

КВАЛІМЕТРІЯ ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ / QUALIMETRY AND QUALITY ASSURANCE

УДК 330.131.7

DOI: 10.30837/2663-9564.2025.1.10

ЗАСТОСУВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНО-ЗАЛЕЖНИХ СТАТИСТИК ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ РИЗИКІВ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ

Р.М. Тріщ¹, К.О. Ломанов², Д.О. Цициліано¹, В.О. Крутько¹, Д.Ю. Бондар¹, Д.С. Зась¹

¹Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут», кафедра мехатроніки та електротехніки Харків, Україна

²Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, кафедра інформаційних комп'ютерних технологій і математики Харків, Україна

Анотація

У сучасних умовах жорсткої конкуренції та високих вимог до якості продукції оцінювання ризиків стає невід'ємною частиною системи управління якістю на підприємствах. Особливої уваги потребує ризик випуску неякісної продукції, який безпосередньо впливає на імідж, фінансові показники та загальну конкурентоспроможність підприємства. Ефективне управління такими ризиками вимагає впровадження обґрунтованих, надійних і кількісно вимірюваних методів оцінювання якості. Одним із перспективних напрямів у цьому контексті є використання багатокритеріального підходу до оцінювання об'єктів кваліметрії. Оскільки показники якості можуть мати різні одиниці вимірювання, виникає потреба у приведенні їх до безрозмірної форми для створення єдиної інтегральної оцінки. Це завдання потребує використання математичних залежностей, здатних забезпечити кількісне визначення якості з достатньою точністю. Проте формування таких моделей є складним процесом, що потребує детального аналізу об'єкта дослідження. У зв'язку з цим у роботі запропоновано дослідити можливість застосування функціонально-залежних статистик, зокрема функції помилок, для отримання безрозмірних оцінок одиничних розмірних показників якості. Ця функція широко використовується в математичній фізиці та статистиці й має значний потенціал у контексті практичного оцінювання. Розвиток обчислювальної техніки значно спростив її застосування в прикладних задачах. Додатково, на основі аналізу функції цільності оцінок запропоновано визначати ймовірність потрапляння цих оцінок у критичні інтервали, що дозволяє розробити ефективну методику оцінки ризиків випуску неякісної продукції. Такий підхід забезпечує підвищення точності прийняття рішень у сфері управління якістю.

Ключові слова: якість; ризик; оцінювання; безрозмірна шкала; функція помилок; кваліметрія.

1. Вступ

Забезпечення якості продукції та її постійне У сучасних умовах жорсткої конкуренції та високих вимог до якості продукції оцінювання ризиків стає невід'ємною частиною системи управління якістю на підприємствах. Особливої уваги потребує ризик випуску неякісної продукції, який безпосередньо впливає на імідж, фінансові показники та загальну конкурентоспроможність підприємства. Ефективне управління такими ризиками вимагає впровадження обґрунтованих, надійних і кількісно вимірюваних методів оцінювання якості.

Одним із перспективних напрямів у цьому контексті є використання багатокритеріального підходу до оцінювання об'єктів кваліметрії. Оскільки показники якості можуть мати різні одиниці вимірювання, виникає потреба у приведенні їх до безрозмірної форми для створення єдиної інтегральної оцінки. Це завдання потребує використання математичних залежностей, здатних забезпечити кількісне визначення якості з достатньою точністю. Проте формування таких моделей є складним процесом, що потребує детального аналізу об'єкта дослідження.

Метою статті є дослідити можливість застосування функціонально-залежних статистик, зокрема функції помилок, для отримання безрозмірних оцінок одиничних розмірних показників якості. Ця функція широко використовується в математичній фізиці та статистиці й має значний потенціал у контексті практичного оцінювання. Розвиток обчислювальної техніки значно спростив її застосування в прикладних задачах. Додатково, на основі аналізу функції цільності оцінок запропоновано визначати ймовірність потрапляння цих оцінок у критичні інтервали, що дозволяє розробити ефективну методику оцінки ризиків випуску неякісної продукції. Такий підхід забезпечує підвищення точності прийняття рішень у сфері управління якістю.

2. Матеріали і методи

Ризик як категорія має різні визначення, сформульовані вітчизняними та зарубіжними дослідниками. У загальному розумінні ризик трактується як потенційна ймовірність втрат, збитків або недоотримання запланованих результатів, що обумовлено наявністю невизначеності у процесі

реалізації діяльності. Він також визначається як ступінь невизначеності майбутніх фінансових результатів або можливість настання несприятливих наслідків через зміну умов, які не були враховані в початкових розрахунках [1].

Для забезпечення ефективного управління ризиками важливо, щоб керівні органи організації дотримувалися певних принципів на всіх рівнях. Ризик-менеджмент має бути невід'ємною складовою управлінських процесів, інтегруватися у стратегію розвитку, підтримувати прийняття рішень, враховувати невизначеність і базуватись на найкращій доступній інформації. Управління ризиками повинно враховувати як зовнішній, так і внутрішній контекст діяльності організації, а також специфіку людських і культурних чинників, які можуть впливати на досягнення цілей [2].

Ризик-менеджмент повинен бути прозорим, інклюзивним і відкритим до змін. Це динамічний процес, що передбачає постійний моніторинг і адаптацію до нових умов. Організації мають розробляти відповідну політику, яка чітко окреслює цілі, відповідальність, механізми управління ризиками, забезпечення ресурсами та зобов'язання щодо постійного вдосконалення системи. Важливою умовою ефективного ризик-менеджменту є формування цілісної системи, яка інтегрується з загальним управлінським механізмом підприємства, відображає його корпоративну культуру і дозволяє оперативно реагувати на зміни [3].

Сформульовані під час дослідження принципи створення системи управління ризиками дали змогу виділити основні елементи ефективного моніторингу. Така система повинна включати чітко визначені зони спостереження, наявність широкого кола спостерігачів, використання критеріїв для оцінки вхідної інформації, ефективні канали комунікації всередині організації та здатність до самовдосконалення. Це дозволяє організації оперативно виявляти ризики, оцінювати їх і приймати обґрунтовані управлінські рішення [4].

Відомо, що на об'єкти кваліметрії впливає велика кількість чинників, тому для оцінювання їхньої якості використовується комплексний показник, який формується з багатьох критеріїв [5-7]. Для правильного розуміння цього показника потрібно застосовувати багатокритеріальні методи оцінювання [8-10].

При багатокритеріальному аналізі необхідно перевести всі показники якості, що мають різні одиниці вимірювання, на безрозмірну шкалу. Це дає змогу об'єднати різні оцінки в єдину систему, що значно покращує обсяг та ефективність обробки інформації про стан об'єкта [11-14].

Існують спеціальні методики, які перетворюють показники з різними розмірностями у безрозмірну форму за допомогою математичних формул. Такі залежності дозволяють кількісно визначити рівень якості об'єкта або процесу, встановлюючи зв'язок між значенням показника та його оцінкою. Проте створення об'єктивних

математичних моделей є складним процесом, що потребує глибокого вивчення об'єкта і забезпечує лише допустиму точність результатів [15-18].

Одна з ключових проблем цих методів полягає в тому, що більшість з них базуються на спрощених формулах, які лише частково враховують реальні закономірності процесів оцінювання. Втім, альтернативи таким підходам немає. Е. С. Вентцель у своєму аналізі називає подібні моделі довільними, але підкреслює, що навіть умовні математичні залежності є кращими, ніж їх повна відсутність, оскільки вони є зручним способом досягти згоди між учасниками оцінювання.

У кваліметрії особливу увагу приділяють зв'язку між вимірюваними показниками якості та їх оцінкою на безрозмірній шкалі, оскільки ці показники не завжди мають лінійну або рівномірну залежність. Це ускладнює застосування стандартних методів контролю якості, тому в таких випадках використовуються статистичні підходи. Основна задача полягає не стільки у вивченні розподілу показника у фізичних одиницях, скільки в дослідженні розподілу його оцінок у безрозмірному вигляді. В рамках цього підходу вивчаються закономірності розсіювання таких оцінок [19].

Об'єктом аналізу у кваліметрії, як правило, виступає результат технологічного процесу — виготовлений виріб. Розрізняють два методи досягнення необхідних параметрів якості: індивідуальне виготовлення з ручною доробкою та автоматизоване виробництво на налагодженому обладнанні. У цьому дослідженні розглядається саме автоматизований метод, оскільки він дозволяє ефективно застосовувати статистичні методи аналізу.

Схема оцінювання якості будь якого технологічного процесу представлено на рисунку 1.

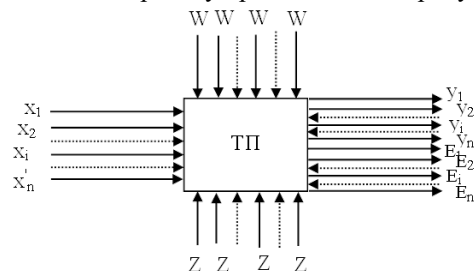


Рис. 1. Схема оцінювання якості будь якого технологічного процесу

Де $x_1 \dots x_n$ – вхідні контрольючі параметри; $z_1 \dots z_n$ – управляючі контрольючі фактори; $w_1 \dots w_n$ – не контрольючі фактори; $y_1 \dots y_n$ – вихідні показники якості; $E_1 \dots E_n$ – вихідні економічні показники

Як видно зі схеми на рисунку 1, технологічний процес являє собою складну систему, поведінка якої необхідно оцінювати, аналізувати, прогнозувати і при необхідності корегувати - керувати нею для забезпечення високої якості продукції.

Під час автоматизованого виробництва показники якості можуть відхилятися від заданих

через дію систематичних і випадкових факторів. Систематичні фактори, як-от знос або неточність інструменту, змінюються поступово або залишаються постійними для всієї партії. Випадкові фактори, навпаки, змінюються без закономірності, що призводить до варіацій у якості навіть при однакових умовах виробництва. Через це істинне значення показника якості окремого виробу є випадковою величиною, що змінюється в певних межах. Для аналізу таких відхилень застосовуються методи математичної статистики.

Сучасні технологічні процеси потребують використання адаптивних систем управління, здатних забезпечити стабільну якість продукції навіть при змінних зовнішніх умовах. У таких умовах особливо важливим є статистичний аналіз, який дає змогу досліджувати властивості випадкових величин на основі вибірових даних. У процесі статистичного оцінювання вирішуються завдання, що включають обробку даних і прийняття рішень. Оскільки дані мають випадковий характер і зазвичай обмежені в обсязі, результати аналізу також є ймовірнісними.

Основні типи задач, що вирішуються у статистичному аналізі якості, — це оцінювання параметрів, перевірка статистичних гіпотез і побудова функції розподілу. Кожен із цих напрямів має свої методи та практичне значення. Наприклад, оцінювання дозволяє визначити числові характеристики розподілу, перевірка гіпотез — з'ясувати, чи відповідає вибірка певним припущенням, а визначення функції розподілу — описати ймовірнісний характер розсіювання значень.

Задачі оцінювання зводяться до отримання точкових або інтервальних оцінок параметрів. У задачах перевірки гіпотез часто попередньо виконується виявлення і виключення аномальних спостережень. Ці дві задачі тісно взаємопов'язані, оскільки уточнення розподілу або параметрів може бути необхідним для точнішого тестування гіпотез.

Оцінювання функції розподілу є складним завданням у випадках, коли обсяг статистичної інформації обмежений. Хоча для великих вибірок існують ефективні методи, наприклад побудова гістограм або полігонів частот, у випадку обмежених даних такі методи дають ненадійні результати. Це особливо актуально для підприємств з малосерійним виробництвом або для оцінювання якості дорогих, надійних виробів, де обсяг вибірки невеликий.

Уміння побудувати точну оцінку функції розподілу навіть за малою кількістю даних дозволяє суттєво знизити ймовірність помилок при прийнятті статистичних рішень. Тому при обмеженій статистичній інформації важливо ефективно використовувати кожен доступний елемент даних. Такий підхід підтримується ідеями, закладеними у роботах засновників теорії інформації — Н. Вінера, Р. Фішера, К. Шеннона, які показали, як навіть обмежені обсяги інформації можуть використовуватись для отримання обґрунтованих статистичних висновків.

3. Застосування функції помилок для оцінювання якості об'єктів кваліметрії

Пропонується дослідити та застосувати функцію помилок для отримання безрозмірних оцінок одиничних розмірних показників якості. Ця функція є складною та використовується в математичній фізиці та статистиці для вирішення прикладних задач. Розвиток комп'ютерних технологій останніми роками значно розширив можливості її застосування. Вигляд функції помилок наведено у роботі [20].

$$\operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt \quad (1)$$

Графічне зображення функції помилок представлено на рисунку 2.

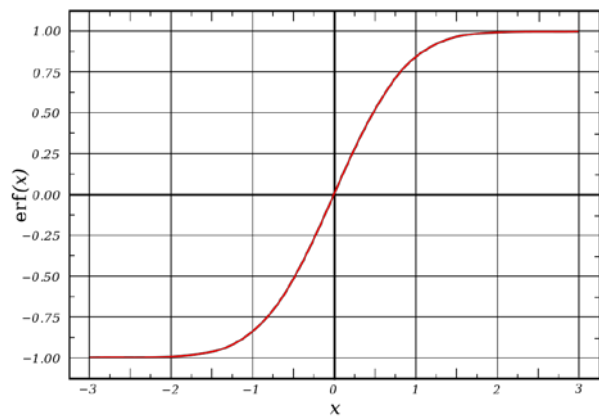


Рис. 2. Графік функції помилок (1)

У кваліметрії, враховуючи особливості оцінювання якості об'єктів, можна зазначити, що, оцінка показника якості знаходиться в інтервалі $0 \leq y(x) < 1$, а швидкість зміни функції на межових значеннях значно нижча, ніж у середині діапазону. З рисунку 2 видно, що функція (1) має належні обґрунтування для отримання оцінок якості в кваліметрії.

З рисунку 2 видно, що функція (1) є обґрунтованим інструментом для оцінювання якості в кваліметрії. Безрозмірні оцінки, отримані за її допомогою, змінюються в межах від -1 до 1. За допомогою алгебраїчних перетворень можна отримати функціональну залежність, яка дає оцінки в діапазоні $0 \leq y(x) < 1$:

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

де $\operatorname{erf}(x)$ — функція помилок; a — мінімально допустиме значення показника якості (відповідає нормативам); b — максимально допустиме значення показника; x — вимірне значення показника якості; k — параметр форми; l — параметр масштабу.

Функція $y(x)$ в точці a приймає значення близьке до 0, а в точці b — близьке до 1. Залежність (1) представлено на рисунку 3.

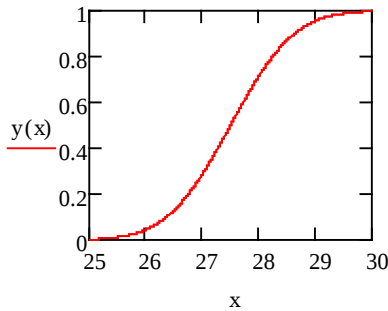


Рис. 3. Графік функції (1) при $a = 25$; $b = 30$; $l = 2$; $k = 4$

Як видно з графіка, оцінка якості зростає від 0 до 1, причому оптимальне значення досягається при наближенні до верхньої границі (b). Якщо найкращий показник відповідає нижній межі (a), використовується обернена залежність:

$$y'(x) = 1 - \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \operatorname{erf} \left(-l + k \frac{x-a}{b-a} \right) \right), \quad (3)$$

На рисунках 4 - 13 показано графіки функції (1) для різних значень параметрів k та l , що демонструє її гнучкість у залежності від налаштувань.

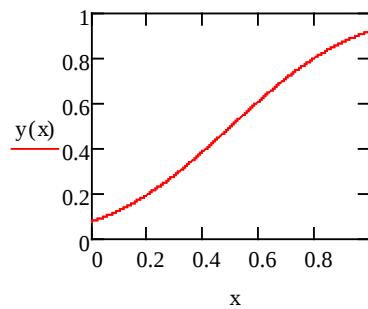


Рис. 4. Графік функції (1) при $a = 0$; $b = 1$; $l = 2$; $k = 1$

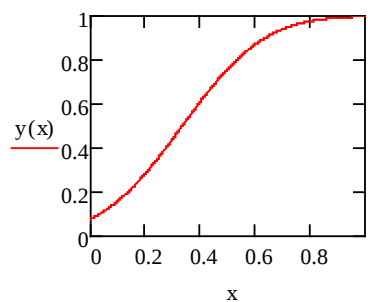


Рис. 5. Графік функції (1) при $a = 0$; $b = 1$; $l = 1$; $k = 3$

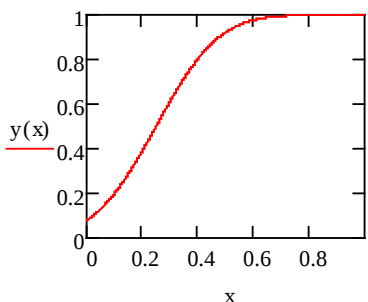


Рис. 6. Графік функції (1) при $a = 0$; $b = 1$; $l = 1$; $k = 4$

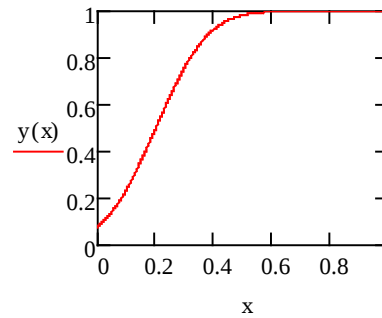


Рис. 7. Графік функції (1) при $a = 0$; $b = 1$; $l = 1$; $k = 5$

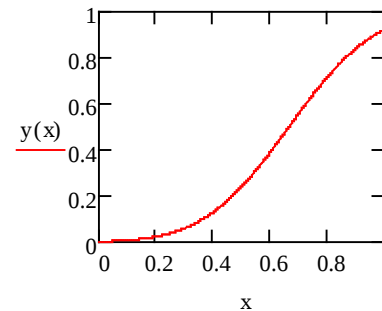


Рис. 8. Графік функції (1) при $a = 0$; $b = 1$; $l = 2$; $k = 3$

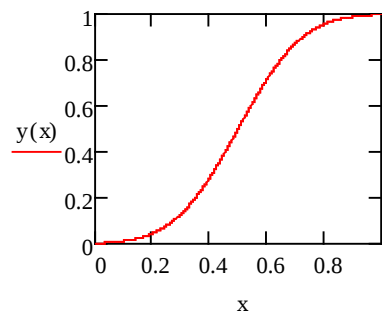


Рис. 9. Графік функції (1) при $a = 0$; $b = 1$; $l = 2$; $k = 4$

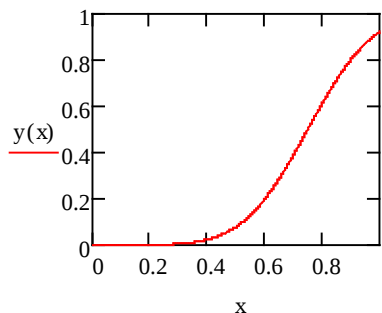


Рис. 10. Графік функції (1) при $a = 0$; $b = 1$; $l = 3$; $k = 4$

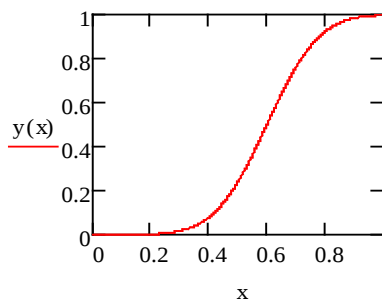


Рис. 11. Графік функції (1) при $a = 0$; $b = 1$; $l = 3$; $k = 5$

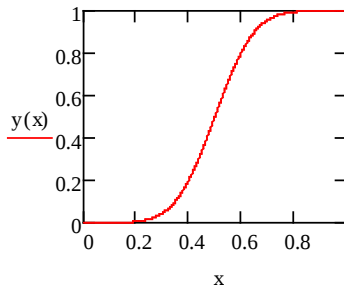


Рис. 12. Графік функції (1) при $a = 0; b = 1; l = 3; k = 6$

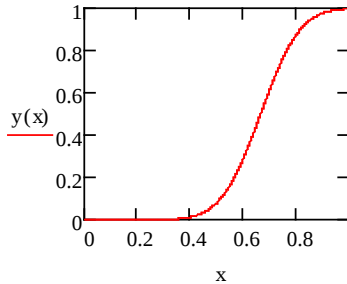


Рис. 13. Графік функції (1) при $a = 0; b = 1; l = 4; k = 6$

Удосконалені залежності (1) та (2) демонструють високу ефективність у порівнянні з традиційними методами кваліметрії, що підтверджується низкою ключових переваг [21, 22].

По-перше, їх нелінійний характер цілком відповідає теоретичним засадам кваліметрії. Це особливо важливо, оскільки оцінки якості зазвичай змінюються незначно на межі допустимого діапазону, тоді як основна інформація зосереджена саме всередині нього. Така особливість робить запропоновані залежності ідеальним інструментом для практичного застосування, де потрібно аналізувати реальні, а не граничні значення показників.

По-друге, на відміну від існуючих методик, які часто вимагають складних розрахунків і залучення експертів, новий підхід ґрунтується на функції помилок (ФОШ), вбудованій у Microsoft Excel. Це значно спрощує процес оцінювання, оскільки відпадає необхідність у розробці спеціалізованого програмного забезпечення. В результаті залежності стають універсальними — їх можна застосовувати до найрізноманітніших об'єктів: технологічних процесів, промислової продукції, інтелектуальних ресурсів тощо.

Важливо також відзначити практичну значущість цього підходу. Запропоновані залежності можуть бути легко інтегровані в систему управління якістю на рівні окремих підприємств або галузей, ставши частиною внутрішніх нормативних документів. Враховуючи, що випадкове розсіювання показників якості, таких як X , підпорядковується нормальному закону розподілу, їх використання забезпечує точність і надійність оцінок.

Таким чином, поєднання теоретичної обґрунтованості, простоти реалізації та широкої сфери застосування робить ці залежності перспективним інструментом для сучасних методів оцінювання якості.

4. Оцінювання ризиків низької якості продукції

Розглянемо випадкову величину X , що характеризує показник якості і підпорядковується нормальному закону розподілу з функцією щільності:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}} \quad (4)$$

Якщо ця величина пов'язана з безрозмірною оцінкою Y залежністю (4), то функція щільності ймовірностей $q(y)$ набуває вигляду:

$$q(y) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot |q_1(y)| \cdot e^{-\frac{1}{2\sigma^2}(q_2(y)-\bar{X})^2} \quad (5)$$

де:

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

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

Функція (4) має два параметри:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (8)$$

де x_i - виміряне значення показника, n - кількість вимірювань.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2} \quad (9)$$

Графік функції щільності (5) щільності наведено на рисунку 14.

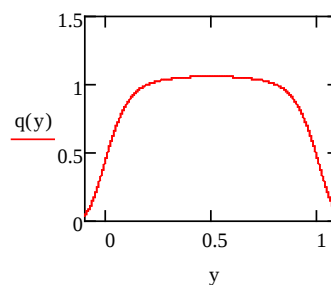


Рис. 14. Графік функції щільності

Таким чином, знання розподілу будь-якого показника якості як випадкової величини разом із застосуванням функціонального перетворення (2) дає змогу визначити розподіл оцінок на уніфікованій безрозмірній шкалі. Наявність такого розподілу оцінок як випадкової величини відкриває широкі можливості для розв'язання прикладних завдань з використанням стандартних статистичних методів аналізу.

Знаючи функцію щільності ймовірностей для випадкової величини Y , тоді можливо вирішувати практичні завдання, в тому числі знайти ймовірність того, що значення випадкової величини Y потрапляє в певний проміжок (c, d):

$$P(c < y < d) = \int_c^d q(y) dy = F(d) - F(c), \quad (10)$$

де $q(y)$ - функція розподілу випадкової величини Y .

Отже знайдемо ймовірність того, що значення випадкової величини Y потраплять в проміжок (c, d) . Для цього необхідно розрахувати інтеграл:

$$P(c < y < d) = \int_c^d q(y) dy, \quad (11)$$

Проведені розрахунки, представлені в таблиці 1, дали наступні результати щодо ймовірності попадання Y у різні інтервали.

Табл. 1. Ймовірність знаходження значення випадкової величини Y в інтервалі (c, d)

Інтервал	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	Σ 1
Ймовірність	0,069	0,095	0,1	0,1	0,1	
Інтервал	5-6	6-7	7-8	8-9	9-1	
Ймовірність	0,1	0,1	0,1	0,095	0,069	

Результати підтверджують правильність обраного математичного апарату і достовірність проведених досліджень. Отримані дані можуть бути використані для подальшого аналізу якості та прийняття управлінських рішень.

Список літератури

1. ISO Guide 73:2009 «Risk management – Vocabulary – Guidelines for use in standards» [<https://www.iso.org/standard/44651.html>] (available: 26.04.2025).
2. Лагунова І. А. Сутність та принципи концепції ризик-менеджменту. Актуальні проблеми державного управління. 2018. № 1. С. 44-51.
3. ДСТУ ISO 31000:2018 Менеджмент ризиків. Принципи та настанови (ISO 31000:2018, IDT). [Чинний від 2019-01-01]. Вид. офіц. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2019.
4. Trishch R., Nechuiviter O., Dyadyura K., Vasilevskyi O., Tsykhanovska I., Yakovlev M. Qualimetric method of assessing risks of low quality products. MM Science Journal, 2021, pp. 4769–4774. doi: 10.17973/MMSJ.2021_10_2021030.
5. Ginevičius R., Trišć R., Remeikienė R., Zielińska A., Strikaitė-Latušinskaja G. Evaluation of the condition of social processes based on qualimetric methods: The COVID-19 case. Journal of International Studies, 2022. vol. 15, no. 1, pp. 230–249. doi:10.14254/2071-8330.2022/15-1/15.
6. Cherniak O., Trishch R., Ginevičius R., Nechuiviter O., Burdeina V. Methodology for Assessing the Processes of the Occupational Safety Management System Using Functional Dependencies. Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering - 2023. ICTM 2023. Lecture Notes in Networks and Systems. Springer, Cham. vol. 996, 2024, pp. 3–13. doi: 10.1007/978-3-031-60549-9_1.
7. Кучерук В. Ю., Глушко М. В. Покращення якості рекомендаційних систем на основі кваліметричних методів вимірювання. Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. 2022. Вип. 2. С. 65–72. doi: 10.1891/2219-9365-2022-70-2-9.
8. Ginevičius R., Trishch R., Bilan Y., Lis M., Pencik J. Assessment of the Economic Efficiency of Energy Development in the Industrial Sector of the European Union Area Countries. Energies, 2022, vol. 15, 3322. doi: 10.3390/en15093322.
9. Argotti Y., Baron C., Esteban P. Quality quantification in Systems Engineering from the Qualimetry Eye. 2019 IEEE International Systems Conference (SysCon). 2019. P. 1–8. doi: 10.1109/SYSCON.2019.8836756.
10. Yazdani M., Tavana M., Pamučar D., Chatterjee P. A rough based multi-criteria evaluation method for healthcare waste disposal location decisions. Computers & Industrial Engineering, 2020, vol. 143, 106394. doi:10.1016/j.cie.2020.106394
11. Kim H. I. Узагальнений показник якості об'єктів кваліметрії різної природи. Вісник аграрної науки Причорномор'я. Вип. 1. С. 94–101. doi: 10.31521/2313-092X/2021-1(109)-12.
12. Черняк О. М., Фатєєва Л. Ю., Яковлев М. Ю., Рибальченко Т. П., Зась Д. С., Кузнєцов В. Д. Оцінювання якості системи управління безпекою праці відповідно до вимог міжнародного стандарту ISO 45001:2018 на етапі функціонування. Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2024. № 1 (27). С. 226–235.
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. doi: 10.30837/ITSSI.2022.19.076.
14. Рудик Ю. І. Оцінювання безпеки складних організаційно-технічних систем кваліметричними методами з урахуванням ризиків: дис. д-ра техн. наук: 05.01.02 "Стандартизація, сертифікація та метрологічне забезпечення". 2021. Львів, 312 с.

Висновки

У сучасних дослідженнях з кваліметрії запропоновано використання функції помилок для побудови універсальної моделі оцінювання якості. Даний підхід ґрунтується на перетворенні вимірюваних показників у безрозмірну шкалу за допомогою функціональної залежності, що вимагає лише знання гранично допустимих значень та параметрів форми розподілу.

Математичний аналіз показав, що при нормальному розподілі вихідних даних отримана функція щільності ймовірності на безрозмірній шкалі зберігає основні властивості вихідного розподілу. Це дозволяє застосовувати стандартні статистичні методи для аналізу ймовірнісних характеристик. Зокрема, було встановлено симетричний характер розподілу оцінок з максимальною щільністю в центральній області та плавним зменшенням до меж діапазону.

Важливою перевагою запропонованого методу є його інваріантність відносно природи об'єкта оцінювання, що значно розширює сферу застосування у різних галузях. Отримані результати свідчать про високу ефективність такого підходу для задач стандартизації процедур оцінювання якості та прийняття управлінських рішень.

15. Trishch R., Cherniak O., Zdenek, D., Petraskevicius V. Assessment of the occupational health and safety management system by qualimetric methods. *Engineering Management in Production and Services*, 2024, vol. 16, no.2, pp. 118-127. doi: 10.2478/emj-2024-0017.
16. 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. doi: 10.30837/ITSSI.2020.14.169.
17. Черняк О., Сороколат Н., Бурдейна В., Фатєєва Л., Багаєв І. Застосування методу середніх прямокутників для отримання комплексного показника безпеки праці. Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2023. №1(23). С. 115–122. doi: 10.30837/ITSSI.2023.23.115.
18. Кучерук В. Ю., Глушко М. В. Оцінювання якості відгуків на основі кваліметричного методу "The value of opinion". Наукові праці Вінницького національного технічного університету. Вип. 3, Вересень 2022. Р. 1–13. doi: 10.31649/2307-5376-2022-2-22-34.
19. Черняк О. М., Багаєв І. О., Катрич О. О., Теслов О. А., Косиченко О. М., Шевченко В. П. Визначення мінімальної кількості періодів для оцінювання індексів сталого розвитку країн ЄС методами порядкових статистик. Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2024. № 1 (27). С. 215–225. doi: 10.30837/ITSSI.2024.27.215
20. Піх С. С., Попель О. М., Ровенчак А. А., Тальянський І. І. Методи математичної фізики. Львів: ЛНУ ім. Франка, 2011. 404 с.
21. 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. doi: 10.32820/2079-1747-2022-29-89-96.
22. 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. doi:10.20998/2413-4295.2022.04.08

Надійшла (Received) 05.05.2025

Прийнята до друку (accepted for publication) 20.05.2025

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ/ABOUT THE AUTHORS

Тріщ Роман – Доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри мехатроніки та електротехніки, Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут», E-mail: trich_@ukr.net, ORCID: 0000-0002-9503-8428.

Trishch Roman – Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Head of the Department of Mechatronics and Electrical Engineering, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", E-mail: trich_@ukr.net, ORCID: 0000-0002-9503-8428.

Ломанов Костянтин – аспірант кафедри Інформаційних комп'ютерних технологій і математики, Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, E-mail: klomanov0320@gmail.com, ORCID: 0009-0000-7124-7607.

Lomanov Kostiantyn – Postgraduate Student at the Department of Information Computer Technologies and Mathematics, V. N. Karazin Kharkiv National University, E-mail: klomanov0320@gmail.com, ORCID: 0009-0000-7124-7607.

Цициліано Денис – аспірант кафедри Мехатроніки та електротехніки, Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут», E-mail: d.o.tsytsyliano@khai.edu, ORCID: 0009-0005-9524-9777.

Tsytsyliano Denys – Postgraduate Student at the Department of Mechatronics and Electrical Engineering, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", E-mail: d.o.tsytsyliano@khai.edu, ORCID: 0009-0005-9524-9777.

Крутько Вадим – аспірант кафедри Мехатроніки та електротехніки, Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», E-mail: v.o.krutko@khai.edu, ORCID: 0009-0009-5093-3566.

Krutko Vadym – Postgraduate Student at the Department of Mechatronics and Electrical Engineering, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", E-mail: v.o.krutko@khai.edu, ORCID: 0009-0009-5093-3566.

Бондар Дмитро – аспірант кафедри Мехатроніки та електротехніки, Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут», E-mail: d.y.bondar@khai.edu, ORCID: 0009-0001-6023-4250.

Bondar Dmytro – Postgraduate Student at the Department of Mechatronics and Electrical Engineering, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", E-mail: d.y.bondar@khai.edu, ORCID: 0009-0001-6023-4250.

Зась Денис – аспірант кафедри Мехатроніки та електротехніки, Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут», E-mail: d.s.zas@khai.edu, ORCID: 0009-0001-5089-4060.

Zas Denys – Postgraduate Student at the Department of Mechatronics and Electrical Engineering, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", E-mail: d.s.zas@khai.edu, ORCID: 0009-0001-5089-4060.

Application of functionally dependent statistics for assessing product quality risks

R.M. Trishch, K.O. Lomanov, D.O. Tsytsyliano, V.O. Krutko, D.Yu. Bondar, D.S. Zas

Abstract

In today's environment of fierce competition and high product quality requirements, risk assessment is becoming an integral part of the quality management system at enterprises. Particular attention should be paid to the risk of low-quality products, which directly affects the image, financial performance and overall competitiveness of the enterprise. Effective management of such risks requires the implementation of sound, reliable and quantifiable quality assessment methods. One of the most promising areas in this context is the use of a multi-criteria approach to assessing qualimetric objects. Since quality

indicators may have different units of measurement, there is a need to bring them to a dimensionless form to create a single integrated assessment. This task requires the use of mathematical dependencies that can provide a quantitative definition of quality with sufficient accuracy. However, the formation of such models is a complex process that requires a detailed analysis of the research object. In this regard, the paper proposes to investigate the possibility of using functionally dependent statistics, in particular the error function, to obtain dimensionless estimates of single dimensional quality indicators. This function is widely used in mathematical physics and statistics and has significant potential in the context of practical evaluation. The development of computing technology has greatly simplified its use in applied problems. In addition, based on the analysis of the density function of estimates, it is proposed to determine the probability of these estimates falling into critical intervals, which allows developing an effective methodology for assessing the risks of producing low-quality products. This approach ensures an increase in the accuracy of decision-making in the field of quality management.

Key words: quality; risk; assessment; dimensionless scale; error function; qualimetry.