації об’єктів кваліметрії (рисунок 2.2) та значного набору методів оцінювання (рисунок 2.3) зрозуміло, що для розроблення методології оцінювання якості потрібно проведення наукових досліджень щодо структуризації методів та методик, які би задовольняли дослідника та споживача.

2.2 Теоретичне обґрунтування застосування нелінійних функціональних залежностей

Як відомо, існує велика кількість факторів, які впливають на об'єкти кваліметрії, тому комплексний показник їх якості складається з багатьох критеріїв. Для розуміння цього комплексного показника якості кожного об'єкта необхідно застосовувати багатокритеріальні оцінки.

Для багатокритеріального оцінювання якості об'єктів кваліметрії потрібно перетворити різні розмірності показників якості на безрозмірну шкалу. Це дозволить об'єднати всі безрозмірні оцінки в одну систему, що збільшить обсяг інформації про стан системи та забезпечить більш ефективну обробку цієї інформації.

Існують методики перетворення різнорозмірних показників якості на безрозмірну шкалу з використанням математичних залежностей, які дають кількісне значення якості оцінюваного об'єкта або процесу. Ці залежності встановлюють певний зв'язок між вимірюваним значенням показника якості та його оцінкою. Однак розробка достатньо об'єктивних математичних залежностей є складним завданням, яке вимагає глибокого та всебічного дослідження об'єкта. Такі залежності дозволять отримувати результати з прийнятною точністю [8-13].

Одна з проблем при такому оцінюванні полягає у тому, що більшість існуючих методик використовують наближені формули, які лише в обмеженій мірі відображають основні закономірності процесу оцінювання якості. Проте немає іншого виходу. У своєму аналізі такого підходу, Е. С. Вентцель [14] називає використовувані математичні моделі довільними, але вважає, що це краще, ніж

взагалі не мати жодних залежностей. Він стверджує, що будь-яка залежність - це просто "зручне погодження сторін".

У першому розділі дисертації були представлені різні залежності для оцінки окремих показників якості різних об'єктів. Однак розробка таких залежностей для всіх об'єктів кваліметрії неможлива через нескінченну кількість об'єктів і постійні зміни їх показників. Крім того, методи оцінювання якості, алгоритми і методики є різними. Тому необхідно мати єдиний метод оцінки якості об'єктів кваліметрії, який включатиме єдину залежність між різнорозмірними показниками якості та безрозмірною шкалою оцінювання і враховуватиме їх вплив на якість продукції.

При розробці цього методу доцільно враховувати такі принципи:

1. Зменшити кількість залежностей, щоб уникнути ускладнення практичного застосування методу. Бажано мати оптимальну кількість залежностей або одну універсальну, яка може бути застосована для оцінювання групи показників якості об'єктів кваліметрії.

2. Неможливо мати єдину залежність, оскільки різнорідні показники якості об'єктів кваліметрії мають різні вимоги. Тому потрібно мати набір залежностей, які достатньо точно описують зв'язок між різними розмірностями показників і безрозмірною шкалою оцінювання для будь-якої групи показників якості об'єктів кваліметрії.

3. Кожна залежність повинна мати аналітичний опис, який дозволяє змінювати відповідність між залежністю і оцінкою для конкретного показника якості об'єктів кваліметрії.

У першому розділі дисертації цей підхід розглядається на кількох прикладах. Ці приклади демонструють, що розробка моделей для оцінювання основних показників різних об'єктів може бути цікавою з точки зору можливості групування і класифікації показників якості за типами залежностей. На наступному етапі дослідження можливим є стандартизація залежностей і змінних параметрів у формулах, що їх описують. Це спростить роботу з оцінюванням показників якості процесів.

Після аналізу можна зробити висновок, що для кількісного оцінювання якості різноманітних об'єктів кваліметрії з різнорідними показниками якості необхідно розробити єдину уніфіковану систему залежностей. Ця система повинна бути застосовною до будь-яких об'єктів, незалежно від їх різноманітності, складності та впливу на кінцевий продукт.

Математичною базою для залежностей, які були розглянуті у першому розділі дисертації, є теорія екстремальних статистик. Екстремальні статистики входять до теорії порядкових статистик. Якщо ми маємо вибірку об'ємом n (де n - множина незалежних та однаково розподілених випадкових величин) з генеральної сукупності, яка має розподіл F, то упорядковані значення цієї вибірки, позначені як X(1), X(2), ..., X(n), називаються порядковими статистиками для даної вибірки.

У звичайних вибірках ентропія відрізняється від нуля, але для порядкових статистик вона дорівнює нулю, оскільки вони впорядковані. Таким чином, впорядкування вибірки X надає додаткову інформацію про процес при такому ж об'ємі вибірки. Це робить застосування порядкових статистик більш ефективним для практичних задач. Більшість додаткової інформації отримують шляхом ускладнення залежностей, що описують статистичні оцінки, а також через взаємозв'язок між порядковими статистиками.

Розглянемо вибірку випадкових величин одиничних показників якості об’єкту кваліметрії об’ємом n. Пронумеруємо значення у вибірці в порядку зростання їх величини $x_{(1)}, x_{(2)}, ..., x_{(n)}$. Зокрема, найменшим значенням буде $x_{(1)}$. Отримане після перенумерації i-е значення $x_{(i)}$ називається i-ю порядковою статистикою. В цьому сенсі медіана і квантіль є порядковими статистиками (медіана, наприклад, дорівнює $\frac{1}{2}(n+1)$-му спостереженню, або середньому значенню $\frac{1}{2}n$-го і $\frac{1}{2}(n+1)$-го спостереження). Порядковими статистиками є також найменше ($i=1$) і найбільше ($i=n$) значення у вибірці. Різниця $R = x_{(n)} - x_{(1)}$ називається розмахом вибірки.

Дія упорядкування вибірки називається ранжуванням. Вибірка з однаковими елементами може бути отримана в експерименті різними методами, залежно від порядку, у якому елементи проходяться. Якщо експеримент правильно спланований, всі можливі реалізації є рівноймовірними, і з ймовірністю $1/n!$ може виявитися вибірка, яка вже має упорядковану форму. Навіть для невеликих об'ємів вибірки, ця ймовірність є дуже малою. Таким чином, операція упорядкування перетворює ранжувальну вибірку на унікальний об'єкт.

Одна з особливостей ранжувальної вибірки є те, що її можна кількісно оцінити за допомогою загальноприйнятої міри - ентропії. Ранжувальна вибірка має ентропію рівну нулю, оскільки упорядкована. Зменшення ентропії відбувається під час упорядкування. Зменшення ентропії системи відбувається шляхом введення нової інформації, при чому це зменшення відповідає кількості поданої інформації. Тому упорядкування вибірки сприяє накопиченню більшої кількості інформації.

Отже, зробивши підсумок, можна висловити висновок, що теорія екстремальних статистик може послужити науковою основою для створення системи залежностей між окремими показниками якості та безрозмірною шкалою оцінювання. Це надасть можливість розробити методи та методики оцінки якості об'єктів кваліметрії.

Вважається, що оцінка якості не може бути представлена лише одним числом, оскільки не враховуються похибки методології, вимірювання та самої залежності. Тому, крім точкової оцінки, для будь-якого об'єкта необхідно мати інтервальну оцінку, яка вказує на діапазон, в якому можлива шукана оцінка. Цей інтервал оцінки повинен бути неоднорідним, залежно від значень показника якості. Для розв'язання цього завдання була вивчена теорія порядкових статистик, зокрема, асимптотичних розподілів екстремальних значень. Розглянемо застосування цієї теорії в контексті розвитку кваліметрії.

Згідно з теорією порядкових статистик, якщо розглядати показник якості як випадкову величину, то його розподіл є симетричним відносно медіани, якщо:

$$F(-x) = 1 - F(x); \qquad f(-x) = f(x) \tag{2.1}$$

де $F(x)$- статистичний розподіл показника якості, як випадкової величини генеральної сукупності, а $f(x) = \acute{F}(x)$- густина розподілу.

В теорії порядкових статистик, формула (2.1) вводиться, як узагальнення поняття симетрії двох розподілів випадкової величини:

$$F_1(-x) = 1 - F_2(x); \qquad f_1(-x) = f_2(x) \tag{2.2}$$

Якщо вихідний розподіл є симетричним, то екстремальні значення розподілені взаємно симетрично. Це означає, що знаючи розподіл найбільшого значення, можна вивести розподіл найменшого значення.

Так як всі спостереження незалежні, то ймовірність того, що всі n елементів вибірки із сукупності з відомою функцією розподілу F(x) виявляться меншими за деяке значення x, дорівнює $[F(x)]^n$. Таку ж можливість Fn(x) має найбільше серед n незалежних спостережень, тобто.

$$Fn(x) = [F(x)]^n \tag{2.3}$$

Відповідно до рівняння (2.3), функцію розподілу найбільшого значення, Fn(x), можна представити у такій формі:

$$Fn(x) = e^{nlnF(x)} \tag{2.4}$$

При наближенні n до нескінченності, функція розподілу F(x) збігається до одиниці, незалежно від конкретного розподілу. Це означає, що значення Fn(x) визначається тим, наскільки швидко F(x) зближується до одиниці. Для отримання асимптотичного виразу для екстремальних значень, потрібно зробити припущення про асимптотичні властивості вихідного розподілу. Існування асимптотичних виразів пов'язане з деякими умовами. Якщо ці умови не виконуються, то не існує асимптотичного розподілу екстремальних значень для даного вихідного розподілу.

Асимптотична теорія екстремальних значень базується на двох принципах [10]. Перший принцип ґрунтується на асимптотичних властивостях хвостів вихідного розподілу і вирішує питання про збіжність розподілу найбільшого значення до певного виразу. Другий принцип стверджує стійкість, тобто те, що найбільші значення вибірки обсягом n з сукупності найбільших значень розподілені так само, як і ця сукупність, за можливого лінійного перетворення змінної.

Згідно другого принципу, математиком Гнеденком [11] було доведено, що клас граничних розподілів для найбільшого значення вибірки включає тільки закони трьох типів:

$$F_1(x) = \exp(-\exp(-x)) \qquad (-\infty < x < \infty) \tag{2.5}$$

$$F(x) = \begin{cases} 0 \quad , якщо\ x \le 0, \alpha > 0 \\ \\ \exp[-(-x)^{\alpha}\ ], якщо\ x > 0 \end{cases} \tag{2.6}$$

$$F(x) = \begin{cases} \exp[-(-x)^{\alpha}\ ], якщо\ x \le 0, \alpha > 0. \\ \\ 1 \quad , якщо\ x > 0. \end{cases} \tag{2.7}$$

У [15] викладені умови, які є необхідними і достатніми для того, щоб вихідні розподіли збігалися до одного з трьох асимптотичних типів. Розподіли першого типу (2.5) включають нормальний, експоненційний, логарифмічний, логістичний, гамма-розподіл та інші. Якщо ймовірність P(x) = 1 - F(x), де F(x) - функція розподілу, що означає ймовірність того, що спостереження перевищить значення x, зменшується не повільніше, ніж експоненційна функція e-x, то такий розподіл вважається розподілом експоненційного типу. Усі розподіли, перераховані вище, є прикладами розподілів експоненційного типу.

Для отримання трьох асимптотичних розподілів найменшого значення достатньо застосувати принцип симетрії та три типи асимптотичних розподілів

найбільших значень. Таким чином, асимптотичний розподіл найменшого значення першого типу може бути виражений наступним чином:

$$F(x) = 1 - \exp(-\exp(x)) \tag{2.8}$$

Першому типу асимптотичного розподілу найменшого значення (2.5) відповідають найменші значення нормального, логістичного та інших необмежених зліва розподілів, які задовольняють умовам теореми Гнеденка. Це означає, що обидва екстремальні країв нормального, логістичного та інших необмежених зліва та справа розподілів підпорядковуються першому типу.

Важливо відмітити, що одна й та сама функція розподілу може мати різні типи асимптотичних розподілів для області найменших і найбільших значень. Проте існує клас функцій, для яких екстремальні значення мають асимптотичний розподіл першого типу.

Цікавим фактом є те, що перший граничний розподіл екстремальних значень можна лінійно перетворити на вираз без параметрів. Цього не можна зробити для розподілу другого та третього типу. Тому розподіл першого типу, який має нормалізовану форму (2.5) без параметрів, часто використовується для перетворення значень показника якості в його ймовірності, що відображає якість об'єкта. Проте формула (2.5) передбачає, що маємо найбільше значення вимірюваної величини, тобто всі значення занижені. Це припущення встановлює нижню межу для оцінки якості об'єктів кваліметрії, які мають експоненційний розподіл.

Графічне зображення розподілу першого типу наведено на рисунку 2.4.

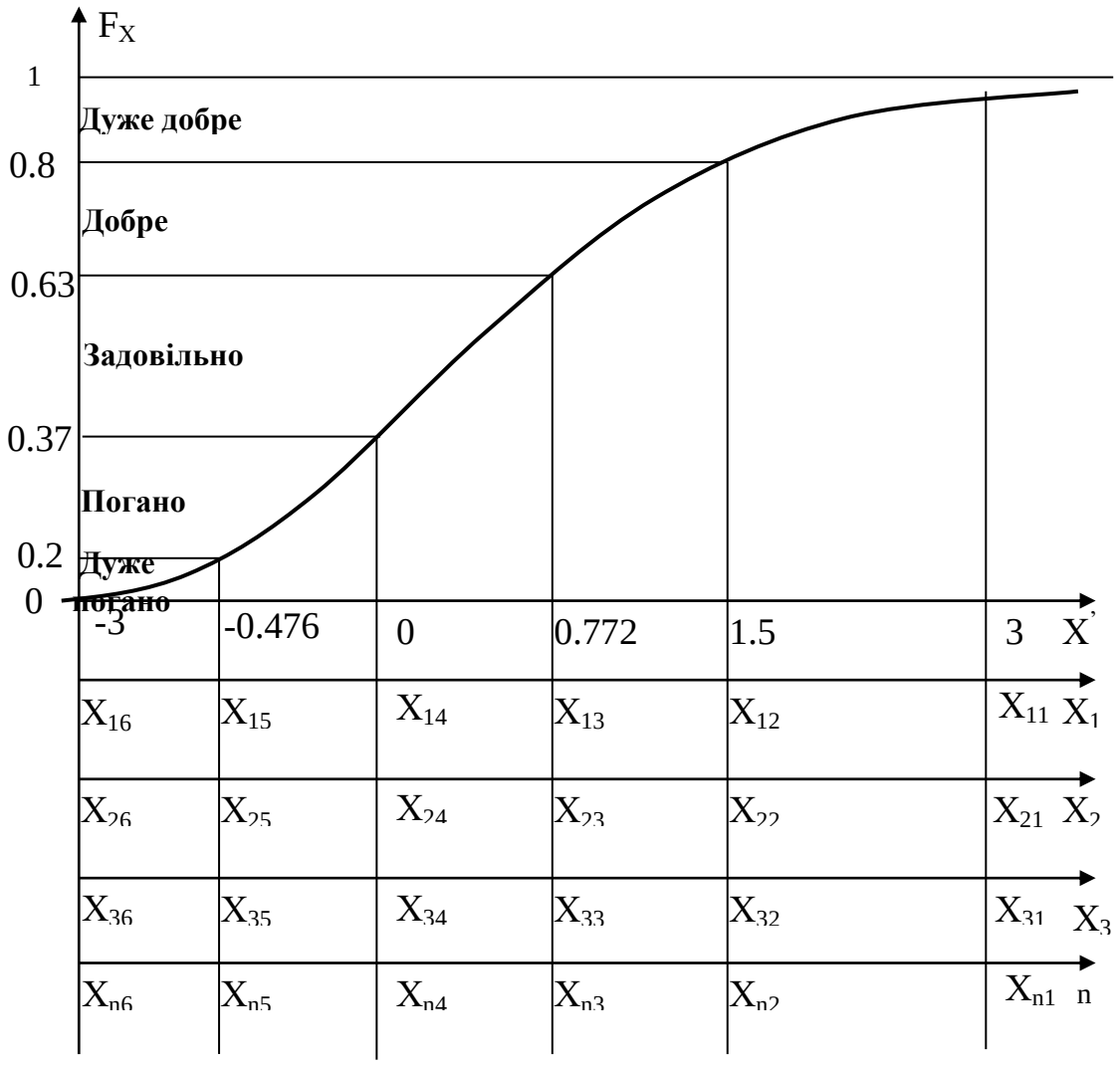


Рисунок 2.4 – Графічний вид розподілу першого типу (2.5)

Розглянемо переваги та недоліки залежності (2.5). Форма цієї залежності, яка є експоненційною, відповідає принципам і теорії кваліметрії. Основна ідея полягає в тому, що швидкість зміни оцінок одиничних показників якості відрізняється на різних інтервалах розсіювання їх дійсних значень. З іншими словами, на крайніх значеннях поля допуску одиничних показників якості швидкість зміни оцінок не має великого значення.

Для прикладу, розглянемо оцінку якості харчового продукту, де одиничним показником якості є строк зберігання, обмежений 24 годинами. Якщо продукт зберігається лише 1 або 2 години, споживачу не так важливо оцінювати його безпечність. У цьому випадку буде зрозуміло, що продукт має максимально високу

якість за критерієм зберігання. Отримана оцінка буде відрізнятися на 0,01 на безрозмірній шкалі, а якість продукту буде лежати у діапазоні 0,98 – 0,99.

Таким чином, використання залежності (2.5) демонструє переваги та відповідність принципам кваліметрії, але також має свої недоліки, про які ми поговоримо надалі. Якщо продукт зберігається протягом 23 або 24 годин, споживачу буде зрозуміло, що він має низьку якість за критерієм зберігання. В такому випадку йому буде присвоєна оцінка, яка відрізнятиметься на 0,01 на безрозмірній шкалі, і якість продукту буде знаходитись у діапазоні 0,01 – 0,02.

У разі, якщо продукт зберігається протягом 12 або 13 годин, споживачу буде зрозуміло, що він має середню якість за критерієм зберігання. В такому випадку йому буде присвоєна оцінка, яка відрізнятиметься на 0,2 на безрозмірній шкалі, і якість продукту буде знаходитись у діапазоні 0,4 - 0,6.

Поданий приклад демонструє нелінійний характер отримання оцінок одиничних показників якості на безрозмірній шкалі, використовуючи залежність, яка відповідає теорії оцінювання якості.

Серед недоліків можна виділити наступні характеристики.

По-перше, зазначена математична залежність (2.5) має шкалу OX, яка змінюється від -3 до 3, але точки переходу між діапазонами не розташовані рівномірно: -3, -476, 0, 0,772, 1,5, 3. Ця шкала наглядно представлена на рисунку 2.4. Оскільки поле допуску одиничних показників якості можна розділити на рівні частини для отримання рівномірної шкали, в даному випадку ці шкали несумісні. Тому шкалу OX можна назвати проміжною. Для вирішення цієї проблеми можна застосовувати експертні оцінки або процедуру ділення відрізка у заданих пропорціях, що вимагає спеціальних знань, додаткових розрахунків, часу та фінансових витрат.

Розглянемо процедуру ділення відрізка у заданих пропорціях. Можна визначити безрозмірну шкалу в діапазоні від нуля до одиниці з кроком 0,1. За допомогою цієї безрозмірної шкали оцінювання і обраної залежності (наприклад, залежності $F_1(x)$) можна побудувати проміжну шкалу.

$$x = -\ln\left(\ln\left(\frac{1}{F_x}\right)\right), \tag{2.9}$$

де F_x змінюється від 0 до 1 з кроком 0,1.

Значення на безрозмірній шкалі оцінювання і відповідно на проміжній подані в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Відповідність безрозмірної і проміжної шкал оцінювання

$F(x)$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
x	-3	-0,834	-0,476	-0,187	0,087	0,366	0,67	1,03	1,5	2,25	3

Як видно з рисунка 2.4, один і той же процес може бути оцінений за допомогою однієї з п'яти залежностей, і, незважаючи на те, що вони мають загальний вигляд, ці залежності призведуть до різних оцінок. Наприклад, якщо показник якості процесу знаходиться на середньому значенні, як показано лінією на рисунку, то в залежності від обраної функції будуть отримані різні оцінки якості на безрозмірній шкалі. Якщо застосувати залежність F_1, оцінка показника якості буде дорівнювати 0,37; F_2 – 0,43; F_3 – 0,5; F_4 – 0,56; F_5 – 0,63. Різниця (інтервал) між найбільшою і найменшою оцінкою показника якості буде дорівнювати: $H = F_5 - F_1 = 0{,}63 - 0{,}37 = 0{,}26$

По-друге, якщо маємо більше одного одиничного показника, то необхідно проводити окрему процедуру оцінювання для кожного з них, що додатково ускладнює процес оцінювання.

По-третє, застосування таких залежностей ускладнює автоматизацію процесу оцінювання, оскільки потребує створення спеціального програмного забезпечення з участю якісних та ІТ фахівців.

Перераховані недоліки утруднюють, а іноді навіть унеможливлюють використання залежностей (2.5), (2.8) та (2.9) на практиці для оцінювання якості об'єктів кваліметрії, незалежно від їх природи. Тому актуальною задачею є пошук нових залежностей, які матимуть експоненціальний вигляд та будуть позбавлені перелічених недоліків.

2.3 Застосування функції помилок для оцінювання якості об’єктів кваліметрії

Запропоновано дослідити та використати функцію помилок для отримання безрозмірних оцінок для одиничних розмірних показників якості. Функція помилок є складною та застосовується в математичній фізиці та математичній статистиці для вирішення практичних завдань. Розвиток комп'ютерної техніки останнім часом дозволив ширше використання функції помилок. Форма функції помилок подана у вигляді [16].

$$erf(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt \qquad (2.10)$$

Графічний вид функції помилок представлено на рисунку 2.5.

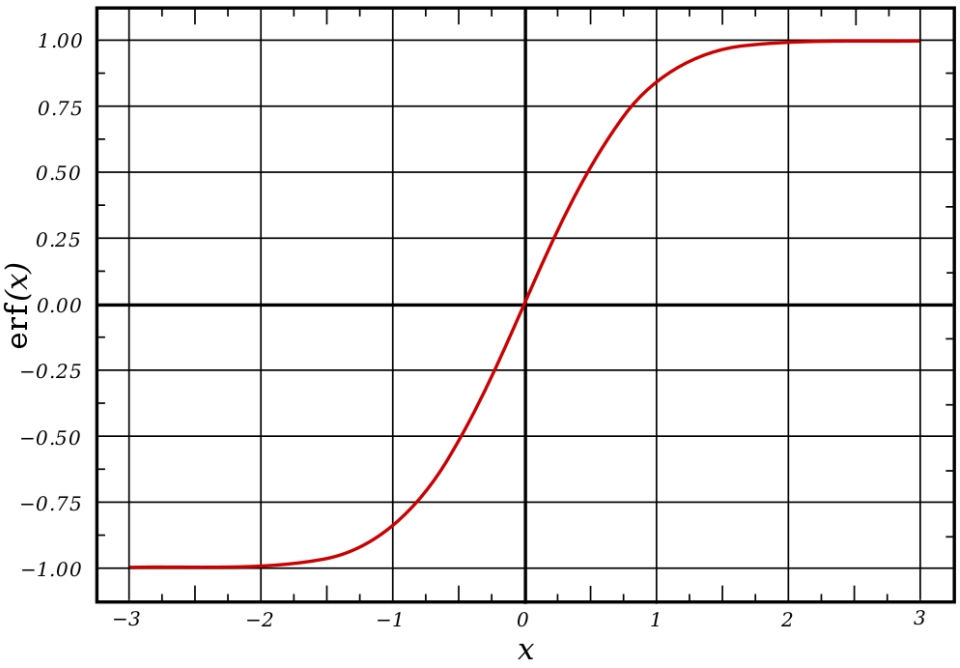


Рисунок 2.5 – Графічний вид функції помилок (2.10)

Враховуючи певні характеристики якості об'єктів у кваліметрії, зазначимо наступне: оцінка показника якості знаходиться у діапазоні $0 \le y(x) < 1$, а швидкість зміни функції на межах оцінювання значно менша, ніж по середині інтервалу. З рисунку 2.5 видно, що функція (2.10) має належні обґрунтування для отримання оцінок якості в кваліметрії.

З рисунку 2.5 видно, що отримані безрозмірні оцінки змінюються від -1 до 1. Застосовуючи алгебраїчні перетворення, можна отримати функціональну залежність, яка дає оцінки якості об'єктів на безрозмірній шкалі в межах 0≤y(x)<1. Це показано у наступній функціональній залежності [12].

$$y(x) = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} erf\left(-l + k\frac{x-a}{b-a}\right), \qquad (2.11)$$

де $erf(x)$ – функція помилок;

a – найменше можливе допустиме значення показника якості об’єкту (регламентоване нормативами),

b – найбільше можливе допустиме значення об’єкту;

x – виміряне значення показника якості об’єкту;

k – параметр форми;

l – параметр масштабу.

Зауважимо, що функція $y(x)$ в точці a приймає значення близьке до нуля, а в точці b – близьке до одиниці. Графічний вид залежності (2.10) представлено на рисунку 2.6.

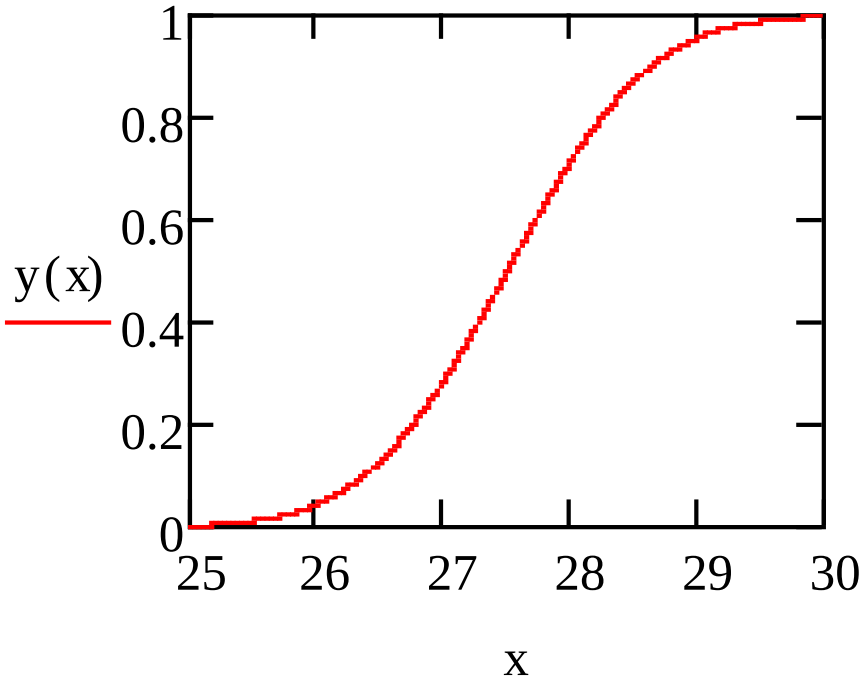


Рисунок 2.6 – Графічний вид функції (2.10) при a = 25; b = 30; l = 2; k = 4

Згідно з рисунком 2.6, оцінка показника якості варіюється в діапазоні від 0 до 1, а вісь *x* обмежена граничними допустимими значеннями показника якості процесу, які встановлюються. На рисунку 2.6 видно, що найкращий показник якості досягається, коли він наближений до верхньої граничної межі. Якщо ж найкращий показник знаходиться близько до нижньої граничної межі, тоді застосовується обернена залежність.

$$y'(x) = 1 - \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{2} erf\left(-l + k\frac{x-a}{b-a}\right)\right) \qquad (2.12)$$

Коли параметр форми k =1, параметр масштабу *l* =2, функція (2.10) буде мати вид, який показано на рисунку 2.7.

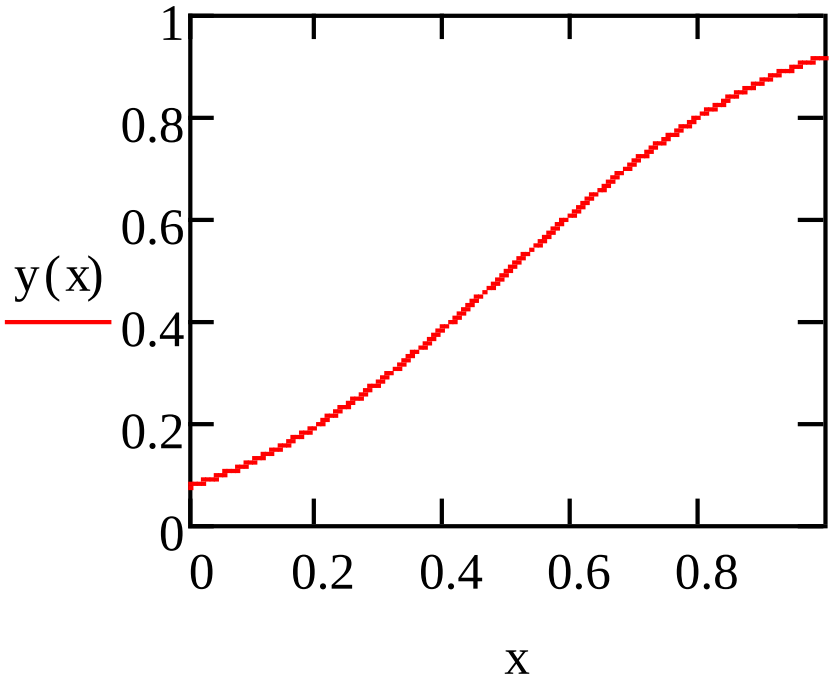


Рисунок 2.7 – Графічний вид функції (2.10) при *a* = 0; b = 1; *l* = 2; k = 1

Коли параметр форми l =1, ;параметр масштабу *k*=3, функція (2.10) буде мати вид, який показано на рисунку 2.8.

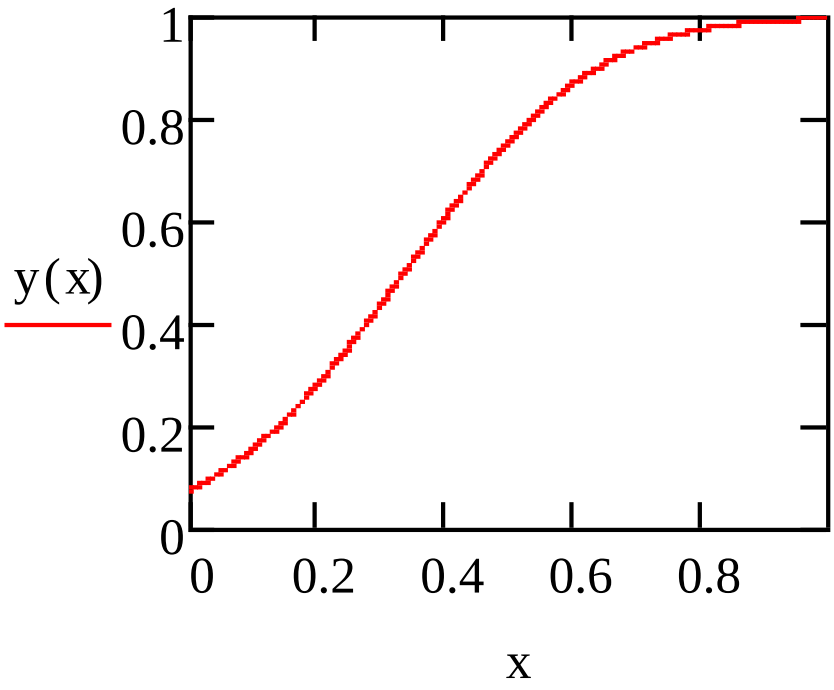


Рисунок 2.8 – Графічний вид функції (2.10) при a = 0; b = 1; l = 1; k = 3

Коли параметр форми l = 1, ;параметр масштабу k = 4, функція (2.10) буде мати вид, який показано на рисунку 2.9.

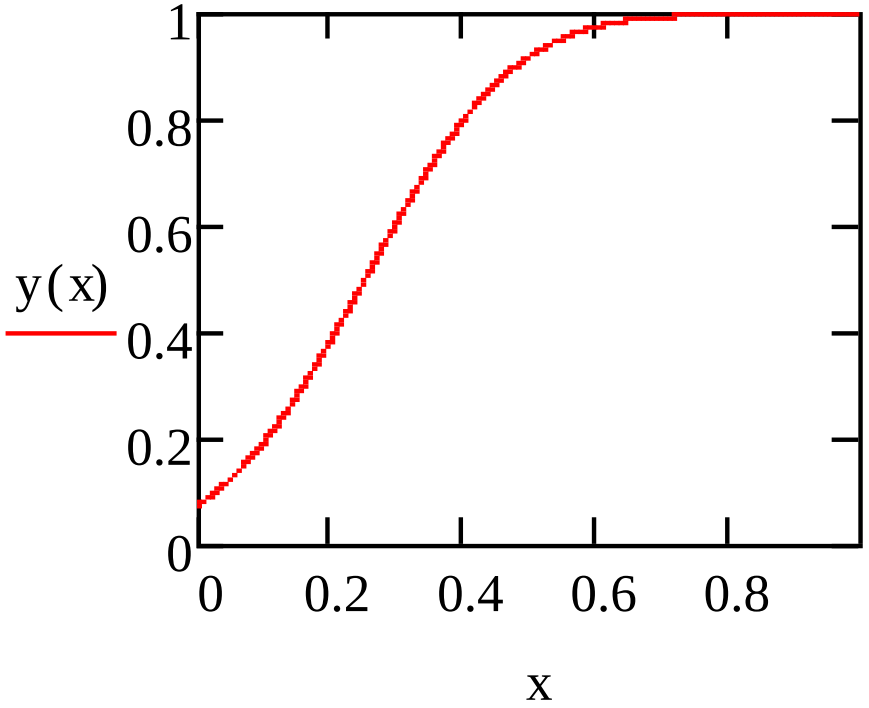


Рисунок 2.9 – Графічний вид функції (2.10) при a = 0; b = 1; l = 1; k = 4

Коли параметр форми l =1, ;параметр масштабу *k*=5, функція (2.10) буде мати вид, який показано на рисунку 2.10.

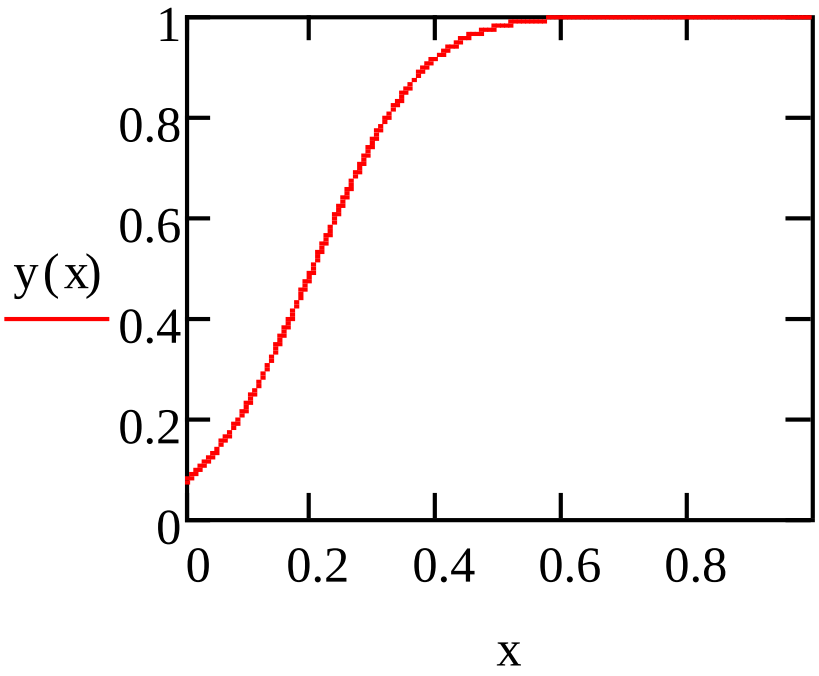


Рисунок 2.10 – Графічний вид функції (2.10) при a = 0; b = 1; l = 1; k = 5

Коли параметр форми l =2, ;параметр масштабу *k*=3, функція (2.10) буде мати вид, який показано на рисунку 2.11

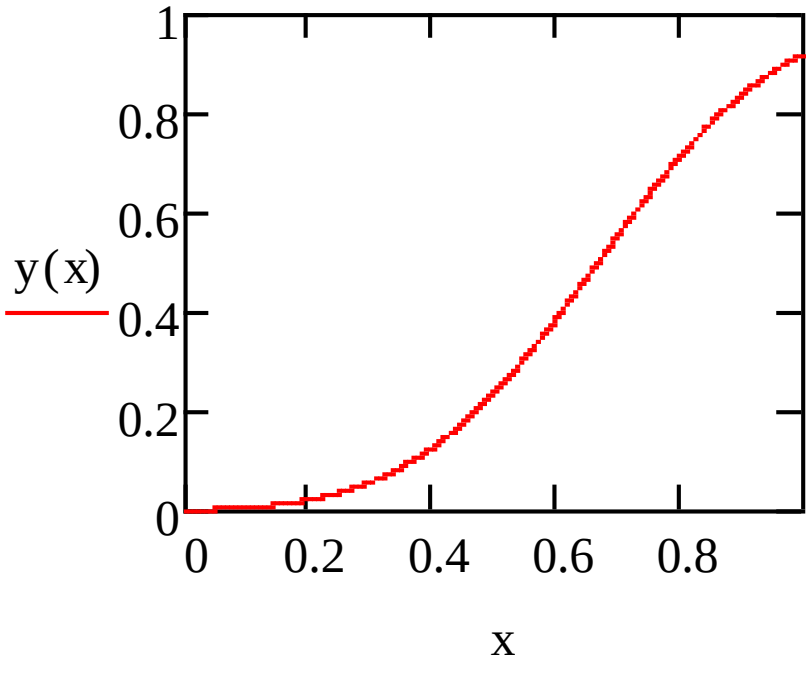


Рисунок 2.11 – Графічний вид функції (2.10) при a = 0; b = 1; l = 2; k = 3.

Коли параметр форми l =2, ;параметр масштабу *k*=4, функція (2.10) буде мати вид, який показано на рисунку 2.12

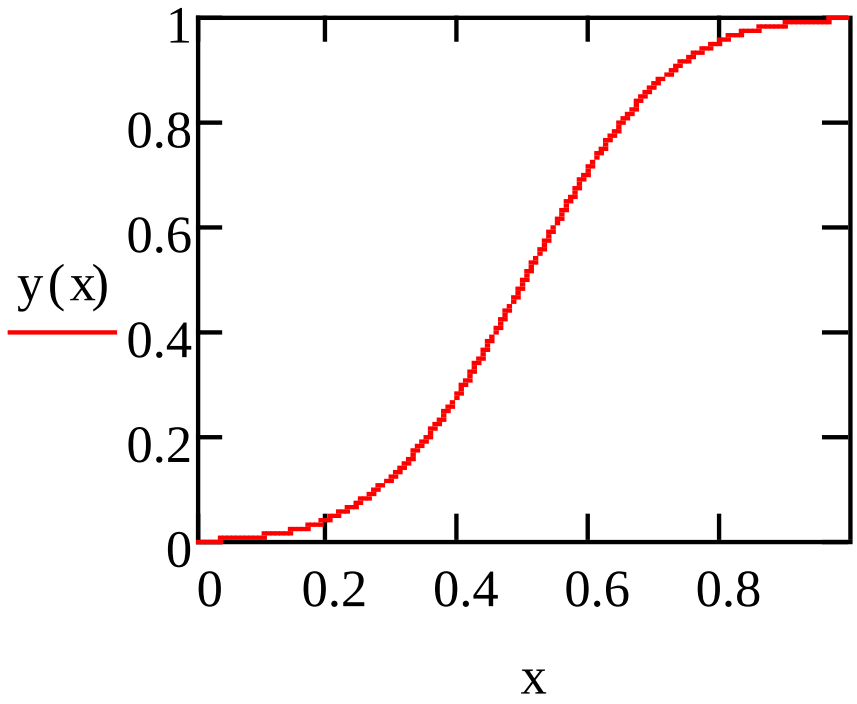


Рисунок 2.12 – Графічний вид функції (2.10) при *a* = 0; b = 1; *l* = 2; k = 4

Коли параметр форми l =3, ;параметр масштабу *k*=4, функція (2.10) буде мати вид, який показано на рисунку 2.13

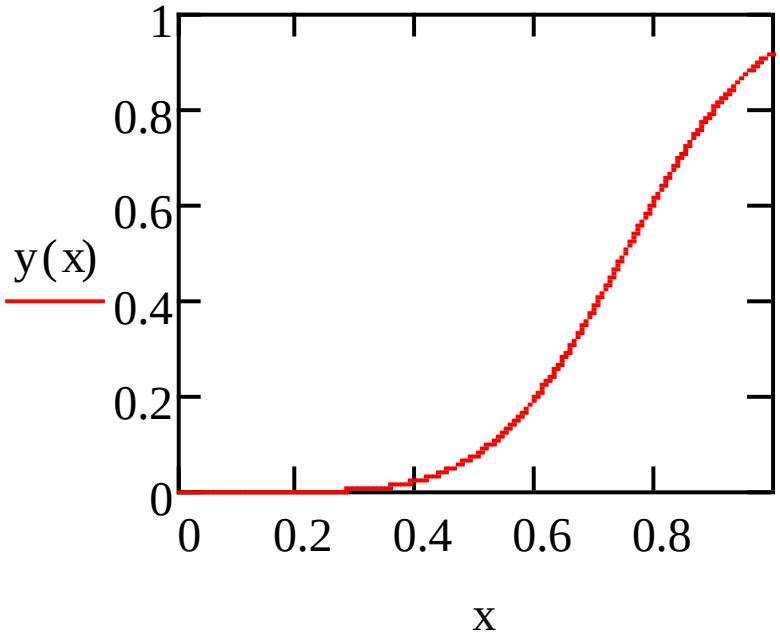


Рисунок 2.13 – Графічний вид функції (2.10) при *a* = 0; b = 1; *l* = 3; k = 4

Коли параметр форми l =3, ;параметр масштабу *k*=5, функція (2.10) буде мати вид, який показано на рисунку 2.14.

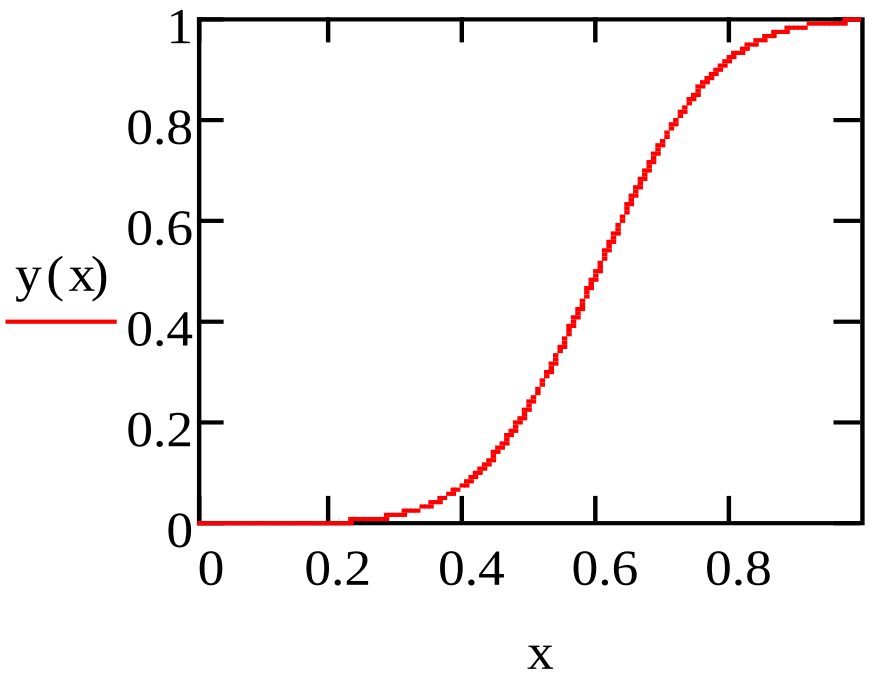


Рисунок 2.14 – Графічний вид функції (2.10) при a = 0; b = 1; l = 3; k = 5.

Коли параметр форми l =3, ;параметр масштабу *k*=6, функція (2.10) буде мати вид, який показано на рисунку 2.15.

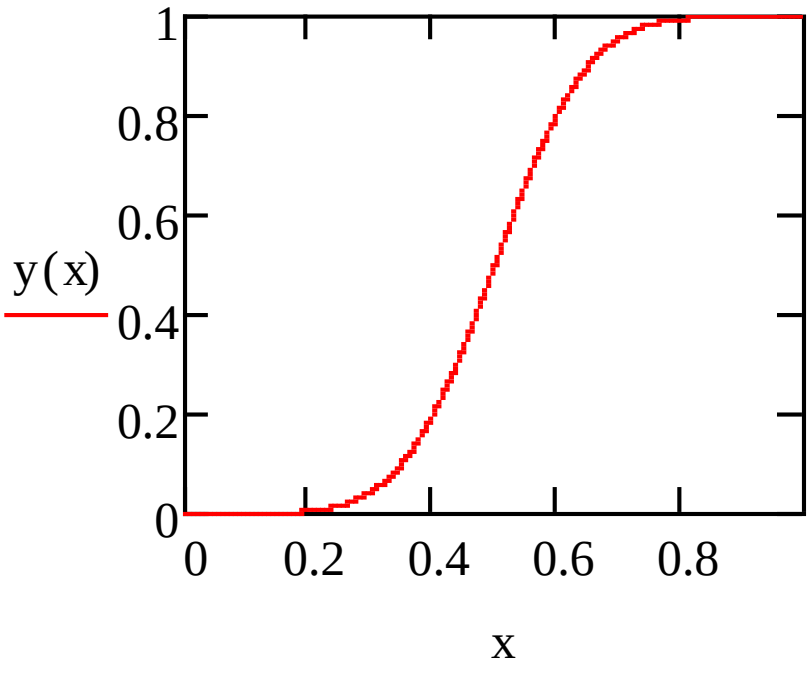


Рисунок 2.15 – Графічний вид функції (2.10) при a = 0; b = 1; l = 3; k = 6.

Коли параметр форми l =4, ;параметр масштабу *k*=6, функція (2.10) буде мати вид, який показано на рисунку 2.16.

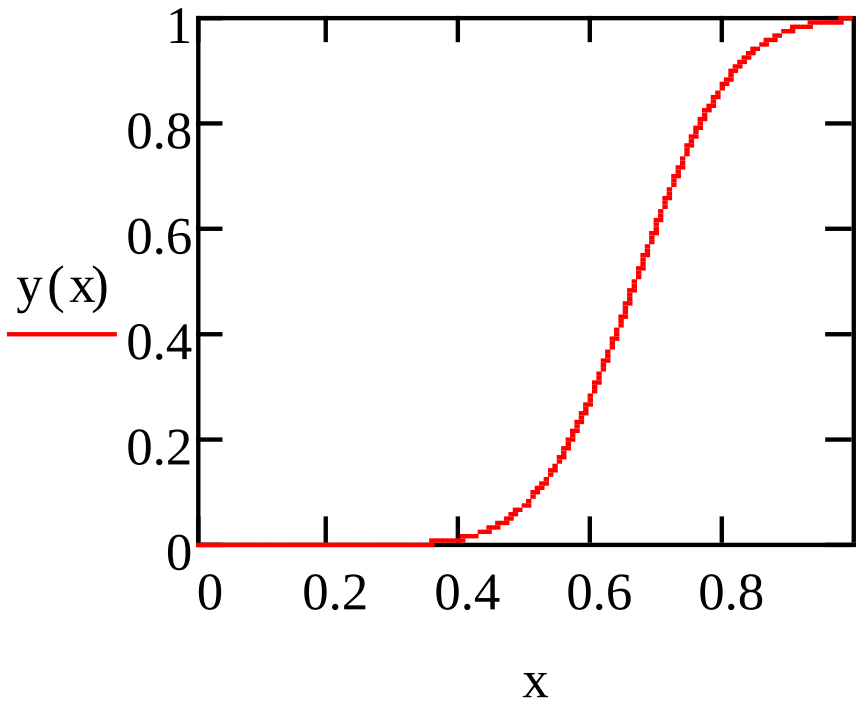


Рисунок 2.16 – Графічний вид функції (2.10) при a = 0; b = 1; l = 4; k = 6.

Запропоновані залежності (2.10) та (2.11) можна вважати ефективними та здатними, оскільки вони мають ряд переваг порівняно з існуючими методами, які використовуються в кваліметрії [17,18]:

1. Нелінійний характер цих залежностей відповідає теоретичним принципам кваліметрії та обґрунтовується тим, що оцінки показників якості об’єкту оцінювання змінюються у незначній мірі по краях оцінювання. Отже, для практичного використання є важливим мати інформацію про зміни показників всередині їх допустимого діапазону.

2. На відміну від існуючих залежностей, які потребують складних обчислень та використання експертних методів, запропоновані залежності використовують функцію помилок, яка вже вбудована в Microsoft Excel (ФОШ). Це означає, що не потрібно створювати спеціальне програмне забезпечення для автоматизації процесу оцінювання, що розширює можливості застосування цих

залежностей на об’єкти різної природи, такі як процеси, продукція, знання у різних галузях економіки та інші.

Запропоновані математичні залежності можуть бути практичним інструментом для застосування в оцінюванні якості різних типів об'єктів. Вони також можуть бути включені до нормативних документів на рівні організації або підприємства для впровадження процедури оцінювання якості.

Третій етап алгоритму моніторингу, вимірювання та оцінювання якості об'єктів кваліметрії включає вибір математичного інструменту залежно від наявної статистичної інформації, розуміння фізичного процесу з часом та наявної інформації про типові об'єкти кваліметрії, що вже були вивчені раніше. Для наступного етапу оцінювання необхідно мати достатню кількість інформації про характеристики часового ряду, яку потрібно збирати, оцінювати та аналізувати з метою вирішення практичних завдань, наприклад, прогнозування показників якості на етапі технологічного процесу виготовлення [19,20].

2.4 Оцінювання закономірностей функціонально – залежних статистик

Для управління якістю будь якого об'єкта кваліметрії доводиться часто використовувалися статистичні методи оцінювання та управління, де основна інформація полягає в тому, щоб не знати закону розподілу показників якості в її одиницях вимірювання, але знати закон розподілу їх оцінок на безрозмірній шкалі. Тому в межах даного розділу будемо досліджувати закономірності розподілу оцінок показники якості на безрозмірній шкалі.

Технологічний процес - це складна система, стан якої підлягає оцінюванню, аналізуванню, прогнозуванню та, за необхідності, коригуванню з метою забезпечення продукції необхідної якості. Під об’єктом кваліметрії розглянемо результат технологічного процесу - отримання продукту заданої якості.

Для управління оцінками показників якості будь якого об’єкту кваліметрії необхідно отримати функціонально залежні статистики. Функції, які застосовуються для переводу різнорозмірних показників якості представлені у попередніх розділах дисертації.

Розглянемо числові характеристики функціонально залежних статистик. Нехай задано закон розподілу випадкової величини *x* у вигляді $W_x(x)$. Випадкова величина *y* зв'язана з *x* детермінованою (невипадковою) функціональною залежністю *y = f(x)*. Необхідно визначити закон розподілу $W_y(y)$ випадкової величини *y*.

Окремим випадком загальної задачі є знаходження числових характеристик закону $W_y(y)$ без визначення самого закону.

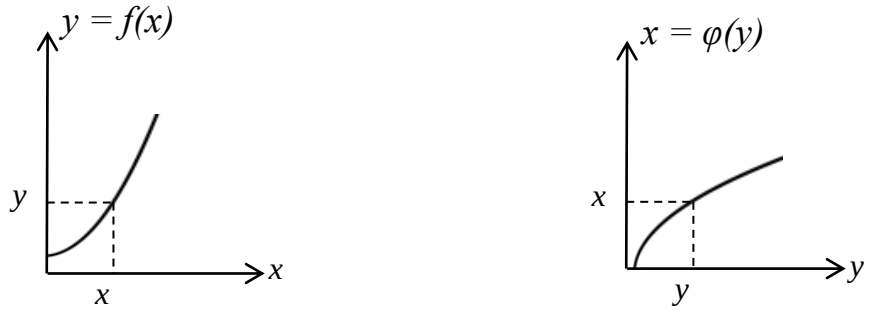


Рисунок 2.17 – Вид однозначних функцій

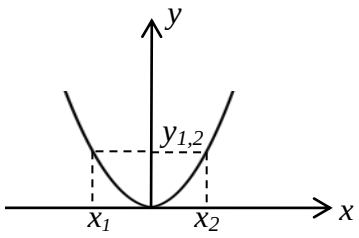


Рисунок 2.18 – Вид двозначної функції

Ці завдання зустрічаються при вивченні проходження випадкових сигналів через лінійні та нелінійні ланцюги.

Сформульована задача може бути вирішена як безпосередньо. Розглянемо функцію *y = f(x)* (рис. 2.17). Спочатку будемо вважати, що обернена функція *x = φ(y)*, яку будемо записувати у вигляді *x(y)* – однозначна. Імовірність того, що значення ξ укладено в проміжку x, x+dx, має дорівнювати (внаслідок однозначного зв'язку між x и y) ймовірність того, що значення η укладено в відповідному проміжку y, y+dy, тобто:

$$P(x<\xi<x+dx) = P(y<\eta<y+dy), \quad (2.13)$$

або:

$$W_x(x)dx = W_y(y)dy. \quad (2.14)$$

З останньої рівності випливає, що:

$$W_y(y) = W_x(x)\left|\frac{dx}{dy}\right|, \quad (2.15)$$

причому похідну потрібно брати по абсолютному значенню, так як функція розподілу завжди ненегативна. Ввівши замість x обернену функцію $x(y)$, отримаємо:

$$W_y(y) = W_x[x(y)]\left|\frac{d}{dy}x(y)\right|. \quad (2.16)$$

Якщо функція $x = \varphi(y)$ є двозначною (рис. 2.18), тобто кожному значенню y відповідають два значення x, потрібно формулу (2.17) застосувати двічі: по відношенню до кожної гілки кривої $x = x_1(y)$ і $x = x_2(y)$:

$$W_y(y) = W_x[x_1(y)]\left|\frac{d}{dy}x_1(y)\right| + W_x[x_2(y)]\left|\frac{d}{dy}x_2(y)\right| \quad (2.17)$$

Аналогічно слід чинити в тих випадках коли функція $x(y)$ – багатозначна.

Для знаходження числових характеристик (моментів) закону розподілу випадкової величини y немає необхідності виявляти вираз $W(y)$; це можна зробити простіше. Насправді математичне очікування величини y дорівнює:

$$M(y) = \bar{y} = \int_{-\infty}^{\infty} yW_y(y)dy \quad (2.18)$$

але згідно з формулою (2.14) для однозначної функції:

$$W_y(y)dy = W_x(x)dx \tag{2.19}$$

а $y = f(x)$; отже,

$$M(y) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x)W_x(x)dx \tag{2.20}$$

Аналогічно для початкових і центральних моментів в загальному виді отримаємо:

$$m_k = \int_{-\infty}^{\infty} y^k W_y(y)dy = \int_{-\infty}^{\infty} [f(x)]^k W_x(x)dx \tag{2.21}$$

$$M_k = \int_{-\infty}^{\infty} (y - \bar{y})^k W_y(y)dy = \int_{-\infty}^{\infty} [f(x) - \bar{y}]^k W_x(x)dx \tag{2.22}$$

Зокрема, для дисперсії маємо:

$$D(y) = \sigma_y^2 = \int_{-\infty}^{\infty} [f(x) - \bar{y}]^2 W_x(x)dx \tag{2.23}$$

Формули (2.20) - (2.23) справедливі і для законів, в яких обернена функція $x(y)$ є багатозначною.

Для отримання функціональних статистик необхідні статистичні значення одиничних показників якості об’єктів кваліметрії. Отримання одиничних показників якості являється одним із етапів вирішення практичних завдань з управління якістю, тому пропонується їх застосувати для наступного завдання, а саме визначення закону їх розподілу, як випадкових величин. Адже відомо, що знання закону розподілу показників якості, як випадкових величин дозволяє вирішувати практичні завдання з невеликою кількістю статистичних даних. Відомо, що якщо знайдено функцію щільності закону розподілу, і знайдено ефективні статистичні оцінки, то можна використовувати достатньо обмежений обсяг статистичних даних.

Для вирішення першої задачі необхідно мати велику кількість статистичних даних, тому, пропонується застосувати генератор випадкових величин, який вбудований в Microsoft Exel. Пропонується згенерувати велику кількість випадкових величин за нормальним законом розподілу, функція щільності якого:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{\frac{(x-\overline{X})^2}{2\sigma^2}}, \qquad (2.24)$$

де: x - являється випадковою величиною, а $f(x)$ - функцією щільності імовірності. σ - СКВ від їх середніх значень $\overline{X}$.

Нормальний закон розподілу випадкових величин одиничних показників якості вибрано для апробації методики та із за того, що йому підпорядковані велика кількість випадкових величин в техніці, економічних, соціальних та інших сферах діяльності. Згідно теореми Ляпунова, якщо ми маємо велику кількість взаємно незалежних випадкових величин, і вплив кожної з них на сумарну величину X незначний, то розподіл X буде наближено нормальним, незалежно від закону розподілу кожної окремої складової. Це стається тим точніше, чим більша кількість складових у сумі.

Так як в теорії якості вважається, що на якість об’єктів оцінювання впливає велика кількість факторів і впливають вони в невеликій степені, то, згідно теореми Ляпунова, закон розподілу одиничних показників якості, у більшості випадків, буде закон, близький до нормального розподілу.

Для чисельного моделювання в Microsoft Exel було згенеровано 1000 випадкових величин з такими параметрами: $\overline{X}$ = 5; σ = 1.6; x_{min} = 0 – найменше допустиме значення одиничного показника якості; ; x_{max} = 10 - найбільше допустиме значення одиничного показника якості. Дані параметри вибрані умовно, з метою апробації застосування функції помилок.

В результаті генерування 1000 випадкових величин з указаними параметрами отримали числові значення умовного показника якості. Використовуючи залежність (2.22), в залежності від того до якої гранично допустимої межі прямує показник

якості процесу, отримуємо часовий ряд оцінок показників якості об’єкту за одним критерієм. Графічний вид часового ряду оцінок показників якості об’єкту протягом певного часу показано на рисунку 2.19.

Рисунок 2.19 – Графічний вид часового ряду оцінок показників якості об’єкту протягом певного часу

З рисунка 2.6 видно, що усі оцінки (вісь OY) отримали значення в межах (0-1). Отже, застосовуючи функцію (2.22) отримуємо часовий ряд оцінок показників якості об’єкту кваліметрії на безрозмірній шкалі.

Наступним кроком, для вирішення практичних завдань, бажано знайти закон розподілу отриманих величин. У математичній статистиці знаходження закону розподілу випадкових величин являється складною процедурою і залежить від ряду факторів.

У загальному, пропонується кілька підходів для визначати закону розподілу випадкових величин. Перший ґрунтується на математичному аналізі емпіричного розподілу відповідно теоретичному, застосовуючи різні існуючі критерії узгодження. Інший ґрунтується на відповідності умов виникнення випадкових величин та певних законів їх розподілу. Але, при оцінюванні якості, дослідник чи споживач обмежений у таких знаннях, тому такі методи застосовуються у обмежених випадках, коли об’єкт кваліметрії добре вивчений та досліджений.

Пропонується ряд інших методів, застосування яких залежить від кількості статистичної інформації про показники якості об’єктів кваліметрії.

На рисунку 2.20 пропонується алгоритм процесу визначення закону розподілу показників якості як випадкових величин у залежності від існуючої кількості статистичних даних.

З алгоритму зрозуміло, що для застосування малої кількості інформації необхідно розуміння суті процесу розсіювання показників якості, або мати інформацію про масові дослідження. У іншому разі необхідно іти шляхом висунення гіпотези про можливий закон розподілу і подальше її доведення.

У нашому випадку, при наявності великої кількості статистичних даних (1000 шт) побудуємо гістограму, щоб висунути гіпотезу про можливий закон розсіювання оцінок показників якості на безрозмірній шкалі (рисунок 2.21).

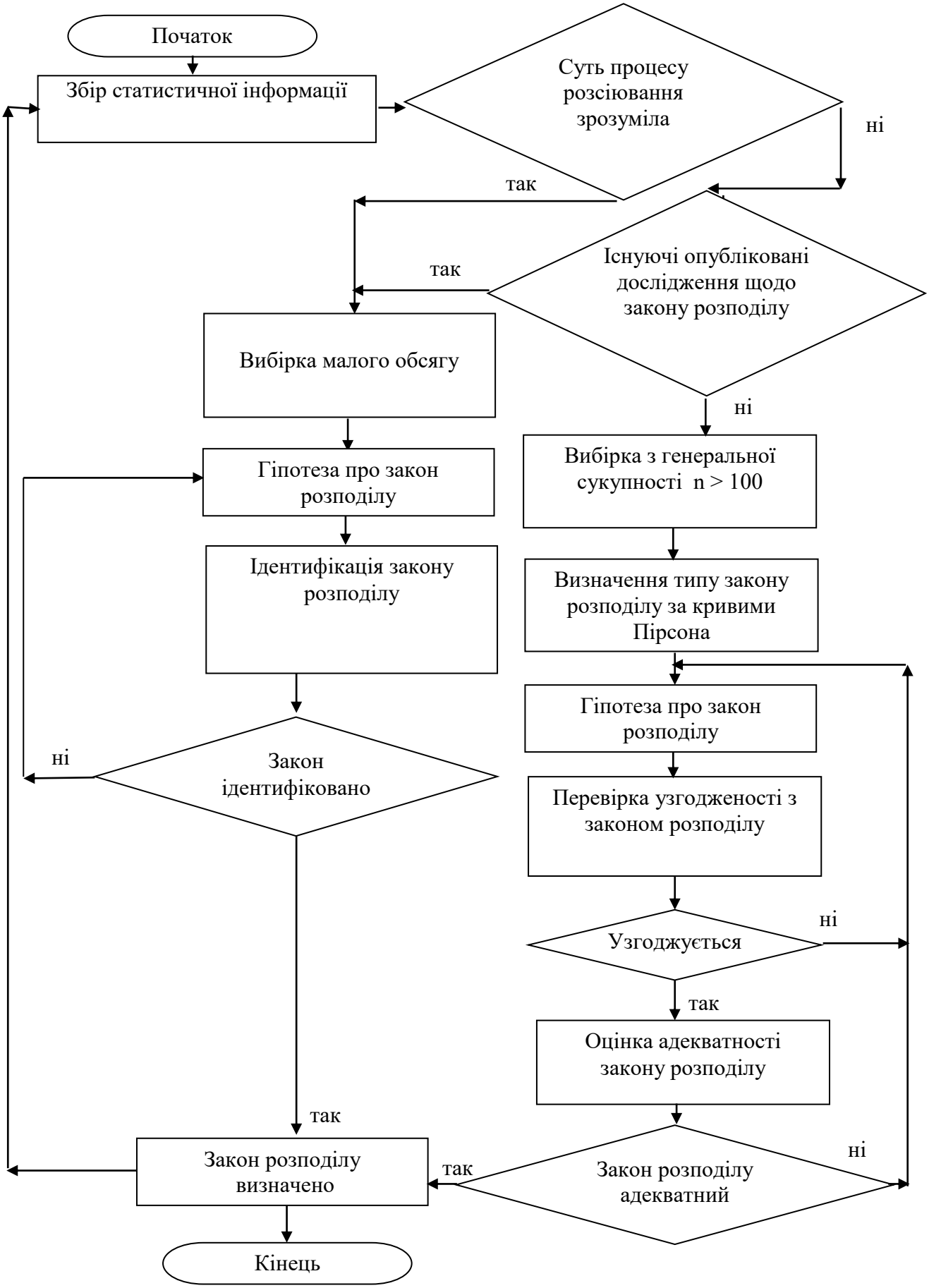


Рисунок 2.20 – Алгоритм визначення закону розподілу показників якості

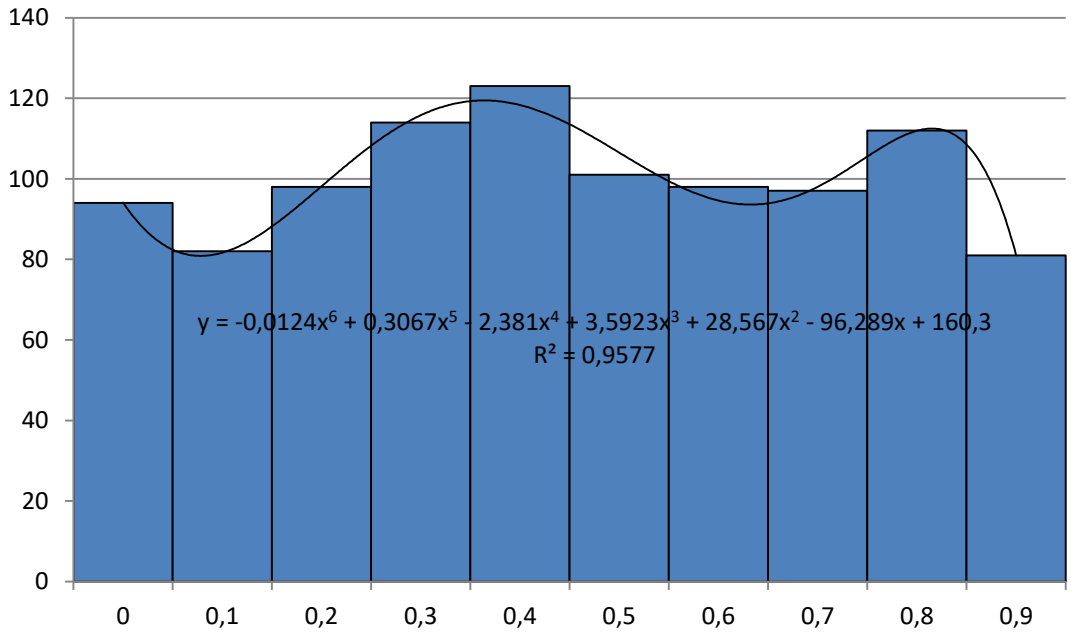


Рисунок 2.21 – Гістограм розподілу випадкових величин

З гістограми можна припустити, що закон розподілу оцінок показника якості, як випадкової величини, відповідає закону рівної імовірності.

Для підтвердження такої гіпотези, згідно алгоритму (рисунок 2.20) пропонується застосовувати метод розміщення числових значень оцінки квадрату коефіцієнта асиметрії та коефіцієнта ексцесу на площині Кривих Пірсона. При великій кількості статистичних даних це не представляє труднощів.

Отже квадрат коефіцієнту асиметрії:

$$\sqrt{b_1} = \frac{\mu_3}{(\mu_2)^{3/2}} \tag{2.25}$$

Коефіцієнт ексцесу:

$$b_2 = \frac{\mu_4}{(\mu_2)^2} \tag{2.26}$$

де μ_k – оцінка центрального моменту випадкової величини k – го порядку, яка має вид:

$$\mu_k = \frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{X})^k \tag{2.27}$$

де n – обсяг статистичних даних (оцінок показника якості);

$\overline{X}$ – середнє значення оцінок показника якості.

$$\bar{X} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i \qquad (2.28)$$

Як відомо [8], при $\sqrt{b_1} = 0$: $b_2 = 1{,}8$ – закон розподілу випадкових величин відповідає закону Рівної імовірності (Рівномірному);

при $\sqrt{b_1} = 0$: $b_2 = 2{,}4$ – закон розподілу випадкових величин відповідає закону Трикутника (Сімсона);

при $\sqrt{b_1} = 0$: $b_2 = 3$ – закон розподілу випадкових величин відповідає закону Нормального розподілу (Гауса).

Знаючи закон розподілу показників якості, як випадкової величини, можемо вирішувати ряд практичних задач як, наприклад, отримання функціонально залежних статистик на безрозмірній шкалі та визначення функції їх щільності.

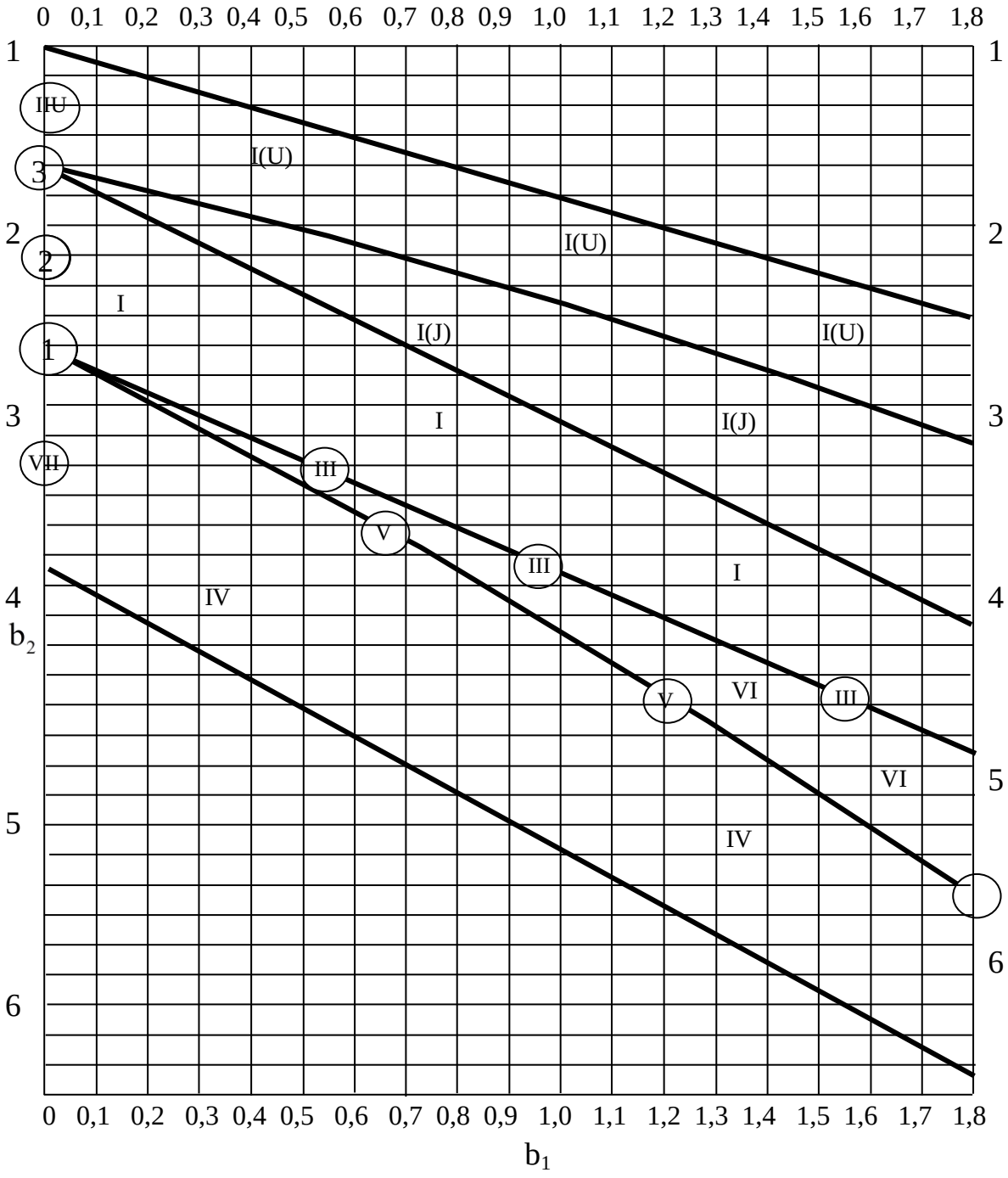


Рисунок 2.21 – Області в площині (b_1 b_2) для різних законів розподілу

Визначимо закон розподілу оцінок показників якості на безрозмірній шкалі, використовуючи алгоритм (рисунок 2.20).

Нехай випадкове значення розсіювання будь-якого показника якості X підпорядковується нормальному закону розподілу з функцією щільності:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\bar{X})^2}{2\sigma^2}}, \qquad (2.29)$$

і пов'язана з безрозмірною оцінкою Y залежністю (2.9), то функція щільності ймовірностей $q(y)$ матиме такий вид:

$$q(y) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot |q_1(y)| \cdot e^{\frac{-1}{2\sigma^2}\cdot(q_2(y)-\bar{X})^2} \qquad (2.30)$$

де:

$$q_1(y) = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{1}{4}x_{max} - \frac{1}{4}x_{min}\right) \pi^{\frac{1}{2}} \left[2 + \frac{1}{2}\pi \cdot (2y-1)^2 + \frac{7}{48}\pi^2(2y-1)^4 + \frac{127}{2880}\pi^3(2y-1)^6\right]; \qquad (2.31)$$

$$q_2(y) = \frac{x_{max}-x_{min}}{4}\left[\frac{\sqrt{\pi}}{2}\left[(2y-1) + \frac{\pi(2y-1)^3}{12} + \frac{7\pi^2(2y-1)^5}{480} + \frac{127\pi^3(2y-1)^7}{40320}\right] + 2\right] + x_{min} \cdot \qquad (2.32)$$

Функція (2.27) має два параметри:

$$\bar{X} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i, \qquad (2.33)$$

де x_i виміряне значення небезпечного чинника, n – кількість вимірювань.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{X})^2} \qquad (2.34)$$

Графічний вид функції (2.30) представлено на рисунку 2.22.

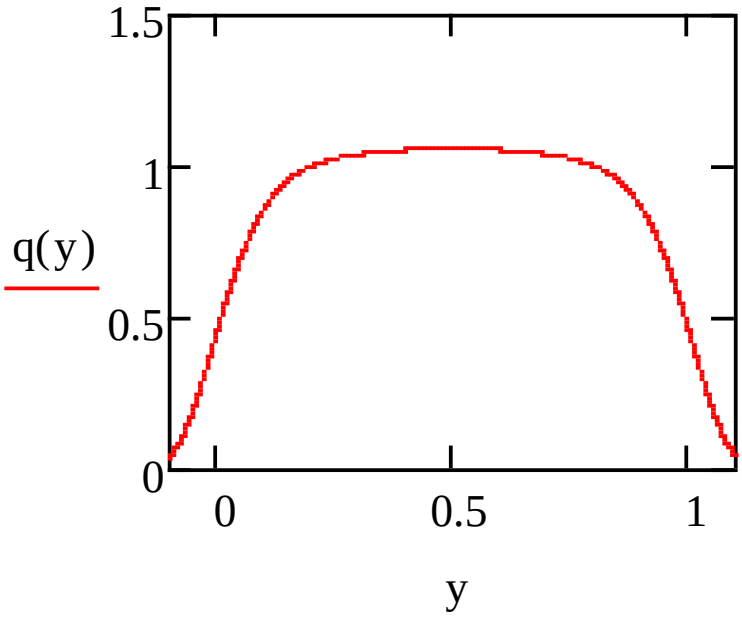


Рисунок 2.22 – Графічний вид функції щільності

Отже, знаючи закон розподілу будь якого показника якості, як випадкової величини та застосовуючи функціональну залежність (2.11) можемо отримати закон розподілу оцінок показників якості на безрозмірній шкалі. Знаючи закон розподілу оцінок, як випадкової величини, появляється можливість вирішення прикладних задач існуючими статистичними методами.

Висновки до другого розділу

1. Розглянуто широку класифікацію об’єктів кваліметрії та методів оцінювання показників якості, яка достатня, щоб показати важливість та різноманітність наукових завдань, які необхідно вирішувати у науковому сенсі при оцінювання якості. Судячи з широкої класифікації об’єктів кваліметрії та значного набору методів оцінювання зрозуміло, що для удосконалення методів оцінювання якості потрібно проведення наукових досліджень щодо створення універсальних методів, які би задовольняли дослідника та споживача.

2. Вивчено існуючі функціональні залежності для отримання оцінок показників якості на безрозмірній шкалі, виявлено їх переваги та недоліки. Зроблено висновок, що існуючі залежності не дозволяють бути ефективними, так як потребують застосування експертних оцінок та складних розрахунків, що вимагає наявності висококваліфікованих фахівців, що затрудняє їх застосування на практиці.

3. Запропоновано, в якості функціональної залежності між виміряними показниками якості об’єктів кваліметрії та їх оцінкою на безрозмірній шкалі, використовувати функцію помилок.

4. Застосовуючи функцію помилок була отримана універсальна математична залежність, яка дозволяє отримувати оцінки показників якості на безрозмірній шкалі незалежно від природи об’єкту кваліметрії. Для цього достатньо знати мінімально допустиме та максимально допустиме значення, параметр форми та масштабу.

5. Отримано функцію щільності оцінок показників якості на безрозмірній шкалі використовуючи запропоновану функціональну залежність за умови, що дійсні значення одиничних показників якості підпорядковані нормальному закону розподілу.

6. Запропоновано алгоритм визначення закону розподілу оцінок показників якості, як випадкової величини, який дасть можливість вирішувати практичні задачі з застосуванням функціонально залежних статистик.

Список використаних джерел

1. Азгальдов Г. Г., Райхман Э. П. О квалиметрии. Москва: Издательство стандартов, 1972. 172 с.

2. Бубела Т. З. Микийчук М.М., Столярчук П. Г. Оцінювання якості послуг. *Україна у європейському просторі. Проблеми бізнесу, політики, права*: VI між нар. наук.-практ. конф. (м. Львів, 29-30 квітня 2010 р.). Львів, 2010. С. 207.

3. ДСТУ 2925-94 Якість продукції. Оцінювання якості. Терміни та визначення. [Чинний від 1996-01-01]. Київ: Держстандарт України, 1994. 34 с.

4. Шаповал М. І. Менеджмент якості. Київ: Знання, 2003. 475 с.

5. Bobrek M., Socovic M. Integration concept and synergetic effect in modern management. *Journal of Materials Processing Technology*. №175 (1). 2006. pp. 33-39.

6. Катренко А.В. Системний аналіз [Текст]:/А.В. Катренко. // Львів: «Новий Світ-2000», 2011 – 396с.

7. Микийчук М. М., Бойко Т. Г., Бубела Т. З. Параметрична модель для оцінювання якості технологічних процесів. *Автоматика, вимірювання та керування. Вісник НУ «Львівська політехніка»*. 2007. №574. С. 89-93.

8. Тріщ Р. М. Розвиток наукових основ управління якістю в машинобудуванні в умовах обмеженої кількості інформації: дис. док. техн. наук: 05.01.02. Київ, 2007. 323 с.

9. Сороколат Н. А. Багатокритеріальне оцінювання впливу пандемії COVID-19 на психічний стан людей кваліметричним методом. *Стратегічні орієнтири сталого розвитку в Україні та світі*: збірник тез доповідей II Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених (м. Чернігів, 21 квітня 2023 р.). Чернігів: НУ «Чернігівська політехніка», 2023. С. 41-42

10. Черняк О. М., Сороколат Н. А., Каницька І. В. Методика багатокретиріального оцінювання якості об'єктів кваліметрії різної природи. *Радіоелектроника та молодь у XXI столітті: матеріали 25-ї міжнар. молодіж*. форум (м. Харків 20 – 22 квітня 2021 р.). Харків, 2021. Т.4. С. 167-168.

11. Черняк О. М., Сороколат Н. А. Оцінювання якості об'єктів кваліметрії з застосуванням інформаційних технологій. *Якість, стандартизація та метрологічне*

забезпечення: матеріали міжнар. наук-практ. конф. (м. Харків, 25-26 січня 2022 року). Харків, 2022. С. 54.

12. Черняк О. М., Сороколат Н. А., Каницька І. В., Багаєв І.О., Фатєєва Л. Ю. Стандартизація режимів стерилізації текстильних матеріалів в умовах пандемії (COVID-19) методом іонізуючого випромінювання. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях*. 2021. № 4 (10). С. 101–107.

13. Черняк О. М., Сороколат Н. А., Багаєв І. О., Фатєєва Л. Ю. Застосування функціональної залежності для багатокритеріального оцінювання безпеки праці, як об'єкта кваліметрії. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2022. № 1 (19). С. 76–84.

14. Вентцель Е. С. Исследование операций. *Наука и жизнь*. 1968. №12.

15. Гумбель Е. Статистика экстремальных значений. Москва, 1965. 450 с.

16. Піх С. С., Попель О. М., Ровенчак А. А., Таляньский І. І. Методи математичної фізики. Львів: ЛНУ ім. Франка, 2011. 404 с.

17. Сороколат Н. А., Фатєєва Л. Ю. Оцінювання якості процесів системи управління безпекою праці, згідно вимог міжнародного стандарту ISO 45001:2018. *Машинобудування*. 2022. № 29. С. 89–96.

18. Сороколат Н. А., Фатєєва Л. Ю. Застосування функції помилок для оцінювання якості об'єктів кваліметрії. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях*. 2022. № 4 (14). С. 53-58.

19. Черняк О. М., Сороколат Н. А. Алгоритми моніторингу, вимірювання та оцінювання процесів системи управління безпекою праці. *Наука. Інновації. Якість*: матеріали націон. наук-практ. форуму (м. Харків, 09-10 серпня 2022 року). Харків, 2022. С. 19-20.

20. Черняк О. М., Сороколат Н. А. Застосування функції помилок для оцінювання якості об'єктів різної природи. *Якість, стандартизація та метрологічне забезпечення*: матеріали ІІ міжнар. наук-практ. конф. (м. Харків, 14-15 березня 2023 року). Харків, 2023. С. 74.

РОЗДІЛ 3 ВИЗНАЧЕННЯ КОМПЛЕКСНОГО ПОКАЗНИКА ЯКОСТІ ОБЄКТІВ КВАЛІМЕТРІЇ

Наступним завданням кваліметрії являється визначення комплексного показника якості. У першому розділі дисертації проведено аналіз існуючих методів визначення комплексного показника якості, які, як правило, гуртуються на усередненні одиничних показників. Одним з недоліків таких методів являється те, що усереднення іноді не дозволяє вирішити завдання, наприклад, показники якості можуть мати різні знаки. У таких випадках методи, що гуртуються на усереднені значень, не застосовні. Тому пропонується застосовувати методи інтегрування для визначення площі під криволінійною ламаною лінією, яку утворює часовий ряд з показників якості на площині. Або застосовувати об’єм під ламаю об’ємною поверхнею, яку утворюють часові ряди декількох показників якості. Таким чином застосування квадратурних та кубатурних формул пропонується розробити універсальну методику оцінювання комплексного показника якості об’єкту кваліметрії.

3.1 Застосування методів інтегрування для визначення комплексного показника якості

Розглянемо теоретичне обґрунтування застосування різних методів інтегрування для розроблення методики визначення комплексного показника якості. Найбільш повно дані методи представлені у наукових працях [1-3].

3.1.1 Метод прямокутників

У випадках, коли обчислення певних інтегралів за формулою Ньютона-Лейбніца є неможливим, з'являється потреба у інших підходах. Часто підінтегральні функції не мають аналітичних первісних у вигляді елементарних функцій, що перешкоджає точному обчисленню значень інтегралів за звичайною формулою. Незважаючи на це, точність не завжди є вирішальним фактором у практичних

застосуваннях. Зазвичай, нам потрібно наближене значення інтеграла з заданою точністю (наприклад, до тисячних) [1].

У таких випадках нам на допомогу приходять чисельні методи інтегрування, такі як метод прямокутників, метод трапецій, метод Сімпсона (парабол) та інші. Розглянемо метод прямокутників, який дозволяє наближено обчислити значення певного інтеграла [1].

Розглянемо сутність методу чисельного інтегрування та отримаємо формулу прямокутників, яка дозволить нам оцінити абсолютну похибку методу. Потім перейдемо до розгляду модифікацій методу прямокутників, таких як метод правих прямокутників та метод лівих прямокутників, використовуючи ту ж саму схему. На завершення розглянемо докладні приклади та завдання з поясненнями [1].

Припустимо, що функція y = f(x) безперервна на відрізку [a; b]. Потрібно обчислити певний визначений інтеграл $\int_a^b f(x)\,dx$. Звернемося до поняття визначеного інтегралу. Розіб'ємо відрізок [a; b] на n частин $[x_{i-1};\ x_i]$, i=1,2,.. ,n точками $a = x_0 < x_1 < x_2 < \cdots < x_{n-1} < x_n = b$. Усередині кожного відрізка $[x_{i-1};\ x_i]$, i=1,2,…,n виберемо точку ξ_i. Так як за визначенням визначений інтеграл є межа інтегральних сум при нескінченному зменшенні довжини елементарного відрізка розбиття $\lambda=\max_{i=1,2,\dots,n}(x_i - x_{i-1}) \to 0$, то будь-яка з інтегральних сум є наближеним значенням інтеграла $\int_a^b f(x)\,dx \approx \sum_{i=1}^n f(\xi_1)\cdot(x_i - x_{i-1})$.

Суть методу прямокутників полягає в тому, що як наближене значення певного інтеграла визначають суму інтегралів (далі покажемо, яку саме інтегральну суму беруть у методі прямокутників).

3.1.2 Метод середніх прямокутників

Якщо взяти інтервал [a; b] і розділити його на рівні відрізки довжиною h, і позначити точки на цих відрізках $a = x_0, x_1 = x_0 + h, x_2 = x_0 + 2h, \dots, x_{n-1} = x_0 + (n-1)h, x_n = x_0 + nh = b$ (значить $h = x_i - x_{i-1} = \frac{b-a}{n}, i = 1,2,\dots,n$)Якщо використати середини елементарних відрізків як точки ξi,$[h = x_{i-1}; x_i\ ], i = 1,2,\dots,n$

(значить $\xi_i = x_{i-1} + \frac{h}{2}$, $i = 1,2,\dots,n)$, тоді приблизна рівність $\int_a^b f(x)\,dx \approx \sum_{i=1}^{n} f(\xi_i) \cdot (x_i - x_{i-1})$ представляється у виді:

$$\int_a^b f(x)\,dx \approx h \cdot \sum_{i=1}^{n} f\left(x_{i-1} + \frac{h}{2}\right) \qquad (3.1)$$

Формула середніх прямокутників за рахунок вибору точок ξ_i. $h = \frac{b-a}{n}$ у математичних працях називається, як крок розподілу відрізка (a, b).

На рисунку 3.1 представимо графічну ілюстрацію методу середніх прямокутників.

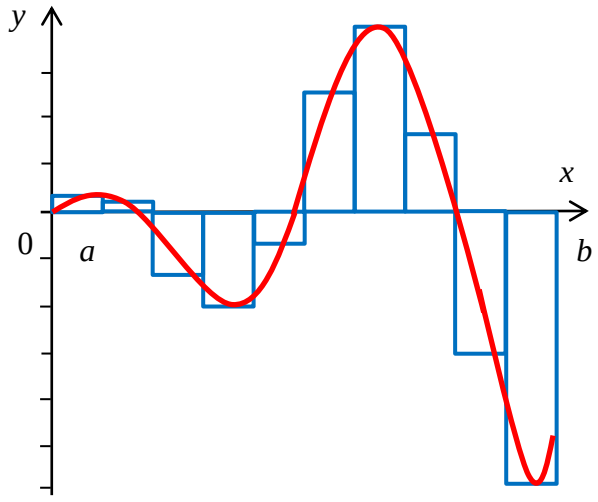


Рисунок 3.1 – Графічна ілюстрація методу середніх прямокутників

З рисунку 3.1 видно, що підінтегральна функція y = f(x) наближається роздільною ступінчастою функцією на відрізку інтегрування:

$$y = \begin{cases} f\left(x_o + \frac{h}{2}\right), x \in [x_0;x_1) \\ f\left(x_1 + \frac{h}{2}\right), x \in [x_1;x_2) \\ \dots \\ f\left(x_{n-1} + \frac{h}{2}\right), x \in [x_{n-1};x_n] \end{cases} \qquad (3.2)$$

З геометричного погляду, для невід'ємної функції y=f(x) на відрізку [a; b], точне значення певного інтеграла можна розглядати як площу криволінійної трапеції. За методом прямокутників наближене значення інтеграла представляє собою площу ступінчастої фігури, яку показано на рисунку 3.2.

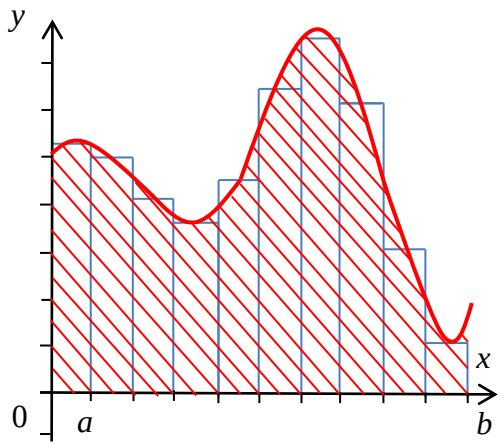


Рисунок 3.2 – Геометричне представлення суті інтегралу.

Оцінка абсолютної похибки методу середніх прямокутників.

Звернемося до оцінки абсолютної похибки методу прямокутників. Почнемо з оцінки похибки на кожному окремому елементарному інтервалі. Загальна похибка методу прямокутників буде складатись з суми абсолютних похибок на кожному елементарному інтервалі.

На кожному відрізку $[x_{i-1};x_i], i = 1,2,\dots,n$ маємо наближену рівність: $\int_{x_{i-1}}^{x_i} f(x)\,dx \approx f\left(x_{i-1}+\frac{h}{2}\right)\cdot h = f\left(x_{i-1}+\frac{h}{2}\right)\cdot(x_i - x_{i-1})$.

Абсолютну похибку методу прямокутників δ_i на і-му відрізку обчислюємо як різницю між точним і наближеним значенням визначеного інтеграла:

$$\delta_i = \int_{x_{i-1}}^{x_i} f(x)\,dx - f\left(x_{i-1}+\frac{h}{2}\right)\cdot(x_i - x_{i-1}).$$

Оскільки $f\left(x_{i-1}+\frac{h}{2}\right)$ є деяке число і $x_i - x_{i-1} = \int_{x_{i-1}}^{x_i} dx$, то вираз $f\left(x_{i-1}+\frac{h}{2}\right)\cdot(x_i - x_{i-1})$ в силу четвертої властивості певного інтеграла можна записати як

$f\left(x_{i-1}+\frac{h}{2}\right)\cdot(x_i-x_{i-1})=\int_{x_{i-1}}^{x_i} f\left(x_{i-1}+\frac{h}{2}\right)dx$. Тоді абсолютна похибка формули прямокутників на і-му елементарному відрізку матиме наступний вид:

$$\delta_i=\int_{x_{i-1}}^{x_i} f(x)\,dx-f\left(x_{i-1}+\frac{h}{2}\right)\cdot(x_i-x_{i-1})=\int_{x_{i-1}}^{x_i} f(x)\,dx-$$

$$\int_{x_{i-1}}^{x_i} f\left(x_{i-1}+\frac{h}{2}\right)dx=\int_{x_{i-1}}^{x_i}\left(f(x)-f\left(x_{i-1}+\frac{h}{2}\right)\right)dx \qquad (3.3)$$

Якщо вважати, що функція y = f(x) має в точці $\left(x_{i-1}+\frac{h}{2}\right)$ похідні до другого порядку включно, то функцію y = f(x) можна розкласти в ряд Тейлора по степеням $\left(x-\left(x_{i-1}+\frac{h}{2}\right)\right)$ з залишковим членом у формі Лагранжа:

$$\mathrm{f(x)}=\mathrm{f}\left(\mathrm{x_{i-1}}+\frac{\mathrm{h}}{2}\right)+\mathrm{f'}\left(\mathrm{x_{i-1}}+\frac{\mathrm{h}}{2}\right)\cdot\left(\mathrm{x}-\left(\mathrm{x_{i-1}}+\frac{\mathrm{h}}{2}\right)\right)+\mathrm{f''}(\varepsilon_\mathrm{i})\cdot\frac{\left(\mathrm{x}-\left(\mathrm{x_{i-1}}+\frac{\mathrm{h}}{2}\right)\right)^2}{2}$$

$$\leftrightarrow \mathrm{f(x)}-\mathrm{f}\left(\mathrm{x_{i-1}}+\frac{\mathrm{h}}{2}\right)=\mathrm{f'}\left(\mathrm{x_{i-1}}+\frac{\mathrm{h}}{2}\right)\cdot\left(\mathrm{x}-\left(\mathrm{x_{i-1}}+\frac{\mathrm{h}}{2}\right)\right)+$$

$$+\mathrm{f''}(\varepsilon_\mathrm{i})\cdot\frac{\left(\mathrm{x}-\left(\mathrm{x_{i-1}}+\frac{\mathrm{h}}{2}\right)\right)^2}{2} \qquad (3.4)$$

За властивостями визначеного інтеграла рівності можна інтегрувати почлено:

$$\int_{\mathrm{x_{i-1}}}^{\mathrm{x_i}}\left(\mathrm{f(x)}-\mathrm{f}\left(\mathrm{x_{i-1}}+\frac{\mathrm{h}}{2}\right)\right)\mathrm{dx}=\int_{\mathrm{x_{i-1}}}^{\mathrm{x_i}}\mathrm{f'}\left(\mathrm{x_{i-1}}+\frac{\mathrm{h}}{2}\right)\cdot\left(\mathrm{x}-\left(\mathrm{x_{i-1}}+\frac{\mathrm{h}}{2}\right)\right)\mathrm{dx}+\int_{\mathrm{x_{i-1}}}^{\mathrm{x_i}}\mathrm{f''}(\varepsilon_\mathrm{i})\cdot$$

$$\frac{\left(\mathrm{x}-\left(\mathrm{x_{i-1}}+\frac{\mathrm{h}}{2}\right)\right)^2}{2}\mathrm{dx}=\mathrm{f'}\left(\mathrm{x_{i-1}}+\frac{\mathrm{h}}{2}\right)\cdot\frac{\left(\mathrm{x}-\left(\mathrm{x_{i-1}}+\frac{\mathrm{h}}{2}\right)\right)^2}{2}\Bigg|_{\mathrm{x_{i-1}}}^{\mathrm{x_i}}+\mathrm{f''}(\varepsilon_\mathrm{i})\cdot\frac{\left(\mathrm{x}-\left(\mathrm{x_{i-1}}+\frac{\mathrm{h}}{2}\right)\right)^3}{6}\Bigg|_{\mathrm{x_{i-1}}}^{\mathrm{x_i}}=$$

$$f'\left(x_{i-1}+\frac{h}{2}\right)\cdot\left(\frac{\left(x_i-\left(x_{i-1}+\frac{h}{2}\right)\right)^2}{2}-\frac{\left(x_{i-1}-\left(x_{i-1}+\frac{h}{2}\right)\right)^2}{2}\right)+f''(\varepsilon_i)\cdot\left(\frac{\left(x_i-\left(x_{i-1}+\frac{h}{2}\right)\right)^3}{6}-\frac{\left(x_{i-1}-\left(x_{i-1}+\frac{h}{2}\right)\right)^3}{6}\right)==f'\left(x_{i-1}+\frac{h}{2}\right)\cdot\left(\frac{h^2}{8}-\frac{h^2}{8}\right)+f''(\varepsilon_i)\cdot\left(\frac{h^3}{48}-\frac{h^3}{48}\right)=\frac{f''(\varepsilon_i)\cdot h^3}{24} \quad (3.5)$$

де $\varepsilon_i \in [x_{i-1};x_i]$.

Таким чином,

$$\delta_i=\int_{x_{i-1}}^{x_i} f(x)-f\left(x_{i-1}+\frac{h}{2}\right)dx\cdot(x_i-x_{i-1}). \quad (3.6)$$

$$\text{та } |\delta_i|\le \max_{x\epsilon[x_{i-1};x_i]}\left|f''(x)\right|\cdot\frac{h^3}{24}. \quad (3.7)$$

Оскільки абсолютна похибка формули прямокутників на відрізку [a; b] є сумою похибок на кожному окремому елементарному інтервалі, то можна зробити наступний висновок:

$$\delta_n=\sum_{i=1}^{n}\int_{x_{i-1}}^{x_i}\left(f(x)-f\left(x_{i-1}+\frac{h}{2}\right)\right)dx \quad (3.8)$$

$$\text{та } |\delta_n|\le \max_{x\epsilon[a;b]}\left|f''(x)\right|\cdot\frac{n\cdot h^3}{24}=\max_{x\epsilon[a;b]}\left|f''(x)\right|\cdot\frac{(b-a)^3}{24n^2} \quad (3.9)$$

Отримана нерівність є оцінкою абсолютної похибки методу середніх прямокутників.

3.1.3 Метод лівих та правих прямокутників

Формула методу лівих прямокутників має вид:

$$\int_a^b f(x)dx\approx h\cdot\sum_{i=0}^{n-1}f(x_i) \quad (3.10)$$

і представлена на рисунку 3.3

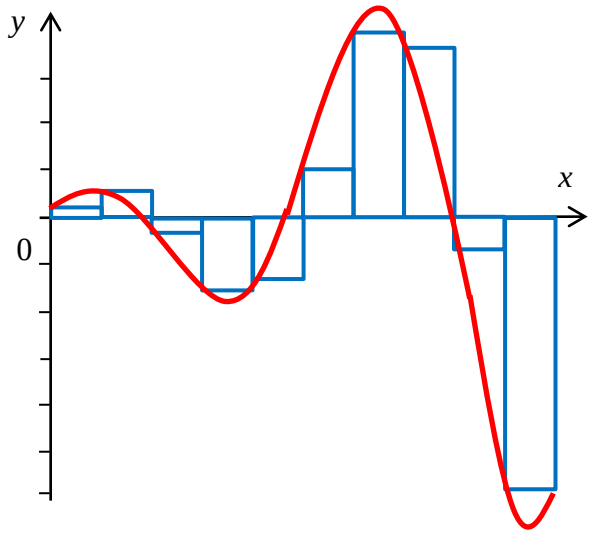


Рисунок 3.3 – Графічна ілюстрація методу лівих прямокутників

Формула методу правих прямокутників має вид:

$$\int_a^b f(x)dx \approx h \cdot \sum_{i=1}^{n} f(x_i) \qquad (3.11)$$

і представлена на рисунку 3.4

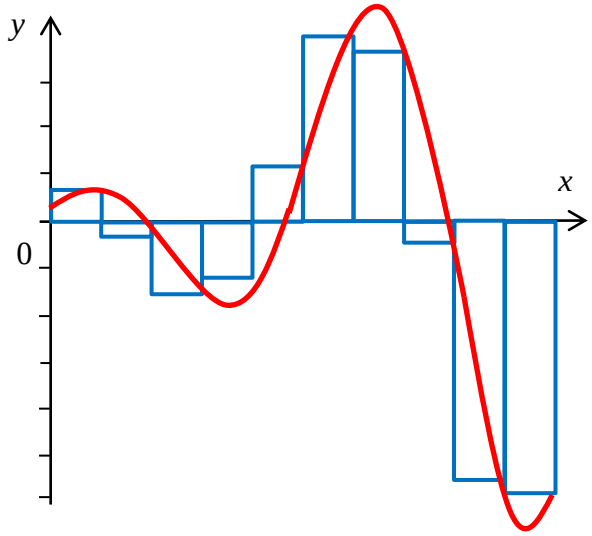


Рисунок 3.4 – Графічна ілюстрація методу правих прямокутників

Метод використання точок ξ_i на лівій та правій межах елементарних відрізків, а не в їх серединах, є основною відмінністю від методу середніх прямокутників. Абсолютна похибка методів лівих та правих прямокутників може бути оцінена таким чином:

$$|\delta_n| \leq \max_{x\epsilon[a;b]}|f'(x)| \cdot \frac{h^2 \cdot n}{2} = \max_{x\epsilon[a;b]}|f'(x)| \cdot \frac{(b-a)^2}{2n} \qquad (3.12)$$

На закінчення, розглянемо похибки методів лівих, правих і середніх прямокутників більш детально.

За допомогою оцінок абсолютних похибок, можна зробити висновок, що метод середніх прямокутників надає більшу точність, ніж методи лівих і правих прямокутників для заданого значення n. Крім того, обсяг обчислень для цих методів є однаковим, тому краще використовувати метод середніх прямокутників.

Однак, якщо ми розглядаємо безперервні підінтегральні функції, при нескінченному збільшенні числа точок розбиття відрізка, наближене значення інтеграла теоретично наближається до точного. Також варто зазначити, що якщо ми маємо потребу обчислити інтеграл з певною точністю, рекомендується проводити проміжні обчислення з вищою точністю.

При використанні методу середніх прямокутників для обчислення певного інтеграла, оперують за допомогою наступної формули:

$$\int_a^b f(x)dx \approx h \cdot \sum_{i=1}^{n} f(x_{i-1} + \frac{h}{2}) \qquad (3.13)$$

абсолютна похибка визначається як;

$$|\delta_n| \leq \max_{x\epsilon[a;b]}\left|f^{"}(x)\right| \cdot \frac{n \cdot h^3}{24} = \max_{x\epsilon[a;b]}\left|f^{"}(x)\right| \cdot \frac{(b-a)^3}{24n^2} \qquad (3.14)$$

Абсолютна похибка визначається:

$$|\delta_n| \leq \max_{x\epsilon[a;b]}|f'(x)| \cdot \frac{h^2 \cdot n}{2} = \max_{x\epsilon[a;b]}|f'(x)| \cdot \frac{(b-a)^2}{2n}. \quad (3.15)$$

3.1.4 Метод трапецій

Метод трапецій є одним з методів наближеного інтегрування, який є корисним у випадках, коли неможливо знайти аналітичну первісну функцію та обчислити інтеграл використовуючи неї [2].

Метод трапецій належить до численних методів інтегрування, але його наявність не виключає інших методів, таких як метод прямокутників і метод парабол, які також застосовуються для наближеного обчислення інтегралів. Метод трапецій по суті схожий метод прямокутників, але при цьому він менш точний, ніж метод середніх прямокутників [2].

Сутність методу трапецій показано на рисунку 3.5.

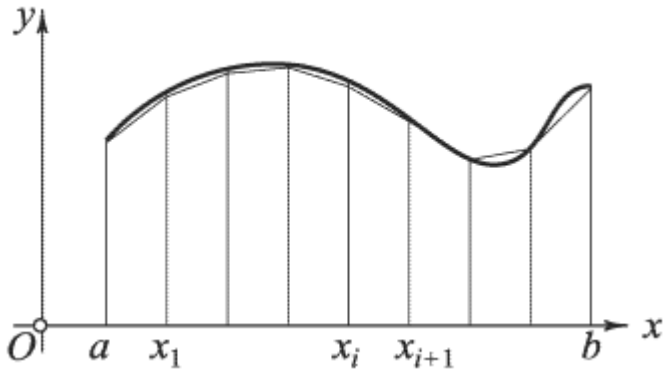


Рисунок 3.5 – Графічна ілюстрація методу трапецій

Допустимо, що маємо завдання обчислити інтеграл функції f(x) на відрізку [a; b]. Подібно до методу прямокутників, ми можемо поділити графік функції на елементарні сегменти, використовуючи точки з абсцисами xi. Це призведе до утворення ламаної лінії з вершинами у точках (x_i, y_i), де $y_i = f(x_i)$, і індекс i змінюється від 0 до n-1. Для цього обираємо кількість відрізків, на які розбивається

вхідний інтервал, і застосовуємо формулу, яку вже використовували для методу прямокутників, для обчислення довжини кожного з таких відрізків:

$$\Delta x = \frac{b-a}{n} \tag{3.16}$$

Для застосування методу трапецій ми з'єднуємо дві сусідні точки розбиття, утворюючи елементарні сегменти. Важливо зазначити, що значення функції f(x) використовуються на краях досліджуваного відрізка. Площа першої такої трапеції обчислюється за допомогою наступної формули [2]:

$$S_1 = \frac{b-a}{n} \cdot \frac{y_1+y_2}{2}, \tag{3.17}$$

а площа і-ої трапеції становитиме:

$$S_i = \frac{b-a}{n} \cdot \frac{y_{i-1}+y_i}{2} \tag{3.18}$$

Визначаємо суму площ елементарних трапецій, яка і буде являтись наближеною площею криволінійної фігури, яка обмежена лініями x = a, x = b, віссю абсцис та графіком функції f(x).

$$\int_a^b f(x)\,dx = \frac{b-a}{n} \cdot \left(\frac{y_0+y_n}{2} + y_1 + y_2 + \cdots + y_{n-1}\right) \tag{3.19}$$

Метод трапецій має похибку:

$$|\delta_n| \le \max_{x\epsilon[a;b]}|f''(x)| \cdot \frac{n\left(\frac{x_i-x_{i-1}}{2}\right)^3}{12} = \max_{x\epsilon[a;b]}|f''(x)| \cdot \frac{(b-a)^3}{12n^2} \tag{3.20}$$

Як видно з вищенаведеної формули, тут похибка дещо більша, ніж похибка методу середніх прямокутників, проте не завжди зручно використовувати саме цей метод.

Метод трапецій є зручним у випадку, коли відсутній сам графік функції. У випадках коли все ж таки є графік, доцільніше користуватися методом середніх прямокутників.

Також при неможливості визначення максимуму функції складно визначити похибку, що обчислюється. У цьому випадку можна вдатися до наступного: спочатку провести чисельне інтегрування методом трапецій для n = 10, а потім на тому самому відрізку провести обчислення при n = 20.

Якщо різниця двох отриманих значень інтегралів становить менше, ніж необхідна за умовою похибка, то як відповідь вибирають наближене значення інтеграла при n=20, а обчислення закінчують. В іншому випадку, якщо необхідна точність не досягнута, продовжують подвоювати далі кількість відрізків.

3.1.5 Метод Монте-Карло

Метод Монте-Карло - це чисельний метод на вирішення різних завдань з допомогою моделювання випадкових величин. Сутність методу Монте-Карло така: потрібно знайти значення A деякої величини, що вивчається. Для цього виберемо таку випадкову величину X, математичне очікування якої дорівнює A [3]:

$$M(x) = A \tag{3.21}$$

На практиці чинимо так: робимо n випробувань, в результаті яких отримуємо n можливих значень x; обчислюємо їх середнє арифметичне

$$\overline{x} = (\sum x_i) / n \tag{3.22}$$

і приймаємо як оцінку (наближеного значення) шуканого числа a:

$$a \cong \overline{x} \tag{3.23}$$

Для обчислення певного інтегралу нам знадобиться безперервна випадкова величина. Випадкова величина ξ - безперервна, коли вона набуває будь-якого значення з деякого інтервалу (a, b). Математичним сподіванням безперервної випадкової величини називається число [3]

$$M\xi = \int_a^b xp(x)dx. \tag{3.24}$$

Дисперсією випадкової величини називається число

$$D\xi = M(\xi^2) - (M\xi)^2. \tag{3.25}$$

Вкажемо формулу для математичного очікування випадкової функції:

$$Mf(\xi) = \int_a^b f(x)\,p(x)dx, \tag{3.26}$$

де $\eta = f(\xi)$ - випадкова функція.

Випадкова величина називається рівномірно розподіленою в інтервалі (a, b), якщо її щільність стала в цьому інтервалі.

$$\eta = a + \gamma(b-a). \tag{3.27}$$

Метод Монте-Карло застосовується як до суто імовірнісним завданням, він знаходить своє застосування у обчисленні визначених інтегралів.

Розглянемо функцію f(x), задану на інтервалі a < x < b. Потрібно приблизно обчислити інтеграл

$$I = \int_a^b f(x)dx \tag{3.28}$$

Вибираємо довільну щільність розподілу $p_\xi(x)$, яка визначена на інтервалі (a, b) (тобто довільну функцію $p_\xi(x)$, що задовольняє умові для ймовірності безперервної випадкової величини).

Поряд із випадковою величиною ξ, визначеною в інтервалі (a, b) із щільністю $p_\xi(x)$, нам потрібна випадкова величина [3].

$$\eta = g(\xi) / p_\xi(x). \tag{3.29}$$

Відповідно до формули математичного очікування для випадкової функції:

$$M\eta = \int_a^b \left[\frac{g(x)}{p_\xi(x)} \right] p_\xi(x)dx = I. \tag{3.30}$$

Генеруємо випадкові величини із щільністю ймовірності $p_\xi(x)$, тобто. ми вибираємо N значень $\xi_1, \xi_2, \ldots, \xi_N$, тоді при досить великому N

$$\frac{1}{N} \sum_{j=1}^{N} \frac{g(x)}{p_\xi(x)} \approx I. \tag{3.31}$$

Вибір схеми розрахунку:

Для розрахунку інтеграла може використовуватись будь-яка випадкова величина ξ, визначена в інтервалі (a, b). В будь-якому випадку

$$M\eta = M\left[g(\xi) / p_{\xi}(\xi) \right] = I. \qquad (3.32)$$

Але дисперсія $D\eta$ та оцінка похибки залежить від того, яку величину ξ використовувати. Дійсно

$$D\eta = M(\eta^2) - I^2 = \int_a^b \left[\frac{g^2(x)}{p_{\xi}(x)} \right] dx - I^2. \qquad (3.33)$$

Цей вираз буде мінімальним тоді, коли $p_{\xi}(x)$ пропорційна $|g(x)|$.

При виборі складних ймовірностей $p_{\xi}(x)$, процедура розігрування значень ξ дуже трудомістка. Але при виборі $p_{\xi}(x)$ можна керуватися її пропорційністю $|g(x)|$.

Абсолютна помилка при обчисленні інтеграла I за формулою $\frac{1}{N}\sum_{j=1}^{N} \frac{g(x)}{p_{\xi}(x)} \approx I$ практично не перевищує величини $3\sqrt{D\eta / N}$. Насправді ж помилка, як правило, помітно менша за цю величину. Тому для оцінки помилки на практиці часто використовують ймовірну помилку [3]

$$\delta_{вер} = 0.675\sqrt{D\eta / N}. \qquad (3.34)$$

Абсолютна помилка залежить від вибору випадкових чисел і може бути як у 2—3 разу більше, і у кілька разів менше, ніж $\delta_{вер}$. Ймовірна помилка $\delta_{вер}$ дає не саму помилку, лише задає її порядок.

Метод Монте-Карло застосовується до розрахунку певних інтегралів, які не беруться звичайними методами, і навіть для обчислення кратних інтегралів. Метод Монте-Карло для кратних інтегралів майже не відрізняється від наведеного вище методу.

3.2 Методика оцінювання комплексного показника якості об’єктів кваліметрії

3.2.1 Оцінювання процесу безпеки праці на виробництві

Для комплексного оцінювання безпеки праці на виробництві пропонується визначати оцінку по кожному шкідливому виробничому чиннику, в подальшому, визначити єдину оцінку. Пропонується використовувати метод чисельного інтегрування [4-7].

Спочатку необхідно отримати оцінки шкідливих та небезпечних чинників та побудувати часові ряди їх зміни з плином часу, як показано на рисунку 3.6.

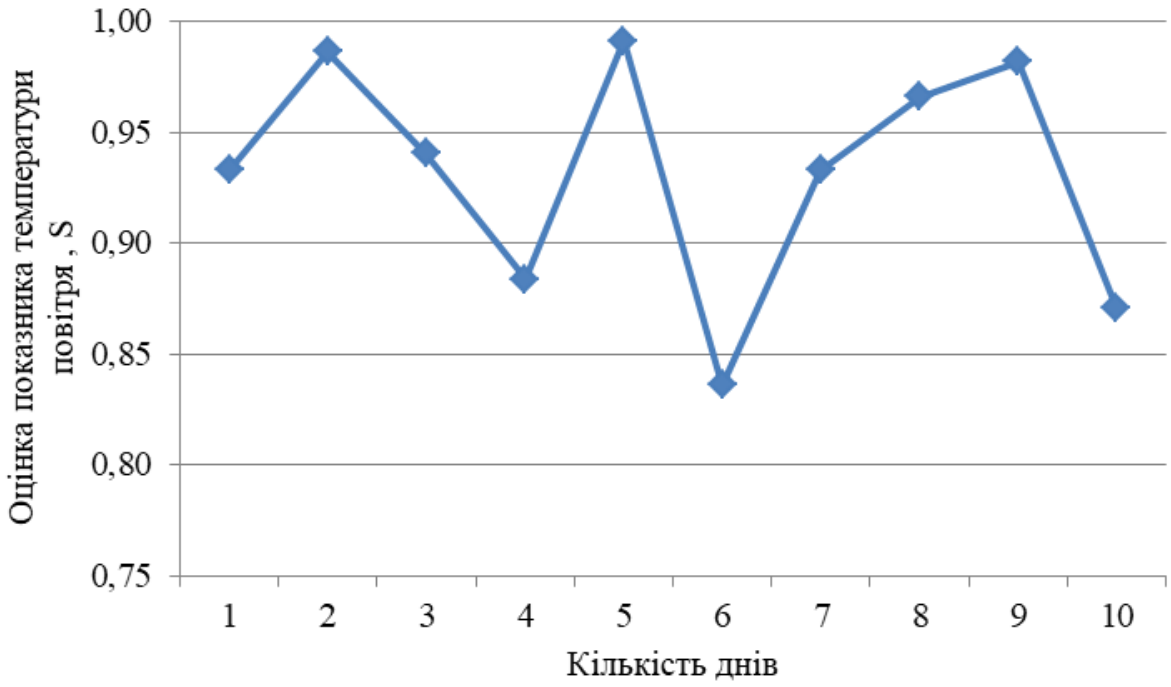


Рисунок 3.6 – Часовий ряд зміни оцінок

Щоб визначити комплексний показник безпеки праці пропонується застосувати метод чисельного інтегрування. Чисельні методи дозволяють знайти значення інтегралу безпосередньо по значеннях підінтегральної функції f(x) і не залежать від способу її подання. Для визначення комплексного показника безпеки праці пропонуємо використовувати метод чисельного інтегрування, який виникає у знаходженні площі під ламаною лінією, що утворилася в результаті з’єднання точок

на площині системи координат XOY. Для цього створені квадратурні формули методом трапецій.

Для цього виберемо кількість кроків інтегрування, на які розбиваємо досліджуваний інтервал та скористаємося формулою для обчислення довжини одного такого кроку:

$$\Delta x = \frac{b - a}{n}, \tag{3.34}$$

Згідно рисунку 1, $b = b_{(1)} = 1$ - це порядковий номер першого вимірювання; $a = a_{(10)} = 10$ - порядковий номер останнього вимірювання. Сума таких дельта повинна дорівнювати 1.

У випадку, коли значення y_i дискретні, то кількість кроків інтегрування буде дорівнювати n-1, де n – кількість результатів вимірювань.

Для обчислення площі під ламаною лінією (рис. 3.5) методом трапецій необхідно знайти площу трапеції, яку утворюють два сусідніх результати оцінювання y_i та один крок інтегрування. Як бачимо далі, значення функції f(x) береться на межах досліджуваного відрізка.

Площа першої такої трапеції становитиме:

$$S_1 = \frac{b - a}{n} \cdot \frac{y_1 + y_2}{2}, \tag{3.35}$$

а площа і-ої трапеції становитиме:

$$S_i = \frac{b - a}{n} \cdot \frac{y_{i-1} + y_i}{2}, \tag{3.36}$$

Складемо площі всіх елементарних трапецій:

$$\int_a^b f(x)dx = \frac{b - a}{n} \cdot (\frac{y_0 + y_n}{2} + y_1 + y_2 + ... + y_{n-1}), \tag{3.37}$$

Отже, склавши площі всіх елементарних трапецій, отримаємо наближену площею фігури, обмеженою лініями x = a, x = b, віссю абсцис та графіком кривої f(x).

Формула для наближеного обчислення інтеграла методом трапецій:

$$\int_a^b f(x)dx \approx \frac{x_i - x_{i-1}}{2} \cdot \left(f(x_0) + 2\sum_{i=1}^{n-1} f(x_i) + f(x_n)\right), \tag{3.38}$$

Похибка при використанні методу трапецій становить:

$$|\sigma_n| \le \max_{x\in[a;b]} \left|f''(x)\right| \cdot \frac{(b-a)^3}{12n^2}, \tag{3.39}$$

Для визначення комплексної оцінки безпеки праці на виробництві протягом певного періоду часу вимірювання їх одиничних показників пропонується застосувати формулу:

$$V = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} f(x_i y_j) \int_{x_{i-\frac{1}{2}}}^{x_{i+\frac{1}{2}}} dx \int_{y_{j-\frac{1}{2}}}^{y_{j+\frac{1}{2}}} dy, \tag{3.40}$$

де i = 1, 2,…n; j = 1, 2, …m.

Об’єм під криволінійною поверхнею буде використаний як комплексний показник безпеки праці. Метод трапеції є зручним у випадку, коли функція графіка невідома, але значення функції f(x) на точках розбиття відомості. Запропоновано методику оцінювання умов праці, яка складається з наступних кроків [8]:

Крок 1. Проводять вимірювання дійсних показників шкідливих та небезпечних чинників в одиницях їх вимірювання.

Крок 2. Використовуючи функцію помилок (2.11) визначають оцінки показників шкідливих чинників на безрозмірній шкалі.

Крок 3. Застосовуючи формулу (3.34), визначають величину кроку інтегрування, сума яких дорівнює 1.

Крок 4. Будують часовий ряд зміни оцінки шкідливих чинників з часом у вигляді, показаному на рис. 3.6.

Крок 5. Використовуючи формулу (3.35) визначають площу кожної трапеції.

Крок 6. Використовуючи формулу (3.37) визначають площу під ламаною лінією. Площа під ламаною лінією буде являтися узагальненою оцінкою одного шкідливого чинника з часом.

Крок 7. Використовуючи формулу (3.37) визначають площі під ламаними лініями за усіма шкідливими чинниками.

Крок 8. Використовуючи формулу (3.40) визначають об’єм під ламаною площиною, яка будується в результаті об’єднання усіх оцінок одиничних критеріїв показників шкідливих чинників протягом певного проміжку часу. Величина об’єму під ламаною площиною стане комплексною оцінкою умов праці на виробництві з часом.

Можна застосовувати і інші методи чисельного інтегрування, для визначення найбільш ефективного [7].

Для перевірки ефективності методики оцінки безпеки праці було проведено дослідження в цеху машинобудівного підприємства, де було індетифіковано шкідливі виробничі чинники: температура повітря, відносна вологість повітря, швидкість руху повітря, шум та локальна вібрація.

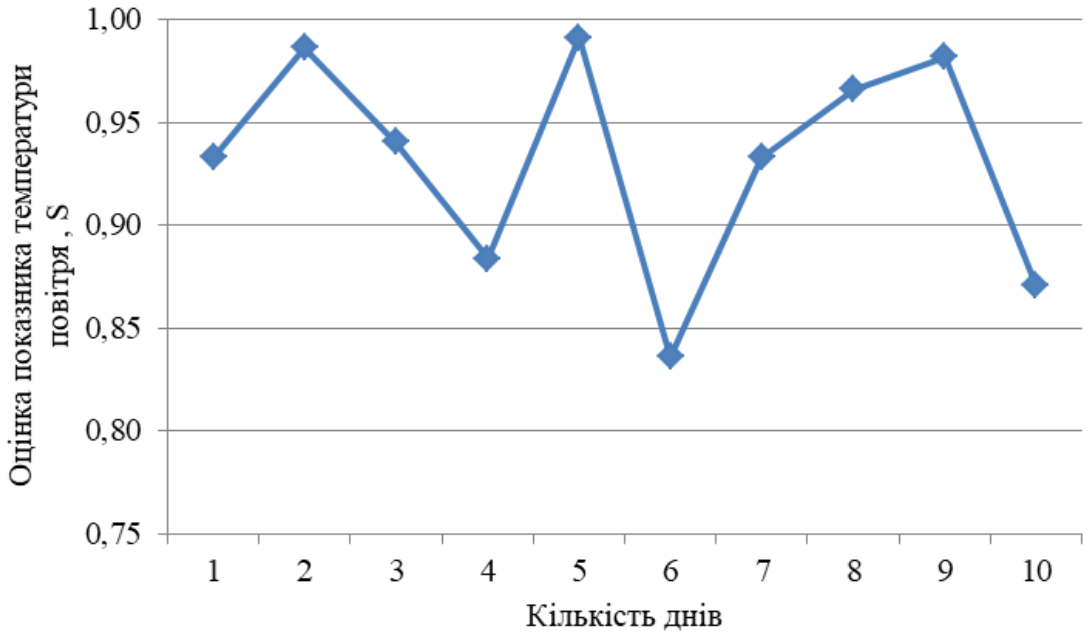
На робочих місцях і в робочій зоні фіксувалися значення шкідливих виробничих чинників. Для вимірювання температури повітря, відносної вологості та швидкості руху повітря використовувався комбінований прилад FLIR EM54. Рівень шуму та загальну вібрацію вимірювали цифровим вимірником рівня звуку GM1351 та віброметром AR63A (GM63A). Норми допустимих значень шкідливих чинників були визначені відповідно до чинних нормативних документів.

У таблиці 3.1 представлені експериментальні значення шкідливих чинників та їх оцінки на безрозмірній шкалі.

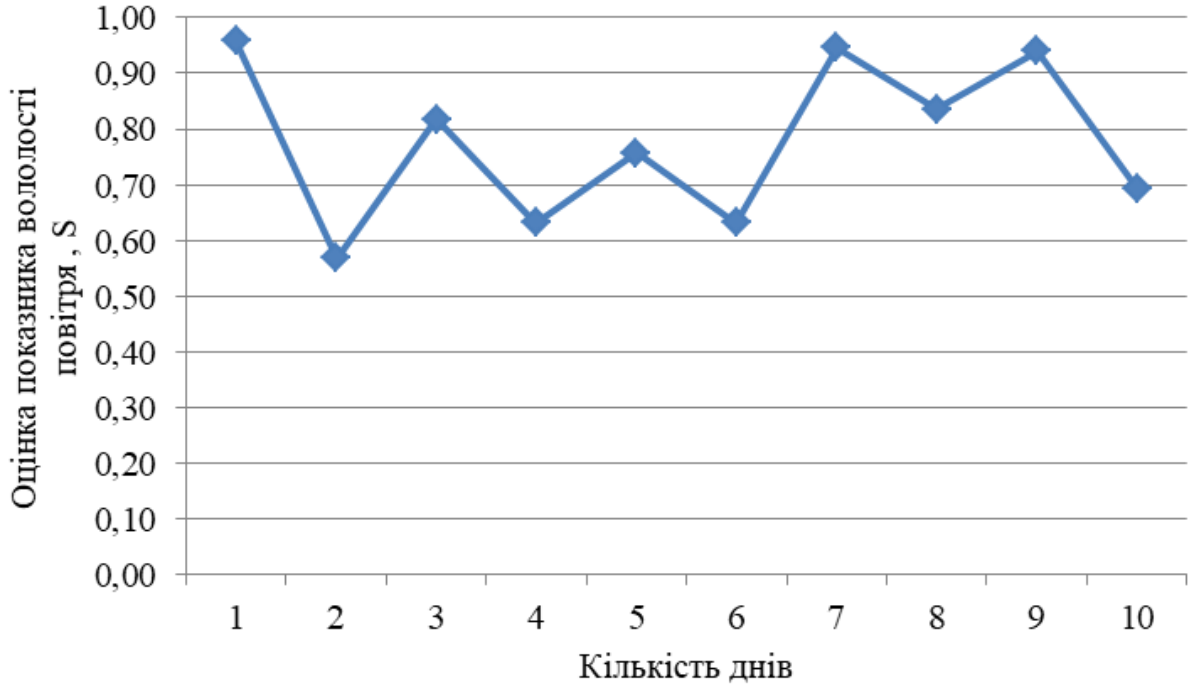
Таблиця 3.1 – Результати впровадження методики оцінки безпеки праці

Температура повітря, °С		Відносна вологість повітря, %		Швидкість руху повітря, м/с		Шум, дБа		Локальна вібрація, м/с^2	
q_i	S	q_i	S	q_i	S	q_i	S	q_i	S
25,00	0,93	72,67	0,96	0,10	0,62	67,67	0,62	0,75	0,72
22,00	0,99	51,67	0,57	0,10	0,61	72,67	0,80	0,85	0,68
24,67	0,94	65,00	0,82	0,07	0,55	65,00	0,50	0,71	0,74
26,67	0,88	55,00	0,63	0,09	0,59	66,33	0,56	0,95	0,64
20,33	0,99	61,67	0,76	0,10	0,62	71,67	0,76	0,52	0,81
27,67	0,84	55,00	0,63	0,09	0,60	67,33	0,61	0,69	0,74
25,00	0,93	72,00	0,95	0,13	0,67	62,67	0,37	0,90	0,66
23,33	0,97	66,00	0,84	0,10	0,61	71,00	0,74	0,53	0,81
22,33	0,98	71,67	0,94	0,06	0,52	71,67	0,76	0,81	0,69
27,00	0,87	58,33	0,69	0,11	0,63	70,67	0,73	0,48	0,83

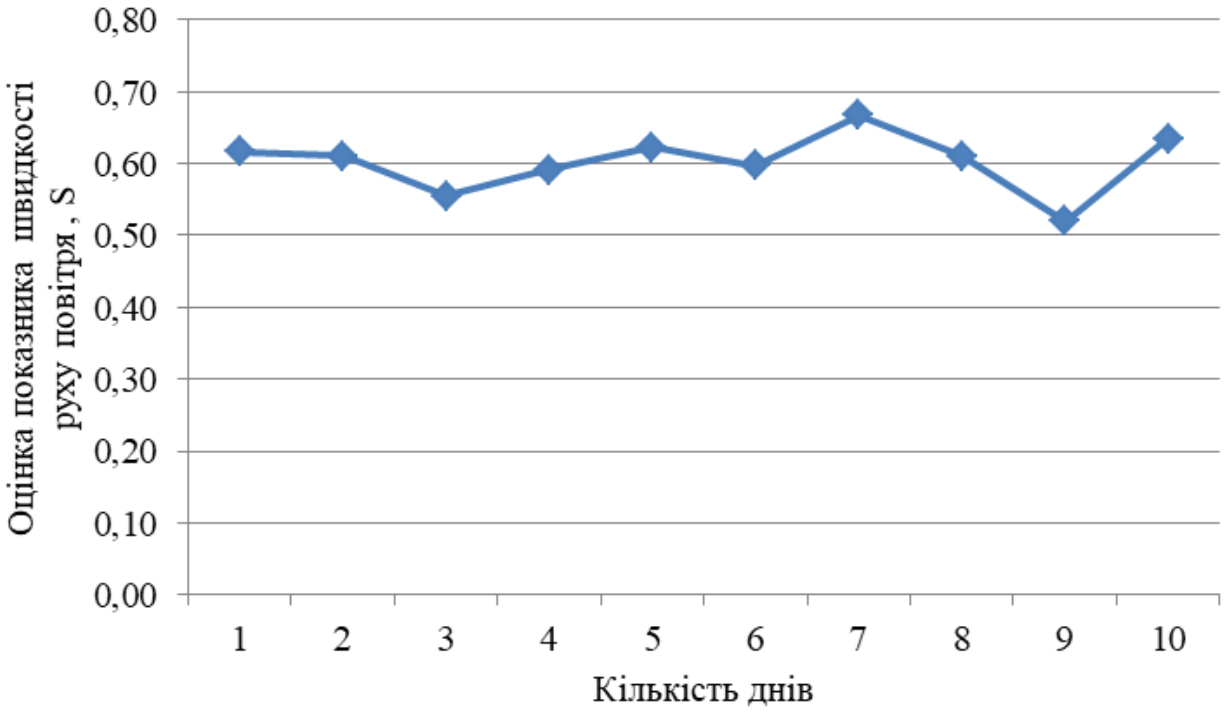
Будуємо часовий ряд змін оцінки по кожному шкідливому виробничому чиннику (рисунок 3.7).



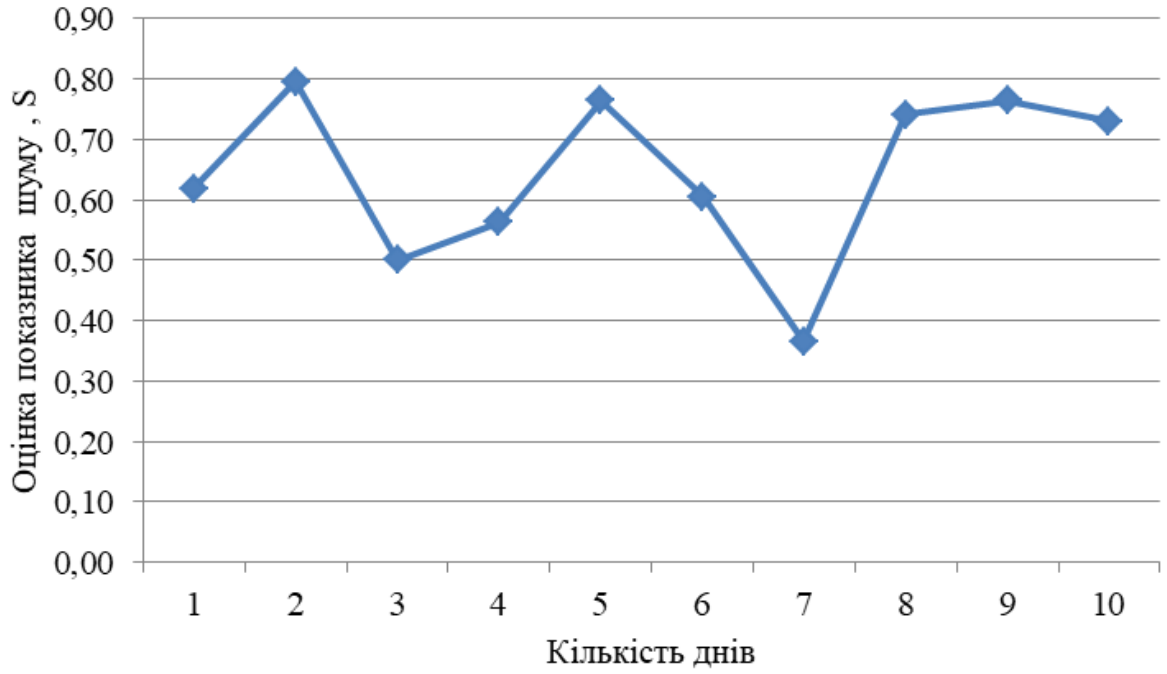
а)


Оцінка показника вололості повітря , S
1,00
0,90
0,80
0,70
0,60
0,50
0,40
0,30
0,20
0,10
0,00
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
Кількість днів

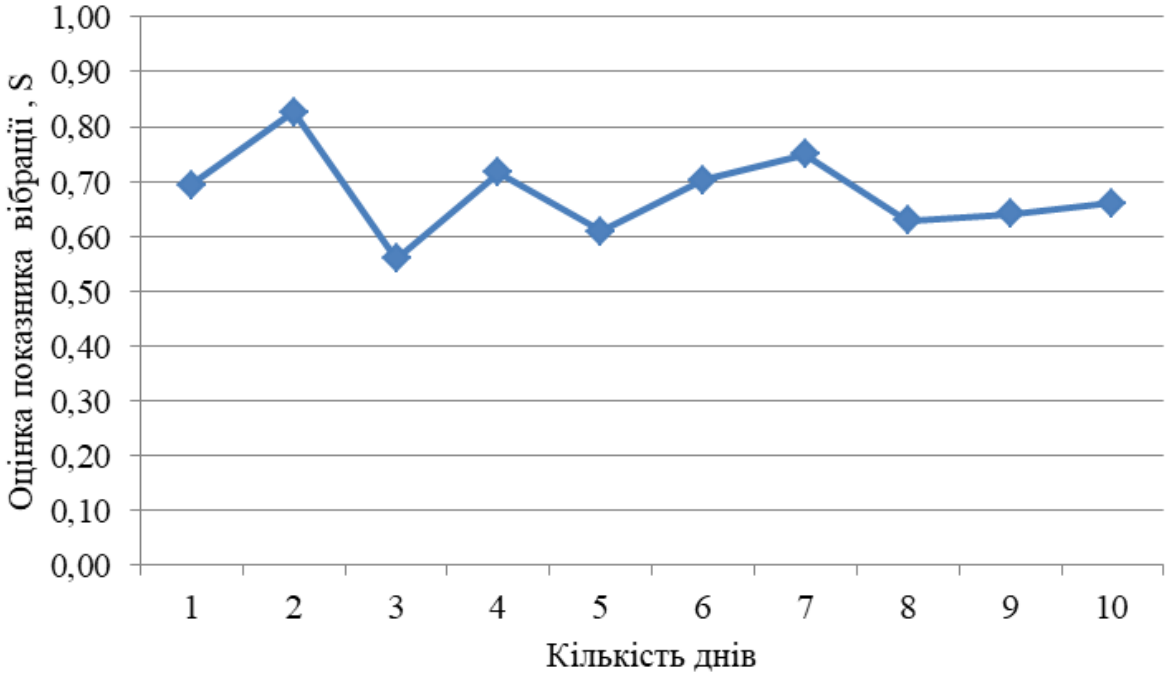
б)


Оцінка показника швидкості руху повітря , S
0,80
0,70
0,60
0,50
0,40
0,30
0,20
0,10
0,00
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
Кількість днів

в)



г)



д)

Рисунок 3.7 – Часовий ряд зміни оцінок

а) температури повітря; б) відносної вологості повітря; в) швидкості руху повітря; г) шуму; д) локальної вібрації

На рисунку 3.8. показано ламану поверхню при об’єднанні всіх часових рядів зміни показників шкідливих чинників.

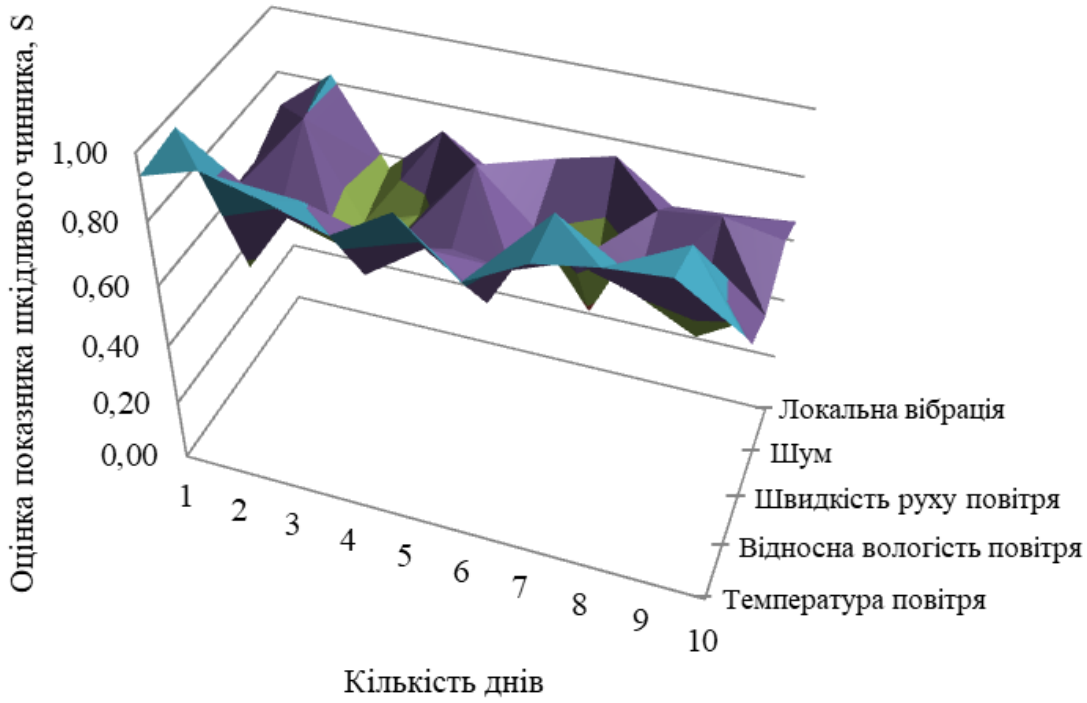


Рисунок 3.8 – Часовий ряд всіх оцінок показників шкідливих чинників

Знайдемо комплексний показник, застосувавши формулу (3.40).

Отримавши об’єм під криволінійною поверхнею, це і буде комплексний показник безпеки праці на виробництві.

Наукова новизна запропонованого методу полягає у тому, що вперше пропонується визначати комплексний показник якості при оцінюванні якості багатокритеріальних об’єктів кваліметрії графоаналітичним методом. Запропонований метод має такі переваги над існуючими: - висока точність, так як похибкою методу являється похибка визначення інтегралу. Зменшуючи крок інтегрування можна зменшувати похибку методу; - універсальність, адже можна застосовувати для багатокритеріального оцінювання об’єктів кваліметрії різної природи. - простота у застосуванні та програмуванні з метою автоматизації розрахунків.

Висновки до третього розділу

1. Розглянули теоретичні обґрунтування застосування різних методів інтегрування для розроблення методики визначення комплексного показника якості. З аналізу зрозуміло, що при інтегруванні методом трапецій похибка дещо більша, ніж похибка методу середніх прямокутників, проте не завжди зручно використовувати саме цей метод. Метод трапецій є зручним у випадку, коли відсутній сам графік функції. У випадках коли все ж таки є графік, доцільніше користуватися методом середніх прямокутників.

2. Розроблено покрокову методику оцінювання комплексного показника якості з застосуванням квадратурних та кубатурних формул на прикладі оцінювання процесу забезпечення безпеки праці на виробництві на прикладі машинобудівного цеху. Запропоновану методику можна вважати універсальною, оскільки її можна застосовувати для будь яких приміщень та підприємств.

3. Проведено апробацію розробленої методики на прикладі оцінювання навального процесу університету, до доказує універсальність методики.

Список використаних джерел

1. Крилик Л. В., Богач І. В., Лісовенко А. І. Чисельні методи. Чисельне інтегрування функцій: навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2019. 74 с.

2. Усов А.В., Шпинковський О.А., Шпинковська М.І. Чисельні методи та їх реалізація у середовищі Scilab: навч. посіб. для студентів вищих навч. закладів. Київ: Освіта України, 2013. 192 с.

3. Соболь И. М. Метод Монте-Карло. Москва: Наука, 1968. 64 с.

4. Черняк О.М., Сороколат Н.А., Каницька І.В. Застосування методу інтегрування для оцінювання якості об’єктів кваліметрії. Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. 2020. № 4 (6). С. 93–98.

5. Сороколат Н., Каницька І. Застосування методу інтегрування для оцінювання якості об’єктів кваліметрії. *Science. Innovation. Quality:* 1st International Scientific-Practical Conference SIQ - 2020, (м. Бердянськ, 17-18 грудня 2021 р.). Бердянськ, 2020. С. 524-527.

6. Черняк О. М., Сороколат Н. А., Каницька І.В. Графоаналітичний метод визначення комплексного показника якості об’єктів кваліметрії. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2020. № 4 (14). С. 169–175.

7. Черняк О. М., Сороколат Н. А., Бурдейна В. М., Фатєєва Л. Ю., Багаєв І. О. Застосування методу середніх прямокутників для отримання комплексного показника безпеки праці. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2023. № 1 (23). С. 115–122.

8. Черняк О. М., Сороколат Н. А., Фатєєва Л. Ю., Багаєв І. О., Тріщ Ю. В. Застосування методу інтегрування для отримання комплексного показника безпеки праці. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях*. 2023. № 1 (15). С. 60-67.

ВИСНОВКИ

У результаті проведення ряду теоретичних досліджень у галузі кваліметрії удосконалено існуючі методи оцінювання якості будь-яких об’єктів, що підлягають оцінюванню. При цьому, об’єкти оцінювання можуть мати різну кількість одиничних показників якості, кожен з них може мати різні одиниці вимірювання. Удосконалені методи гуртуються на застосуванні нелінійних функціональних залежностях для отримання оцінок одиничних показників якості на безрозмірній шкалі, а для отримання комплексного показника якості застосовувався метод інтегрування з використанням квадратурних та кубатурних формул. При цьому:

1. Проведено аналіз існуючої класифікації об’єктів кваліметрії та методів оцінювання їх якості та доповнено її з урахуванням функціональних залежностей та застосування функціонально залежних статистик. Аналіз класифікацій об’єктів та методів оцінювання показав необхідність розроблення універсальних методів, які би були застосовні не залежно від природи об’єкту кваліметрії.

2. Проаналізовано існуючі математичні залежності між виміряними показниками якості об’єктів кваліметрії та їх оцінкою на безрозмірній шкалі та визначили їх недоліки, які обмежують їх застосування на практиці. Існуючі залежності потребують експертних оцінок та високої кваліфікації дослідників чи працівників, які приймають управлінські рішення.

3. Запропоновано універсальну функціональну залежність між виміряними значеннями одиничних показників якості об’єктів кваліметрії та їх оцінкою на безрозмірній шкалі, яку можна ефективно застосовувати для оцінювання якості об’єктів кваліметрії різної природи.

4. Визначено функцію щільності оцінок одиничних показників якості на безрозмірній шкалі за умови, що числові значення одиничних показників якості розподілені за нормальним законом розподілу, Функція щільності дозволяє вирішувати практичні задачі, використовуючи функціонально-залежні статистики.

5. Визначено закон розподілу випадкових величин безрозмірних оцінок показників якості за умови, що виміряні значення показників якості

підпорядковуються закону нормального розподілу. За такої умови закон розподілу відповідає закону Рівної імовірності. Знання закону розподілу дозволяє вирішувати практичні задачі з управління якістю за малої кількості статистичних даних.

6. Запропоновано методику оцінювання комплексного показника якості об'єкту кваліметрії з застосуванням квадратурних та кубатурних формул, використовуючи методи інтегрування. Методика універсальна, так як може бути застосована до об’єктів будь якої природи, адже враховує тільки оцінки показників якості.

7. Проведено експериментальні дослідження з апробації методики застосування функціональної залежності та методу інтегрування для визначення комплексного показника якості об’єктів кваліметрії. Апробація методики проводилась на прикладі оцінювання системи безпеки праці на машинобудівному підприємстві.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

ДОКУМЕНТИ, ЯКІ ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ ОСНОВНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

ЗАТВЕРДЖУЮ
Перший проректор
з науково-педагогічної роботи
Української інженерно-
педагогічної академії
_____ Сергій ПЕТРОВ
«___» _____ 2023р

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ
Результатів наукових досліджень дисертаційної роботи
Сороколат Наталії Андріївни

В навчальному процесі Української інженерно – педагогічної академії.

Комісія у складі:

голови - завідувача кафедри автоматизації, метрології та енергоефективних технологій, доктора технічних наук, професора Канюка Г. І.;

членів комісії: декана факультету енергетики і автоматизації, кандидата технічних наук, доцента Антоненко Н.С.; кандидата технічних наук, доцента кафедри автоматизації, метрології та енергоефективних технологій Артюх С. М.; кандидата технічних наук, доцента кафедри автоматизації, метрології та енергоефективних технологій Черняк О. М., встановила, що результати наукових досліджень Сороколат Н. А. запроваджені у навчальному процесі УІПА у вигляді:

- теоретичних матеріалів при вивченні навчальних дисциплін: «Інформаційні системи оцінювання якості»; «Кваліметрія»; «Управління якістю технологічних процесів»;
- практичної роботи з дисципліни «Управління якістю в системі технічного регулювання»;
- при виконанні курсових та дипломних проектів магістрів для спеціальності 174 «Інформаційно-вимірювальні технології» освітньо-професійної програми «Якість, стандартизація та сертифікація».

Голова комісії
_____ Геннадій КАНЮК

Члени комісії
_____ Наталія АНТОНЕНКО
_____ Світлана АРТЮХ
_____ Олена ЧЕРНЯК

ЗАТВЕРДЖУЮ
Перший проректор
з науково-педагогічної роботи
Української інженерно-
педагогічної академії
_____ Сергій ПЕТРОВ
«___» _____ 2023р

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

Результатів наукових досліджень дисертаційної роботи

Сороколат Наталії Андріївни

В навчальному процесі Української інженерно – педагогічної академії.

Комісія у складі:

голови - завідувача кафедри автоматизації, метрології та енергоефективних технологій, доктора технічних наук, професора Канюка Г. І.;

членів комісії: декана факультету енергетики і автоматизації, кандидата технічних наук, доцента Антоненко Н.С.; кандидата технічних наук, доцента кафедри автоматизації, метрології та енергоефективних технологій Артюх С. М.; кандидата технічних наук, доцента кафедри автоматизації, метрології та енергоефективних технологій Черняк О. М., встановила, що результати наукових досліджень Сороколат Н. А. запроваджені у навчальному процесі УІПА у вигляді:

- теоретичних матеріалів при вивченні навчальних дисциплін: «Інформаційні системи оцінювання якості»; «Кваліметрія»; «Управління якістю технологічних процесів»;
- практичної роботи з дисципліни «Управління якістю в системі технічного регулювання»;
- при виконанні курсових та дипломних проектів магістрів для спеціальності 174 «Інформаційно-вимірювальні технології» освітньо-професійної програми «Якість, стандартизація та сертифікація».

Голова комісії
_____ Геннадій КАНЮК

Члени комісії
_____ Наталія АНТОНЕНКО
_____ Світлана АРТЮХ
_____ Олена ЧЕРНЯК

ДОДАТОК Б

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

І. Публікації в яких опубліковані основні наукові результати дисертації

Статті у наукових виданнях, включених до переліку наукових фахових видань України

1. Черняк О. М., *Сороколат Н. А.*, Каницька І. В. Застосування методу інтегрування для оцінювання якості об’єктів кваліметрії. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях*. 2020. № 4 (6). С. 93–98.

2. Черняк О. М., *Сороколат Н. А.*, Каницька І.В. Графоаналітичний метод визначення комплексного показника якості об’єктів кваліметрії. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2020. № 4 (14). С. 169–175.

3. Черняк О. М., *Сороколат Н. А.*, Каницька І. В., Багаєв І.О., Фатєєва Л. Ю. Стандартизація режимів стерилізації текстильних матеріалів в умовах пандемії (COVID-19) методом іонізуючого випромінювання. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях*. 2021. № 4 (10). С. 101–107.

4. Черняк О. М., *Сороколат Н. А.*, Багаєв І. О., Фатєєва Л. Ю. Застосування функціональної залежності для багатокритеріального оцінювання безпеки праці, як об’єкта кваліметрії. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2022. № 1 (19). С. 76–84.

5. *Сороколат Н. А.*, Фатєєва Л. Ю. Оцінювання якості процесів системи управління безпекою праці, згідно вимог міжнародного стандарту ISO 45001:2018. *Машинобудування*. 2022. № 29. С. 89–96.

6. *Сороколат Н. А.*, Фатєєва Л. Ю. Застосування функції помилок для оцінювання якості об’єктів кваліметрії. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях*. 2022. № 4 (14). С. 53–58.

7. Черняк О. М., *Сороколат Н. А.*, Бурдейна В. М., Фатєєва Л. Ю., Багаєв І. О. Застосування методу середніх прямокутників для отримання комплексного показника безпеки праці. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості.* 2023. № 1 (23). С. 115–122.

8. Черняк О. М., *Сороколат Н. А.*, Фатєєва Л. Ю., Багаєв І. О., Тріщ Ю. В. Застосування методу інтегрування для отримання комплексного показника безпеки праці. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях*. 2023. № 1 (15). С. 60-67.

ІІ. Публікації, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

Матеріали й тези конференції

9. *Сороколат Н.*, Каницька І. Застосування методу інтегрування для оцінювання якості об’єктів кваліметрії. *Science. Innovation. Quality:* 1st International Scientific-Practical Conference SIQ - 2020, (м. Бердянськ, 17-18 грудня 2021 р.). Бердянськ, 2020. С. 524-527.

10. Черняк О. М., *Сороколат Н. А.*, Каницька І. В. Методика багатокретиріального оцінювання якості об'єктів кваліметрії різної природи. *Радіоелектроника та молодь у XXI столітті:* матеріали 25-ї міжнар. молодіж. форум (м. Харків 20 – 22 квітня 2021 р.). Харків, 2021. Т.4. С. 167-168.

11. Черняк О. М., Сороколат Н. А. Оцінювання якості об'єктів кваліметрії з застосуванням інформаційних технологій. *Якість, стандартизація та метрологічне забезпечення*: матеріали міжнар. наук-практ. конф. (м. Харків, 25-26 січня 2022 року). Харків, 2022. С. 54.

12. Черняк О. М., *Сороколат Н. А.* Алгоритми моніторингу, вимірювання та оцінювання процесів системи управління безпекою праці. *Наука. Інновації. Якість*: матеріали націон. наук-практ. форуму (м. Харків, 09-10 серпня 2022 року). Харків, 2022. С. 19-20.

13. Черняк О. М., *Сороколат Н. А.* Застосування функції помилок для оцінювання якості об’єктів різної природи. *Якість, стандартизація та*

метрологічне забезпечення: матеріали ІІ міжнар. наук-практ. конф. (м. Харків, 14-15 березня 2023 року). Харків, 2023. С. 74.

14. *Сороколат Н. А.* Багатокритеріальне оцінювання впливу пандемії COVID-19 на психічний стан людей кваліметричним методом. *Стратегічні орієнтири сталого розвитку в Україні та світі*: збірник тез доповідей ІІ Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених (м. Чернігів, 21 квітня 2023 р.). Чернігів: НУ «Чернігівська політехніка», 2023. С. 41-42