

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ В.Н. КАРАЗІНА
Навчально-науковий інститут
«Українська інженерно-педагогічна академія» Харківського національного
університету імені В. Н. Каразіна

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

Багаєв Ігор Олександрович

УДК 006.015.5:004

ДИСЕРТАЦІЯ
УДОСКОНАЛЕННЯ КВАЛІМЕТРИЧНИХ МЕТОДІВ ОЦІНЮВАННЯ
РИЗИКІВ ЯКОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ З ЗАСТОСУВАННЯМ
ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

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

_____ І. О. Багаєв

Науковий керівник: Грінченко Ганна Сергіївна, кандидат технічних наук, доцент

Харків – 2025

АНОТАЦІЯ

Багаєв І. О. Удосконалення кваліметричних методів оцінювання ризиків якості технологічних процесів з застосуванням інформаційних технологій – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 152 – Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка. – Навчально-науковий інститут «Українська інженерно-педагогічна академія» Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, Харків, 2025.

Об'єктом дослідження є – оцінювання ризиків якості технологічних процесів.

Предметом дослідження є застосування інформаційних технологій для удосконалення кваліметричних методів оцінювання ризиків при функціонуванні технологічних процесів.

Метою дослідження є удосконалення методів оцінювання ризиків низької якості технологічних процесів, враховуючи не лінійність залежності вимірних значень одиничних показників якості продукції, як результат функціонування технологічного процесу, та їх оцінками на безрозмірній шкалі та застосування ефективного математичного апарату інформаційних технологій.

Наукова новизна одержаних результатів.

Вперше отримано функціональну залежність між дійсними значеннями показників якості технологічного процесу та їх оцінками на безрозмірній шкалі яка, на відміну від існуючих, не потребує застосування експертних методів та побудована на геометричному принципі ділення відрізка у заданому відношенні.

Вперше розроблено метод оцінювання ризиків виготовлення продукції низької якості з використанням запропонованої функціональної залежності та теорії ланцюгів Маркова який, на відміну від існуючих, дозволяють отримати імовірність знаходження оцінок показників якості у заданих зонах регулювання.

Вперше розроблено метод оцінювання ризиків виготовлення продукції низької якості на основі застосування методів штучного інтелекту та використання запропонованої функціональної залежності та, на відміну від існуючих, дозволяють

прогнозувати знаходження оцінок показників якості у заданих зонах регулювання.

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

У першому розділі проведено аналіз 60 наукових публікацій, в результаті чого можна резюмувати, що розвиток суспільного виробництва будь якої країни, її місце на світовому ринку торгівлі, зростання добробуту нації та рівня життя людей тісно пов'язані з забезпеченням високого рівня якості продукції, послуг та функціонування соціально-економічних систем, таких як освіта, медицина охорона довкілля, безпека праці та інші. Управлінням якістю продукції людство займалося зі становлення суспільного виробництва. Рівень якості продукції та послуг національного виробника істотно впливає на формування зовнішньої політики і національної безпеки, визначає рівень якості життя і стабільність національної валюти.

Випуск якісної продукції пов'язано з якістю технологічних процесів на усіх стадіях життєвого циклу її виготовлення. Будь який технологічний процес пов'язаний з ризиками відхилення нормованих показників якості продукції від ідеальних, тобто тих, які регламентовані нормативними документами та технічними регламентами.

Науковий напрямок оцінювання ризиків залежить від галузевої специфіки, оскільки впливають фактори, такі як особливості виробничих циклів, специфіка активів підприємств та інше. Для аналізу ризику необхідно його правильно розуміти. Аналізування ризику дозволяє оцінювати рівень ризику та обговорення необхідності впровадження заходів по опрацюванню ризиків, а також визначення стратегій і методів управління ними.

У світовій та вітчизняній практиці існує більше 30 загальних методів оцінювання ризику, характеристика яких міститься в EN IEC 31010:2019, IDT. Процедура оцінювання ризиків дозволяє особам, що приймають рішення та відповідають за дії, краще розуміти потенційні ризики, які впливають на досягнення цілей, а також адекватність та ефективність вжитих засобів контролю.

Не існує єдиного визначення поняття ризику. Вивчаючи літературу, можна знайти багато різних підходів до розуміння цього терміну. Деякі визначення базуються на ймовірності, випадковості або очікуваних значеннях, інші - на небажаних подіях чи небезпеці, а треті - на невизначеності. Ці визначення, їх обґрунтування, сильні та слабкі сторони широко обговорювалися в літературі.

У *другому розділі* пропонується дослідити та застосовувати логістичну функцію для отримання оцінок одиничних показників якості будь-яких об'єктів кваліметрії на безрозмірній шкалі. Застосування логістичної функції дозволяє отримувати математичну залежність, що забезпечує оцінки показників якості на безрозмірній шкалі, незалежно від природи об'єкту кваліметрії. Для цього необхідно знати мінімальне та максимальне допустимі значення об'єктів кваліметрії.

Важливо відзначити, що логістична функція має точку перегину. Цей змінний характер є ключовим для кваліметрії, оскільки відображає принцип послаблення зміни функції на краях. Логістична функція особливо підходить там, де загальна кількість має верхню межу, а початкове зростання є експоненціальним, наприклад, у випадках поширення чуток чи захворювань серед обмеженої популяції чи зростання бактерій або людської популяції при обмежених ресурсах.

Для апробації методики застосування запропонованої функціональної залежності для оцінювання якості об'єктів різної природи приведені приклади. У якості об'єктів кваліметрії пропонується оцінювати продукцію, процес та систему. У якості продукції, як об'єкту кваліметрії, розглянемо олію соняшникову (олія) на етапі виробництва. Так як олія являється продуктом харчування, то до її якості пред'явлено жорсткі вимоги, які указані в технічному регламенті та нормативних документах.

У *третьому розділі* розглядається можливість застосування один з методів прогнозування, наприклад, методи на основі ланцюгів Маркова. Цей метод дає можливість отримати якісні прогнози для лінійних та нелінійних процесів. Актуальною є задача оцінювання ймовірнісних прогнозів, потреба в яких швидко зростає як у суто інженерних застосуваннях, так і у фінансово-економічних системах.

Технологічний процес представляє собою складну систему, яку необхідно оцінювати, аналізувати, прогнозувати і, за необхідності, коригувати, щоб забезпечити високу якість продукції. Зміна показника якості у будь-якому процесі системи управління якістю називається реалізацією цього процесу з часом. Для застосування ланцюгів Маркова, як математичного апарату, потрібно, щоб реалізація процесу була стаціонарною, випадковою і ергодичною. Тільки при таких умовах рекомендують застосовувати ланцюги Маркова, в іншому випадку прогноз буде неточним. Тому перед застосуванням теорії ланцюгів Маркова для оцінки і прогнозування процесів необхідно перевірити його на стаціонарність, випадковість та ергодичність.

Були розроблені методика та програмне забезпечення для передбачення похибки виробництва на конкретного технологічного процесу перехідна матриця виявилася обмеженою (9-12 кроків). Це означає, що передбачення на 9 кроків вперед мало корисної інформації для системи управління якістю. Тому в умовах такої обмеженої якості виробництва доцільно проводити прогноз лише на 4-5 кроків вперед. Якщо застосувати Систему автоматичного управління якістю, то це може призвести до зменшення розкиду оцінок показників якості на 16%.

У четвертому розділі запропоновано застосувати один з інструментів штучного інтелекту до прогнозування якості та ризиків технологічного процесу. При цьому розроблена методика застосування нейронних мереж для оцінювання ризиків якості технологічних процесів у випадку його не стаціонарності. Апробована відповідна методика та проведено апробацію методики у вигляді обчислювального експерименту.

За результатами обчислювальних експериментів доведено, що застосування розроблених нейромережових моделей дозволяє отримати прогнозні оцінки стабільності та точності технологічних процесів механічної обробки деталей типу вал з достовірністю 90% - 96%. Розроблені нейромережові моделі можуть бути використані в автоматизованих системах для формування керуючого впливу та попередження відхилень параметрів деталей від регламентованих значень в режимі онлайн під час управління точністю процесу механічної обробки деталей.

Ключові слова: якість, оцінювання якості, ризик, оцінювання ризиків, кваліметрія, об'єкт кваліметрії, кваліметричні методи, функціональна залежність, статистика, функціонально-залежні статистики, інформація, інформаційні методи, штучний інтелект.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових фахових виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз

1. Fedorovich O., Lutai L., Kompanets V., Bahaiev I. The Creation of an Optimisation Component-Oriented Model for the Formation of the Architecture of Science-Based Products. Lecture Notes in Networks and Systems. 2024. Vol. 996. P. 415-426.

Keywords: architecture of a technical product; component approach; design; high-tech products; shortening the life cycle of new technique

DOI: 10.1007/978-3-031-60549-9_31 (Scopus).

URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-60549-9_31

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

2. 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.

Ключові слова: аналіз медичний текстильний матеріал, стерилізація, метод іонізуючого випромінювання, стандартизація режимів, COVID-19.

DOI: 10.20998/2413-4295.2021.04.14.

URL: <http://vestnik2079-5459.khpi.edu.ua/article/view/245927>

(Особистий внесок здобувача: розроблена математична модель поглинутої дози випромінювання матеріалом, та розрахувати режими опромінення різних текстильних матеріалів за допомогою інформаційних технологій. Запропоновано метод оцінювання ризиків. Відповідні результати наведені в практичній частині роботи.

Особистий внесок Черняк О. М.: запропоновано метод іонізуючого випромінювання для стерилізації текстильних матеріалів, відповідні результатом є матеріалами публікації.

Особистий внесок Сороколат Н. А.: перевірка наукової достовірності отримуваних результатів, перевірка тексту роботи, редагування. Відповідні результатом є матеріалами публікації.

Особистий внесок Каницька І. В.: перевірка наукової достовірності отримуваних результатів, перевірка тексту роботи. Відповідні результатом є матеріалами публікації.

Особистий внесок Фатєєва Л. Ю.: проведено аналіз методів стерилізації текстильних матеріалів. Було виявлено, що застосування гамма-випромінювання – це дуже небезпечний технологічний процес, так як застосовуються природні джерела - гамма-промені, радіаційні технології з гамма-випромінюванням складні при утилізації відпрацьованих джерел енергії та непрості при обслуговуванні, результати наведені у відповідній частині роботи).

3. 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.

Ключові слова: функціональна залежність; методика оцінювання; багатокритеріальне оцінювання; об'єкт кваліметрії; узагальнений показник; безпека праці.

DOI: 10.30837/ITSSI.2022.19.076.

URL: <https://itssi-journal.com/index.php/itssi/article/view/318>

(Особистий внесок здобувача: проаналізовано існуючі функціональні залежності між вимірними значеннями показників якості та їх оцінкою на безрозмірній шкалі, які застосовували для оцінювання об'єктів кваліметрії різної природи. Отримано функціональну залежність між дійсними значеннями показників якості технологічного процесу та їх оцінками на безрозмірній шкалі, результати наведені у відповідній частині роботи.

Особистий внесок Черняк О. М.: перевірка наукової достовірності отримуваних результатів, перевірка тексту роботи, редагування. Відповідні результатом є матеріалами публікації.

Особистий внесок Сороколат Н. А. перевірка наукової достовірності отримуваних результатів, перевірка тексту роботи, редагування. Відповідні результатом є матеріалами публікації.:

Особистий внесок Фатєєва Л. Ю.: розроблено покрокову методика визначення узагальненого показника безпеки праці на виробництві та на прикладі вимірних чисельних значення небезпечних чинників, показано її дієвість та універсальність, результати наведені у відповідній частині роботи.)

4. Грінченко Г.С., Тріщ Ю.В., Грінченко В.В., Багаєв І.О., Фатєєва Л. Ю. Підходи щодо оцінювання ризиків функціонування систем об'єктів різного призначення. *Машинобудування*. 2022. № 29. С. 70–79.

Ключові слова: ризик, системи, кваліметричне оцінювання, надійність, безвідмовність, відновлюваність.

DOI: 10.32820/2079-1747-2022-29-70-79.

URL: <https://jmash.uipa.edu.ua/index.php/jMASH/article/view/287/211>

(Особистий внесок здобувача: запропоновано в якості оцінювання ризиків функціонування систем функціональну залежність між дійсними значеннями показників якості технологічного процесу та їх оцінками на безрозмірній шкалі та фізико-статистичну математичну модель на основі інформаційних методів оцінювання інтенсивності відмов та ймовірності відновлення роботи системи, результати наведені у відповідній частині роботи.

Особистий внесок Грінченко Г.С.: проаналізовано та виокремлено основні проблеми при кваліметричному оцінювання ризиків. Результати наведені у відповідній частині роботи.

Особистий внесок Тріщ Ю.В.: попередня обробка та аналіз даних з їх візуалізацією, результати наведені у відповідній частині роботи.

Особистий внесок Грінченко В.В.: перевірка наукової достовірності отримуваних результатів, перевірка тексту роботи, редагування. Відповідні результатом є матеріалами публікації.

Особистий внесок Фатєєва Л. Ю.: запропоновано для кваліметричного оцінювання вважати ризиком обернену величину надійності, запропоновано оцінювання ризиків розділити на дві моделі функціонування системи, результати наведені у відповідній частині роботи.)

5. 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.

Ключові слова: кваліметрія; комплексний показник; оцінювання; метод інтегрування; метод середніх прямокутників; безпека праці

DOI: 10.30837/ITSSI.2023.23.115.

URL: <https://itssi-journal.com/index.php/itssi/article/view/372>

(Особистий внесок здобувача: графічно побудовано часовий ряд змін показників шкідливих чинників з плином часу, визначено комплексний показник безпеки праці на виробництві за допомогою інформаційних технологій та методом середніх прямокутників. Відповідні результати наведені в практичній частині роботи.

Особистий внесок Черняк О. М.: перевірка наукової достовірності отримуваних результатів, перевірка тексту роботи. Відповідні результатом є матеріалами публікації.

Особистий внесок Сороколат Н. А.: проаналізовано низку сучасних наукових праць, у яких розглянуто кількісне оцінювання якості об'єктів кваліметрії різної природи, що мають неоднакові показники якості та різні шкали вимірювання, результати наведені у відповідній частині роботи.

Особистий внесок Бурдейна В. М.: перевірка наукової достовірності отримуваних результатів, редагування. Відповідні результатом є матеріалами публікації.

Особистий внесок Фатєєва Л. Ю.: запропоновано застосувати метод середніх прямокутників для визначення комплексного показника шкідливого виробничого чинника, результати наведені у відповідній частині роботи).

6. 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. – Харків: НТУ «ХПІ». 2023. № 1 (15). С. 60-67.

Ключові слова: кваліметрія, комплексний показник, багатокритеріальне оцінювання, метод інтегрування, метод трапецій, безпека праці

DOI: 10.20998/2413-4295.2023.01.08.

URL: <http://vestnik2079-5459.khpi.edu.ua/article/view/274797>

(Особистий внесок здобувача: графічно побудовано часовий ряд змін показників шкідливих чинників з плином часу, визначено комплексний показник безпеки праці на виробництві застосовуючи інформаційні технології. Відповідні результати наведені в практичній частині роботи.

Особистий внесок Черняк О. М.: перевірка наукової достовірності отримуваних результатів, перевірка тексту роботи. Відповідні результатом є матеріалами публікації.

Особистий внесок Сороколат Н. А.: аналіз проблемної області та робіт присвяченій цій області, відповідна частина наведена в роботі.

Особистий внесок Фатєєва Л. Ю.: запропоновано застосувати метод інтегрування для визначення комплексного показника шкідливого виробничого чинника, запропонована апробація методики визначення комплексного показника безпеки праці на виробництві, результати наведені у відповідній частині роботи.

Особистий внесок Тріщ Ю.В.: перевірка наукової достовірності отримуваних результатів, редагування. Відповідні результатом є матеріалами публікації).

7. Тріщ Р.М., Грінченко Г.С., Катрич О.О., Яковлев М.Ю., Багаєв І.О., Мірошник Є.І. Застосуванням чуттєвої статистичної характеристики для оцінювання якості в машинобудуванні. Машинобудування: Збірник наукових праць. 2023. №32. С. 47-54.

Ключові слова: оцінювання якості, точність технології, адекватність, закон розподілу, механічна обробка

DOI: 10.32820/2079-1747-2023-32-46-54

URL: <https://jmash.uipa.edu.ua/index.php/jMASH/article/view/316/241>

(Особистий внесок здобувача: запропоновано використати інформаційну технологію застосування чутливої "λ-характеристики" для оцінювання адекватності інформаційної моделі якості технологічних процесів в машинобудуванні.

Особистий внесок Тріщ Р.М.: проаналізовано та виокремлено основні проблеми при виробництві деталей, а саме чинники, що впливають на якість процесів, результати наведені у відповідній частині роботи.

Особистий внесок Грінченко Г.С.: перевірка наукової достовірності отримуваних результатів, редагування. Відповідні результатом є матеріалами публікації.).

Особистий внесок Катрич О.О.: попередня обробка та аналіз даних з їх візуалізацією, результати наведені у відповідній частині роботи.

Особистий внесок Яковлев М.Ю.: перевірка наукової достовірності отримуваних результатів, редагування. Відповідні результатом є матеріалами публікації.).

8. 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.

Ключові слова: закон розподілу; кількість періодів оцінювання; статистична інформація; ідентифікація; математичне сподівання; порядкові статистики; дисперсія; індекси сталого розвитку.

DOI: 10.30837/ITSSI.2024.27.215

URL: <https://itssi-journal.com/index.php/itssi/article/view/471>

(Особистий внесок здобувача: запропоновано інформаційний метод ідентифікації закону розподілу випадкових величин за малою кількістю статистичної інформації, розроблено покрокову методику ідентифікації закону розподілу випадкових величин

із використанням інформаційних технологій. Відповідні результати наведені в практичній частині роботи.

Особистий внесок Черняк О. М.: розглянуто параметричні та непараметричні методи статистики, їх переваги та недоліки. Відповідні результати наведені в практичній частині роботи

Особистий внесок Катрич О. О.: перевірка наукової достовірності отримуваних результатів, редагування. Відповідні результатом є матеріалами публікації.

Особистий внесок Теслов О. А.: перевірка наукової достовірності отримуваних результатів, редагування. Відповідні результатом є матеріалами публікації.

Особистий внесок Косиченко О. М.: попередня обробка та аналіз даних з їх візуалізацією, результати наведені у відповідній частині роботи.

Особистий внесок Шевченко В. П.: попередня обробка та аналіз даних з їх візуалізацією, результати наведені у відповідній частині роботи.).

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

9. Малецька О.Є., Тріщ Ю.В., Багаєв І.О. Перевірка та калібрування обладнання випробувальної лабораторії. Якість, стандартизація та метрологічне забезпечення: матеріали міжнар. наук-практ. конф. (м. Харків, 25-26 січня 2022 року). Харків, 2022. С. 36.

10. Грінченко Г.С., Багаєв І.О., Тріщ Ю.В., Грінченко В.В. Кваліметричні підходи до оцінювання якості індикаторів сталого розвитку// Якість, стандартизація та метрологічне забезпечення: матеріали II міжнар. наук-практ. конф. (м. Харків, 14-15 березня 2023 року). Харків, 2023. С. 111.

11. Грінченко Г.С., Багаєв І.О., Тріщ Ю.В. Імплементация системи управління якістю згідно міжнародних стандартів ISO/IEC 27000. VII Мехатронні системи : інновації та інжиніринг : тези доповідей VII Міжнародної наук.-практ. конф. Київ : КНУТД, 2023. С. 261.

12. Мазорчук К.К., Багаєв І.О., Тріщ Ю.В. Застосування штучного інтелекту при оцінюванні ризиків функціонування системи управління якістю. Освіта та технології для розвитку суспільства: збірник тез доповідей LVIII Науково–

практичної конференції здобувачів вищої освіти академії (м. Харків, 13 – 17 листопада). Харків:УПА, 2023. С.12.

13. Черняк О.М., Багаєв І.О., Теслов О.А., Крутько В.О. Застосування автоматизованої системи оцінювання якості об'єктів кваліметрії. Інформаційні технології: теорія і практика. I (VII) міжнародна науково-практична конференція здобувачів вищої освіти і молодих учених «Інформаційні технології: теорія і практика». Тези доповідей (Дніпро 20 – 22 березня 2024). М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Дніпро : Свідлер А.Л., 2024. С. 401-402.

14. Катрич О.О., Багаєв І. О., Кислий А. Г. Методика визначення мінімальної кількості періодів для оцінювання індексів сталого розвитку країн ЄС методами порядкових статистик. Управління розвитком соціально-економічних систем: Матеріали VIII Міжнародної науково-практичної конференції (м. Харків, 21-22 березня 2024 року). Харків: ДБТУ. Ч. 2. 2024. С. 180-183.

15. Катрич О.О., Багаєв І.О., Рибальченко Т.П. Застосування функціонально – залежних статистик для оцінювання якості об'єктів кваліметрії різної природи. Наукові дослідження молоді з проблем європейської інтеграції: збірник тез доповідей XIII Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів до 80-річчя від дня заснування банківського інституту (5 квітня 2024 року, м. Харків, Україна). Харків : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2024. С. 324-327.

ABSTRACT

Bahaiev I. O. Improvement of qualimetric methods for assessing the quality risks of technological processes using information technology – Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in speciality 152 - Metrology and Information and Measuring Technology - Educational and Research Institute 'Ukrainian Engineering and Pedagogical Academy' of V. N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, 2024. *The object of research* is risk assessment of the quality of technological processes.

The subject of the research is the use of information technology to improve the qualimetric methods of risk assessment in the operation of technological processes.

The purpose of the research is to improve the methods of assessing the risks of poor quality of technological processes, taking into account the nonlinearity of the dependence of the measured values of single indicators of product quality, as a result of the functioning of the technological process, and their estimates on a dimensionless scale and the use of an effective mathematical apparatus of information technology.

Scientific novelty of the results.

For the first time, a functional dependence between the actual values of process quality indicators and their estimates on a dimensionless scale was obtained, which, unlike the existing ones, does not require the use of expert methods and is based on the geometric principle of dividing a segment in a given ratio.

For the first time, a method for assessing the risks of manufacturing low-quality products using the proposed functional dependence and Markov chain theory has been developed, which, unlike the existing ones, allows obtaining the probability of finding estimates of quality indicators in the specified control zones.

For the first time, a method for assessing the risks of manufacturing low-quality products based on the application of artificial intelligence methods and the use of the proposed functional dependence has been developed, which, unlike the existing ones, allows predicting the location of quality indicators in the specified control zones.

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

The first chapter analyses 60 scientific publications, which leads to the conclusion that the development of social production in any country, its place in the world trade market, growth of the nation's welfare and living standards are closely related to ensuring a high level of quality of products, services and functioning of socio-economic systems, such as education, healthcare, environmental protection, labour safety, etc. Mankind has been managing product quality since the dawn of social production. The level of quality of products and services of a national producer has a significant impact on the formation of foreign policy and national security, determines the quality of life and stability of the national currency.

The production of quality products is linked to the quality of technological processes at all stages of the production life cycle. Any technological process is associated with risks of deviation of the standardised product quality indicators from the ideal ones, i.e. those regulated by regulatory documents and technical regulations.

The scientific direction of risk assessment depends on industry specifics, as it is influenced by factors such as the peculiarities of production cycles, the specifics of the assets of enterprises, etc. To analyse risk, it is necessary to understand it correctly. Risk analysis helps to assess the level of risk and discuss the need to implement risk management measures, as well as determine strategies and methods of risk management.

In global and national practice, there are more than 30 common risk assessment methods, which are described in EN IEC 31010:2019, IDT. The risk assessment procedure allows decision makers and those responsible for actions to better understand the potential risks that affect the achievement of goals, as well as the adequacy and effectiveness of the controls in place.

There is no single definition of risk. A review of the literature reveals many different approaches to understanding the term. Some definitions are based on probability, chance or expected values, others on undesirable events or hazards, and still others on uncertainty. These definitions, their rationale, strengths and weaknesses have been widely

discussed in the literature.

The second chapter proposes to investigate and apply the logistic function to obtain estimates of unit quality indicators of any qualimetry objects on a dimensionless scale. The application of the logistic function allows obtaining a mathematical dependence that provides estimates of quality indicators on a dimensionless scale, regardless of the nature of the qualimetry object. For this purpose, it is necessary to know the minimum and maximum permissible values of qualimetry objects.

It is important to note that the logistic function has an inflection point. This variable nature is key to qualimetrics, as it reflects the principle of weakening of the function at the edges. The logistic function is particularly suitable where the total quantity has an upper bound and the initial growth is exponential, such as in cases of the spread of rumours or diseases among a limited population or the growth of bacteria or human populations with limited resources.

To test the methodology of applying the proposed functional dependence for assessing the quality of objects of different nature, examples are given. It is proposed to evaluate products, processes, and systems as objects of qualimetry. As a product, as an object of qualimetry, let us consider sunflower oil (oil) at the production stage. Since oil is a food product, strict requirements are imposed on its quality, which are specified in technical regulations and regulatory documents.

The third chapter discusses the possibility of applying one of the forecasting methods, for example, methods based on Markov chains. This method makes it possible to obtain high-quality forecasts for linear and nonlinear processes. The task of evaluating probabilistic forecasts is relevant, as the need for such forecasts is growing rapidly both in purely engineering applications and in financial and economic systems.

A technological process is a complex system that needs to be evaluated, analysed, forecasted and, if necessary, adjusted to ensure high product quality. The change in the quality indicator in any process of the quality management system is called the implementation of this process over time. To use Markov chains as a mathematical apparatus, it is necessary that the process implementation is stationary, random and ergodic. Only under such conditions is it recommended to use Markov chains, otherwise

the forecast will be inaccurate. Therefore, before applying the Markov chain theory to evaluate and forecast processes, it is necessary to check it for stationarity, randomness and ergodicity.

A methodology and software were developed to predict the production error for a specific process, but the transition matrix turned out to be limited (9-12 steps). This means that predicting 9 steps ahead provides little useful information for the quality management system. Therefore, in conditions of such limited production quality, it is advisable to make a forecast only for 4-5 steps ahead. If the Automatic Quality Management System is applied, this can lead to a 16% reduction in the variance of quality estimates.

The fourth chapter proposes to apply one of the artificial intelligence tools to forecasting the quality and risks of a technological process. In doing so, the article develops a methodology for applying neural networks to assess the risks of process quality in the case of its non-stationarity. The corresponding methodology has been tested and the methodology has been tested in the form of a computational experiment.

According to the results of computational experiments, it is proved that the use of the developed neural network models allows obtaining predictive estimates of stability and accuracy of technological processes of machining shaft-type parts with a reliability of 90% - 96%. The developed neural network models can be used in automated systems to generate control influence and prevent deviations of part parameters from regulated values online when controlling the accuracy of the machining process.

Keywords: *quality, quality assessment, risk, risk assessment, qualimetry, object of qualimetry, qualimetric methods, functional dependence, statistics, functionally dependent statistics, information, information methods, artificial intelligence.*

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ.....	22
ВСТУП.....	23
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ НАУКОВОГО ПОНЯТТЯ «РИЗИК» ТА НАУКОВИХ ПІДХОДІВ ДО ОЦІНЮВАННЯ РИЗИКІВ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ.....	31
1.1. Інформаційне трактування ризику та невизначеності.....	34
1.2. Концепція ризику, її походження та історичне формування.....	40
1.3. Огляд сучасних наукових джерел стосовно оцінювання ризиків..	51
1.4. Аналіз підходів до трактування змісту поняття ризику якості продукції.....	54
Висновки до першого розділу та постановка задач досліджень.....	63
Список використаних джерел.....	66
РОЗДІЛ 2. ФУНКЦІОНАЛЬНІ ЗАЛЕЖНОСТІ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ОБ'ЄКТІВ КВАЛІМЕТРІЇ РІЗНОЇ ПРИРОДИ	72
2.1. Особливості застосування математичних методів для оцінювання систем управління якістю на підприємствах.....	72
2.2. Аналіз лінійних та не лінійних залежностей між вирівняними значення та їх оцінками.....	81
2.3. Аналізування функціональних залежностей числових значень одиничних показників якості та їх безрозмірних оцінок.....	85
2.4. Оцінювання якості будь яких об'єктів кваліметрії з застосуванням логістичної функції.....	104
2.5. Апробація методики застосування логістичної функції для оцінювання якості об'єктів кваліметрії.....	107
2.5.1. Оцінювання показників якості продукції.....	107
2.5.2. Оцінювання показників якості процесу.....	109
2.5.3. Оцінювання показників якості системи.....	110
Висновки до другого розділу.....	113
Список використаних джерел.....	115

РОЗДІЛ 3. МЕТОД ПРОГНОЗУВАННЯ РИЗИКІВ ЯКОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ НА ОСНОВІ ТЕОРІЇ ЛАНЦЮГІВ МАРКОВА	120
3.1. Оцінювання якості статистичних даних процесу розсіювання оцінок показників якості.....	123
3.1.1. Перевірка оцінок показників якості на наявність грубих помилوک.....	123
3.1.2. Оцінювання стаціонарності процесу розсіювання оцінок показників якості.....	125
3.2. Методика прогнозування оцінок показників якості технологічного процесу.....	131
3.2.1. Визначення приналежності реалізацій технологічних процесів до сімейства харківських.....	131
3.2.2. Прогнозування ризиків низької якості технологічних процесів.....	134
3.3. Визначення параметрів перехідної матриці ланцюгів Маркова Висновки до третього розділу.....	148
Список використаних джерел.....	150
РОЗДІЛ 4. МЕТОД ПРОГНОЗУВАННЯ РИЗИКІВ ЯКОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ З ЗАСТОСУВАННЯМ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ.....	152
4.1. Теоретичне обґрунтування можливості прогнозування нестационарних технологічних процесів з використанням нейронних мереж.....	154
4.2. Метод прогнозування ризиків якості технологічних процесів виготовлення деталей у машинобудуванні.....	163
4.3. Апробація методу прогнозування ризиків якості технологічних процесів виготовлення деталей у машинобудуванні.....	167
Висновки до четвертого розділу.....	176
Список використаних джерел.....	177

ВИСНОВКИ.....	180
ДОДАТКИ.....	182
Додаток А. Список опублікованих праць за темою дисертації	183
Додаток Б. Документи, які підтверджують впровадження основних результатів дисертаційної роботи	191

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

ERPН	- Exponential Risk Priority Number
FMEA	- Failure Mode and Effects Analysis
ISO	- міжнародний стандарт
PFMEA	- Process Failure Mode and Effects Analysis
PFPRА	- Pythagorean fuzzy proportional risk assessment
PROBAST	- Prediction model Risk Of Bias ASsessment Tool
ROB	- Risks of bias
RPN	- Risk Priority Number
TOPSIS	- Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution
СУЯ	- система управління якістю
ДСТУ	- Державні стандарти України
НМ	- нейронні мережі
ШІ	- штучний інтелект

ВСТУП

Розвиток суспільного виробництва будь якої країни, її місце на світовому ринку торгівлі, зростання добробуту нації та рівня життя людей тісно пов'язані з забезпеченням високого рівня якості продукції, послуг та функціонування соціально-економічних систем, таких як освіта, медицина охорона довкілля, безпека праці та інші. Виготовлення якісної продукції залежить від якості технологічних процесів на всіх етапах її життєвого циклу. Будь - який технологічний процес має свої ризики відхилення від нормативних показників якості, які встановлені нормативними документами та технічними регламентами.

Багато наукових напрямків, таких як теорія ігор, ймовірність, математична статистика, прийняття рішень, психологія, військові науки, економіка, демографія, медицина, біологія, право та інші, вивчають концепцію "ризик". Сучасні досягнення науки дозволяють розглядати ризик на двох рівнях: теоретичному, де вивчається як суспільне явище з власною сутністю та закономірностями розвитку та управління в умовах невизначеності, і прикладному, яке виникає внаслідок конкретних досліджень у різних наукових галузях.

У сфері кваліметрії, коли йдеться про оцінку якості об'єктів, важливим елементом є тип залежності між вимірюваними показниками якості та їх оцінкою на безрозмірній шкалі. Це важливо, оскільки показники якості можуть мати не лінійну математичну залежність з їх оцінкою. Для ефективного управління якістю об'єкта кваліметрії часто використовуються статистичні методи оцінювання та управління. У цьому контексті важливо мати інформацію не лише про розподіл показника якості в його власних одиницях вимірювання, але й про розподіл оцінок на безрозмірній шкалі.

Аналіз ризику проводять з метою глибшого розуміння його характеристик. Цей процес надає важливі вхідні дані для загального оцінювання ризику та сприяє у прийнятті рішень щодо необхідності оброблення ризиків та вибору належних стратегій та методів обробки. Аналіз ризику включає визначення наслідків та їх ймовірностей стосовно ідентифікованих ризикових подій, оцінку наявності та

ефективності засобів контролю. Після цього наслідки та ймовірності комбінуються для визначення рівня ризику.

Проте повне кількісне аналізування не завжди є можливим чи доцільним через обмежену інформацію про аналізовану систему чи діяльність, відсутність даних, вплив людських чинників тощо, або через те, що витрати на кількісний аналіз не оправдані чи необхідні. У таких випадках ефективним може стати порівняльне якісне ранжування ризиків з використанням уповноважених фахівців у відповідних галузях.

Оцінювання ризиків виробництва являється новою філософією розвитку економіки. Для кількісного оцінювання ризиків пропонується використовувати кваліметричні методи, а саме функціонально - залежні статистики. Пропонується отримувати оцінки безрозмірних показників якості за допомогою логістичної функції.

Функціонування будь якого процесу можна характеризувати часовим рядом дійсних значень одиничних показників якості, який, в свою чергу, має свої характеристики випадкового процесу. Так, наприклад, будь який випадковий процес можна характеризувати за різними признаками, а саме: випадковості; ергодичності; нормальності; стаціонарності та ін. При оцінюванні ризиків, як результат математичного опрацювання результатів оцінювання, важливою характеристикою являється стаціонарність технологічного процесу.

Тому актуальною науковою задачею являється розроблення методів оцінювання ризиків якості технологічних процесів в залежності від їх стаціонарності. При цьому актуальною задачею нижнього рівня являється застосування ефективних методів інформаційних технологій для оцінювання ризиків, які успішно застосовані в інших галузях промисловості та при застосуванні високих технологій.

Усі існуючі методи мають місце, але розроблення нових методів розширить їх спектр та збільшить рівень можливостей для особи, яка приймає рішення щодо вибору того чи іншого методу для вирішення конкретної прикладної задачі. 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 оцінки відповідності у сфері дії технічних регламентів та методик здійснення діяльності щодо стандартів» (НДР №23-01, НДР №24-01).

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи являється удосконалення методів оцінювання ризиків низької якості технологічних процесів, враховуючи не лінійність залежності вимірних значень одиничних показників якості продукції, як результат функціонування технологічного процесу, та їх оцінками на безрозмірній шкалі та застосування ефективного математичного апарату інформаційних технологій.

Для досягнення мети планується вирішення таких задач:

1. Отримати функціональну залежність між дійсними значеннями показників якості технологічного процесу та їх оцінками на безрозмірній шкалі. При цьому необхідно отримати таку залежність, яка би не потребувала застосування експертних оцінок та була би універсальною. Тобто залежала би тільки від дійсних значень показників якості технологічних процесів та їх граничних значень.

2. Розробити метод оцінювання ризиків виготовлення продукції низької якості з використанням запропонованої функціональної залежності та теорії ланцюгів Маркова.

3. Розробити універсальну методику оцінювання ризиків виготовлення продукції низької якості з використанням запропонованої функціональної залежності та теорії ланцюгів Маркова у випадку стаціонарності технологічного процесу.

4. Визначити стаціонарність технологічних процесів, як оцінок показників

якості протягом певного часу їх функціонування. У якості математичного апарату пропонується застосування інструментів непараметричних статистик.

5. Розробити метод оцінювання ризиків виготовлення продукції низької якості на основі використання запропонованої функціональної залежності та застосування одного із методів штучного інтелекту – нейронних мереж.

6. Розробити універсальну методику оцінювання ризиків виготовлення продукції низької якості з використанням запропонованої функціональної залежності та застосуванням одного із методів штучного інтелекту – нейронних мереж

Об'єкт дослідження – оцінювання ризиків якості технологічних процесів.

Предмет дослідження - застосування інформаційних технологій для удосконалення кваліметричних методів оцінювання ризиків при функціонуванні технологічних процесів.

Методи дослідження. Теоретичні дослідження базуються на фундаментальних принципах теорії кваліметрії, методах теорії математичної статистики, теорії ланцюгів Маркова та елементів штучного інтелекту.

Для отримання функціональної залежності між дійсними значеннями показників якості технологічного процесу та їх оцінками на безрозмірній шкалі застосовується геометричний принцип ділення відрізка у заданому відношенні (Афінні перетворення).

Для розроблення методу оцінювання ризиків виготовлення продукції низької якості з використовується теорія ланцюгів Маркова та теорії штучного інтелекту.

Для апробації запропонованих методів використовувались статистичні дані реалізації технологічних процесів та програмне забезпечення опрацювання результатів.

Наукова новизна одержаних результатів.

Вперше отримано функціональну залежність між дійсними значеннями показників якості технологічного процесу та їх оцінками на безрозмірній шкалі яка, на відміну від існуючих, не потребує застосування експертних методів та побудована на геометричному принципі ділення відрізка у заданому відношенні.

Вперше розроблено метод оцінювання ризиків виготовлення продукції низької

якості з використанням запропонованої функціональної залежності та теорії ланцюгів Маркова який, на відміну від існуючих, дозволяють отримати імовірність знаходження оцінок показників якості у заданих зонах регулювання.

Вперше розроблено метод оцінювання ризиків виготовлення продукції низької якості на основі застосування методів штучного інтелекту та використання запропонованої функціональної залежності та, на відміну від існуючих, дозволяють прогнозувати знаходження оцінок показників якості у заданих зонах регулювання.

Практичне значення одержаних результатів.

Практична цінність отриманих результатів полягає в тому, що запропоновано нову функціональну залежність між дійсними значеннями будь якого технологічного процесу та їх оцінками, яка дозволила розробити два методи оцінювання ризиків отримання продукції низької якості. Розроблені методи можна вважати універсальними, так як їх можна застосовувати при оцінюванні ризиків різних технологічних процесів.

Вибір того чи іншого методу залежить від стаціонарності результатів оцінювання якості технологічних процесів. У випадку стаціонарності оцінювання якості технологічних процесів пропонується застосовувати теорію ланцюгів Маркова. У випадку не стаціонарності процесу пропонується застосовувати інструменти штучного інтелекту.

Результати теоретичних та експериментальних досліджень впроваджені в ТОВ "ООВ ПРОМСТАНДАРТ", фахівці якого випробували методику оцінювання процесів системи управління якістю кваліметричними методами відповідно до вимог міжнародного стандарту ISO 9001:2015. При цьому апробовано методику прогнозування оцінок якості функціонування соціально-економічних процесів. У разі стаціонарності, випадковості та ергодичності розсіювання показників якості процесу для його прогнозування з часом пропонується застосовувати теорію ланцюгів Маркова, яка дозволяє, використовуючи статистичні дані про якість процесу, отримати прогноз на кілька кроків вперед. Дана методика універсальна, так як може бути застосована при оцінюванні якості технологічних процесів та систем, що дає можливість впливати на них та корегувати їх.

У навчальний процес результати наукових досліджень запроваджені у навчальному процесі УПА у вигляді:

- теоретичних матеріалів при вивченні навчальних дисциплін: «Інформаційні системи оцінювання якості»; «Кваліметричні 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 оптимізаційну модель прогнозування ризиків при проектуванні архітектури складного виробу на основі компонентного підходу та штучного інтелекту, сформувано архітектуру складного виробу, використовуючи стандартизовані елементи інших виробів. Застосовуючи системний аналіз та багатокритеріальну оптимізацію, розробив оптимізаційний метод оцінювання ризиків, який дозволить оптимізувати рішення, що приймаються на етапі проектування складного виробу і скоротити тривалість його життєвого циклу [1];

– розроблена математична модель поглинутої дози випромінювання матеріалом, та розрахувати режими опромінення різних текстильних матеріалів за допомогою інформаційних технологій. Запропоновано метод оцінювання ризиків [2];

– проаналізовано існуючі функціональні залежності між вимірними значеннями показників якості та їх оцінкою на безрозмірній шкалі, які застосовували для оцінювання об'єктів кваліметрії різної природи. Отримано функціональну залежність між дійсними значеннями показників якості технологічного процесу та їх оцінками на безрозмірній шкалі, результати наведені у

відповідній частині роботи [3];

– запропоновано в якості оцінювання ризиків функціонування систем функціональну залежність між дійсними значеннями показників якості технологічного процесу та їх оцінками на безрозмірній шкалі та фізико-статистичну математичну модель на основі інформаційних методів оцінювання інтенсивності відмов та ймовірності відновлення роботи системи [4].

– графічно побудовано часовий ряд змін показників шкідливих чинників з плином часу, визначено комплексний показник безпеки праці на виробництві за допомогою інформаційних технологій та методом середніх прямокутників [5];

– графічно побудовано часовий ряд змін показників шкідливих чинників з плином часу, визначено комплексний показник безпеки праці на виробництві застосовуючи інформаційні технології [6];

- запропоновано використати інформаційну технологію застосування чутливої "λ-характеристики" для оцінювання адекватності інформаційної моделі якості технологічних процесів в машинобудуванні [7];

- запропоновано інформаційний метод ідентифікації закону розподілу випадкових величин за малою кількістю статистичної інформації, розроблено покрокову методику ідентифікації закону розподілу випадкових величин із використанням інформаційних технологій [8].

Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати досліджень доповідалися на наукових конференціях: Міжнародна науково-практична конференція «Якість, стандартизація та метрологічне забезпечення» (Харків, 2022); II Міжнародна науково-практична конференція «Якість, стандартизація та метрологічне забезпечення» (Харків, 2023); VII Міжнародна науково-практична конференція «Мехатронні системи : інновації та інжиніринг» (Київ, 2023); LVIII Науково–практична конференція здобувачів вищої освіти академії «Освіта та технології для розвитку суспільства» (Харків, 2023); VIII Міжнародної науково-практичної конференції «Управління розвитком соціально-економічних систем» (Харків, 2024); I (VII) міжнародна науково-практична конференція здобувачів вищої освіти і молодих учених «Інформаційні технології:

теорія і практика» (Дніпро, 2024); XIII Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів «Наукові дослідження молоді з проблем європейської інтеграції» (Харків, 2024).

Публікації результатів дисертації. Результати досліджень, що подані в дисертації, опубліковані у 15 наукових працях, у тому числі у 7 статтях у наукових фахових виданнях; 1 стаття у науковому виданні Scopus, апробаційного характеру опубліковано 7 тез доповідей в збірниках конференцій.

Структура і обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Повний об'єм дисертаційної роботи становить 192 сторінки, з них обсяг основного тексту – 148 сторінок: 1 рисунок на 1-ій окремій сторінці, 46 рисунків по тексту, 1 таблиця на 1-ій окремій сторінці, 10 таблиць по тексту, 2 додатки на 10-ти сторінках, список використаних джерел із 149 найменувань на 16-ти сторінках.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ НАУКОВОГО ПОНЯТТЯ «РИЗИК» ТА НАУКОВИХ ПІДХОДІВ ДО ОЦІНЮВАННЯ РИЗИКІВ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ

Розвиток суспільного виробництва будь якої країни, її місце на світовому ринку торгівлі, зростання добробуту нації та рівня життя людей тісно пов'язані з забезпеченням високого рівня якості продукції, послуг та функціонування соціально-економічних систем, таких як освіта, медицина охорона довкілля, безпека праці та інші. Людство починало займатися управлінням якістю виробництва ще з моменту виникнення суспільного виробництва. Рівень якості продукції та послуг національного виробника суттєво впливає на формування зовнішньої політики, національної безпеки, а також на визначення якості життя та стабільності національної валюти.

Виробництво якісної продукції залежить від якості технологічних процесів на всіх етапах її життєвого циклу. Будь-який технологічний процес супроводжується ризиками відхилення показників якості продукції від ідеальних, тих, що встановлені нормативними документами та технічними регламентами.

Багато наукових напрямків, таких як теорія ігор, ймовірність, математична статистика, прийняття рішень, психологія, військові науки, економіка, демографія, медицина, біологія, право та інші, вивчають концепцію "ризик". Сучасні досягнення науки дозволяють розглядати ризик на двох рівнях: теоретичному, де вивчається як суспільне явище з власною сутністю та закономірностями розвитку та управління в умовах невизначеності, і прикладному, яке виникає внаслідок конкретних досліджень у різних наукових галузях.

Згідно з EN IEC 31010:2019, IDT Risk management - Risk assessment techniques [1] та міжнародним стандартом ISO Guide 73:2009 "Управління ризиками - Термінологія - Рекомендації щодо використання в стандартах" [2], під ризиком розуміють ймовірність та частота виникнення негативного впливу в зоні присутності людини.

Термін "ризик" застосовується в різних науках, кожна з яких має власний предмет та напрямок дослідження ризиків, а також використовує власні методи.

Стандарт [1] було розроблено для розширення змісту стандарту ISO 31000:2018, IDT «Risk management — Guidelines» [3], надаючи конкретні вказівки щодо вибору та застосування систематичних методів загального оцінювання ризику. Проведення загального оцінювання ризику відповідно до цього стандарту сприяє іншим аспектам управління ризиком.

Науковий напрямок оцінювання ризиків залежить від галузевої специфіки, оскільки впливають фактори, такі як особливості виробничих циклів, специфіка активів підприємств та інше [3]. Для аналізу ризику необхідно його правильно розуміти. Аналізування ризику дозволяє оцінювати рівень ризику та обговорення необхідності впровадження заходів по опрацюванню ризиків, а також визначення стратегій і методів управління ними.

У світовій та вітчизняній практиці існує більше 30 загальних методів оцінювання ризику, характеристика яких міститься в EN IEC 31010:2019, IDT [1]. Процедура оцінювання ризиків дозволяє особам, що приймають рішення та відповідають за дії, краще розуміти потенційні ризики, що мають вплив на досягнення певних цілей, а також адекватність та ефективність вжитих засобів контролю.

Стандарт включає вказівки з застосування різноманітних методів, де їх концепція та використання описані більш докладно. Важливо відзначити, що стандарт не накладає обов'язкового типу методу аналізування ризиків для конкретного випадку.

Цей стандарт не охоплює всі наявні методи, і відсутність певного методу в ньому не означає, що його не можна використовувати. Визначення придатності конкретного методу для певних обставин не означає обов'язковості його застосування.

Всезагальне оцінювання та моніторинг ризику допомагає особам, які приймають рішення, впливати на досягнення цілей, а також адекватність та ефективність застосованих контрольних заходів. Це створює основу для вибору найвідповіднішого підходу до управління ризиками. Результати Всезагальне

оцінювання та моніторинг ризику являються цінною інформацією для застосування коригуючих та попереджувальних дій у організації.

Всезагальне оцінювання та моніторинг ризику — це комплексний процес, що включає ідентифікацію, аналіз та оцінювання ризиків. Його використання залежить як від контексту управління ризиками, так і від методів та методик, що застосовуються для загальної оцінки ризику.

Ідентифікацією ризиків являється процес виявлення, усвідомлення та реєстрації потенційних небезпек чи негативних впливів. Основна мета цього процесу полягає у визначенні можливих подій або ситуацій, які можуть впливати на досягнення кінцевої мети. Після виявлення ризиків організація повинна визначити наявні засоби контролю, враховуючи структурні особливості, персонал, процеси та системи. Процес ідентифікації ризику включає визначення першочергових причин потенційного ризику (особливо в контексті можливої фізичної шкоди), подій, ситуацій чи обставин, що можуть негативно впливати на кінцеву мету, а також оцінку характеру цього впливу.

Аналіз ризику проводять для глибшого розуміння його характеристик. Цей процес надає важливі вхідні дані для загального оцінювання ризику та сприяє прийняттю рішень щодо необхідності обробки ризиків та вибору відповідних стратегій і методів. Аналіз ризику включає визначення наслідків та їх ймовірностей стосовно ідентифікованих ризикових подій, а також оцінку наявності та ефективності засобів контролю. Потім наслідки та ймовірності комбінуються для визначення рівня ризику.

При аналізуванні ризиків проводять оцінку наслідків та їх ймовірностей і обчислюють рівень ризику у певних одиницях оцінювання. Однак, повний кількісний аналіз не завжди можливий чи доцільний через обмежену інформацію про аналізовану систему чи діяльність, відсутність даних, вплив людських чинників або через те, що витрати на кількісний аналіз не виправдані. У таких випадках ефективним може бути порівняльне якісне ранжування ризиків з використанням експертів у відповідних галузях.

При аналізуванні ризиків проводять оцінку здійсненні кількісного аналізу важливо чітко пояснювати всі використовувані терміни та вести протокол для всіх критеріїв. Навіть у випадку проведення повного кількісного аналізу важливо визнавати, що обчислені рівні ризику є лише оцінками, і слід бути уважним, щоб забезпечити відповідність цих оцінок точності та прецизійності, які сумісні з використовуваними даними і методами аналізу.

Рівні ризику слід подавати в термінах, найбільш придатних для даного типу ризику, та у формі, що сприяє зручному оцінюванню. У деяких випадках можливо представити величину ризику у вигляді розподілення ймовірності в межах конкретного діапазону наслідків.

1.1. Інформаційне трактування ризику та невизначеності

Ризик і невизначеність є невід'ємною частиною нашого життя. Пояснення цих важливих понять ми будемо будувати на основі такої моделі. В існуючому світі ми як незалежні дослідники виділяємо конкретний об'єкт. Залежно від досліджуваної галузі як об'єкт можна розглядати окрему людину, підприємство, зразок техніки, суспільство або будь-який інший предмет матеріального і навіть віртуального світу.

У поточний момент часу T об'єкт перебуває в певному стані (наприклад, у стані A). Стан об'єкта описується деяким набором параметрів. Якщо ми беремо як об'єкт людину, то її стан може бути описаний величезним числом різноманітних параметрів, що характеризують її:

- як біологічну істоту (стан (жива/померла), зріст, вага, температура тіла, кров'яний тиск тощо);
- як господарюючу одиницю (сума наявної готівки, вартість її майна, розмір щомісячної заробітної плати, розміри боргових зобов'язань, розмір боргової плати, розміри боргових зобов'язань тощо);
- як члена суспільства (соціальний і сімейний стан) тощо.

Залежно від аспекту, що цікавить дослідника, буде обиратиметься той набір параметрів, який характеризує цей аспект найкращим чином. Якщо об'єкт у розглянутій ситуації може мати тільки один можливий стан, і відомі значення всіх

його параметрів, то такий стан називається детермінованим, і жодної невизначеності щодо цього об'єкта немає. Навпаки, якщо існують різні стани об'єкта, і він може змінювати їх у часі, то залежно від обсягу наявної інформації може мати місце як детермінована ситуація, так і ситуація невизначеності.

У зовнішньому або у внутрішньому середовищі об'єкта мають місце різні явища (природні, соціальні, біологічні, фізичні тощо). Деякі з цих явищ впливають на об'єкт, що розглядається. Під впливом цих впливів стан об'єкта може змінитися. Наприклад, у людини може покращитися або погіршитися стан здоров'я, вона може поправитися або схуднути, вона може придбати або позбутися якогось майна, стати безробітною або керівником підприємства тощо.

Тобто в майбутньому в момент часу t' об'єкт може опинитися у стані A' іншому, ніж той, у якому він перебував у вихідний момент часу t . Стан об'єкта в майбутньому в момент часу $t' > t$ залежить від багатьох обставин, зокрема:

- у якому стані перебував об'єкт у початковий момент часу t ;
- які явища відбувалися протягом періоду $[t; t']$, як і з якою силою ці явища впливали на об'єкт;
- якими були властивості самого об'єкта і навколишнього його середовища протягом періоду $[t; t']$ з погляду їхньої здатності протистояти або, навпаки, сприяти зміні стану об'єкта.

Якщо дослідникові ще в початковий момент часу t відома вся необхідна інформація щодо майбутнього періоду $[t; t']$, то він може точно вказати стан A' , у якому опиниться об'єкт у момент часу t' .

Таким чином, якщо в деякий момент часу t точно відомо, в якому стані опиниться об'єкт у момент часу $t' \geq t$, то такий стан називається детермінованим (або зумовленим, не випадковим, повністю визначеним).

Насправді практично ніколи не відома вся необхідна інформація для однозначного визначення стану об'єкта в майбутньому. Тому завжди існує деяка невизначеність щодо стану об'єкта в майбутньому. Ця невизначеність може бути пов'язана з неможливістю на основі наявної інформації визначити:

- а) які стани взагалі може набувати об'єкт, що розглядається об'єкт;

б) якого саме з відомих можливих станів набуде об'єкт.

У цьому визначенні брак ясності передбачає недостатню обізнаність про можливі стани об'єкта (тобто невідомо, яких станів він може набути), тобто невідомо, які стани він може прийняти).

Як правило, невизначеність стосується стану об'єкта у майбутньому. Однак досить часто можна зіткнутися з невизначеністю поточного стану. Зазвичай вона виникає щодо об'єктів, які дослідник зараз не в змозі контролювати (тобто не має можливості виміряти необхідні параметри з достатньою точністю). А оскільки невідомий вихідний стан A в момент часу t , то обов'язково буде присутня невизначеність майбутнього стану A' у момент $t > t'$.

Усі обставини, від яких залежить стан об'єкта (явища, властивості тощо), можна об'єднати загальним поняттям "фактори". Щоб у поточний момент часу t можна було визначити стан об'єкта в деякий момент майбутнього $t' > t$, необхідно знати:

- 1) усі чинники, які можуть вплинути на стан об'єкта протягом періоду $[t; t']$;
- 2) характер цього впливу, тобто залежності (закони), що пов'язують стан об'єкта з цими чинниками;
- 3) усі значення, яких набудуть ці чинники протягом періоду $[t; t']$; при цьому значення мають бути відомі з такою похибкою, щоб вона дала змогу визначити стан об'єкта з необхідною досліднику точністю.

Необхідно зазначити, що брак інформації про фактор може мати місце як на рівні людства і науки взагалі, так і на рівні окремої особи, яка вивчає конкретну ситуацію. Знання окремої людини завжди менші за загальне наукове знання людства загалом. Тому для неї може бути невизначеною ситуація, яка не піддається повному визначенню навіть за наявного розвитку науки. Очевидно, що чим нижчий рівень інформованості конкретної особи, тим вищий рівень нестохастичної невизначеності в її житті.

Як правило, коли говорять про поведінкову невизначеність, мають на увазі поведінку інших осіб (інших, ніж той, хто досліджує ситуацію). Однак, незважаючи на чільну роль свідомості в поведінці людини, існують і несвідомі реакції, у т.ч.

неповний контроль над своїм власним тілом. Це породжує для конкретної людини деяку невизначеність, пов'язану з поведінкою її самої.

Вона проявляється, наприклад, у неможливості навіть для найбільш тренованого спортсмена гарантовано здійснити два абсолютно однакових рухи (наприклад, кидок м'яча). Це зумовлено людською природою, фізичними та психологічними особливостями. Невизначеність, спричинену нездатністю самої людини контролювати з достатньою точністю власні рухи, можна вважати як поведінковою (тому що вона залежить від дій людини), так і метрологічною (тому що вона спричинена "похибками" під час виконання цих дій).

Фахівці також ще виокремлюють так звану "цільову невизначеність". Вона зумовлена можливою неоднозначністю трактування станів об'єкта з точки зору зацікавленого спостерігача.

Усі зазначені види нестохастичної невизначеності можуть виникати як на рівні людства (науки) в цілому, так і тільки на рівні конкретної людини (суб'єкта). Крім того, часто невизначеність зумовлена одночасною дією одразу кількох чинників, що належать до різних категорій.

Невизначеність і, як наслідок, ризик присутні в усіх сферах людського життя. У кожній з них є свої особливості трактування цих універсальних категорій. Поняття ризику дуже багатогранне, у визначеннях виокремлюються його різні аспекти (математичні, психологічні, економічні, соціальні, технічні тощо). На жаль, поки що не доводиться говорити про існування єдиного, загальновизнаного, універсального визначення ризику. Кожен дослідник обирає або дає те визначення, яке найвдаліше, на його погляд, виокремлює найбільш значущі в досліджуваному контексті сторони ризику.

Згідно з оціночним підходом, якщо в ситуації невизначеності існує можливість настання несприятливих наслідків, тобто втрат, то можна говорити про існування ризику. Відмінності між ризиком і невизначеністю полягають у суб'єктивному ставленні до результатів. Поняття невизначеність не передбачає суб'єктивних оцінок і є нейтральним, а ризик з'являється там, де є оцінка суб'єктом

можливих станів (звідси й назва підходу - "оціночний"). Ризик - це можливість непередбаченого настання несприятливих наслідків.

Поняття "ризик" досить складне і поєднує в собі об'єктивні та суб'єктивні начала. З одного боку, наявність випадковості та обмеженості знань людства є об'єктивною властивістю нашого світу. З іншого боку, неповна інформованість конкретної людини, яка також породжує невизначеність, та її особиста оцінка можливих результатів є суто суб'єктивними. Тому поняття ризику являє собою діалектичну єдність об'єктивного і суб'єктивного. Абсолютизація якогось одного з цих двох начал веде до збіднення уявлень про таке складне явище і виключає з розгляду частину важливих аспектів, що не вписуються в обраний підхід.

Результатом реалізації ризику, згідно з визначенням, є несприятливі наслідки, тобто зміна стану об'єкта в гірший бік відносно вихідного або деякого обґрунтовано очікуваного стану. Ця зміна відбувається внаслідок впливу на об'єкт явищ, що відбуваються як поза, так і всередині його. Ці явища, своєю чергою, спричиняються деяким набором обов'язкових умов (обставин), які називаються причинами. Ці обставини-причини, у свою чергу, можуть бути наслідком інших обставин тощо. "Глибина" дослідження (кількість причинно-наслідкових переходів), що передують реалізації ризику, залежить від цілей дослідження і складності ситуації. Ми ж тут обмежимося лише причинами, що безпосередньо викликають явище, яке, впливаючи на об'єкт, може призвести до несприятливих наслідків. Результатом реалізації ризику, згідно з визначенням, є несприятливі наслідки, тобто зміна стану об'єкта в гірший бік відносно вихідного або деякого обґрунтовано очікуваного стану. Ця зміна відбувається внаслідок впливу на об'єкт явищ, що відбуваються як поза, так і всередині його. Ці явища, своєю чергою, спричиняються деяким набором обов'язкових умов (обставин), які називаються причинами. Ці обставини-причини, у свою чергу, можуть бути наслідком інших обставин тощо.

Відповідно до використовуваного нами визначення, ризик розглядається як можливість непередбаченого настання несприятливих наслідків. Тобто в ризику завжди присутні дві важливі складові: можливість і наслідки. Міра ризику має

враховувати обидва ці елементи. Залежно від наявної інформації про подію імовірність може відображати відносну частоту настання події.

Якщо у випадкової події існують два можливих несприятливих наслідки, один з яких призводить до втрати грошей, а інший - до втрати часу, то, щоб можна було їх порівнювати, необхідно привести наслідки до однієї одиниці виміру. В цьому випадку або до грошей (тоді другий результат треба оцінити, наприклад, як суму грошей, які можна було б заробити за цей час), або до часу (тоді перший результат можна виразити як кількість часу, який знадобиться, щоб заробити стільки грошей).

Таким чином, оцінкою ризику є пара показників:

- 1) ймовірність;
- 2) наслідки.

Ці два показники можна об'єднати в один:

$$\text{Міра ризику} = \text{Імовірність} \cdot \text{Наслідки}$$

Слід зазначити, що ступінь ризику також може визначатися розкидом можливих результатів, і міра ризику має враховувати це. Математичними показниками, що характеризують розкид щодо очікуваного значення, є дисперсія і середньоквадратичне відхилення.

Можливість вимірювання ризику породила ще один підхід до поділу понять "ризик" і "невизначеність" - так званий інформаційний підхід. Він існує нарівні з уже згадуваним оціночним підходом. Згідно з інформаційним підходом, відмінності між ризиком і невизначеністю зводяться до обсягу доступної інформації про ситуацію, що розглядається, а точніше - про ймовірнісний розподіл результатів.

У межах економічної науки цей підхід було вперше сформульовано Ф. Найтом. За його класифікацією термін "ризик" слід використовувати, коли відомий розподіл випадкової величини, за допомогою якої моделюють ризикову ситуацію. Тобто поняття "ризик" за інформаційного підходу відповідає поняттю "вимірюваної невизначеності". На відміну від ризику, "звичайну" невизначеність виміряти не можна. Однак у межах нашого курсу ми використовуватимемо не інформаційне, а оціночне трактування ризику.

1.2. Концепція ризику, її походження та історичне формування

Не існує єдиного визначення поняття ризику. Вивчаючи літературу, можна знайти багато різних підходів до розуміння цього терміну. Деякі визначення базуються на ймовірності, випадковості або очікуваних значеннях, інші - на небажаних подіях чи небезпеці, а треті - на невизначеності. Дехто вважає ризик суб'єктивним і епістемічним феноменом, залежним від наявних знань, тоді як інші надають йому онтологічного статусу, незалежного від оцінювачів.

Ці визначення, їх обґрунтування, сильні та слабкі сторони широко обговорювалися в літературі; див., наприклад, Авена і Ренна [4] та Авена та ін. [5]. Проте цікавим аспектом цих визначень, який не розглядається в цих джерелах, є часовий вимір. Чи можна виявити певні тенденції у розвитку цих та інших визначень ризику? Початкова гіпотеза, сформульована для цієї роботи, полягала в тому, що відбувся поступовий перехід від досить вузьких поглядів на ризик, заснованих на ймовірностях та очікуваних значеннях, до ширших визначень, які не базуються на ймовірностях, з чітким розмежуванням між ризиком як концепцією і тим, як ця концепція вимірюється. Метою цього розділу є детальніше дослідження цього питання і, зокрема, обґрунтованості цієї гіпотези. Багато з вивчених визначень належать до останніх 30-40 років, але деякі з них походять з першої половини 20-го століття, а деякі навіть з більш ранніх періодів, як, наприклад, визначення ризику, дане де Муавром у 1711 році. Визначення ризику останніх 30-40 років з'явилися разом з розвитком наукової галузі аналізу ризиків (див., наприклад, [6]).

Вивчення концепції ризику з історичної точки зору та з урахуванням тенденцій розвитку вважається важливим для оцінки ризиків, управління ними та інформування про них, оскільки це може сприяти кращому розумінню фундаментальних засад цих галузей. Таке зміцнення є необхідним, оскільки нинішня ситуація характеризується багатьма слабо обґрунтованими та непослідовними концепціями ризику [5, 7, 8]. Цікавим питанням є те, якою мірою сфера ризиків рухається у правильному напрямку. Чи зникли неадекватні перспективи, чи вони все ще впливають на поле ризику? Ця робота також

намагається відповісти на ці питання. Дискусія базується на двох важливих передумовах.

Перша з них полягає в тому, що ризик повинен бути визначений таким чином, щоб можна було розрізнити сам ризик і те, як ним управляють. Існують погляди на ризик, в яких ця відмінність не проводиться. Одним з ілюстративних прикладів є Бек [9]. Бек стверджує, що "ризик може бути визначений як систематичний спосіб боротьби з небезпеками і небезпеками, які несе в собі сама модернізація" [9].

Визначення Бека унеможливило б питання: "Як ми реагуємо на цей ризик?", оскільки реакція і ризик були б одним і тим самим. По-друге, ризик не слід визначати так, що він стосується лише "модернізації", адже ризики існували й до індустріального суспільства.

Друга передумова полягає в тому, що ризик повинен бути визначений так, щоб можна було розрізнити сам ризик і те, як він сприймається. Поняття сприйняття включає особисті почуття і ставлення (наприклад, страх) до можливих подій, наслідків цих подій, а також до невизначеностей і ймовірностей. Однак такі почуття і ставлення не повинні бути частиною поняття ризику, коли воно використовується в професійному чи науковому контексті. Якщо сприйняття ризику також включає судження про прийнятність ризику, то аргументи на користь цієї передумови стають ще сильнішими, оскільки концепція ризику не повинна охоплювати лікування або управління ризиком (див. першу передумову). Ця передумова не узгоджується з теорією культури і конструктивізмом, які стверджують, що ризик тотожний сприйняттю ризику [10, 11], критичні зауваження в [12]. Наприклад, Бек [9] робить висновок, що "оскільки ризики - це ризики в знанні, сприйняття ризиків і ризик - це не різні речі, а одне й те саме". Більш детальне обговорення цієї тези можна знайти в Авена і Ренна [4].

Коли йдеться про оцінку ризиків, ми не можемо так легко визначити подібну передумову, оскільки багато загальних визначень ризиків тісно пов'язані з тим, як ризик описується за допомогою оцінки ризиків. Це питання буде детально розглянуто в цьому документі.

Багато поглядів на ризик розроблено та використовується в конкретних дисциплінах і сферах; див. огляди, наприклад, Ренна [13] (дещо скориговані в Aven і Renn [14]) та Альтхауса [3]. Ренн [13] розрізняє такі дисципліни/перспективи: статистичний аналіз (включаючи актуарний підхід), токсикологія/епідеміологія, ймовірнісний аналіз ризику, економіка ризику, психологія ризику, соціальні теорії ризику та культурна теорія ризику. Водночас Альтхаус [15] розрізняє логіку і математику, природничі науки і медицину, соціальні науки (антропологію, соціологію, економіку, право, психологію, лінгвістику), історію і гуманітарні науки (історія, мистецтво), релігію і філософію. Кожна система класифікації визначає свій підхід до ризику для конкретної дисципліни чи галузі. Наприклад, згідно з класифікацією Альтхауса [15], ризик розглядається як обчислюване явище в логіці та математиці, як об'єктивна реальність у природничих науках і медицині, як суспільне явище в соціології та як поняття в лінгвістиці.

Ця класифікація спрощує розуміння того, як різні дисципліни та галузі підходять до ризику. Проте для багатьох дисциплін і сфер замість використання лише однієї категорії для опису домінуючого мислення необхідно застосувати кілька підходів. Наприклад, у науці також широко використовуються суб'єктивні перспективи, такі як байєсівські підходи. Для цілей цієї роботи ми вважаємо, що ці дисциплінарні класифікації ризиків є недостатньо детальними – нам потрібен більш високий рівень специфікації, а не просто такі характеристики, як "об'єктивна реальність" або "суспільне явище".

Це, звісно, не означає, що такі характеристики не є важливими і не будуть розглянуті в подальшому обговоренні. Щоб досягти мети статті – дослідження тенденцій розвитку визначення та розуміння ризику – необхідно чітко розрізняти концептуалізації ризику, які вважають ризик об'єктивною властивістю світу, та ті, що базуються на людських судженнях і знаннях (тобто є епістемологічними). Ми пам'ятаємо відомі висловлювання Іммануїла Канта (1724-1804) "Das Ding an sich" і "Das Ding für mich". Ризик (і ймовірність) можна розглядати як властивість світу "an sich", так і як поняття "für mich" (див. також [16]).

Однак, щоб змістовно обговорювати це питання, ми повинні пов'язати ці ідеї з конкретними визначеннями та чіткими інтерпретаціями. Як буде показано в наступних розділах, багато з цих визначень та інтерпретацій тісно пов'язані з різним розумінням ймовірності.

Концепція ризику (звернення до терміну та його значення) стосується не лише лінгвістики (див. класифікаційну систему Альтхауса [15]), але й інших дисциплін та сфер діяльності. Усі дисципліни та сфери потребують уточнення того, як слід визначати та розуміти ризик. Різні дисципліни та сфери мають свої особливі потреби, що сприяло появі багатьох різних поглядів на ризик, які існують сьогодні.

Очевидно, що різні дисципліни та сфери мають свої власні методи оцінки та управління ризиками. Наприклад, у бізнесі потрібні інші процедури і моделі управління ризиками, ніж, скажімо, у медицині чи інженерії. Але чи це означає, що вони мають абсолютно відмінні уявлення про ризик як концепцію? Чи не є основний виклик однаковим - усвідомлення того, що дії в майбутньому можуть мати небажані або непередбачувані наслідки, які потрібно управляти?

Як показує подальше дослідження, відповіді на ці питання значно залежать від аспектів, висвітлених у нашій початковій гіпотезі: чи існує невід'ємна залежність концепції ризику від її опису, чи можна різко відрізнити ризик як концепцію від способів її вимірювання?

Багато визначень ризику ґрунтуються на моделюванні, зокрема на моделях ймовірностей, які відображають варіації в популяціях, що також відомі як алеаторні невизначеності. Наприклад, деякі визначення ризику ґрунтуються на частотних ймовірностях, що виражають частку "успіху" у разі повторення досліджуваної ситуації нескінченну кількість разів.

При вивченні тенденцій розвитку розглядатимуться визначення ризику, що базуються на частотних ймовірностях, а також ті, що ґрунтуються на знаннєвій або епістемічній інтерпретації ймовірності.

Структура документа наступна: у Розділі 2 обговорюються загальні аспекти концепції ризику, включаючи походження слова "ризик" і його використання в повсякденному мовленні. У Розділі 3 розглядаються ідеї та визначення ризику, що

прийняті у професійному та науковому середовищі. Представлено новий підхід до класифікації різних типів визначень ризику, після чого проводиться аналіз того, як ці визначення відповідають на ряд запитань. Серед цих питань: чи забезпечує концепція ризику збалансованість різних атрибутів (наприклад, наслідків і ймовірності) і чи ґрунтується вона на експертному моделюванні? Також проводиться оцінка відповідності між цими визначеннями і фразами, які наведені у Розділі 2, для визначення їхньої відповідності типовій повсякденній мові про ризику. У Розділі 4 обговорюються висновки, які впливають із попередніх розділів, а також початкова гіпотеза роботи про те, що спостерігається поступовий перехід від вузьких уявлень про ризик, що базуються на ймовірностях і очікуваних значеннях, до ширших визначень, які не обов'язково ґрунтуються на ймовірностях, з чітким розмежуванням між ризиком як концепцією і способами її вимірювання. Для досягнення цієї мети було проаналізовано різноманітні теоретичні шляхи розвитку, починаючи з визначення ризику на основі очікуваних значень, запропонованого де Муавром у 1711 році, і закінчуючи сучасними поглядами до 2011 року. Для полегшення читання деякі аргументи узагальнено в додатку. Розділ 5 містить висновки та заключні зауваження.

У цій роботі дискусія ґрунтується на моїх оцінках, і безперечно, мої базові погляди на визначення та розуміння ризиків впливають на мій аналіз. З моїх нещодавніх публікацій очевидно, що мої погляди мають бути відомі. Однак основна частина цієї статті містить загальний аналіз, який можна оцінювати незалежно від того, погоджується читач з моїми остаточними висновками чи ні. Важливими в роботі є використані аргументи та їх обґрунтованість. Я сподіваюся, що ця робота спонукатиме до подальших дискусій про значення та розуміння поняття ризику, оскільки така дискусія є важливою для розвитку ризикології, про що було зазначено вище.

Альтгаус [15] ретельно досліджує походження слова "ризик". Вона підкреслює, що походження цього терміну є об'єктом дискусій в літературі, що стає очевидним при детальному аналізі в Оксфордському словнику англійської мови

[17]. Ось деякі пояснення з Оксфордського словника англійської мови [17], які в значній мірі збігаються з викладеним Альтгаусом:

- Французьке слово *risque*: "небезпека або незручність, передбачувана чи ні" (1578 р.).
- Італійське слово *risco*, "можливість шкоди, неприємний наслідок тощо".
- Посткласична латина *resicum, risicum*, "загроза, небезпека".
- Середньофранцузьке слово *resicq, risicq*: "можливість пошкодження або втрати товару".
- Староокситанське слово *rezegue*: "можливість пошкодження товару при перевезенні морем".
- Каталонське слово *risc, rees*: "небезпека, ризик, можливість пошкодження товару під час морського перевезення".
- Іспанське слово *riesgo*: "конфлікт, незгода", "можливість заподіяння шкоди або неприємних наслідків".
- Голландські слова *risico* і *resicq*, "можливість пошкодження товару".
- Арабське слово *rizq*, "фортуна, удача, доля, випадок".

Згідно з Оксфордським словником англійської мови [17], існує широко поширена думка про те, що посткласичне латинське слово *resicum, risicum*, що означає "небезпека, загроза", могло походити від посткласичного латинського іменника *resicum*, який ймовірно є похідним від класичного латинського слова *resicare*, що перекладається як "те, що ріже". Це вказує на асоціацію з "скелею, кручею, рифом" (порівняйте іспанське слово *risco* у цьому контексті з XIII століття). Оксфордський словник [17] стверджує, що хоча це пояснення відповідає морському контексту багатьох ранніх вживань слова в англійській та романських мовах, воно також включає низку припущень, які не мають достатньої документальної підтримки.

Знову ж таки, згідно з Оксфордським словником [17], це пояснення, а також твердження, що посткласичне латинське *resicum, risicum* може походити від специфічних значень арабського слова *rizq*, яке означає "фортуна, удача, доля, випадок", припускає, що середньовічне грецьке слово *rizikon* було запозичене з

посткласичної латинської *risicum*. Однак також можливо, що запозичення відбулося у зворотному напрямку: обидва слова вперше засвідчені були приблизно в один і той же час.

Очевидно, що етимологія поняття "ризик" залишається спірною. Для більш повного уявлення про різні точки зору щодо походження цього слова, розглянемо наступні твердження з різних джерел, зокрема з роботи Альтхауса [15]:

- Згідно з Бернстайном [18], походження слова "ризик" пов'язане з давньоіталійським словом *risicare*, що означає "наважитися". Це слово використовували стародавні моряки для попередження керманіча про можливість небезпеки, такої як скелі поруч.

- Гідденс [19] вважає, що слово "ризик" увійшло до англійської мови через португальську або іспанську, де воно використовувалося для позначення плавання в невідомих водах. Словник *Chambers Twentieth Century Dictionary* [20] пояснює, що іспанське слово *risco* означає "скеля". Гідденс [19] також стверджує, що один з коренів терміну "ризик" у португальській мові має значення "наважитися".

- Евальд [21] стверджує, що концепція ризику з'явилася в Середньовіччі і була пов'язана з морським страхуванням. Термін використовувався для позначення небезпек, які могли загрожувати мореплавству.

- Британська медична асоціація [22] припускає, що слово "ризик" походить від грецького слова *rhiza*, що означає "небезпеку плавання близько до скель", такі як зустрічні вітри, турбулентні пасати та вируючі припливи.

Сьогоднішнє повсякденне використання слова "ризик" в значній мірі відображає ці пояснення. Оксфордський словник англійської мови [17] виділяє три основні категорії визначень ризику, що відображають різні історичні корені та контексти його використання. [15]):

Термін "ризик" може мати різне значення в залежності від контексту:

1. Схильність до можливості втрати, пошкодження, травми або інших несприятливих обставин; шанс або ситуація, пов'язана з такою можливістю.

Це означає, що "ризик" може бути розглянутий як можливість несприятливих наслідків, які можуть статися в результаті певних дій чи подій. Наприклад, ризик

втрати коштів при інвестуванні або ризик виникнення травми під час спортивного заходу.

2. Небезпечна подорож, справа або спосіб дій; авантюра.

У цьому випадку "ризик" може означати ситуацію, дію або подію, які включають в себе певну ступінь небезпеки або несподіваності. Наприклад, ризик під час виконання екстремального виду спорту або небезпечна подорож в невідомі райони.

3. Особа або річ, яка може призвести до хорошого або поганого результату в певному відношенні; особа або річ, яка вважається загрозою або джерелом небезпеки.

В цьому контексті "ризик" може означати людину, обставину або дію, яка може призвести до певного результату, який може бути або позитивним, або негативним. Наприклад, ризик інвестування в новий бізнес може принести високий дохід або може призвести до втрат.

У подальших розділах буде розглянуто, як це поняття ризику використовується у професійному та науковому середовищі, а також його взаємозв'язок з вищезгаданими значеннями. Ось деякі приклади використання терміну "ризик" згідно з Оксфордським словником англійської мови [17]:

Категорія (1):

1. 1699: Вони повинні взяти на себе ризик падіння ціни.
2. 1718: Той, хто ризикує, заслуговує на ярмарок.
3. 1808: Мало він любить такі ризики, я знаю.
4. 1880: Страхування від вогню як бізнес полягає у прийнятті на себе певного ризику в обмін на порівняно невелику суму, яка називається премією.
5. 1889: Цукор дуже важко перевозити; ром і тафію можна перевозити з меншим ризиком.
6. 1908: План був досить небезпечним, але вона була готова ризикувати.
7. 1934: Окремі райони можуть бути схильні до ризику повеней, що виникають внаслідок сильних дощів або танення снігу.

8. 2003: У штаті Колорадо близько 1,3 мільйона людей живуть у червоній зоні - районах з високим ризиком виникнення лісових пожеж.

Ці приклади показують, що "ризик" використовується для позначення можливості негативних або несприятливих подій, що можуть виникнути в результаті певних обставин або дій.

Категорія (2):

1. 1679: До далеких Сфер вона відлітає, і блукає, без Берегині, з очей геть. Повернись, повернись, до святині своєї ув'язненої, і ганебно покайся в цьому своєму ризикованому вчинкові.

2. 1692: Нахабний зневажувач дисципліни, виплеканий до зухвалості довгим ризиком свободи і бунту.

У цих прикладах "ризик" використовується для позначення небезпечної дії, авантюри чи ситуації, яка має в собі значний ступінь небезпеки або ризику.

Ці дві категорії ілюструють різні аспекти терміну "ризик" в англійській мові, від практичних ситуацій до більш метафоричних або образних вживань.

Категорія (3). Ось додаткові приклади використання терміну "ризик" згідно з Оксфордським словником англійської мови [17]:

1. 1867: Одружені чоловіки, як правило, є найбільш бажаною групою ризику.

2. 1867: Феєрверки вважаються пожежним ризиком особливої небезпеки.

3. 2001: Клієнти інших компаній Сітігруп, які погодилися купити страховку мандрівників, як правило, були поганими ризиками.

4. 2002: Хлопчик, який, як вважають, становить ризик для себе та інших, наразі перебуває в безпечному відділенні в Лідсі за 3500 фунтів стерлінгів на тиждень.

Ці приклади показують різні аспекти терміну "ризик" в різних контекстах, включаючи фінансові, побутові та медичні ситуації. "Ризик" використовується для позначення можливості небажаних подій чи станів, які можуть мати негативні наслідки..

У зоні ризику. Ось переклад наведених прикладів використання терміну "ризик" згідно з Оксфордським словником англійської мови [17]:

1. 1796 рік: Репутація всього братства була б під загрозою, якби не було дотримано правил з цієї нагоди.

2. 1937 рік: Сотні ірландців з радістю підставили свої шиї під англійський зашморг.

3. 1994 рік: Дослідники з усього світу намагаються виявити більше генів, які підвищують ризик розвитку захворювання, також відомого як ювенільний діабет.

Ці приклади показують різні контексти використання терміну "ризик" на протязі різних історичних періодів і в різних сферах життя.

На власний ризик. Ось переклад наведених прикладів використання терміну "ризик" згідно з Оксфордським словником англійської мови [17]:

1. 1852 рік: Якщо частина застрахованого майна була продана, воно переставало бути під ризиком андеррайтерів.

2. 1922 рік: Товар перевозився на ризик власника.

3. 1970 рік: Отже, він повинен нести ризик, якщо автомобіль завдає шкоди.

4. 1815 рік: Ризикуючи власними шиями, ми б і без тебе впоралися.

5. 1816 рік: Він побіг до підвалу, ризикуючи зламати собі шию.

6. 1874 рік: Ти думав, що можеш врятувати його, ризикуючи своїм здоров'ям.

7. 2003 рік: У науці, як і в звичайному житті, є диваки, які, ризикуючи бути висміяними, досліджують непопулярні території.

Ці приклади показують різноманітні ситуації і контексти використання терміну "ризик" в різні історичні періоди та сфери життя.

У зоні ризику опинилися. Ось переклад наведених прикладів використання терміну "ризик":

1. 1905 рік: Хоробрість восьми солдатів полку, які, ризикуючи життям, винесли із зони обстрілу популярного молодого офіцера.

2. 1969 рік: Дедалі більше мешканців міста беруть участь у створенні політично орієнтованих професійних об'єднань, що пов'язано зі значним ризиком для самих учасників.

Ці приклади ілюструють використання терміну "ризик" в різних контекстах: від воєнних подій до політичних і соціальних ініціатив.

Альтхаус [15] розглядає різноманітність використання терміну "ризик" в різні часи, культури та регіони. Він цитує Бернстайна [18] і Гігеренцера та ін. [23], які вважають, що поняття шансу та ймовірності замінюють поняття долі, оскільки людство вірить у свою здатність керувати невизначеністю за допомогою інструментів ймовірності. За цією ідеєю, будь-яка різниця між ризиком та невизначеністю/шансом сьогодні майже втрачена лінгвістично.

Проте в той же час термін "ризик" залишається дуже гнучким у повсякденному вжитку і не завжди потребує розрахунків ймовірності для його розуміння. Як буде показано в подальшому аналізі, багато підходів до ризику роблять чітке розмежування між невизначеністю/шансом і ризиком..

Альтхаус висновкує, що старе підприємницьке розуміння ризику як авантюризму поступово втрачало свою чіткість з початку 19-го століття. Сучасне використання терміну "ризик" в повсякденному мовленні частіше має негативне забарвлення. Ці зміни в значенні та використанні терміну пов'язані зі зміщенням акценту на ризик, пов'язаний з небажаними наслідками або результатами, і з об'єднанням ризику з невизначеністю. Цей акцент став особливо помітним в епоху модерну, яка почалася у 17 столітті і зробила значний прогрес у 18 столітті. Порівнюючи історичні визначення з сучасними інтерпретаціями, можна виділити наступні схожі риси: діяльність призводить до різних можливих наслідків, де один або декілька з них є негативними (небажаними), і саме на них зосереджується основна увага, оскільки їх результати є невідомими.

Ризик означає або можливість, невизначеність або шанс того, що певна діяльність може призвести до небажаних наслідків. Також це може бути сама діяльність або об'єкт, які часто розглядаються як джерела ризику або загрози.

1.3. Огляд сучасних наукових джерел стосовно оцінювання ризиків

У науковій статті [24] проведено аналіз причин і наслідків відмов (FMEA) є ефективним інструментом якості для усунення ризиків і підвищення стабільності та безпеки у виробничій сфері та сфері послуг. Тим не менш, традиційний FMEA піддавався критиці за недоліки в процесі оцінки факторів ризику або визначення номера пріоритету ризику (RPN), що може призвести до неточних результатів оцінки. Тому в цій статті представлено новий метод FMEA, заснований на теоріях нечітких множин та інтервальних ймовірностей. Теорія нечітких множин використовується для маніпулювання суб'єктивністю та невизначеністю оцінок експертів і перетворення оціночних значень факторів ризику в інтервальні числа. Тим часом, інтервальна експоненціальна RPN (ERP) використовується для заміни традиційної RPN завдяки своїм кращим властивостям, наприклад, вирішенню проблем дублюючих чисел та розривів значень RPN. Крім того, запропоновано метод інтервального порівняння ймовірностей для ранжування пріоритету ризику кожного режиму відмов для уникнення втрати інформації в процесі обчислення RPN. Нарешті, представлено реальний приклад і проведено порівняльний аналіз між різними методами FMEA, щоб продемонструвати надійність та ефективність запропонованого методу FMEA.

У науковій статті [25] представлено структурований огляд публікацій, що використовують методи машинного навчання для допомоги в оцінці інженерних ризиків. Для пошуку релевантних статей у базах даних Scopus та Engineering Village виконано пошук за ключовими словами. Результати пошуку фільтруються за сімома критеріями відбору. В результаті процесу фільтрації було отримано сто двадцять чотири релевантні наукові статті. Представлено статистику на основі різних категорій з бази даних цитування. Шляхом аналізу статей також визначено додаткові категорії, такі як тип використаного алгоритму машинного навчання, тип використаного джерела вхідних даних, тип цільової галузі, тип впровадження та передбачувана фаза оцінки ризиків. Результати показують, що автомобільна промисловість є лідером у впровадженні алгоритмів машинного навчання для оцінювання ризиків. Штучні нейронні мережі є найбільш застосовуваним методом

машинного навчання для допомоги в оцінці інженерних ризиків. У цій статті також представлені додаткові висновки, отримані в процесі огляду.

У науковому дослідженні [26] оцінюються ризики у сфері охорони праці та безпеки життєдіяльності та використовується новий інтегрований підхід - піфагорівська нечітка пропорційна оцінка ризиків (PFPPRA), що включає метод Файн-Кінні, піфагорівський нечіткий аналітичний процес ієрархії та систему нечіткого виведення. Основною відмінністю запропонованого підходу є інтеграція цих методів таким чином, щоб забезпечити більш точну оцінку ризиків. За допомогою запропонованого методу оцінено ризики, пов'язані з проведенням земляних робіт на будівельному майданчику. Результати порівнюються з піфагорівським нечітким аналізом режимів і наслідків відмов (PFMEA), і виявляється, що запропонований метод дає надійні та інформативні результати, які краще відображають нечіткість процесу прийняття рішень.

У науковій праці [27] розглядаються інструмент прогнозування PROBAST, інструмент для оцінювання ризику упередженості (ROB), який враховував керівні принципи звітності. Інструмент був розроблений за допомогою процедури Дельфі за участю 38 експертів і вдосконалений шляхом пілотування.

У науковій статті [28] розглядається концепція оцінювання ризиків, яка була апробована при перевірці безпеки на робочому місці, що дозволяє оцінити, чи було вжито достатніх запобіжних заходів, або чи потрібно зробити більше для запобігання потенційної шкоди. В цій роботі пропонується нова порівняльна методологія кількісної оцінки ризиків в оцінці ризиків для здоров'я та безпеки на робочому місці. У науковій статті пропонується оцінювати небезпеки, застосовуючи матриці ризиків, що являється важливим і потужним інструментом для виявлення показників безпеки праці у компанії. Тому для вимірювання величини ризику за допомогою традиційного матричного методу оцінюються параметри фактору ризику, серйозності та ймовірності. У цьому дослідженні пропонується інтуїтивний нечіткий гібридний підхід TOPSIS для подолання обмежень чіткої матриці ризиків та невизначеностей групових осіб, які приймають рішення, використовуючи думки експертів у лінгвістичних термінах.

Оцінювання ризиків активно застосовують при виробництві продукції у різних галузях економіки. Як показано в статті [29], параметри розподілення розмірів частинок, як випадкової величини, визначають показники якості синтезу в процесах створення смарт систем. Основним показником для пористих і спінених матеріалів є показники розсіювання розмірів порожнин [30]. Дослідження [31] доводить, що якість визначається не тільки розмірами, але й формою таких порожнин, враховуючи ризики виготовлення продукції низької якості. Розсіювання показників якості та ризиків при виготовленні медичних матеріалів в значній мірі впливає на ефективність їх використання [32, 33].

У роботах [34-36] запропоновано структуру комплексного показника життєздатності СРЕ: комплексний показник життєздатності СРЕ - це вектор, компонентами якого є часткові показники СРЕ: показник стану; показник конструктивних різновидів; еквівалентний рівень шуму, який залежить від руху транспорту на залізничних коліях; концентрація солей металів; рівень радіації. Загальний алгоритм використання визначених індикаторів, який поєднує в собі встановлення та оцінювання відповідних чинників СРЕ шляхом прямого або опосередкованого визначення кількісних показників, а також створення просторової основи для оцінки впливу об'єктів залізничного транспорту на стан довкілля.

У роботі [37] розглядаються можливості застосування адмітансного методу в моніторингу стану ґрунтів. Доведено переваги цього методу над традиційними фізико-хімічними методами. Підкреслено доцільність його використання для ефективного забезпечення функціонування інформаційної системи екомоніторингу під час збору вимірювальної інформації про параметри ґрунтів.

Авторами [38] запропоновано систему показників якості експертів при оцінюванні ризиків та методикау їх визначення. Це дає змогу зробити правильний вибір оптимальних методів оцінювання показників якості експертів у кожному конкретному випадку. Запропоновані рекомендації щодо стандартизації показників якості роботи фахівців-експертів передбачають встановлення нижніх меж допустимих значень. Це дозволяє унормувати їх характеристики та оптимізувати процес їх атестації і тим самим забезпечити узгодженість експертних вимірювань.

У наукових роботах [39, 40] запропоновано функціональну залежність між вимірними значеннями та їх оцінками на безрозмірній шкалі. Крім того, запропоновано параметри форми та масштабу, які дозволяють змінювати кривизну залежності, а це означає, змінювати оцінки. Функціональна залежність застосовувалась для багатокритеріального оцінювання показників у енергетичному секторі.

У наукових роботах [41, 42] запропоновано математичну модель визначення чисельного значення показника якості у діапазоні від $-\infty$ до 1. Модель застосовувалась для оцінювання якості деталей у машинобудуванні.

Наукові роботи [43, 44] пов'язані з застосуванням не лінійних функцій бажаності для отримання багатокритеріальних оцінок індексів сталого розвитку країн Європейського Союзу. Запропоновані відповідні покрокові методики, які дозволяють використовувати наукові дослідження на практиці. У роботі [45] розглядається методологія впровадження міжнародного стандарту з метою отримання достовірних результатів вимірювань показників якості.

Усі дослідження, представлені у результатах аналізу наукових досліджень, для оцінювання ризиків застосовуються експертні оцінки, що являється складним та частково суб'єктивним підходом. Зважаючи на результати аналізу наукової літератури в частині оцінювання ризиків кваліметричними методами зрозуміло, що актуальними являються дослідження, пов'язані з функціонально-залежними статистиками [46-50].

1.4. Аналіз підходів до трактування змісту поняття ризику якості продукції

Діяльність будь-якого підприємства завжди пов'язана з безліччю ризиків. Їхня неминучість пояснюється тим, що джерелом ризиків є об'єктивно існуюча і принципово непереборна невизначеність. При цьому асоціація ризику тільки з несприятливими наслідками є однобічним підходом до його розуміння. Насправді існування господарських ризиків сприяє руху економіки, її прогресивному розвитку, оскільки вони змушують переміщати фінансові, трудові та матеріальні ресурси з

одних сфер економіки в інші. Обумовлено це існуванням високої кореляційної залежності між ступенем ризиків і величиною очікуваного результату. А ризикувати - означає ухвалювати такі рішення, результат яких не можна передбачити заздалегідь однозначно. Тому не треба намагатися уникати ризикованих рішень, оскільки ухилення від ризиків відповідно заважає можливості додаткового прибутку. Отже, необхідно навчитися управляти ризиками, щоб у кожному конкретному випадку вміти адекватно реагувати на ризики.

Незважаючи на те, що ризики притаманні будь-якій економічній системі, все ж ставлення до них у період планової економіки було негативним. Вважалося, що планова економіка і ризик - явища несумісні. Як наслідок, соціалістична наука припинила займатися дослідженнями проблем ризику, що, своєю чергою, перешкоджало впровадженню в управлінську практику принципів обґрунтованого ризику. Інтерес до проблеми ризиків відновився лише з переходом нашої країни до ринкової економіки.

Нині досить інтенсивно ведуться дослідження з цієї проблеми, як у країнах розвиненої ринкової економіки, так і в Україні. В економічній літературі останніми роками велику увагу приділяють проблемі ризиків (методам, прийомам, етапам та інструментам роботи з ними), з обговоренням на сторінках спеціалізованих журналів ("Управління ризиком" і "Ризик: ресурси, інформація, постачання, конкуренція"). Однак наявні розробки здебільшого присвячені фінансовим ризикам у банківській, страховій та інвестиційній діяльності. Проблема ж управління ризиками промислових підприємств найменше висвітлюється в літературі і практично відсутнє врахування специфічних особливостей. При цьому вивчення досвіду ризик-менеджменту ускладнене тим, що хоч він і базується на засадах ринкового функціонування економіки, все ж його положення передбачають умовно стабільний стан зовнішнього середовища.

Зростаюча нестабільність зовнішнього середовища, спричинена економічною кризою в країні, постійними змінами нормативно-правової бази, швидким науково-технічним прогресом та іншими факторами, підвищує рівень ризиків, що впливають на діяльність підприємств. Багато національних підприємств не звертають належної

уваги на ризик-менеджмент, що є наслідком відсутності узгоджених теоретичних підходів та практичних методичних рекомендацій щодо управління ризиками. Це ігнорування у процесі управління значно знижує їхню конкурентоспроможність та потенціал до виживання.

Останнім часом у всьому світі проявляються тенденції зростання ролі ризиків. З ними пов'язана будь-яка сфера людської діяльності. Тому дослідженням категорії "ризик" займаються багато наук. При цьому кожна з них має свою спрямованість, свій предмет і власні методи дослідження. Це, з одного боку, ускладнює пошук економічної сутності ризику, але, з іншого боку, використовуючи все передове в досягненнях різних наук і сфер діяльності, легше виявити "природне" коріння, істинний базис ризику як економічної категорії.

Становлення та удосконалення теоретичних основ сутності ризику, як економічної категорії, безпосередньо пов'язані з еволюцією ринкових відносин, зокрема - підприємництва. Поняття підприємницького ризику почало формуватися ще в XVII столітті, коли підприємцем називали людину, яка уклала контракт з державою на виконання робіт або поставку продукції, вартість яких визначалася заздалегідь. Взнявши на себе повну фінансову відповідальність за виконання умов контракту, підприємець привласнював собі різницю, якщо вдавався вкластися в меншу суму. Розміри прибутків або збитків залежали від удачі самих підприємців.

На зламі XVII - XVIII століть родоначальник теорії підприємництва Річард Кантільон у своїй книжці "Досвід про природу торгівлі взагалі" зазначав, що відмінною рисою підприємця є ризик у виробничо-господарській діяльності, пов'язаний із невизначеністю попиту на товар.

Значний внесок у розвиток теорії ризику зробив А. Тюнен, який охарактеризував підприємця як такого, що володіє особливими якостями (уміє ризикувати, ухвалювати нестандартні рішення і відповідати за свої дії) і тому претендує на непередбачуваний дохід. Винагорода підприємця є, на його думку, доходом за прийняття на себе тих ризиків, які через їхню непередбачуваність не покриває жодна страхова компанія.

Протягом усього XIX століття готовність іти на ризик виступала одним із пояснень утворення та привласнення прибутку. Цієї точки зору дотримувалися і французькі вчені Ж.- Б. Сей та Курсель - Сеней.

З початку 20-х років нашого століття поняття "прибуток" в уявленні теоретиків і практиків уже досить міцно асоціюється з поняттям "ризик" і "невизначеність". Так Ф. Найт у своїй праці "Ризик, невизначеність і прибуток", опублікованій 1921 року, провів відмінності між категоріями "ризик" і "невизначеність". Відповідно до концепції Ф. Найта саме невизначеність є джерелом чистого прибутку або збитку. На його думку, для багатьох невизначеностей економічного життя можна обчислити ймовірність їхнього настання, тому їх можна перекласти на інших за допомогою страхування. Такі ризики стають статтею витрат виробництва, що вираховується з прибутку або збитків, а не їхньою причиною. Однак існують невизначеності, які ніколи не можуть бути піддані об'єктивному вимірюванню, оскільки вони стосуються безпрецедентних ситуацій.

У 20-30-ті роки XX століття А. Маршал і А. Пігу запропонували наступне, якщо потрібно вибрати один із двох варіантів капіталовкладень, які дають однаковий передбачуваний прибуток, то обирають такий варіант, у якому коливання прибутку менші. З неокласичної теорії ризику випливає: правильний прибуток має більшу корисність, ніж прибуток того самого розміру, але пов'язаний з можливими коливаннями. Звідси А. Маршал робить висновок про те, що не вигідно тримати парі, грати в лотереях і в азартні ігри. Противники такої точки зору вважали, що в даному випадку не враховується задоволення, яке отримують люди, що беруть участь в азартних іграх. Доповнення неокласичної теорії факторами задоволення від ризику привело до висновку про те, що заради більшого очікуваного прибутку підприємець може піти на більший ризик [51].

У вітчизняній економічній літературі все частіше з'являються тлумачення ризику, засновані на досвіді зарубіжних країн з розвинутою ринковою економікою. Однак єдиного визначення поняття "ризик" досі не вироблено. Багато авторів, таких як Б. А. Райзберг, В.В. Шахов, Л. А. Мієрінь та інші, асоціюють ризик лише з несприятливими економічними наслідками господарювання [51].

В.В. Шахов визначає ризик як гіпотетичну можливість настання збитку. Б.Л. Райзберг у своїй книзі "Підприємництво і ризик" трактує ризик як величину можливого збитку. Л.А. Мієрінь у книжці "Основи ризикології" пише, що "ризик є усвідомленою небезпекою (загрозою) настання в будь-якій системі негативної події з визначеними в часі та просторі наслідками". П. Г. Грабовий під ризиком розуміє ймовірність (загрозу) втрати підприємством частини своїх ресурсів, недоотримання доходів або появу додаткових витрат унаслідок здійснення певної виробничої та фінансової діяльності [51].

У сучасному економічному словнику ризик визначається як небезпека виникнення непередбачуваних втрат очікуваного прибутку, доходу, майна або грошових коштів у зв'язку з випадковою зміною умов економічної діяльності та несприятливими обставинами [51].

Проте, на нашу думку, такий підхід є одностороннім. Якби ризик із економічної точки зору асоціювався лише з негативними результатами, було б незрозуміло, чому підприємці готові йти на ризик. Ще у знаменитому словнику В. Даля ризик визначається, з одного боку, як небезпека, а з іншого - як дія навмання, що вимагає сміливості, рішучості та підприємливості в надії на щасливий результат. Отже, ризику притаманні також і позитивні наслідки [51-52].

Подібну позицію займають і деякі вітчизняні автори. І.Т. Балабанов стверджує, що ризик як економічна категорія являє собою подію, яка може відбутися або не відбутися [52]. Якщо така подія відбудеться, можливі три економічні наслідки: негативний (втрати), нульовий і позитивний (виграш, прибуток). Т.М. Цай, П.Г. Грабовий і Машда Бассам Сайєл вважають, що ризик пов'язаний з можливістю настання як несприятливої, так і сприятливої події, а до ризику нас змушує невизначеність. Проте, на нашу думку, подія, яка може статися, є не ризиком, а його причиною.

Позиція таких зарубіжних і вітчизняних економістів, як П. Самуельсона, П. Хейне, А. Хоріна, М. Рогова полягає у визначенні ризику як відхилення від очікуваного перебігу події, а його джерелом є невизначеність. Ми ж вважаємо, що відхилення - це вже результат, а сам ризик передує йому.

Узагальнюючи все вищесказане, ми дійшли висновку, що ризикувати - означає ухвалювати такі рішення, результат яких не може бути заздалегідь визначений однозначно через відсутність достовірної інформації про настання тих чи інших подій, тобто через невизначеність. У підсумку обрана мета, заради якої ухвалюються рішення, досягається або ні. В окремих випадках може бути отримано результат, що перевищує запланований. При цьому особа, яка ухвалює рішення, завжди сподівається на краще і побоюється небажаного розвитку подій, здатних призвести до негативних наслідків. Таким чином, найбільш адекватним нашим поглядам у питанні визначення суті ризику є позиції Г. Цельмера і Т. Бачкаї. Цельмера і Т. Бачкаї, Д. Месена, Д. Міко, які визначають категорію "ризик" як "можливість відхилення від мети, тобто розбіжність фактично отриманого результату з наміченим у момент прийняття рішення". Слід, однак, зазначити, що Г. Цельмер під відхиленням має на увазі тільки негативні наслідки, тобто недодержання мети [53-54].

В економічній літературі часто поняття "ризик" ототожнюють із поняттям "невизначеність". Інші автори вважають, що різниця між цими поняттями полягає в тому, що ризик стосується ймовірності настання відомих подій, яку можна кількісно оцінити, тоді як для невизначеності такої оцінки зробити неможливо. Об'єктивність ризику зумовлена наявністю чинників, що не залежать від дій осіб, які приймають рішення. Водночас деякі вчені розробляють суб'єктивний підхід до ризику, який не можна ігнорувати. Наприклад, В. Ойгензіхт у своїй роботі "Проблема ризику в цивільному праві" зазначає, що ризик завжди суб'єктивний, оскільки реалізується через людину. Ця точка зору має сенс, адже саме особа, яка ухвалює рішення, оцінює ситуацію, формує різні можливі результати та уявляє ймовірності їх здійснення, роблячи вибір із безлічі альтернатив. Крім того, сприйняття ризику залежить від кожної конкретної людини, її характеру, складу розуму та особливостей. Що для однієї людини є прийнятним рівнем ризику, для іншої може бути неприйнятним. Одна й та сама ризикована ситуація сприймається різними людьми по-різному [55-57].

Таким чином, ризик є категорією суб'єктивно-об'єктивною і його існування неминуче при функціонуванні всіх суб'єктів економіки, зокрема й планової. На підставі вищесказаного ми можемо дати таке якісне визначення ризику. Ризик - це можливість впливу на підприємницький проєкт і його елементи непередбачуваних подій, які можуть завдати як певної шкоди, так і дати значний ефект при досягненні цілей проєкту. У рамках тематики цієї роботи необхідно визначити і виокремити ризик якості продукції, як об'єкт управління. Вважається, що це можливо лише визначивши сутність категорії якості та виокремивши чинники якості освіти, які є причинами прояву ризику. Практично неможливо відобразити все різноманіття філософських поглядів на категорію "якість", проте можна показати найсуттєвіші, зміст яких відіграє важливу роль у розумінні цього поняття й у наш час. У зв'язку з цим нами і приділено увагу філософським аспектам цього поняття.

Спроба об'єднати визначення категорії "якість", надані провідними зарубіжними вченими, які досліджують проблеми управління якістю [54]:

- В. Шухарт: відмінність між предметами; диференціація за ознакою "хороший - поганий".

- К. Ісікава: якість має два аспекти – об'єктивні фізичні характеристики і суб'єктивний бік, який визначає, наскільки рідч "хороша".

- Дж. Джуран: придатність для використання (відповідність призначенню); суб'єктивний аспект – якість як ступінь задоволення споживача. Для реалізації якості виробник має дізнатися про вимоги споживача та виготовити продукцію, яка задовольняє ці вимоги.

- А. Фейгенбаум: якість виробу або послуги визначається як загальна сукупність технічних та експлуатаційних характеристик, що відповідають вимогам споживача під час експлуатації.

- Дж. Гаррінгтон: якість – це задоволення очікувань споживача за прийнятну ціну. Висока якість – перевищення очікувань споживача за нижчу ціну, ніж він очікує.

- Тагуті: якість – це втрати, завдані суспільству з моменту постачання продукту [58].

Формулювання зарубіжних фахівців у галузі управління якістю свідчать про те, що більшість їхніх авторів пов'язують поняття "якість" із задоволенням певних очікувань і запитів споживачів щодо того чи іншого продукту чи послуги. Таким чином, ризик якості продукції можна визначити як імовірне відхилення від запланованого результату, пов'язаного з якістю продукції, що пред'являється вимогами або стандартом.

Для визначення єдиного підходу до оцінювання ризиків, слід спиратися на позиції системного підходу, тобто дослідження ризиків як безлічі взаємопов'язаних елементів в ієрархічній системі [59]. Класифікація ризиків має відповідати поставленим цілям, з виокремленням характерних ознак класифікації (природи та сфери виникнення, масштабів та етапів господарювання, тривалості впливу, можливості страхування тощо). Для того щоб виконати ці принципи, необхідно дати визначення таких ознак ризику, як його причини та чинники. Факторами ризику слід вважати умови, які можуть спричинити або сприяти прояву причин ризику для деякого рішення підприємства. До факторів ризиків слід відносити лише ті можливі зміни вхідних і вихідних потоків, які неможливо заздалегідь однозначно передбачити і передбачити, користуючись інформацією [60].

Як було зазначено вище, будь-яка класифікація завжди визначається метою, сформульованою автором і обраними ним класифікаційними ознаками. Тому у сфері управління якістю ми виокремлюємо такі категорії ризиків:

- ризики "людського фактору";
- інформаційно-технологічні ризики;
- виробничо-технічні ризики;
- ризики виникнення проблем взаємодії із зовнішнім середовищем;
- ризики посередницької діяльності.

За сферою виникнення ризики поділяються на зовнішні та внутрішні. Своєю чергою всі зовнішні чинники можна поділити на два рівні:

- чинники макrorівня (світові тенденції та умови конкретної країни);

- чинники мегорівня (умови галузі та ринку, на якому працює підприємство). Звісно, окремому підприємству важко впливати на тенденції, що відбуваються в економіці країни або галузі.

До внутрішніх чинників ризику якості належать ті, якими керує підприємство, тобто сфера ухвалення управлінських рішень, що перебувають у компетенції підприємства. До таких чинників, як правило, належать ті, що пов'язані з внутрішньою діяльністю самого підприємства, тобто особливостями його організації, методами управління виробництвом, фінансами, а так само з наявною на підприємстві системою прийняття рішень. При цьому можливість ухвалення неправильних рішень тим вища, чим менше уваги приділяється перспективному аналізу і плануванню діяльності. Будемо вважати, що для систематизації внутрішніх факторів ризику якості продукції доцільно за основу брати стадії відтворювального процесу, до яких традиційно належать: постачання, виробництво, реалізація виробленої продукції, фінансові результати.

Висновки до першого розділу та постановка задач досліджень

У результаті аналізу 60 вітчизняних та зарубіжних наукових публікацій можна резюмувати, що розвиток суспільного виробництва будь якої країни, її місце на світовому ринку торгівлі, зростання добробуту нації та рівня життя людей тісно пов'язані з забезпеченням високого рівня якості продукції, послуг та функціонування соціально-економічних систем, таких як освіта, медицина охорона довкілля, безпека праці та інші. Людство починало займатися управлінням якістю виробництва ще з моменту виникнення суспільного виробництва. Рівень якості продукції та послуг національного виробника суттєво впливає на формування зовнішньої політики, національної безпеки, а також на визначення якості життя та стабільності національної валюти.

Виробництво якісної продукції залежить від якості технологічних процесів на всіх етапах її життєвого циклу. Будь-який технологічний процес супроводжується ризиками відхилення показників якості продукції від ідеальних, тих, що встановлені нормативними документами та технічними регламентами.

Науковий напрямок оцінювання ризиків залежить від галузевої специфіки, оскільки впливають фактори, такі як особливості виробничих циклів, специфіка активів підприємств та інше. Для аналізу ризику необхідно його правильно розуміти. Аналізування ризику дозволяє оцінювати рівень ризику та обговорення необхідності впровадження заходів по опрацюванню ризиків, а також визначення стратегій і методів управління ними.

У світовій та вітчизняній практиці існує більше 30 загальних методів оцінювання ризику, характеристика яких міститься в EN IEC 31010:2019, IDT. Процедура оцінювання ризиків дозволяє особам, що приймають рішення та відповідають за дії, краще розуміти потенційні ризики, які впливають на досягнення цілей, а також адекватність та ефективність вжитих засобів контролю.

Зі світової та вітчизняної практики зрозуміло, що ризик і невизначеність є невід'ємною частиною нашого життя. Пояснення цих важливих понять ми будемо будувати на основі такої моделі. В існуючому світі ми як незалежні дослідники

виділяємо конкретний об'єкт. Залежно від досліджуваної галузі як об'єкт можна розглядати окрему людину, підприємство, зразок техніки, суспільство або будь-який інший предмет матеріального і навіть віртуального світу.

Не існує єдиного визначення поняття ризику. Вивчаючи літературу, можна знайти багато різних підходів до розуміння цього терміну. Деякі визначення базуються на ймовірності, випадковості або очікуваних значеннях, інші - на небажаних подіях чи небезпеці, а треті - на невизначеності. Дехто вважає ризик суб'єктивним і епістемічним феноменом, залежним від наявних знань, тоді як інші надають йому онтологічного статусу, незалежного від оцінювачів.

Ці визначення, їх обґрунтування, сильні та слабкі сторони широко обговорювалися в літературі. Проте цікавим аспектом цих визначень, який не розглядається в цих джерелах, є часовий вимір. Початкова гіпотеза полягала в тому, що відбувся поступовий перехід від досить вузьких поглядів на ризик, заснованих на ймовірностях та очікуваних значеннях, до ширших визначень, які не базуються на ймовірностях, з чітким розмежуванням між ризиком як концепцією і тим, як ця концепція вимірюється.

Отже сформулюємо мету наукового дослідження і поставимо задачі для досягнення мети.

Метою дослідження є удосконалення методів оцінювання ризиків якості технологічних процесів, застосовуючи інформаційні технології та враховуючи не лінійність залежності вимірюваних значень одиничних показників якості продукції, як результат функціонування технологічного процесу, та їх оцінками на безрозмірній шкалі.

Для досягнення мети необхідно вирішити наступні задачі:

1. Проаналізувати існуючі функціональні залежності, які використовувались у кваліметрії для оцінювання якості будь яких об'єктів, визначити їх переваги та недоліки.

2. Запропонувати нову, універсальну функціональну залежність, яка би відповідала принципам кваліметрії та модернізувати її таким чином, щоби вона стала ефективною при застосуванні до оцінювання якості будь яких об'єктів.

3. Розробити методику застосування запропонованої універсальної функціональної залежності для оцінювання якості технологічних процесів виготовлення продукції.

4. Розглянути можливість застосування математичного апарату ланцюгів Маркова для оцінювання ризиків технологічного процесу виготовлення продукції низької якості.

5. Розробити методику застосування ланцюгів Маркова для оцінювання ризиків технологічного процесу виготовлення продукції низької якості.

6. Розглянути можливість застосування математичного апарату штучного інтелекту для оцінювання ризиків технологічного процесу виготовлення продукції низької якості.

7. Розробити методику застосування штучного інтелекту для оцінювання ризиків технологічного процесу виготовлення продукції низької якості.

8. Провести апробацію запропонованих методик на прикладі технологічного процесу виготовлення продукції машинобудування.

Список використаних джерел

1. ISO 31010:2019, IDT Risk management - Risk assessment techniques.
2. ISO Guide 73:2009 «Risk management – Vocabulary – Guidelines for use in standards».
3. ISO 31000:2018, IDT «Risk management — Guidelines»
4. Aven T., Renn O. On risk defined as an event where the outcome is uncertain. *Journal of Risk Research*. 2009. №12. P.1–11.
5. Aven T., Renn O., Rosa E. The ontological status of the concept of risk. *Safety Science*. 2011. №49. P.1074–1079.
6. Thompson K. M., Deisler Jr. P. H, Schwing R. C. Interdisciplinary vision: The first 25 years of the Society for Risk Analysis (SRA), 1980–2005. *Risk Analysis* 2005. №25. P.1333–13386.
7. Aven T. *Misconceptions of Risk*. Chichester: Wiley. 2010. 264 p.
8. Aven T. Selective critique of risk assessments with recommendations for improving methodology and practice. *Reliability Engineering and System Safety*. 2011. №96. P.509–514.
9. Beck U. *Risk Society. Towards a New Modernity*. London: Sage. 1992. 260 p.
10. Campbell S., Currie G. Against Beck: In Defence of Risk Analysis. *Philosophy of the Social Sciences*. 2006. №36(2). P.149–72.
12. Rosa E. A. Metatheoretical foundations for post-normal risk. *Journal of Risk Research*. 1998. №1. P. 15–44.
13. Renn O. Concepts of Risk: A Classification. *Social Theories of Risk*. Westport, CT: Praeger. 1992. P. 53–79.
14. Aven T., Renn O. *Risk Management and Risk Governance*. Berlin: Springer Verlag. 2010.
15. Althaus C. E. A disciplinary perspective on the epistemological status of risk. *Risk Analysis*. 2005. №25(3). P. 567–588.
16. Vatn J. A discussion of the acceptable risk problem. *Reliability Engineering and System Safety*. 1998. №61. P.11–9.

17. Oxford English Dictionary. URL: [/http://www.oed.com](http://www.oed.com)S (дата звернення: 12.04.2024).
18. Bernstein P.L. *Against the Gods: The Remarkable Story of Risk*. New York: John Wiley & Sons. 1996.
19. Giddens A. *Runaway World: How Globalisation is Reshaping Our Lives*. London: Profile Books. 1999. p. 138.
20. Chambers Twentieth Century Dictionary. Edinburgh: W&R Chambers Ltd. 1972.
21. Wharton F. *Risk management: Basic concepts and general principles*. Risk: Analysis, Assessment and Management. Chichester: John Wiley and Sons. 1992.
22. Coggon D. Living with Risk. The British Medical Association Guide. *J R Coll Physicians Lond*. 1988 Jan. №22(1). P. 53.
23. Gigerenzer G., Swijtink Z., Porter T., Daston L., Beattie J., Kruger L. *The Empire of Chance: How Probability Changed Science and Everyday Life*. Cambridge: Cambridge University Press. 1989.
24. Ouyang L., Zheng W., Zhu Y., Zhou X. An interval probability-based FMEA model for risk assessment: A real-world case. *Qual Reliab Engng Int*. 2020. №36. P.125–143.
25. Jeevith Hegde, Børge Rokseth. Applications of machine learning methods for engineering risk assessment – A review. *Safety Science*. 2020. Vol. 122. 104492.
26. Esra Ilbahar, Ali Karaşan, Selcuk Cebi, Cengiz Kahraman. A novel approach to risk assessment for occupational health and safety using Pythagorean fuzzy AHP & fuzzy inference system, *Safety Science*. 2018. Vol. 103. P. 124-136.
27. Robert F. Wolff, Karel G.M. Moons, Richard D. Riley et al. PROBAST: A Tool to Assess the Risk of Bias and Applicability of Prediction Model Studies. *Ann Intern Med*. 2019. № 170. P. 51-58.
28. Muhammet Gul, M. Fatih Ak. A comparative outline for quantifying risk ratings in occupational health and safety risk assessment. *Journal of Cleaner Production*. №196. 2018. P. 653-664.

29. Riabchykov M., Tsykhanovska, I., Alexandrov, A Justification of technologies for the synthesis of mineral nanoparticles for the creation of magnetic smart textile. *Journal of Materials Science*. №58(16). P. 7244-7256.

30. Riabchykov M., Alexandrov A., Sychov Y., Popova T., Nechipor S. Magnetic nanotechnology in the production of foamed textile materials for medical purposes. *Vlakna a Textil*. 2021. №28(3). P. 66-71.

31. Riabchykov M., Tkachuk O., Nazarchuk L., Alexandrov A. Conditions for the open pores formation in medical textile materials for the treatment of wounds using iron oxide nanopowders *Materials Research Express*. 2023. №10. 015401.

32. Riabchykov M., Nazarchuk L., Tkachuk O. Basic Parameters of Medical Textile Materials for Removal and Retention of Exudate from Wounds. *Tekstilec*. 2022. №65(4). C. 268-277.

33. Riabchykov, M., Alexandrov, A., Trishch, R., Nikulina, A., Korolyova, N. Prospects for the Development of Smart Clothing with the Use of Textile Materials with Magnetic Properties. *Možnosti za razvoj pametnih oblačil z uporabo tekstilnih materialov z magnetnimi lastnostmi Tekstilec*. 2022. № 65(1). P. 36-43.

34. Stolyarchuk, P., Mikhalieva, M., Bubela, T., Basalkevych, O. Measurement of spirit solution imittance. *Proceedings of the 6th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications*. 2011. №1, P. 180–183.

35. Obshta A., Bubela T., Ruda M., Kochan R. The model of environmental assessment of complex landscape systems. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management*. 2018. №18(3.2). P. 973–980.

36. Yatsuk V., Mykyjchuk M., Bubela T. Ensuring the measurement efficiency in dispersed measuring systems for energy objects. *Studies in Systems, Decision and Control*. 2020. №198. P. 131–149.

37. Bubela, T., Mykyychuk, M., Hunkalo, A., Boyko, O., Basalkevych, O. A study of uncertainty of expert measurement results in the quality management system. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2016. №3(3-81). P. 4–11.

38. Bubela T., Stolyarchuk P., Mykyychuk M., Basalkevych O. Admittance method application in the maintenance of ecomonitoring information system for soil parameters. *Proceedings of the 6th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, IDAACS 2011*. 2011. №1. P. 97–100.
39. Yatsuk V., Mykyjchuk M., Bubela T. Qualitative and quantitative research on pesticide chemical admixture in liquids. *Proceedings of the 2013 IEEE 7th International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems*. 2013. №1. P. 82–85.
40. Trishch R., Sichinava A., Bartoš V., Stasiukynas A., Schieg M. Comparative assessment of economic development in the countries of the European Union. *Journal of Business Economics and Management*. 2023. № 24(1). P. 20–36.
41. Trishch R., Nechuiviter O., Hrinchenko H., Bubela T., Riabchykov M., Pandova I. Assessment of safety risks using qualimetric methods. *MM Science Journal*. October 2023. P. 6668 -6674.
42. Kupriyanov, O., Trishch, R., Dichev, D., Kupriianova, K. General Approach for Tolerance Control in Quality Assessment for Technology Quality Analysis. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, 2023, P. 330–339
43. Kupriyanov O., Trishch R., Dichev D., Bondarenko T. Mathematic Model of the General Approach to Tolerance Control in Quality Assessment. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*. 2022. P. 415–423.
44. 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. *Energiesthis*. 2022, №15(9). 3322.
45. Ginevicius R., Trishch R., Remeikiene R., Gaspareniene L. Complex evaluation of the negative variations in the development of Lithuanian municipalities. *Transformations in Business and Economics*. 2021. Vol. 20. № 2A (53A). P. 635-653.
46. Trishch R., Maletska O., Hrinchenko H., Burdeina V., Antonenko N. Development and validation of measurement techniques according to ISO/IEC

17025:2017. *Proceedings of the International Conference on Advanced Optoelectronics and Lasers, CAOL*. 2019. P. 715–720.

47. Грінченко Г.С., Тріщ Ю.В., Грінченко В.В., Багаєв І.О., Фатєєва Л. Ю. Підходи щодо оцінювання ризиків функціонування систем об'єктів різного призначення. *Машинобудування*. 2022. № 29. С. 70–79.

48. Черняк О.М., Багаєв І.О., Теслов О.А., Крутько В.О. Застосування автоматизованої системи оцінювання якості об'єктів кваліметрії. *Інформаційні технології: теорія і практика*. I (VII) міжнародна науково-практична конференція здобувачів вищої освіти і молодих учених «Інформаційні технології: теорія і практика». Тези доповідей (Дніпро 20 – 22 березня 2024). М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Дніпро : Свідлер А.Л., 2024. С. 401-402.

49. Катрич О.О., Багаєв І. О., Кислий А. Г. Методика визначення мінімальної кількості періодів для оцінювання індексів сталого розвитку країн ЄС методами порядкових статистик. *Управління розвитком соціально-економічних систем: Матеріали VIII Міжнародної науково-практичної конференції (м. Харків, 21-22 березня 2024 року)*. Харків: ДБТУ. Ч. 2. 2024. С. 180-183

50. 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.

51. Білявська О. Б. Концептуальні принципи управління ризиками в державному управлінні. *Державне управління: удосконалення та розвиток*. 2010. № 6.

52. Михно П. Державне управління ризиком як механізм мінімізації невизначеності. *Збірник наукових праць Національної академії державного управління при Президенті України*. 2012. Вип. 2. С. 90–100.

53. Головач Т. В., Грушевицька А. Б., Швид В. В. Ризик менеджмент: зміст і організація на підприємстві. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2009. № 3. Т. 1. С. 157–163.

54. Лутанюк Н. В., Годына Н. Ф. Новый стандарт ISO 31000 по управлению риском. История создания и особенности применения. *Використання міжнародних стандартів ISO в цілях підвищення ефективності діяльності підприємств – 2010*: матеріали міжвузів. студ. конф. Донецьк: ДонНТУ, 2010. С. 8–11.

55. Стрельбіцька Н. Уніфікований міжнародний стандарт ризик-менеджменту як відповідь на виклики глобалізації. *Соціально-економічні проблеми і держава*. 2011. Вип. 2 (5). URL: <https://sepd.tntu.edu.ua/images/stories/pdf/2011/11snynvh.pdf> (дата звернення: 12.04.2024).

56. Непомнящий О. М. Інжиніринг: деякі аспекти підвищення кваліфікації ключового персоналу. *Актуальні проблеми державного управління*. 2017. Вип 2 (52). С.144-150.

57. Дуднева Ю. Е. Стандартизація ризик-менеджменту як шлях підвищення його ефективності. *Ринкова трансформація економіки : стан, проблеми, перспективи*: матеріали V між нар. наук.-практ. інтернет-конф. (Харків, 8-10 квітня 2014 р.). ХНТУСГ, 2014. С. 84-86.

58. Morgan J., Reuters P. RiskMetrics – Technical Document. URL: <https://www.msci.com/documents/10199/5915b101-4206-4ba0-ae2-3449d5c7e95a> (дата звернення: 12.04.2024).

59. ДСТУ ISO 31000:2018 Менеджмент ризиків. Принципи та настанови (ISO 31000:2018, IDT). [Чинний від 2019-01-01]. Вид. офіц. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2019.

60. Лагунова І. А. Сутність та принципи концепції ризик-менеджменту. *Актуальні проблеми державного управління*. 2018. № 1. С. 44-51.

РОЗДІЛ 2. ФУНКЦІОНАЛЬНІ ЗАЛЕЖНОСТІ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ОБ'ЄКТІВ КВАЛІМЕТРІЇ РІЗНОЇ ПРИРОДИ

2.1. Особливості застосування математичних методів для оцінювання систем управління якістю на підприємствах

Кількісна оцінка якості об'єктів використовується для обґрунтування та прийняття управлінських рішень з метою подальшого поліпшення характеристик предметів та явищ, а також управління видами діяльності, пов'язаними з забезпеченням якості продукції [1-5]. Метою аналізу методів кількісної оцінки якості об'єктів є визначення можливості їх використання до оцінювання якості процесів та систем управління якістю (СУЯ) в цілому відповідно до вимог стандартів ISO серії 9000.

У середині 60-х років минулого століття вітчизняні фахівці запропонували об'єднати проблеми, пов'язані з кількісною оцінкою якості продукції, в окрему наукову галузь, яку назвали кваліметрією (від латинського «qualis» – якість і грецького «metreo» – вимірювати). Цей термін отримав широку підтримку та розповсюдився серед інженерно-технічної спільноти.

Згодом накопичений досвід і проведені дослідження дозволили зробити важливі висновки, визначити предмет кваліметрії та окреслити ключові завдання для вирішення наукових проблем у сфері оцінки якості продукції та застосування методів кваліметрії на практиці. Сьогодні кваліметрія розглядається як наука, що досліджує кількісні методи оцінки рівня якості, які використовуються для обґрунтування рішень щодо управління якістю.

Відповідно до [6], об'єктом кваліметрії може бути те, що:

- уявляє собою дещо ціле;
- може бути виокремлено для аналізу;
- може бути досліджено;
- підлягає пізнанню.

Для кількісної оцінки якості, залежно від поставлених задач, можуть бути використані методи: диференціальний, інтегральний, експертний, комплексний.

Дані методи передбачають для оцінки якості об'єктів врахувати максимально можливу кількість властивостей, а також враховують наявність базового зразка даного об'єкта, який виступає еталоном і призначений для порівняння з ним характеристик реального об'єкта [6, 7].

При диференціальному методі оцінюються одиничні показники якості об'єкта шляхом зіставлення з відповідними показниками базового зразка. При цьому враховуються найбільш вагомі показники, у такому випадку їх вважають умовно рівнозначними.

Інтегральний метод використовується для оцінювання якості об'єкта через обчислення інтегрального показника. Основна ідея цього показника полягає в тому, що він базується на кількісному порівнянні позитивних та негативних результатів суспільства [8, 9]. Недоліком цього методу є те, що він надає остаточний результат, діючи як "чорний ящик", тобто не дозволяє визначити, який саме фактор вплинув на результат.

Експертний метод використовується там, де основою рішення проблеми є колективна думка фахівців-експертів. Для його реалізації необхідно визначити склад експертів, виходячи з їх репутації серед певної категорії фахівців. Види даного методу, їх детальна характеристика, розглядається в літературі [10, 11]. Узагальнений недолік, характерний експертним методам, є суб'єктивність суджень фахівців.

Комплексний метод оцінки якості передбачає використання комплексних показників сукупності властивостей. Цей метод застосовується для оцінки складних об'єктів і допускає забезпечення достатньо точної оцінки. Це питання детально розглядається у багатьох наукових працях з кваліметрії, зокрема у статтях [12-14].

Г.Д. Бурдун та С.С. Волосов [15], у своїх наукових дослідженнях приводять приклад з оцінюванням якості залізобетонних конструкцій, який показує, що невірне врахування властивостей може суттєво вплинути при порівнянні на висновок щодо переваги одного над іншим варіантом. На суттєві негативні наслідки, до яких може призвести неправильне визначення показників якості, вказує також автор у своєму дослідженні [16].

Важливе місце у кваліметрії займає визначення комплексного показника якості, оскільки об'єкт дослідження часто має багато різних показників якості, які можуть бути різної природи та мати різні шкали вимірювання. У роботах [17, 18] описуються різні методик та методи отримання комплексних оцінок, які являються зв'язком між одиничними оцінками показників якості. Для об'єднання оцінок використовують декілька видів середніх – арифметичну, геометричну та гармонійну.

Деякі дослідники визначають комплексні оцінки якості без урахування вагомості окремих показників. Наприклад, Дослідник А. К. Белявський [7] пропонує проводити оцінювання проекти будівель більш як за 120 показниками (планувальними, комфортними, конструктивними, економічними, виробничими, архітектурними тощо). При цьому автор зазначає, що визначити питому вагу кожного окремого показника серед інших неможливо.

У роботі [19] пропонується визначати комплексний показник K_0 , методом перемноження одиничних показників якості K_{ij} не враховуючи їх вагомості M_{ij} . При цьому пропонується формула:

$$K_0 = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n K_{ij}}, \quad (2.1)$$

де n – кількість властивостей, що враховуються для комплексної оцінки якості.

М. В. Федоров [20] запропонував класифікацію властивостей, при якій немає необхідності враховувати вагомості для розрахунку комплексного показника якості.

Багато науковців віддають перевагу врахуванню вагомості окремих характеристик продукції, застосовують оцінку середньоарифметичного значення. Обґрунтуванням такого вибору є простота розрахунку, а також та обставина, що її результат в рівній мірі залежить від тих величин, що враховуються. Інші фахівців вважають другу обставину недоліком [7].

Серед методик оцінки якості продукції, де використовується середньоарифметична, найбільш широко відомі роботи, запропоновані у науковій роботі [21].

Основна формула для розрахунку комплексного показника якості з урахуванням вагомості властивостей має вигляд [7]:

$$P_k = K_1 \frac{1}{A} + K_2 P_m + K_3 P_c + K_4 P_{n.n.z.} + K_5 P_e \quad (2.2)$$

де A – комплексний показник якості; P_m – показник технічного забезпечення; P_c – показник стандартизації та уніфікації; $P_{n.n.z.}$ – патентно-правовий показник; P_e – естетичний показник; K_1, K_2, K_3, K_4, K_5 – вагові коефіцієнти.

Середньоарифметична оцінка для отримання комплексного показника використовується під час планування діяльності підприємств, органів державної влади (система «Патерн», США); в роботі Д.Х. Хемшера [22] та ін.

Дж. Ситтиг [23] запропонував так зване рівняння якості, для знаходження комплексної оцінки продукції:

$$V_p = \sum_k \sum_j W_{jk} C_{jp} - P_p \sum_k M_k \quad (2.3)$$

де V_p – оцінка, яку визначає споживач p ; W_{jk} – одиничне значення, яке визначає споживач k надає властивості j (вагомість j -ї властивості); C_{jp} – рівень j -ї властивості p -го виробу; P_p – p -го виробу; M_k – коефіцієнт, який характеризує вагомість для k -го споживача.

Наступним методом зведення окремих оцінок якості об'єкта воедино є середня геометрична величина. Формула її розрахунку з урахування вагомості окремих властивостей має вигляд [7]:

$$K_0 = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n K_j^{M_j}} \quad (2.4)$$

де M_j – вагомість окремих властивостей.

З метою визначення комплексного показника якості М.В. Федоров пропонує формулу:

$$K_0 = \sqrt[4]{T \cdot E \cdot \Phi \cdot C} \quad (2.5)$$

де T – зведений показник конструктивно-технічних характеристик; E – зведений економічний показник витрат на виготовлення та експлуатацію; Φ – зведений показник робочих функцій, що виконуються виробом; C – зведений показник споживчих якостей (зручність використання, зовнішній вигляд тощо). Що стосується вагомості властивостей, то це є приклад випадку коли вони рівні між собою.

Основним аргументом, для обґрунтування правильності застосування середньої геометричної величини, М. В. Федоров знаходить те, що середня геометрична має властивість приводити комплексну оцінку якості до нуля, якщо оцінка хоча б одного з показника дорівнює нулю.

Дослідники методів кваліметрії вважають, що простота розрахунку середньої арифметичної і здатність середньої геометричної дорівнювати нулю, якщо оцінка одного з властивостей дорівнює нулю, є єдиними аргументами, однак не дуже переконливими, для вибору застосування тієї чи іншої в певних умовах [20, 24, 25].

В статті [14] розглядається можливість застосування середньої гармонічної оцінки:

$$K_j = \frac{\sum_{j=1}^n M_j}{\sum_{j=1}^n \frac{M_j}{K_j}} \quad (2.6)$$

Вважають, що дана функція займає дещо проміжне положення між середньою арифметичною та середньою геометричною. Зазначена величина, як і середня геометрична, враховує діапазон показників навколо середнього значення. Середня гармонічна величина також характеризується легкістю свого розрахунку.

Однак, на даний час питання визначення комплексного показника якості не являється однозначно обґрунтованим. Фахівці у галузі кваліметрії вважають дане питання одним із найскладніших в оцінці якості, і застосовують одну із приведених вище функцій, виходячи з певних умов оцінювання, спираючись на думку експертів.

Наступним складним питанням у кваліметрії є визначення вагомості окремих показників якості, адже від правильності їх призначення залежить точність комплексної оцінки. У науковій літературі розглядаються такі способи для надання вагомості властивостям: вартісний, експертний, ймовірнісний [7].

Сутність вартісного способу в тому, що вагомість M_j залежить від витрат S_j на забезпечення j -ї властивості. У окремих роботах вагомість певного показника якості розглядають, як величину, що враховує зміну витрат на виготовлення та експлуатацію при покращенні j -ї властивості. Недоліком вартісного способу вважається те, що функція витрат, якою є сама вагомість, виражається через грошові одиниці, які часто змінюються; це, у свою чергу, повинно вплинути на зміну властивості, що не завжди відповідає дійсності [7].

Експертний спосіб надання вагомості показникам якості об'єкта полягає в усередненні оцінок вагомостей, які надає група експертів. Для забезпечення максимально можливої достовірності результатів даного способу, як і при експертному методі кількісної оцінки, повинні витримуватися правила проведення експертизи.

Оснoву ймовірнісного способу складає те, що вагомість властивості буде тим вище, чим більша в середньому ступінь наближення до еталону. Відповідно до такого положення, вагомість визначають за формулою [7]:

$$M_j \cong \bar{M}_j = \frac{\sum_{l=1}^r \frac{K_{jl}}{\sum_{j=1}^n K_{jl}}}{r} \quad (2.7)$$

де r – достатньо велика кількість проектів одного і того ж об'єкта, що аналізуються ($l=1,2,\dots,r$), розроблені різними проектувальниками; K_{jl} – відносна оцінка j -ї властивості в l -му проекті, іншими словами – оцінка ступеню приближення в l -му проекті абсолютного показника j -ї властивості P_j до свого еталонного значення P_j^{em} .

Перевагою даного способу є можливість врахувати велику кількість проектів для аналізу, і одночасно, це виступає його недоліком, оскільки ускладнює процедуру розрахунку вагомості.

Як бачимо, кожен з таких способів встановлення вагомості властивостям об'єкту, має свої переваги та недоліки і, на даний час, обґрунтованого аргументу для застосування того чи іншого способу за певних умов немає.

Ще одною суттєвою проблемою у кваліметрії, з якою зустрічаються дослідники, є встановлення виду залежності між показником властивостей P_{ij} і його оцінкою K_{ij} . Поширеними є такі види: лінійна, нелінійна, та представлена не в явному виді [7].

Лінійна залежність має місце тоді, коли будь-якому значенню показника якості продукції відповідає пропорційне значення оцінки, однак така залежність зустрічається рідко:

$$K_{ij} = \frac{P_{ij}}{P_{ij}^{баз}}, \quad (2.8)$$

де $P_{ij}^{баз}$ – показник якості, який вважається базовим.

Для отримання нелінійної залежності Е. Роосе [26] запропонував ввести додатковий параметра – показник браку $P_{ij\delta p}$, в якості якого приймається мінімальне значення показника якості. Для оцінки якості було запропоновано використовувати формулу (2.16), яка описує нелінійну залежність:

$$K_{ij} = \frac{P_{ij} - P_{ij\delta p}}{P_{ij}^{баз} P_{ij\delta p}}. \quad (2.9)$$

Більш явно нелінійну залежність виражено у формулі, яку запропонував польський дослідник А. Томашевський [27]:

$$Z = 100 \exp\left(1 - \frac{x + \Delta x}{G}\right)\%, \quad (2.10)$$

де x – фактичне відхилення показника якості; Δx – невизначеність його визначення x ; G – відхилення допуску.

Американський економіст Е. Харрінгтон [28] пропонує в якості оцінки властивостей використовувати безрозмірний коефіцієнт від 0 до 1, а в якості залежності між властивостями об'єкта та їх оцінкою застосовувати експоненціальну функцію:

$$K_{ij} = e^{-(P^0)^{mj}}, \quad (2.11)$$

де P^0 – лінійна залежність від P_{ij} .

$$P^0 = \frac{2P_{ij} - (P_{ij}^{\max} + P_{ij}^{\min})}{P_{ij}^{\max} - P_{ij}^{\min}}, \quad (2.12)$$

де P_{ij}^{\max} і P_{ij}^{\min} – відповідно верхня і нижня границі значення j -го показника, що передбачено технічними умовами.

Якщо обмеження, що визначені технічними умовами, стосуються тільки нижньої границі значення показника, то замість формули (2.13) використовується формула:

$$K_{ij} = e^{-(e^{-P^0})}, \quad (2.13)$$

Дані залежності набули широкого застосування для оцінки якості продукції. Однак, серед недоліків, що стосуються даної функції та застосування розроблених на їх підставі методик, суттєвим є – використання одного і того ж виду залежності для усіх показників якості.

Залежність, яка ґрунтується на вивченні економічної ефективності використання продукції, вважається залежністю не вираженою в явному вигляді. Даний вид залежності суттєво відрізняється від перших двох, тому що в більшості випадків він використовується для оцінки не якості, а інтегрального показника якості. Оцінка такого типу отримується при дослідженні економічної ефективності шляхом покращення окремого показника якості. Але встановити залежність для усіх показників якості неможливо. Однак, в умовах недостатньої економічної інформації, доцільно визначити наближений характер такої залежності. У міру накопичення інформації під час експлуатації, залежності отримують більш точну характеристику, а кількість властивостей, що підлягають оцінюванню виходячи з економічної ефективності буде більше [7].

У результаті здійсненого аналізу виявлено, що методи кількісної оцінки мають широке застосування, і залежно від поставленої задачі, їх використання дасть більш

обґрунтовані рішення. Процеси СУЯ та система в цілому повністю відповідають вимогам до об'єктів кваліметрії, це дозволяє зробити висновок, про доцільність застосування методів кількісної оцінки в управлінні якістю процесами СУЯ на підприємствах.

2.2. Аналіз лінійних та не лінійних залежностей між вирівняними значення та їх оцінками

Багато фахівців вважають, що найбільш важливе і складне питання оцінки якості - визначення ступеня їх вагомості. Однак не тільки коефіцієнти вагомості відіграють таку важливу роль, а також вид залежності між показником (властивістю) якості P_{ij} і його оцінкою K_{ij} , які пов'язані функціональною залежністю. Відомо, що математична модель встановлює певну залежність між вимірним значенням показника якості P_{ij} і його оцінкою K_{ij} [29, 30].

У методиці, розробленої американським дослідником Харрінгтон [28], кожна властивість оцінюється з допомогою безрозмірного коефіцієнта по спеціальній таблиці 2.1.

Таблиця 2.1.

Безрозмірний коефіцієнт функціональної залежності [28]

Градація значень коефіцієнта	Якісна характеристика рівня абсолютного показника будь-якої окремої властивості
1	Максимальний рівень, вище якого оцінка властивості починає зменшуватися
1,0 – 0,8	Чудовий і прийнятний рівень, значно перевищує відповідний показник будь-якого наявного на ринку аналогічного продукту
0,8 – 0,63	Хороший і прийнятний рівень, що перевищує оптимальний комерційний рівень
0,63 – 0,4	Недостатньо хороший, але все ж прийнятний за технічними умовами (ТУ) рівень. Щоб витримати конкуренцію на ринку, повинен бути піднятий.

Продовження таблиці 2.1.

0,4 – 0,3	Гранична зона. При наявності ТУ частину продукту вже не буде їм відповідати.
0,3 - 0	Неприйнятно. Властивість, що перебуває на такому низькому рівні, може перешкодити використанню відповідного продукту праці
0	Повністю неприйнятний рівень

Харрінгтон [28] розробив методику, у якій використовується функціональна залежність дійсних значень показників якості та їх оцінками наступного виду:

$$K_{ij} = e^{-\left(p^0\right)^{m_j}}, \quad (2.14)$$

де m_j - позитивне число в межах $0 < m_j < \infty$; P^0 - лінійна функція від P_{ij} .

$$P^0 = \frac{2P_{ij} - (P_{ij}^{\max} + P_{ij}^{\min})}{P_{ij}^{\max} - P_{ij}^{\min}}, \quad (2.15)$$

де, відповідно, нижня й верхня межі значення показника j - і властивості, передбачені технічними умовами.

Звідси:

$$P^0 = -1 \text{ при } P_{ij} = P_{ij}^{\min}; \quad (2.16)$$

$$P^0 = +1 \text{ при } P_{ij} = P_{ij}^{\max}. \quad (2.17)$$

Якщо обмеження, що накладаються технічними умовами, стосуються тільки нижньої межі значень показника, то застосовується формула [29, 30]:

$$K_{ij} = e^{-\left(e^{-P^0}\right)} \quad (2.18)$$

Крім приватних недоліків, притаманних цим формулам, всій цій групі методик властивий той недолік, що попередній - використання одного і того ж виду залежності для всіх показників.

Однак це не означає, що формулами, що описують лінійну і нелінійну залежність, не можна користуватися. В даний час у більшості вітчизняних методик для оцінки властивостей використовуються лінійні залежності, а в багатьох зарубіжних - нелінійні. Але потрібно мати на увазі, що незважаючи на велику кількість методик, необхідність у розробці більш точних і достовірних моделей залишається актуальним завданням [29, 30].

В цьому відношенні варто звернути увагу на таку обставину: у жодній із відомих у літературі методик оцінювання якості при визначенні відносних показників K_{ij} тих показників якості, оцінка яких повинна проводитися залежно від їх впливу на органи чуття людей, не враховується основне положення експериментальної психології - психофізіологічний закон Вебера - Фехнера, згідно з яким зв'язок між дійсним показником P_{ij} і його оцінкою K_{ij} виражається формулою:

$$P_{ij} = R \log K_{ij}, \quad (2.19)$$

де R – стала величина.

Існує також експертний підхід до визначення функціональної залежності між вимірним показником якості та його оцінкою, який відрізняється від існуючих формул, що використовуються, більшою гнучкістю і точністю. При оцінюванні показників якості експерт враховує економічну ефективність, призначення продукції, умови експлуатації та інші чинники, доступні йому для аналізу. Однак перед експертом стоїть складне завдання перетворити значення абсолютного показника на відносну оцінку.

Метод головних точок, запропонований у роботі [13], спрощує цю задачу, дозволяючи експерту проводити оцінку в кілька послідовних етапів для визначення типу залежності:

- розділити значення показника якості на зони, визначені реперними точками (такими як верхні та нижні межі, оптимальне значення показника тощо), та призначити їх оцінки. Нанести призначені точки на систему координат;

- побудувати графік функції, яка описує зміни оцінок показників якості;

- побудувати аналітичну залежність, яка описує графік функції.

У роботі [29] запропоновано приклад для оцінювання похибки засобу вимірювальної техніки, яка включає в себе випадкову та систематичну складову. Крива функціональної залежності оцінки від показника похибки описується формулою:

$$R_{\Pi} = 1 - \left(\alpha \frac{P_{\Pi}}{P_{\Pi}^{\max}} \right)^{\beta}, \quad (2.20)$$

де R_{Π} – оцінка показника похибки на безрозмірній шкалі; P_{Π} – числове значення похибки; P_{Π}^{\max} – числове значення можливо допустимої похибки; α - коефіцієнт при $P_{\Pi} = P_{\Pi}^{\max}$, $\alpha \leq 1$; β – коефіцієнт крутизни залежності.

У публікації [29] пропонується у якості об'єкту кваліметрії – житлова квартир У якості показника оцінювання пропонується залежність між висотою стін $P_{\text{м}}$ і оцінкою $K_{\text{в}}$. При цьому пропонуються два варіанти вирішення цієї задачі:

а) коли існує нижня допустима межа. Тобто найменша висота стін. Тоді математична залежність дійсного значення та оцінкою має вигляд:

$$K_{\text{в}} = \frac{1 - \left(\alpha \frac{P_{\text{в}}^{\text{мін}}}{P_{\text{в}}} \right)^{\beta}}{1 - \left(\alpha \frac{P_{\text{в}}^{\text{мін}}}{P_{\text{в}}^{\text{опт}}} \right)^{\beta}} \quad (2.21)$$

б) коли існує верхня і нижня допустима межа. Тоді математична залежність дійсного значення та оцінкою має вигляд:

$$K_{\text{в}} = \frac{1 - \left(\alpha \frac{P_{\text{в}}}{P_{\text{в}}^{\text{макс}}} \right)^{\beta}}{1 - \left(\alpha \frac{P_{\text{в}}^{\text{опт}}}{P_{\text{в}}^{\text{макс}}} \right)^{\beta}} \quad (2.22)$$

В науковій роботі [29] також пропонується розгляд об'єкту кваліметрії – коефіцієнт корисної дії (ККД).

Оскільки криві можуть описувати залежності між абсолютними показниками якості і їх оцінками, то успішне вирішення цього питання може привести до стандартизації функціональних залежностей, що спростить процес оцінювання показників якості.

2.3. Аналізування функціональних залежностей числових значень одиничних показників якості та їх безрозмірних оцінок

У даному розділі проаналізуємо залежності, які потребують коригування, щоб усунути їх недоліки при оцінюванні об'єктів кваліметрії різної природи. Наприклад, у методиці [31-34] математичні залежності отриманих оцінок від вимірних показників якості визначається:

$$f(x) = \exp(-\exp(-x)), \quad (2.23)$$

де x – числове значення одиничного показника якості на нерівномірній шкалі.

Авторами [33, 34] була отримана інша функціональна залежність, зважаючи на принцип симетрії:

$$F_5(x) = 1 - \exp(-\exp(x)) \quad (2.24)$$

Завдяки вище указаному принципу автори [33, 34] запропонували ще одну функцію (2.3):

$$F_3(x) = \frac{(\exp(-\exp(-x)) + 1 - \exp(-\exp(x)))}{2} \quad (2.25)$$

Автором [31] були отримані ще проміжні функції:

$$F_2(x) = \frac{F_1(x) + F_3(x)}{2} = \frac{3 \exp(-\exp(-x)) + 1 - \exp(-\exp(x))}{4} \quad (2.26)$$

та

$$F_4(x) = \frac{F_3(x) + F_5(x)}{2} = \frac{\exp(-\exp(-x)) + 3(1 - \exp(-\exp(x)))}{4} \quad (2.27)$$

Отже, були отримані 5 функціональних залежностей, які дають можливість отримувати оцінки одиничних безрозмірних показників якості.

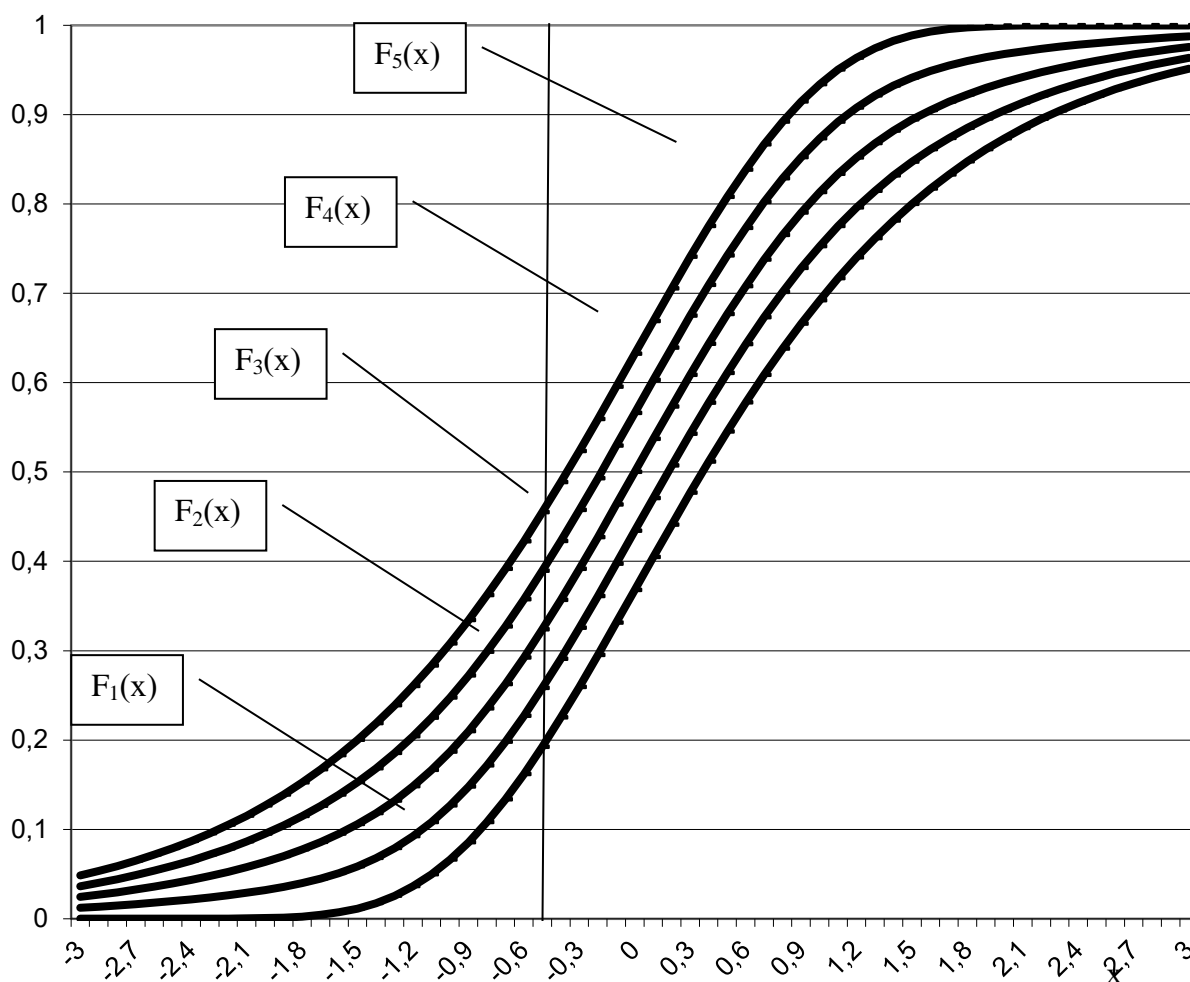


Рис. 2.1. Система з п'яти функціональних залежностей

З рисунку 2.1 видно, що один і той же об'єкт можна оцінити за допомогою п'яти функціональних залежностей, які, незважаючи на схожий вигляд, призводять

до різних значень на безрозмірній шкалі. Це дозволяє застосовувати їх для оцінки якості різноманітних об'єктів, що вимагають різних підходів. Іншими словами, один і той же показник якості може мати п'ять різних оцінок на безрозмірній шкалі, що дає можливість вибирати між жорсткою або менш жорсткою оцінкою.

Можна зазначити, що запропоновані функціональні залежності є являються зручними у застосуванні до вирішення практичних задач. Зручність застосування цих функціональних залежностей полягає в тому, що вони не мають параметрів, які потрібно оцінювати. Проте, застосування цих залежностей мають недоліки.

Головний недолік використання залежностей (2.1 – 2.5) у тому, що застосовується однотипний вид залежності для оцінювання будь яких показників якості. Як було зазначено раніше, різні показники якості по-різному впливають на їх оцінку. Такий вплив невідомий заздалегідь, оскільки його визначає споживач у кожному конкретному випадку. Тому такий підхід може призводити до не об'єктивних результатів.

Крім того, автор [31] у своїх роботах пропонують виправити цей недолік методом установки вимірювальних шкал з допомогою експертів, але це призводить до дуже великих витрат часу і великою мірою суб'єктивізму, так як для кожного показника якості процесу необхідно побудувати окремі нерівномірні шкали.

В результаті аналізу існуючих досліджень можна зробити висновок, що для оцінки якості процесів необхідно шукати залежності, які враховували б вище сказані недоліки.

У роботі [32] пропонуються залежності показників якості процесів, які мають різні розмірності з їх оцінками на безрозмірній шкалі, при цьому пропонується використовувати порядкові статистики. Тобто ці залежності мають враховувати мінімально - допустиме значення показника якості процесу та максимально - допустиме значення показника його якості, а також його найкраще (оптимальне) значення. Крім цього пропонується знайти єдиний (універсальний) вид залежності, а параметром форми змінювати її крутизну, що дозволить застосовувати їх для оцінки різних процесів з різними вимогами до якості.

Оскільки різні групи показників якості мають свої оптимальні значення, пропонується побудувати для кожної групи власні залежності, що спрощує уніфікацію системи оцінки якості різних процесів. Цей підхід вперше був використаний для оптимізації технологічних процесів Дірінгером у науковій статті [35] та для оцінки систем управління якістю Н. Горбенко у дисертації [32]. Проте на нашу думку, цей підхід має недоліки, зокрема у визначенні коефіцієнта форми, який є ключовим фактором для їх ефективного використання на практиці.

Розглянемо цей вид залежностей детальніше, використаємо наявний досвід, врахуємо існуючі недоліки та застосуємо їх для оцінки якості процесів. Якщо оптимальний показник якості має наближатися до верхньої межі допуску, то модель буде мати наступний вид:

$$F_x = \begin{cases} 0 & X_i \leq X_{imin} \\ \left[\frac{X_i - X_{imin}}{X_{imax} - X_{imin}} \right]^k & X_{imin} < X_i < X_{imax} \\ 1 & X_i \geq X_{imax} \end{cases} \quad (2.28)$$

де: x_i – дійсне числове значення одиничного показника якості;

X_{imin} - мінімальне допустиме значення одиничного показника якості;

X_{imax} -максимальне допустиме значення одиничного показника якості;

k – коефіцієнт форми.

Якщо коефіцієнт форми k – міняється в межах (0,1; 1) з кроком 0.1, то функціональні залежності вигнуті вгору (рисунок 2.2).

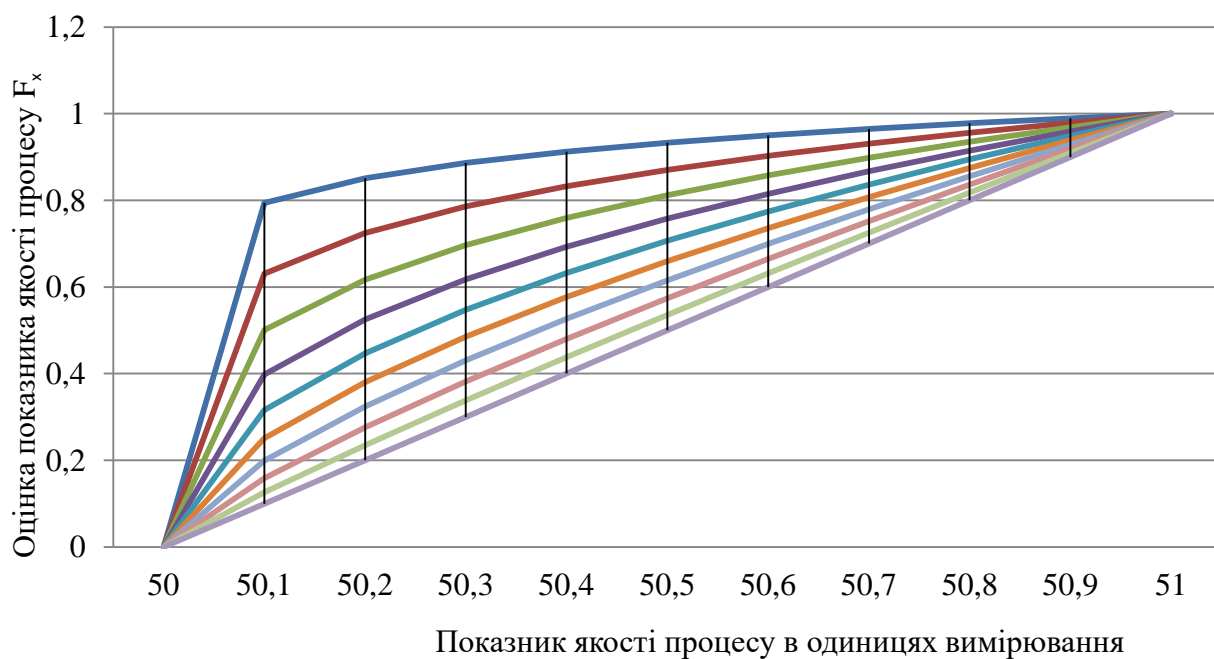


Рис. 2.2. Вид функціональної залежності (2.28) за умови, що коефіцієнт форми k – змінюється в межах $(0,1; 1)$ з кроком $0,1$

Якщо коефіцієнт форми k – міняється в межах $(1; 10)$ з кроком 1 , то функціональні залежності увігнуті до низу (рисунок 2.3).

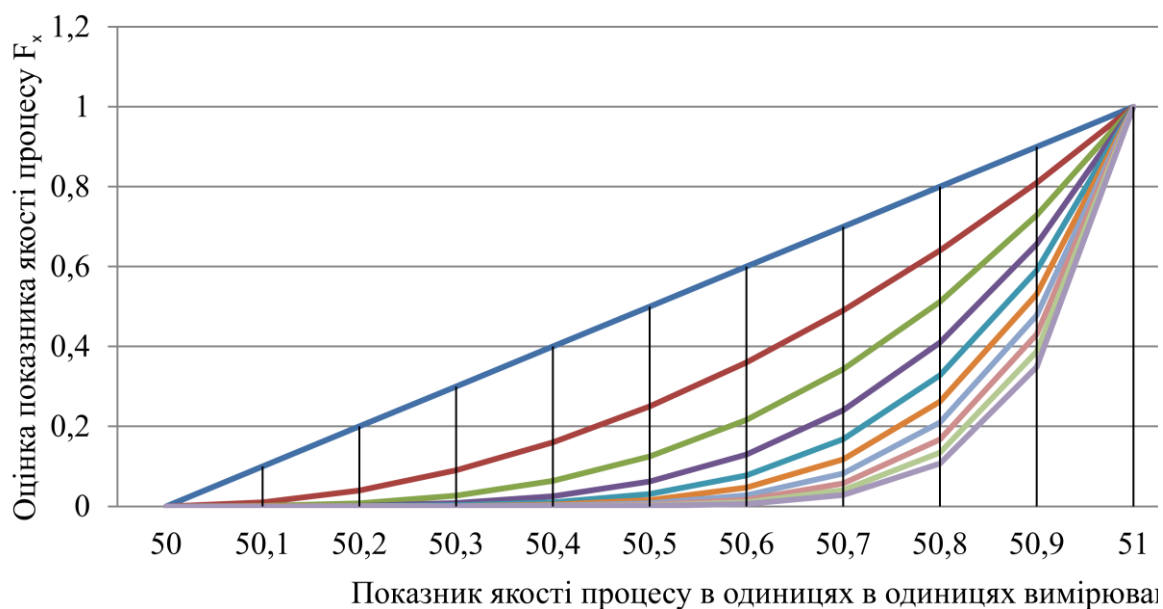


Рис. 2.3. Вид функціональної залежності (2.28) за умови, що коефіцієнт форми k – змінюється в межах $(1; 10)$ з кроком 1

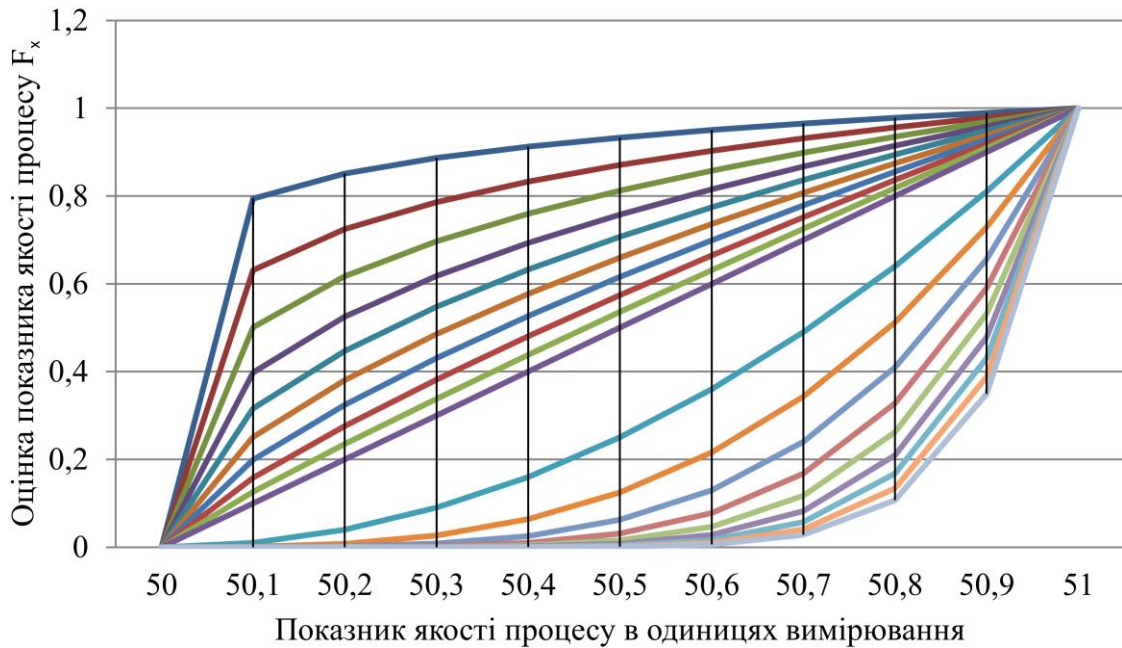


Рис. 2.4. Вид функціональної залежності (2.28) за умови, що коефіцієнт форми k – змінюється в межах $(0,1; 10)$

Якщо змінювати параметр форми моделі (2.28) від 0,1 до 10, при цьому змінюючи крок, то отримаємо систему залежностей (рисунок 2.5), вибираючи одну з яких можна змінювати оцінки якості на безрозмірною шкалою. Тобто виходить не одна оцінка, а інтервал оцінок якості.

Якщо оптимальний (найкращий) показник якості направляєється до нижньої межі поля допуску, то залежність (2.28) буде мати вид:

$$F_x = \begin{cases} 1 & X_i \leq X_{imin} \\ \left[\frac{X_i - X_{imax}}{X_{imin} - X_{imax}} \right]^{(k)} & X_{imin} < X_i < X_{imax} \\ 0 & X_i \geq X_{imax} \end{cases} \quad (2.29)$$

Якщо коефіцієнт форми k залежності (2.29) змінювати від 0,1 до десяти, змінюючи при цьому крок, то отримаємо систему залежностей (рисунок 2.5),

вибираючи одну з яких можна змінювати оцінки якості на безрозмірною шкалою.

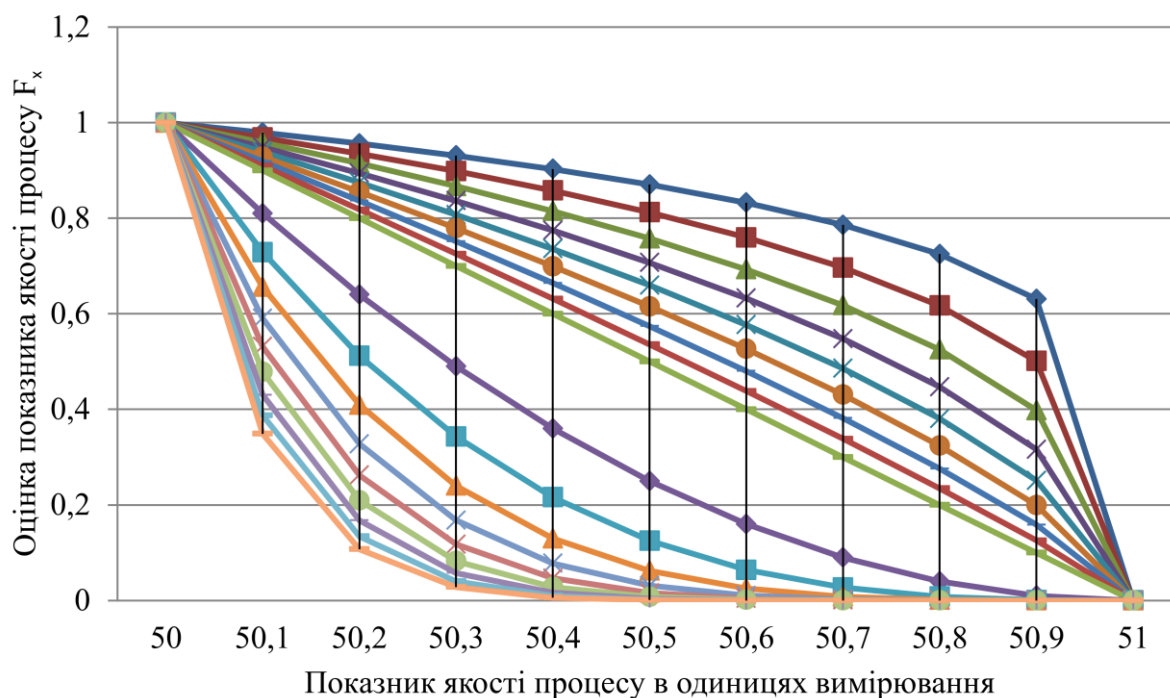


Рис. 2.5. Вид функціональної залежності (2.29) за умови, що коефіцієнт форми k – змінюється в межах $(0,1; 10)$

У випадку, коли найкращий показник якості будь якого об'єкту кваліметрії направляється до середини поля допуску, то функціональна залежність (2.28) має вид:

$$F_x = \begin{cases} \left[\frac{X_i - X_{imin}}{t_i - X_{imin}} \right]^{(k)} & X_{imin} \leq X_i \leq t_i \\ \left[\frac{X_i - X_{imax}}{t_i - X_{imax}} \right]^{(k)} & t_i < X_i \leq X_{imax} \\ 0 & X_{imin} > X_i > X_{imax} \end{cases} \quad (2.30)$$

де, t_i - середина поля допуску

Функціональні залежності, у такому випадку, мають ви (рисунок 2.6):

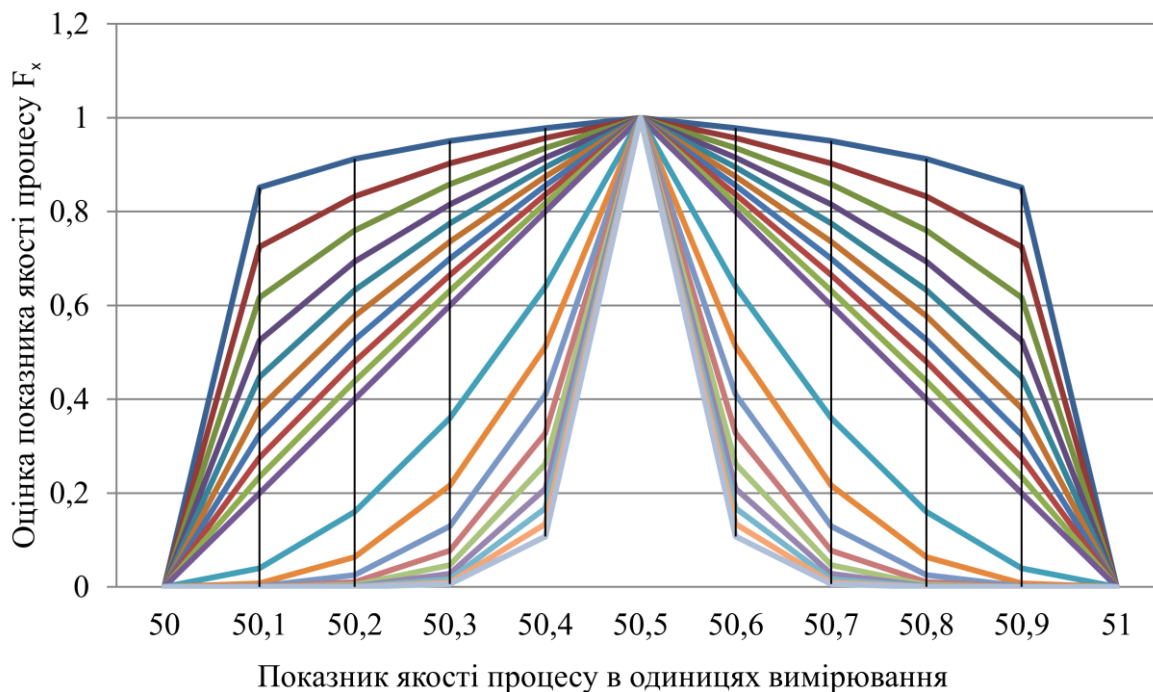


Рис.2. 6. Вид функціональної залежності (2.28), коли найкращий показник якості будь якого об'єкту кваліметрії направляється до середини поля допуску

У випадку, коли найкращий показник якості будь якого об'єкту кваліметрії направляється до частини поля допуску, то функціональна залежність (2.28) має вид:

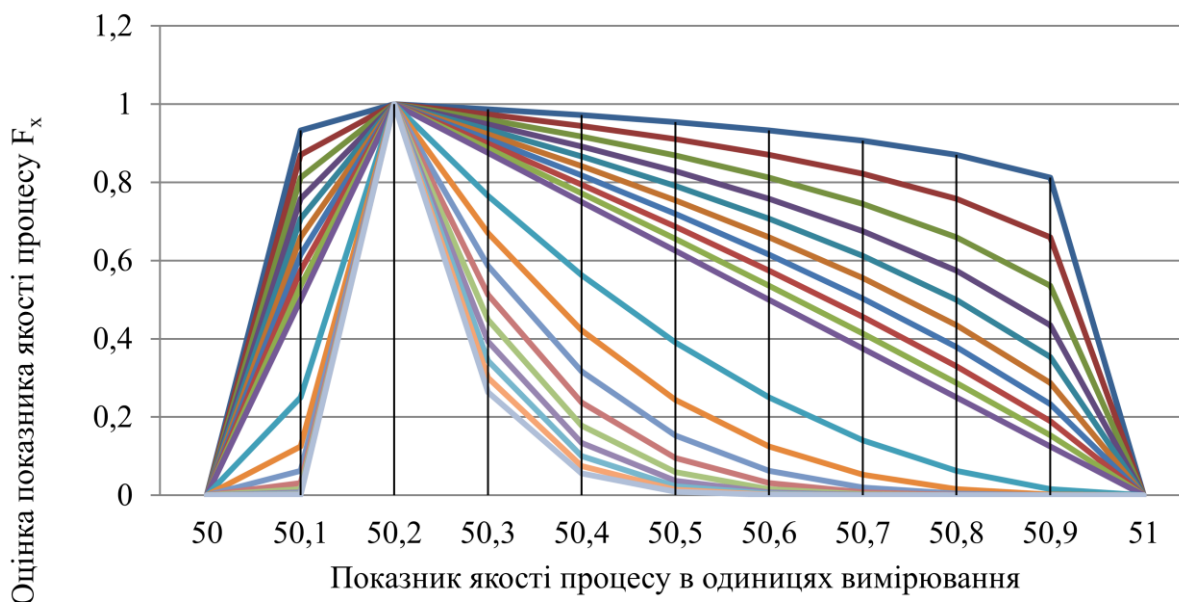


Рис. 2.7. Вид функціональної залежності (2.30), коли найкращий показник якості будь якого об'єкту кваліметрії направляється до частини поля допуску

Автори отримали серію функціональних залежностей, які дозволяють оцінювати показники якості будь яких об'єктів кваліметрії на безрозмірній шкалі.

Перевагами застосування функціональних залежностей (2.28 – 2.30) являється те, що коефіцієнт форми дозволяє налаштовувати крутизну форми та дає можливість вибирати оптимальний варіант для оцінювання того чи іншого показника якості. Також запропоновані залежності враховують максимально та мінімально допустимі значення показників якості, що уникає необхідності ручного налаштування шкал. Крім того, вони прості при застосуванні на виробництві, так як не потребують високої кваліфікації особ, які проводять оцінювання.

Як недолік, можна відмітити те, що виникає необхідність застосування експертних методів для визначення коефіцієнта форми.

Автори наукових публікацій [36 – 41] пропонують застосування ще однієї нелінійної функціональної залежності для оцінювання якості об'єктів різної природи, яка представлена у наступному виді:

$$f(q) = \frac{1}{1 + ab^{-kq}}, \quad (2.31)$$

де a та b коефіцієнти знаходяться як:

$$b = b_1^{\frac{1}{(q_{\min} - q_{\max})^k}}, \quad (2.32)$$

де:

$$b_1 = \frac{(1 - q_{\max})q_{\min}}{(1 - q_{\min})q_{\max}}; \quad (2.33)$$

q_{\min} , та q_{\max} – мінімальне та максимальне-допустимі значення одиничних показників якості.

Коефіцієнт a визначаються як:

$$a = \frac{(1 - q_{\min})}{q_{\min}} b^{kq_{\min}}. \quad (2.34)$$

Функціональна залежність (2.9) має точку перегину при:

$$q_{\text{пер}} = \frac{\ln a}{k \ln b}.$$

Коефіцієнт форми k впливає на крутизну функціональної залежності по осі ОХ. Якщо змінювати k , то можливо управляти кривизною залежності (2.31), отже можна отримати різні оцінки при одних і тих показниках якості.

Графічний вид залежності (2.31) при $k = 1$, представлено на рисунку 2.8 [37].

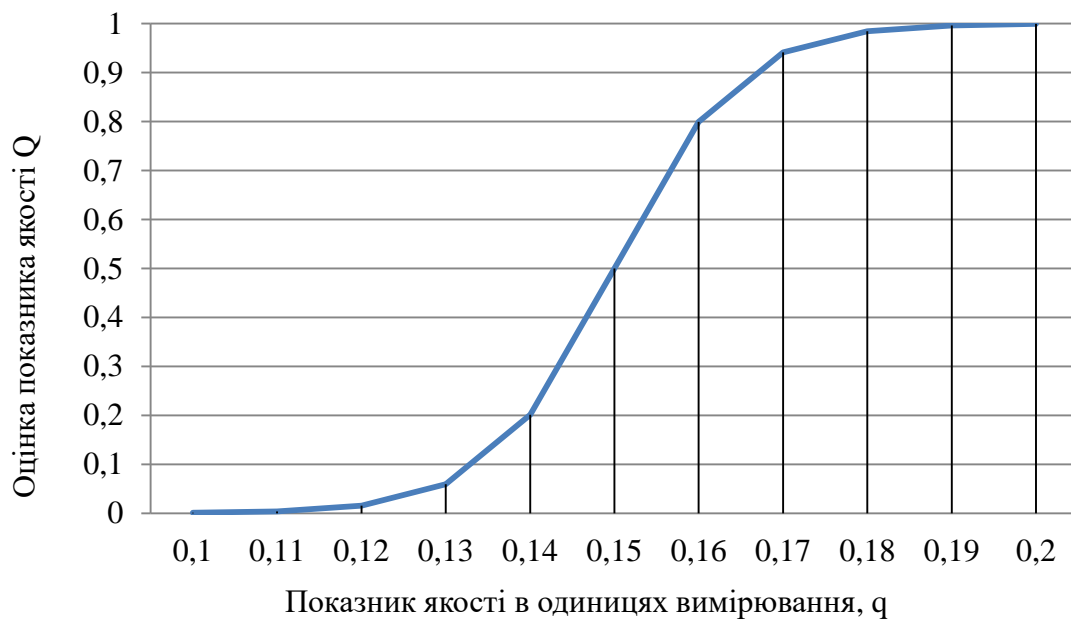


Рис. 2.8. Графічний вид залежності (2.31) при $k = 1$

На рисунку (2.8) використано умовний показник якості, який змінюється від $q_{\min} = 0,1$ до $q_{\max} = 0,2$ з кроком 0,01 для візуального відображення функціональної залежності (2.31). Форма цієї залежності залишається незмінною незалежно від одиниць вимірювання та розмаху значень показника якості на вісі ОХ. Зміна

коефіцієнта форми - k , вплине на форму залежності. Вибір цього коефіцієнта є метою майбутніх досліджень.

На рисунку 2.9 представлено п'ять кривих залежностей, де коефіцієнт k змінюється від 1,2 до 0,8 з кроком 0,1 зліва направо. Ось OX може бути масштабована відповідно до одиниць вимірювання для кожного показника якості. Ліве крайнє значення на цій осі (0) відповідає q_{\min} - мінімально допустимому значенню показника якості, а праве крайнє значення (1) відповідає q_{\max} - максимально допустимому значенню. Ці значення відповідають відповідним значенням кожного показника якості. Таким чином, якщо є n показників якості, для кожного з них необхідно визначити коефіцієнти a і b за формулами (2.34) та (2.32) відповідно [38].

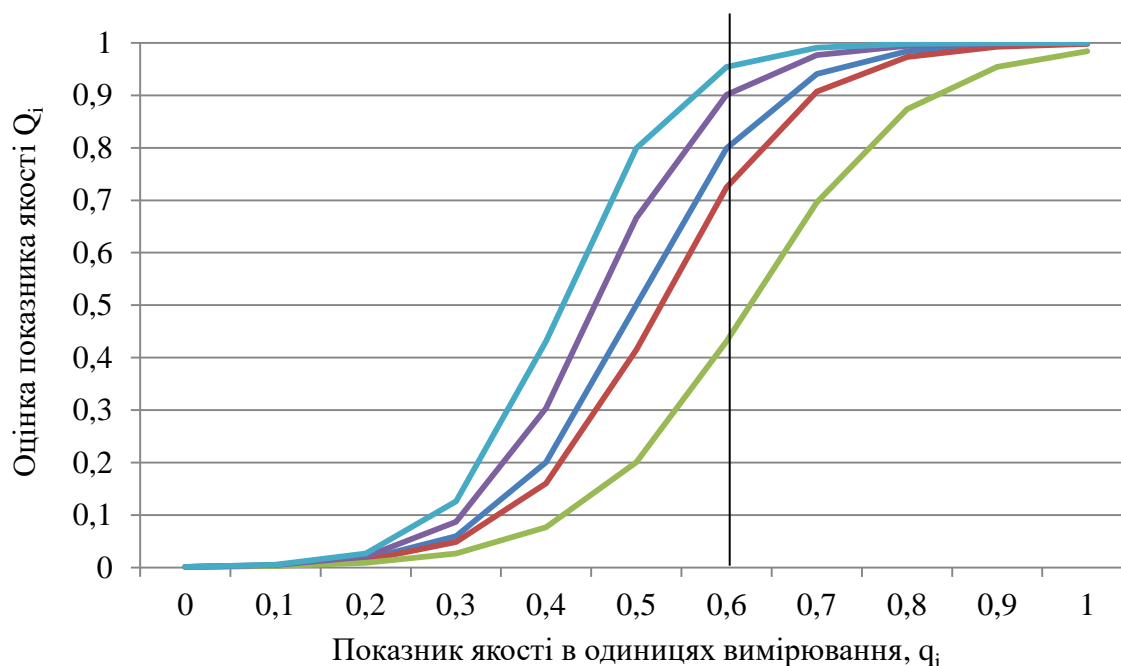


Рис. 2.9. Серія залежностей (2.9) при $k = 1,2 - 0,8$ з кроком 0,1 з ліва на право [39]

З рисунка 2.9 видно, що при показнику якості 0,6, представленому в одиницях вимірювання, його оцінка на безрозмірній шкалі змінюється від 0,95 при $k = 1,2$ до 0,43 при $k = 0,8$. Таким чином, маючи одне вимірне значення показника якості будь-якого об'єкта кваліметрії, можна отримати діапазон значень його оцінок на безрозмірній шкалі. Це дозволяє вибирати один із показників ступеня у залежності (2.31) та змінювати оцінку виміряного показника якості Q на безрозмірній шкалі.

Величина інтервалу оцінок показників якості на безрозмірній шкалі при різних коефіцієнтах форми k представлено на рисунку 2.10.

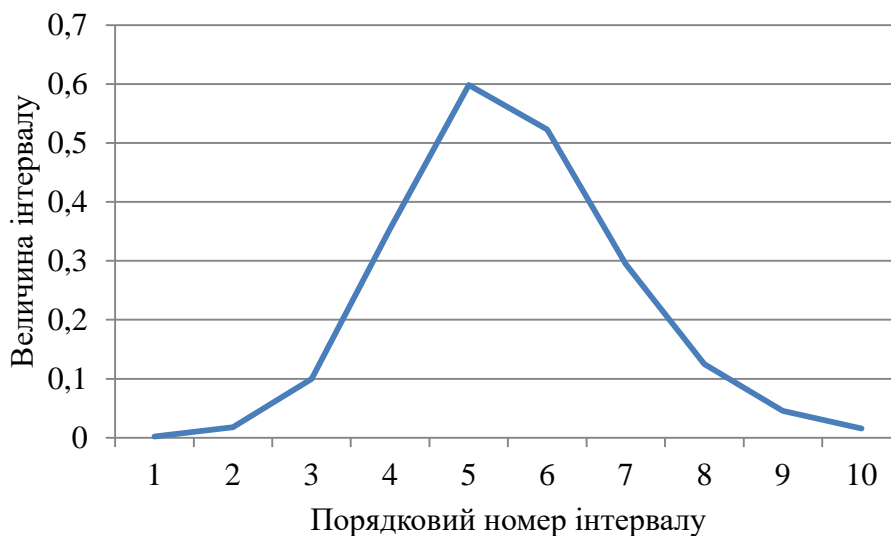


Рис. 2.10. Величина інтервалу безрозмірних оцінок при різних коефіцієнтах форми k [40]

Щоб отримати величини інтервалів, поле допуску $T = q_{\max} - q_{\min}$ було розділене на десять частин, і в кожній частині визначено величини інтервалів. Як показано на рисунку 2.10, найбільший інтервал оцінок показників якості на безрозмірній шкалі знаходиться в середині поля допуску і становить 0,6. При наближенні до крайніх значень інтервал оцінок практично не змінюється. Тому можна зробити висновок, що в середині поля допуску коефіцієнт форми k має найбільший вплив на величину оцінки якості.

У дослідженнях [42, 43] для визначення оцінок було запропоновано використовувати «Функцію помилок». Вона використовується для вирішення різноманітних завдань, зокрема практичних. Форму «Функції помилок» представлено у науковій роботі [44].

$$\operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt \quad (2.35)$$

На рисунку 2.11 представлено Функцію помилок у графічному виді.

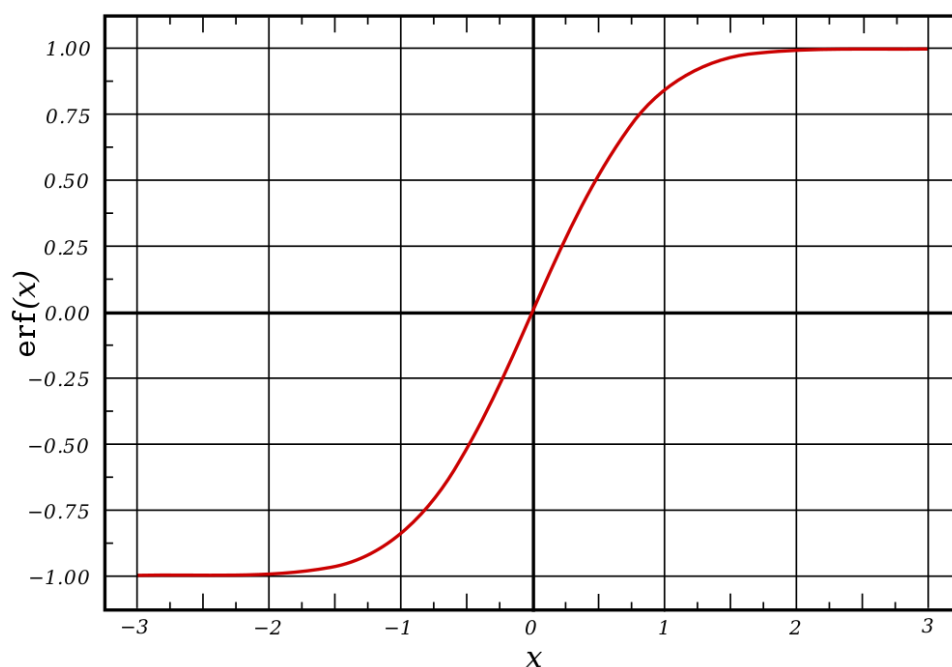


Рис. 2.11. Графік «Функції помилок» (2.35)

«Функція помилок» має ряд властивостей:

- оцінка якості знаходиться в діапазоні $0 \leq y(x) < 1$, і швидкість зміни функції на краях діапазону значно нижча, ніж у середині. З рисунку 2.5 стає зрозуміло, що функція (2.35) обґрунтовано використовується для отримання оцінок показників якості об'єктів кваліметрії.

Також, з цього ж рисунку видно, що безрозмірні оцінки змінюються від -1 до 1. Використовуючи алгебраїчні перетворення, автори отримали функціональну залежність, яка дає оцінки якості об'єктів на безрозмірній шкалі в межах $0 \leq y(x) < 1$. Це демонструється в наступній функціональній залежності [45-48].

$$y(x) = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \operatorname{erf} \left(-l + k \frac{x-a}{b-a} \right), \quad (2.36)$$

де $\operatorname{erf}(x)$ – оператор функції помилок;

a – мінімальне значення одиничного показника якості;

b – максимальне значення одиничного показника якості;

x – дійсне значення одиничного показника якості;

k – коефіцієнт форми;

l – коефіцієнт масштабу.

Графічний вид залежності (2.36) представлено на рисунку 2.12.

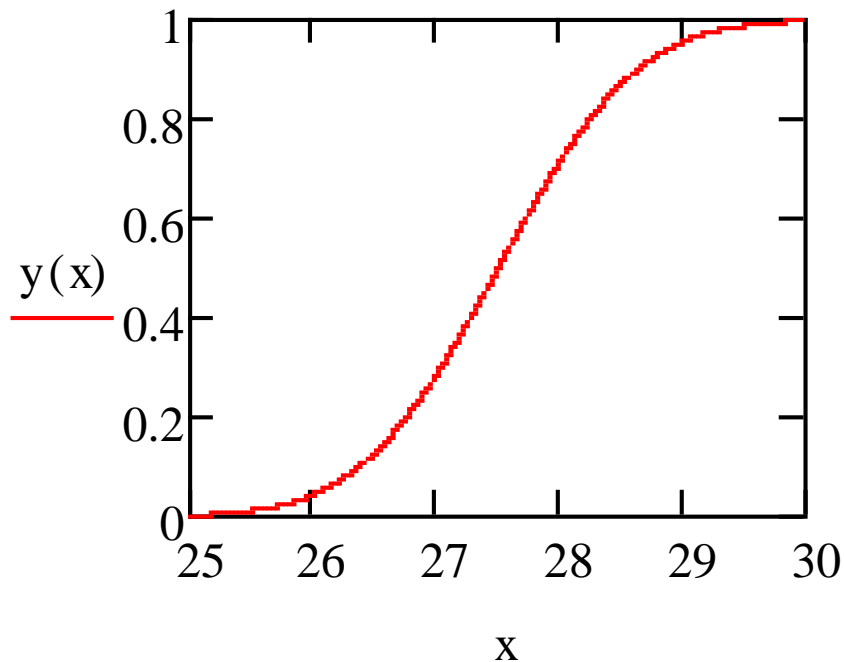


Рис. 2.12. Графічний вид залежності (2.36) при $a = 25$; $b = 30$; $l = 2$; $k=4$

Якщо ж найкращий показник якості знаходиться близько до нижньої межі поля допуску, то спостерігається обернена залежність, яка має вид:

$$y'(x) = 1 - \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \operatorname{erf} \left(-l + k \frac{x-a}{b-a} \right) \right) \quad (2.37)$$

Якщо коефіцієнт форми $k = 1$, коефіцієнт масштабу $l = 2$, функціональна залежність (2.36) представлена на рисунку 2.13.

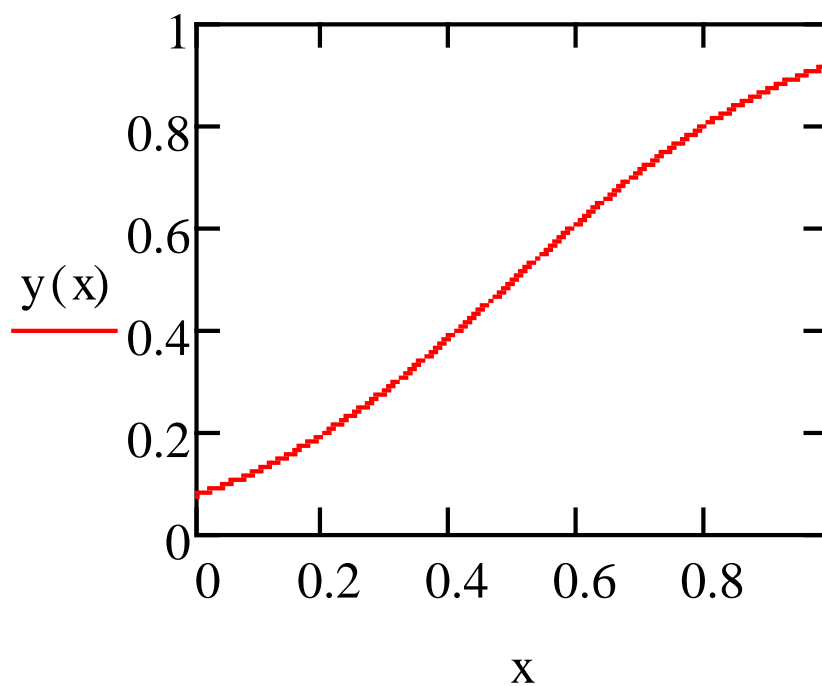


Рис. 2.13. Вид функціональної залежності (2.36) при $l = 2$; $k = 1$

Якщо коефіцієнт форми $l = 1$, коефіцієнт масштабу $k = 3$, функціональна залежність (2.36) представлена на рисунку 2.14.

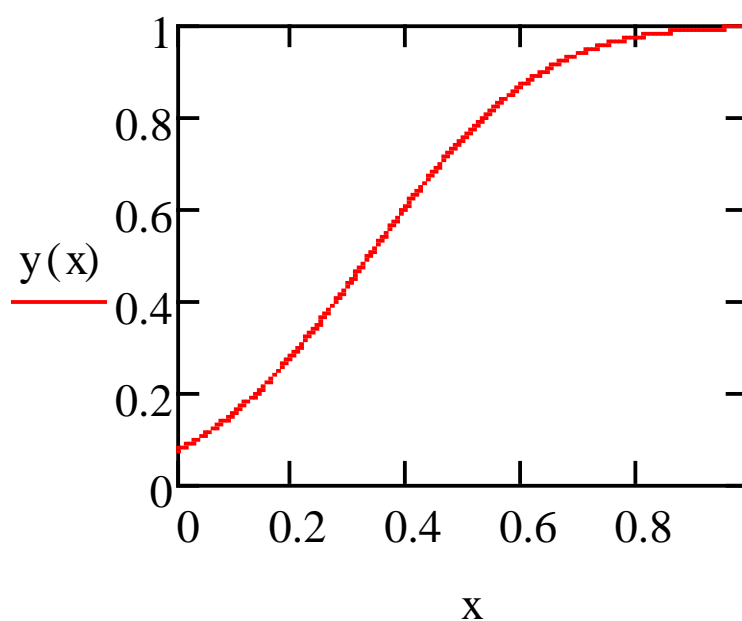


Рис. 2.14. Вид функціональної залежності (2.36) при $l = 1$; $k = 3$

Якщо коефіцієнт форми $l = 1$, коефіцієнт масштабу $k = 4$, функціональна залежність (2.36) представлена на рисунку 2.15.

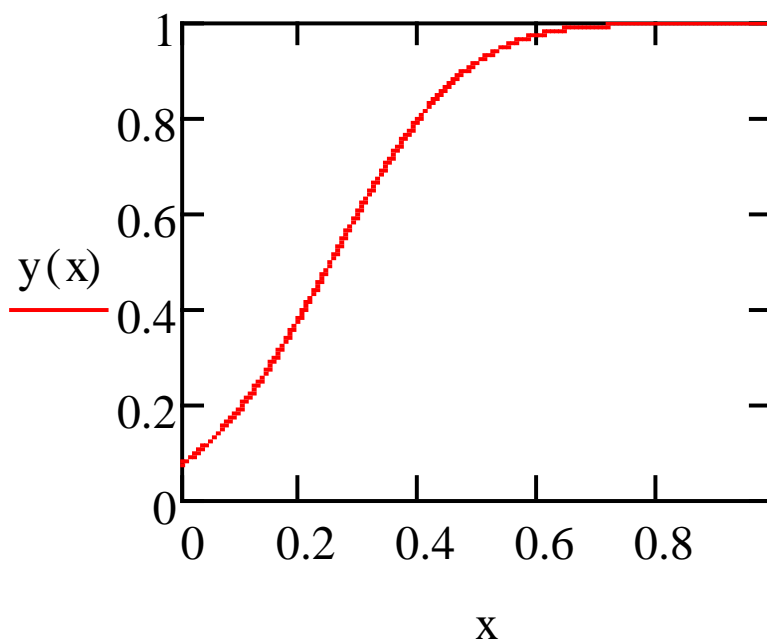


Рис. 2.15. Вид функціональної залежності (2.36) при $l = 1$; $k = 4$

Якщо коефіцієнт форми $l = 1$, коефіцієнт масштабу $k = 5$, функціональна залежність (2.36) представлена на рисунку 2.16.

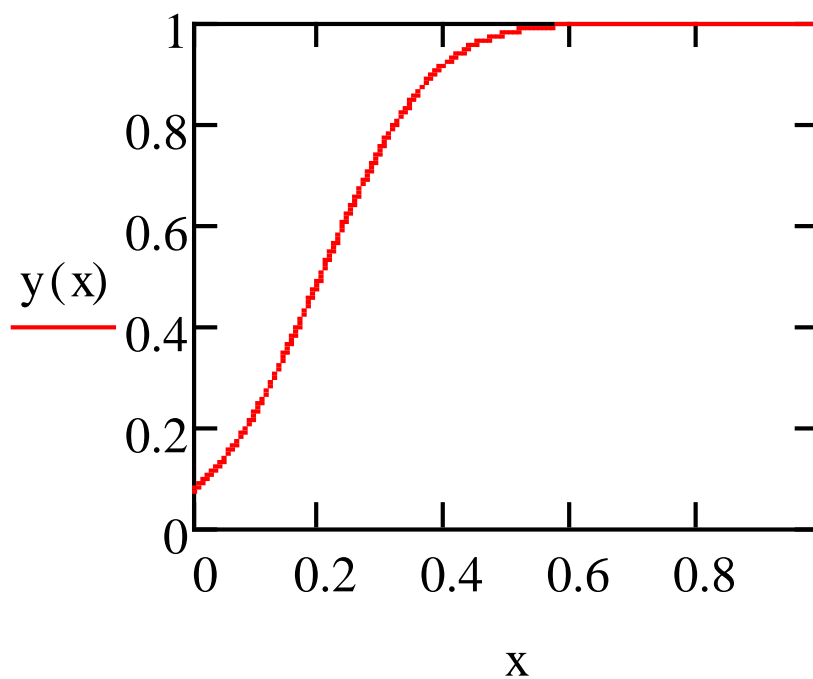


Рис. 2.16. Вид функціональної залежності (2.36) при $l = 1$; $k = 5$

Якщо коефіцієнт форми $l = 2$, коефіцієнт масштабу $k = 3$, функціональна залежність (2.36) представлена на рисунку 2.17

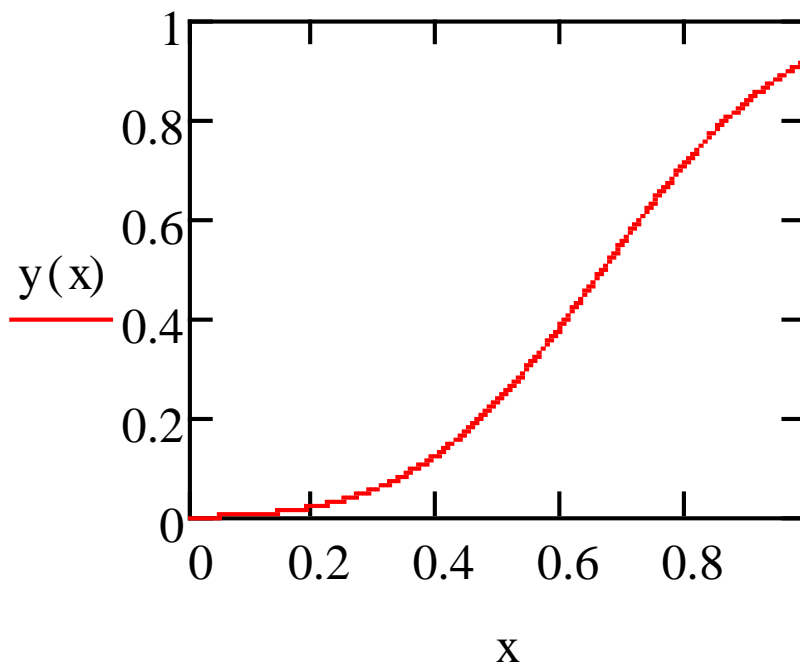


Рис. 2.17. Вид функціональної залежності (2.36) при $l = 2$; $k = 3$

Якщо коефіцієнт форми $l = 2$, коефіцієнт масштабу $k = 4$, функціональна залежність (2.36) представлена на рисунку 2.18

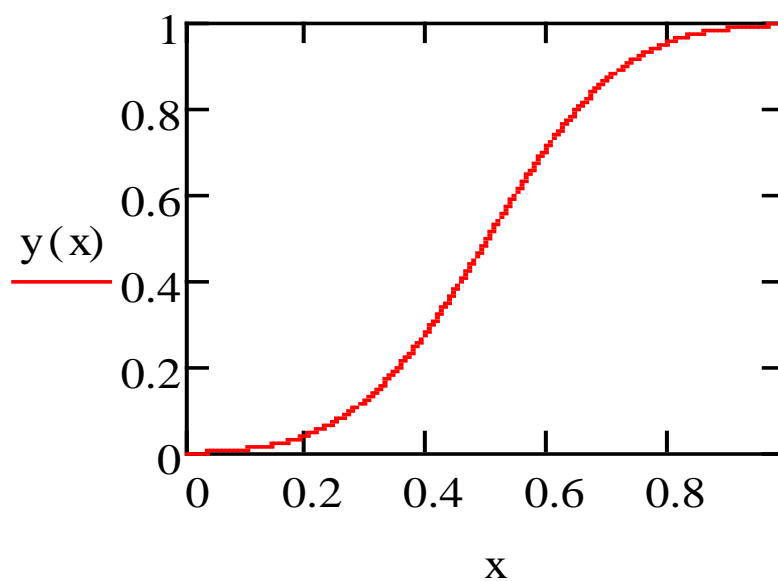


Рис.2.18. Вид функціональної залежності (2.36) при $l = 2$; $k = 4$

Якщо коефіцієнт форми $l = 3$, коефіцієнт масштабу $k=4$, функціональна залежність (2.36) представлена на рисунку 2.19.

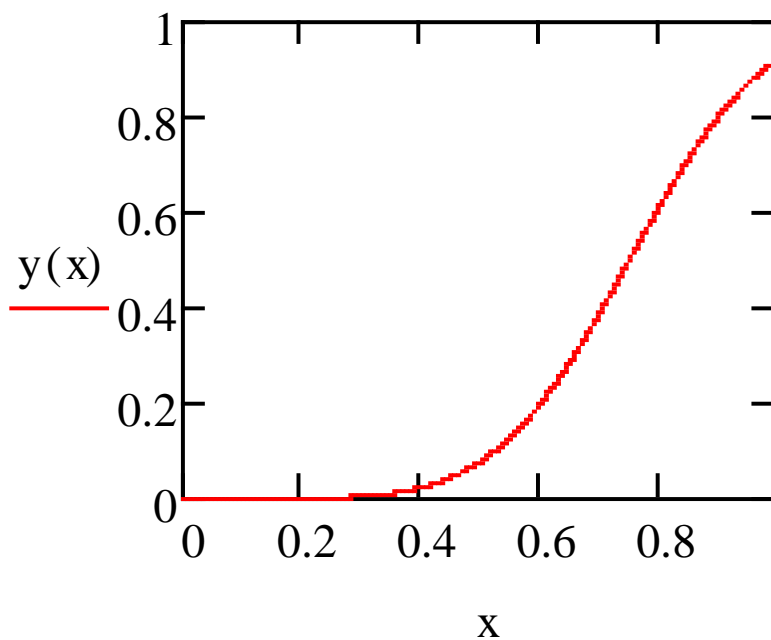


Рис. 2.19. Вид функціональної залежності (2.36) при $l = 3$; $k = 4$

Якщо коефіцієнт форми $l = 3$, коефіцієнт масштабу $k=5$, функціональна залежність (2.36) представлена на рисунку 2.20.

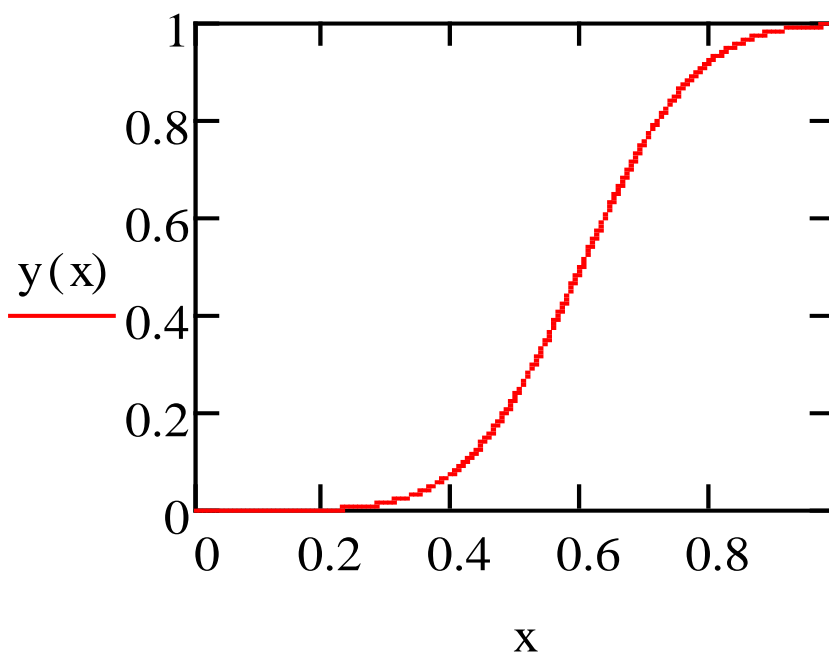


Рис. 2.20. Вид функціональної залежності (2.36) при $l = 3$; $k = 5$

Якщо коефіцієнт форми $l = 3$, коефіцієнт масштабу $k=6$, функціональна залежність (2.36) представлена на рисунку 2.21.

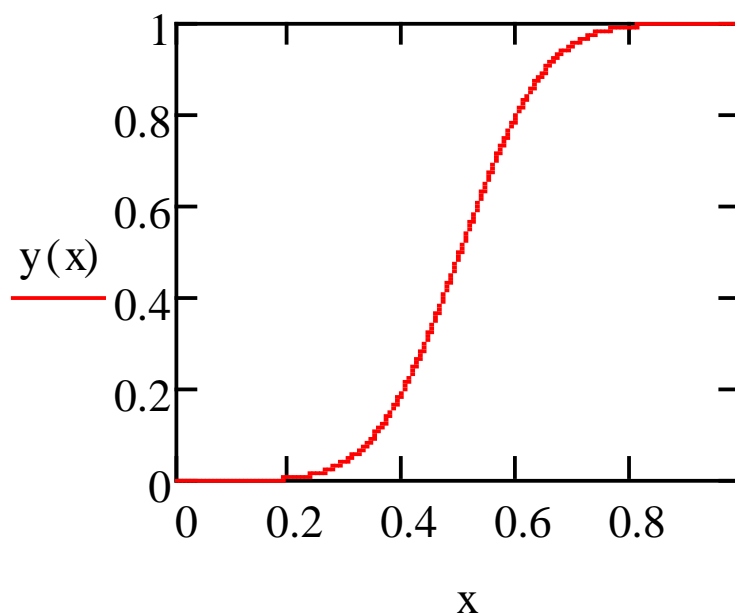


Рис. 2.21. Вид функціональної залежності (2.11) при $l = 3$; $k = 6$

Якщо коефіцієнт форми $l = 4$, коефіцієнт масштабу $k=6$, функціональна залежність (2.11) представлена на рисунку 2.22.

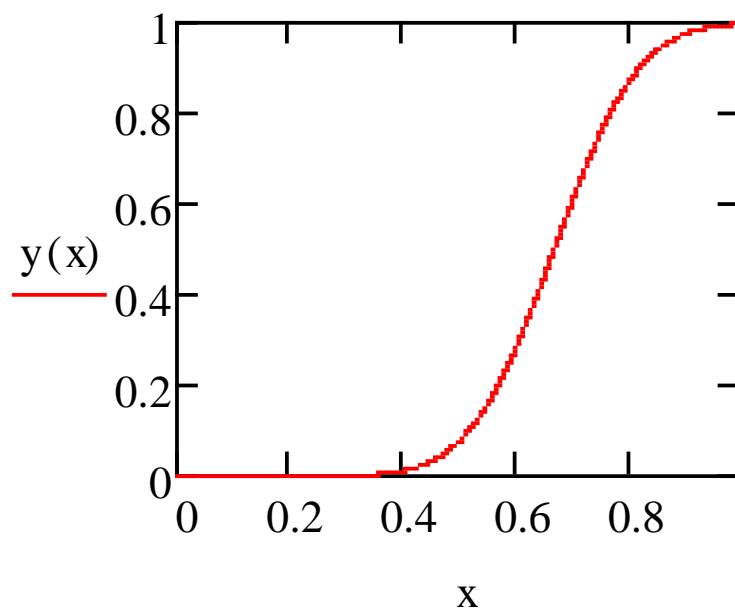


Рис. 2.22. Вид функціональної залежності (2.11) при $l = 4$; $k = 6$

Методи, представлені у залежностях (2.35) та (2.36), можна вважати ефективними та переважаючими порівняно з існуючими підходами, що використовуються в кваліметрії [42, 43].

По-перше, їх нелінійні характеристики відповідають принципам вз теорії кваліметрії, оскільки показники якості об'єктів майже не змінюються на краях діапазону оцінювання. Цей факт важливий для застосування на практиці, так як дає можливість отримувати інформацію про мінливість показників якості в полі допуску.

По-друге, «Функція помилок» доступна в Microsoft Excel (ФОШ), що не потребує розробляти унікальне програмне забезпечення для автоматичного процесу оцінювання.

2.4. Оцінювання якості будь яких об'єктів кваліметрії з застосуванням логістичної функції

Пропонується дослідити та застосовувати логістичну функцію для отримання оцінок одиничних показників якості будь-яких об'єктів кваліметрії на безрозмірній шкалі [49]. Важливо відзначити, що логістична функція має точку перегину. Згідно з графіком (рисунок 2.23), на якому видно, що в точці (0) графік змінює свою кривизну з увігнутої вгору на увігнуту вниз. Цей змінний характер є ключовим для кваліметрії, оскільки відображає принцип послаблення зміни функції на краях [49]. Логістична функція особливо підходить там, де загальна кількість має верхню межу, а початкове зростання є експоненціальним, наприклад, у випадках поширення чуток чи захворювань серед обмеженої популяції чи зростання бактерій або людської популяції при обмежених ресурсах [49].

$$Y = F(x) = \frac{1}{1 + e^{\lambda x}}, \quad (2.37)$$

де λ змінюється в межах від -6 до 6 і являється параметром логістичної функції.

У графічному виді логістична функція представлена на рисунку 2.23. Якщо брати до уваги характеристики якості різних об'єктів кваліметрії, варто зазначити, що оцінка показника якості варіюється в межах від 0 до 1. При цьому швидкість зміни функціональної залежності на краях цього діапазону значно менша, ніж у його середині. Як видно з рисунку 2.23, функція (2.37) є обґрунтованою для отримання безрозмірних оцінок якості в кваліметрії.

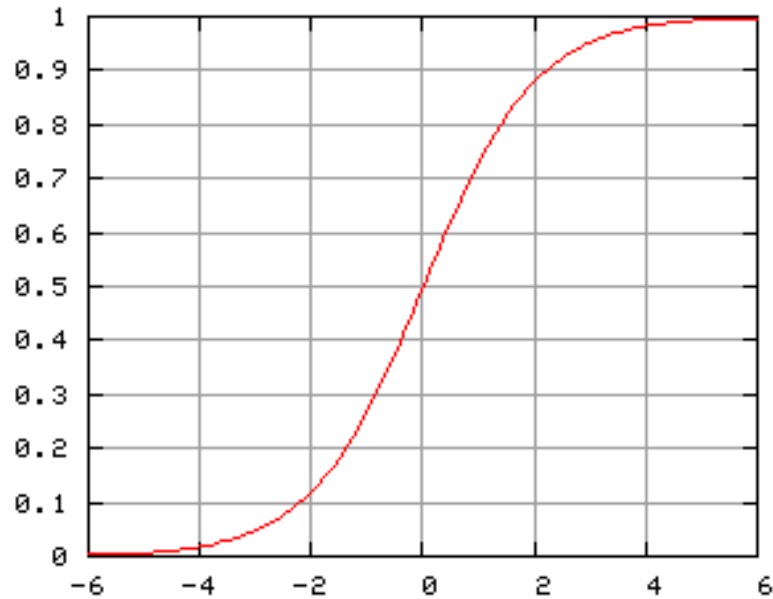


Рис. 2.23. Вид графік логістичної функціональної залежності (1) [49]

З рисунку 2.23 зрозуміло, що безрозмірні оцінки, які будуть отримані в результаті впливу нелінійної залежності (2.37), варіюються в межах від -6 до 6. Використовуючи алгебраїчні перетворення, зокрема ділення відрізка у заданій пропорції, можна отримати параметр λ , яка забезпечує оцінки якості об'єктів на безрозмірній шкалі в межах від 0 до 1. Параметр λ представлено формулою:

$$\lambda = \frac{-6 + 6 \cdot \left(\frac{x_{\max} - x_i}{x_i - x_{\min}} \right)}{1 + \left(\frac{x_{\max} - x}{x - x_{\min}} \right)}, \quad (2.38)$$

де x_{\min} – мінімальне значення показника якості, яке регламентується нормативними документами; x_{\max} – максимальне значення; x_i – дійсне (виміряне) значення показника якості об'єкту кваліметрії.

Якщо підставити параметр λ у функцію (2.37), то отримаємо нову функціональну залежність між дійсними значеннями показника якості та їх безрозмірними оцінками:

$$F(x) = \frac{1}{1 + e^{\frac{6(x_{\max} - x) + 6(x_{\min} - x)}{x_{\max} - x_{\min}}}} \quad (2.39)$$



Рис. 2.24. Графічний вид функції (2.39) з урахуванням параметру λ

Отже, можна дійти до висновку, що функціональна залежність (2.39) в точці x_{\min} наближається до нуля, а в точці x_{\max} – наближається до одиниці. Графічний вид функціональної залежності (2.39) з використанням параметра λ показано на рисунку 2.24.

Отже запропоновано застосовувати логістичну функціональну залежність як залежність між виміряними одиничними показниками якості будь яких об'єктів кваліметрії та їх безрозмірною оцінкою. Застосування логістичної функції дозволяє отримувати математичну залежність, що забезпечує оцінки показників якості на

безрозмірній шкалі, незалежно від природи об'єкту кваліметрії. Для цього необхідно знати мінімальне та максимальне допустимі значення об'єктів кваліметрії.

2.5. Апробація методики застосування логістичної функції для оцінювання якості об'єктів кваліметрії

Для апробації методики застосування запропонованої функціональної залежності для оцінювання якості об'єктів різної природи приведемо приклади. У якості об'єктів кваліметрії пропонується оцінювати продукцію, процес та систему.

2.5.1. Оцінювання показників якості продукції

У якості продукції, як об'єкту кваліметрії, розглянемо олію соняшникову (олія) на етапі виробництва. Так як олія являється продуктом харчування, то до її якості пред'явлено жорсткі вимоги, які указані в технічному регламенті та нормативних документах.

Важливі показники якості олії, які являються обов'язковими та указані у нормативних документах представлені у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2.

Показники якості олії (ДСТУ 4492:2005)

Показник якості	Числові значення показників якості олії соняшникової		
	Вищого гатунку	Першого гатунку	Другого гатунку
Колірне число, мг.	10	20	30
Кислотне число, мг.	2,0	6,0	8,0
Пероксидне число, ммоль/кг.			
- при виробництві	7,0	7,0	8,0
- при реалізації	10,0	10,0	10,0
Масова частка фосфоровмісних речовин, %	0,5	0,7	0,9
Масова частка нежирних домішок, %	0,1	0,2	0,3
Масова частка вологи та летючих речовин, %	0,3	0,3	0,4

У таблиці 2.3 представимо допустимі значення показників якості олії, що регламентовані нормативними документами, а саме X_{\max} ; X_{\min} ;

Таблиця 2.3.

Показники якості олії стосовно вмісту токсинів

№	Показник якості	X_{\max}	X_{\min}	X_i	Y
1	Свинець, мг/кг	0	0,1	0,04	0,94
2	Миш'як, мг/кг	0	0,1	0,03	0,69
3	Кадмій, мг/кг	0	0,05	0,02	0,78
4	Ртуть, мг/кг	0	0,05	0,01	0,87
5	Мідь, мг/кг	0	0,5	0,2	0,9
6	Залізо, мг/кг	0	5,0	2,5	0,78
7	Цинк, мг/кг	0	5,0	2	0,9

Підставивши значення одиничних показників якості із таблиці 2.3, застосувавши функціональну залежність (2.37), отримуємо оцінку одиничних показників якості на безрозмірній шкалі Y.

Згідно із запропонованою методикою необхідно взяти проби олії соняшникової та установленими методами та приладами отримати виміряні значення токсичних елементів та занести результати у таблицю 2.3.

За формулою (2.37) визначається оцінка одиничного показника якості на безрозмірній шкалі Y, та заноситься у таблицю 2.3.

За однією із формул визначається узагальнений показник якості однієї проби на вміст токсичних елементів. Згідно результатів оцінювання якості олії соняшникової на вміст токсичних елементів, представлених у таблиці 2.3 отримали такі результати узагальненого показника якості однієї проби:

Узагальнений показник якості у вигляді середнього гармонійного значення:

$$\frac{1}{W} = \frac{1}{7} \left(\frac{1}{0,94} + \frac{1}{0,69} + \frac{1}{0,78} + \frac{1}{0,87} + \frac{1}{0,9} + \frac{1}{0,78} + \frac{1}{0,9} \right) = 0,82$$

Узагальнений показник якості у вигляді середнього геометричного значення:

$$W = \sqrt[7]{0,94 \times 0,69 \times 0,78 \times 0,87 \times 0,9 \times 0,78 \times 0,9} = 0,832$$

Узагальнений показник якості у вигляді середнього арифметичного значення:

$$W = \frac{1}{7} \sum 0,94 + 0,69 + 0,78 + 0,87 + 0,9 + 0,78 + 0,9 = 0,837$$

Узагальнений показник якості у вигляді медіанного значення:

$$W = 0,87.$$

У результаті застосування розробленої методики, яка ґрунтується на функціональній залежності (2.37), отримали комплексний показник якості продукту (олія соняшникова). Таким чином можна отримувати комплексну оцінку будь якого об'єкту кваліметрії.

2.5.2. Оцінювання показників якості процесу

Представимо приклад показників якості одного із процесів олійного виробництва. Вибраний процес - «Надходження соняшника на підприємство». Показники якості даного процесу установлені в документації сертифікованої СУЯ підприємства та мають такі кількісні характеристики. В таблиці 2.4 указані максимально-допустимі, мінімально-допустимі значення показників якості та вимірне значення.

Для визначення оцінок показників якості Y на безрозмірній шкалі застосовували функціональну залежність (2.37). Результати розрахунків занесено в таблицю 2.4.

Показники якості процесу «Надходження соняшника на підприємство»

№	Показник якості	X_{\min}	X_{\max}	X_i	Y
1	вологість насіння, %	6,0	8,0	7,5	0,61
2	маслянистість насіння, %	40	54	52	0,77
3	вміст смітної домішки, %;	0	3,0	0,28	0,78
4	вміст маслянистої домішки, %;	0	7,0	0,56	0,6
5	кислотне число олії в соняшнику, мг;	0	5,0	0,4	0,6
6	шум на складі, дБ;	0	140	80	0,84
7	вібрація обладнання, м/с ²	0	1,5	0,8	0,88
8	рівень технологічної дисципліни, бал.	0	5	4,8	0,98

Так як оцінки одиничних показників якості процесу мають однакову шкалу вимірювання (0 - 1), то можна знайти узагальнений показник якості, застосувавши одну із середніх значень. В даному випадку застосовується середнє геометричне значення.

$$Q = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n F_{xi}} = \sqrt[8]{0,61 * 0,77 * 0,78 * 0,6 * 0,6 * 0,84 * 0,88 * 0,97} = 0,75$$

Отже, за допомогою функціональної залежності (2.37) можна отримувати узагальнений показник якості будь-якого процесу.

2.5.3. Оцінювання показників якості системи

Розглянемо результати застосування запропонованих методів і методик оцінювання діяльності кафедр університету, з метою подальшого управління/ Як приклад в рамках даного наукового дослідження розглянемо навчальний процес. Встановлені критерії для оцінювання якості навчального процесу в даній організації наступні:

К1 - абсолютна успішність: кількість студентів, які здали екзаменаційну сесію на 60-100 балів в рядків;

К2 - якісна успішність: процентна складова кількості студентів, які здали екзаменаційну сесію на 85-100 балів, від загальної кількості студентів;

К3 - кількість скарг від замовника освітніх послуг (студентів, батьків, роботодавців, підприємств, що приймають студентів на практику та ін.);

К4 - кількість випадків порушення робочої дисципліни викладачами кафедри (запізнення, незадокументовані перенесення занять, скорочення часу на проведення занять, відсутність на робочому місці в робочий час і ін.);

К5 - кількість випадків, що свідчать про відхилення навчального процесу від робочої програми;

К6 - кількість проведених відкритих лекцій із застосуванням інтерактивних технологій;

К7 - рівень відповідності методики навчання змісту освіти;

К8 - рівень задоволення студентів діяльністю викладачів;

К9 - витрати на вдосконалення навчального процесу;

К10 - рівень працевлаштування випускників кафедри.

Результати оцінювання навчального процесу на кафедрі занесено в таблицю 2.5.

Таблиця 2.5.

Результати оцінювання навчального процесу на кафедрі

№	Показник якості	X_{\max}	X_{\min}	X_i	Y
1	К1, студ.	532	570	560	0,92
2	К2, %	25	55	46	0,87
3	К3, шт.	0	40	8	0,83
4	К4, шт.	0	100	13	0,95
5	К5, шт.	0	20	4	0,89
6	К6, шт.	20	50	48	0,98

Продовження талиці 2.5.

7	К7,бал	60	100	94	0,98
8	К8,бал	0	10	8	0,92
9	К9,тис. грн.	8	12	11	0,84
10	К10,%	50	100	100	1
	Узагальнений показник якості				0,91

Як видно з наведеного прикладу, застосовуючи розроблену методику та запропонований вид математичної залежності можна її застосовувати для оцінювання якості процесів СУЯ, чого обов'язково вимагає міжнародний стандарт.

Висновки до другого розділу

У результаті здійсненого аналізу виявлено, що методи кількісної оцінки мають широке застосування, і залежно від поставленої задачі, їх використання дасть більш обґрунтовані рішення. Процеси СУЯ та система в цілому повністю відповідають вимогам до об'єктів кваліметрії, це дозволяє зробити висновок, про доцільність застосування методів кількісної оцінки в управлінні якістю процесами СУЯ на підприємствах.

Розглянуті існуючі лінійні та не лінійні залежності, які здавна застосовуються у кваліметрії. Крім недоліків, притаманних цим залежностям, всій цій групі методик властивий той загальний недолік, що використовується один і той вид залежності для різних показників.

Однак це не означає, що формулами, що описують лінійну і нелінійну залежність, не можна користуватися. В даний час у більшості вітчизняних методик для оцінки властивостей використовуються лінійні залежності, а в багатьох зарубіжних - нелінійні. Але потрібно мати на увазі, що незважаючи на велику кількість методик, необхідність у розробці більш точних і достовірних моделей залишається актуальним завданням

Пропонується дослідити та застосовувати логістичну функцію для отримання оцінок одиничних показників якості будь-яких об'єктів кваліметрії на безрозмірній шкалі. Застосування логістичної функції дозволяє отримувати математичну залежність, що забезпечує оцінки показників якості на безрозмірній шкалі, незалежно від природи об'єкту кваліметрії. Для цього необхідно знати мінімальне та максимальне допустимі значення об'єктів кваліметрії.

Важливо відзначити, що логістична функція має точку перегину. Цей змінний характер є ключовим для кваліметрії, оскільки відображає принцип послаблення зміни функції на краях. Логістична функція особливо підходить там, де загальна кількість має верхню межу, а початкове зростання є експоненціальним, наприклад, у випадках поширення чуток чи захворювань серед обмеженої популяції чи зростання бактерій або людської популяції при обмежених ресурсах.

Для апробації методики застосування запропонованої функціональної залежності для оцінювання якості об'єктів різної природи приведені приклади. У якості об'єктів кваліметрії пропонується оцінювати продукцію, процес та систему. У якості продукції, як об'єкту кваліметрії, розглянемо олію соняшникову (олія) на етапі виробництва. Так як олія являється продуктом харчування, то до її якості пред'явлено жорсткі вимоги, які указані в технічному регламенті та нормативних документах.

Крім того, у якості об'єкту кваліметрії, приведено приклад показників якості одного із процесів олійного виробництва. Вибраний процес - «Надходження соняшника на підприємство».

Також розглянено результати застосування запропонованих методів і методик оцінювання діяльності кафедр університету, з метою подальшого управління. Як приклад, в рамках даного наукового дослідження, розглянуто навчальний процес. Як видно з наведеного прикладу, застосовуючи розроблену методику та запропонований вид математичної залежності можна її застосовувати для оцінювання якості процесів СУЯ, чого обов'язково вимагає міжнародний стандарт.

Список використаних джерел

1. Дякон В. М., Ковальов Л. Є. Моделі і методи теорії прийняття рішень. Київ: АНФ ГРУП, 2013. 604 с.
2. Лапченко Ю. С., Караченцев В. Є. Метрологічне забезпечення єдності вимірювань. Основні завдання метрологічного забезпечення. *Перспективні технології та прилади*. 2015. №7. С. 59-63.
3. Кисец Д. Х. Информационно-квалиметрический метод определения допустимых погрешностей измерительного контроля параметров продукции. *Приборы и системы управления*. 1984. №11.
4. Калашнік І. І. Контроль та управління якістю продукції на промислових підприємствах . *Держава та регіони. Серія: Економіка та підприємництво*. 2009. № 1. С. 53–57.
5. Шаповал М. І. Менеджмент якості. Київ: Знання, 2007. 471 с.
6. 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: 10.01.2024).
7. Азгальдов Г. Г., Райхман Э. П. О квалиметрии. Москва: Издательство стандартов, 1972. 172 с.
8. Азгальдов Г. Г. О количественной оценке качества. *Техническая эстетика*. 1966. № 9.
9. Азгальдов Г.Г. О взаимосвязи качества и потребительской стоимости. *Стандарты и качество*. 1971. № 1.
10. Гунькало А., Бичківський Р. Оцінка впливу сертифікації системи управління якістю на виготовлення якісної продукції. *Вимірювальна техніка та метрологія*. 2006. Вип. 67. С. 184 - 190.
11. Бичківський Р., Гунькало А. СУЯ: оцінювання ефективності функціонування. *Стандартизація, сертифікація, якість*. 2005. № 4. С. 42 - 46.
12. Азгальдов Г. Г. Методы измерений и оценки качества продукции *Стандарты и качество*. 1969. № 8. С. 55-57.

13. Райхман Э.П. К вопросу оценки показателей качества. *Стандарты и качество*. 1969. № 9. С. 42-48.
14. Райхман Э. П. Некоторые недостатки методик комплексной оценки качества изделий машиностроения. *Стандарты и качество*. 1969. № 1.
15. Бурдун Г. Д., Волосов С.С. Проблема повышения качества и активный контроль в машиностроении. *Стандарты и качество*. 1968. № 10.
16. Dunk A.S. Product quality, environmental accounting and quality performance. *Accounting, Auditing & Accountability Journal*. 2002. Vol. 15 No. 5. P. 719-732.
17. Вентцель Е. С. Исследование операций. *Наука и жизнь*. 1968. №12.
18. Burt, Cyril. Information Theory and Aesthetic Education. *Journal of Aesthetic Education*. 1966. vol. 1. no. 2. P. 55–69.
19. Целикова А. Т. Аттестация продукции и рентабельность. *Стандарты и качество*. 1969. № 10.
20. Федоров М. В. О комплексной оценке качества промышленных изделий. *Техническая эстетика*. 1966. № 3. С. 25-29.
21. Крапивенский З. Н., Кураченко Ю. П., Шпекторов Д. М. Оценка качества продукции. Москва: Изд-во стандартов, 1968. 157 с.
22. Hamsher, Donald H. Operational evaluation of research and development. *In: Conf. Proc. Nat. Winter Convent. Military Electron*. 1964.
23. Jan van Ettinger, J Sittig. More ... through quality. Rotterdam: International Quality Centre, 1965. 276 p.
24. Черняк О. М., Сороколат Н. А., Бурдейна В. М., Фатеева Л. Ю., Багаев 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.
25. Грінченко Г.С., Багаев І.О., Тріщ Ю.В., Грінченко В.В. Кваліметричні підходи до оцінювання якості індикаторів сталого розвитку. *Якість, стандартизація та метрологічне забезпечення: матеріали II міжнар. наук-практ. конф. (м. Харків, 14-15 березня 2023 року)*. Харків, 2023. С. 111.

26. Роосе Э. О комплексной оценке качества. *Техническая эстетика*. 1968. № 7.
27. Томашевский А. Попытка количественной оценки критериев качества измерительных устройств. *Pomary, automatyko, kontrolia*. 1966. № 12. С. 8–9.
28. Harrington E. C. Jr. The desirability Function. *Industr. Quality Control*. 1965. P. 2–9.
29. Азгальдов Г. Г. А. В. Гличев, Э. П. Райхман. Квалиметрия – наука об измерении качества продукции. *Стандарты и качество*. 1968. №1. С. 34–40.
30. 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.
31. Трищ Г. М. Розробка методології оцінювання процесів систем управління якістю підприємств з урахуванням вимог міжнародних стандартів : дис. канд. техн. наук: 05.01.02. Львів, 2024. 169 с.
32. 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.
33. 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.
34. 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.
35. Derringer G., Suich R. Simultaneous Optimization of Several Response Variables. *Journal of Quality technology*. 1980. Vol. 12, No 4, Oktober. P. 83-89.
36. 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.
37. Kim N., Trisch R., Gorbenko E., Dotsenko N, Kiporenko A. Development of qualimetric approaches to the processes of quality management system at enterprises

according to international standards of the ISO 9000 series. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2016. №. 4 (3). С. 18-24.

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

39. Кім Н.І. Трищ Р.М. , Кіпоренко Г.С., Денисенко А.М. Оцінювання ризиків функціонування систем управління якістю (ДСТУ ISO 9001:2015) вищих навчальних закладів. *Системи управління, навігації та зв'язку Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка*. 2016. Вип. 2(38). С. 133 -136.

40. 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 вимірвальна техніка*. 2016. №4(40). С. 143 -145.

41. 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.

42. 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.

43. 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.

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

45. 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.

46. 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.*

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

48. 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.*

49. Катрич О.О., Багаєв І.О., Рибальченко Т.П. Застосування функціонально – залежних статистик для оцінювання якості об'єктів кваліметрії різної природи. *Наукові дослідження молоді з проблем європейської інтеграції: збірник тез доповідей XIII Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів до 80-річчя від дня заснування банківського інституту (5 квітня 2024 року, м. Харків, Україна). Харків : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2024. С. 324-327.*

РОЗДІЛ 3. МЕТОД ПРОГНОЗУВАННЯ РИЗИКІВ ЯКОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ НА ОСНОВІ ТЕОРІЇ ЛАНЦЮГІВ МАРКОВА

Прогнозування ризиків якості технологічних процесів використовуючи експериментальні (статистичні) моделі, являється одним з найпоширеніших підходів до прогнозування розвитку процесів у соціально-економічних, фінансових, технічних та інших системах. Такий підхід використовується для короткострокового та середньострокового прогнозування обсягів виробництва та запасів продукції, оцінювання альтернативних економічних стратегій, формування бюджетів підприємств і держави, управління ризиками різних типів та розв'язання інших завдань.

Зокрема, в даному розділі розглядається можливість застосування один з методів прогнозування, наприклад, методи на основі ланцюгів Маркова. Цей метод дає можливість отримати якісні прогнози для лінійних та нелінійних процесів. Актуальною є задача оцінювання ймовірнісних прогнозів, потреба в яких швидко зростає як у суто інженерних застосуваннях, так і у фінансово-економічних системах. Так, байєсові мережі довіри являють собою ефективний інструмент описування та прогнозування процесів зі структурними та параметричними невизначеностями різних типів, їх можна застосовувати також для розв'язання проблем передбачення при відповідній постановці задачі [1].

Розглядатимемо виріб як об'єкт кваліметрії, що виникає в результаті технологічного процесу його виготовлення [2]. Оскільки вироби є результатом технологічних процесів, ми дослідимо їх основні характеристики. Схема функціонування технологічного процесу представлена на рисунку 3.1.

Так як для прогнозування якості технологічних процесів буде застосовуватися теорія ланцюгів Маркова, то будемо оперувати поняттями статистичної інформації. Під статистичною інформацією будемо розуміти оцінки показників якості реалізації технологічних процесів. Оцінки показників якості реалізації технологічних процесів, це оцінки, отримані за допомогою функціональної залежності,

запропонованої у другому розділі даної наукової праці, а саме за формулами 2.13 та 2.14.

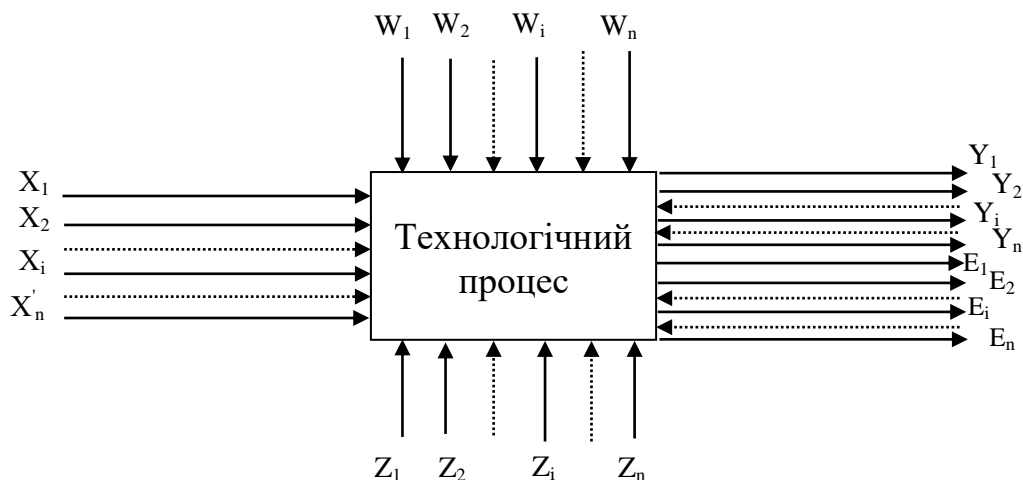


Рис. 3.1. Схема функціонування технологічного процесу, яка складається з вхідних контролюючих параметрів $X_1 \dots X_n$, управляючих контролюючих факторів $Z_1 \dots Z_n$, не контролюючих факторів $W_1 \dots W_n$, вихідних показників якості $Y_1 \dots Y_n$ та вихідних економічних показників $E_1 \dots E_n$

Технологічний процес представляє собою складну систему, яку необхідно оцінювати, аналізувати, прогнозувати і, за необхідності, коригувати, щоб забезпечити високу якість продукції. Задані показники якості виробу можна досягти одним з двох основних методів: індивідуальним виготовленням, яке зазвичай застосовується до одиничних виробів, де використовується ручна праця та методи пригонки, або методом автоматичного виготовлення виробів із заданими параметрами якості на налагодженому обладнанні. У межах даної дисертаційної роботи ми будемо досліджувати метод автоматичного виготовлення виробів, оскільки плануємо застосовувати методи математичної статистики для прогнозування якості технологічних процесів.

Метод автоматичного виготовлення виробів на налагодженому обладнанні характеризується варіацією фактичних значень показників якості через вплив випадкових і систематичних факторів. Систематичний фактор є постійним або змінюється закономірно для всіх виробів партії. Серед систематичних факторів, які впливають на варіацію показників якості, є неточності, знос та деформація

обладнання та інструменту. Випадкові фактори, на відміну від систематичних, мають різні значення для різних виробів однієї партії і не підпорядковуються жодній видимій закономірності. Випадкові фактори спричиняють варіацію показників якості виробів, виготовлених в однакових умовах. Ця варіація пояснюється комбінацією різних випадкових причин, які неможливо точно передбачити, і які діють одночасно та незалежно одна від одної.

Через вплив випадкових факторів під час виробництва партії виробів на налагодженому обладнанні фактичні показники якості кожного виробу є випадковими величинами, які можуть варіюватися в межах певного інтервалу. Для виявлення та аналізу закономірностей розподілу цих показників при їх розсіянні ефективно використовуються методи математичної статистики. Багато технологічних процесів потребують сучасних методів управління, таких як самоналагоджувальні системи адаптивного та автоматичного управління. Ці системи забезпечують оптимальний хід технологічного процесу навіть за умов випадкових коливань характеристик матеріалу, зносу обладнання, а також при температурних, силових та інших збуреннях.

У керуванні якістю за таких умов широко застосовується математична статистика, головним чином для проведення статистичного аналізу. Основною метою такого аналізу є вивчення властивостей випадкової величини. Експериментальною основою для цього служать результати повторних вимірювань значень досліджуваної випадкової величини, які часто розглядаються як випадкова вибірка з генеральної сукупності.

При оцінюванні якості продукції за допомогою статистичного аналізу кожне конкретне завдання може включати два етапи: обробку вибірки та прийняття рішення. Інакше кажучи, кожне завдання статистичного аналізу спрямоване на прийняття рішення. Оскільки обсяг і випадковий характер вибірки створюють умови невизначеності, прийняття рішення має ймовірнісний характер.

3.1. Оцінювання якості статистичних даних процесу розсіювання оцінок показників якості

Для ефективного управління процесом, без затримок, необхідно мати прогноз його розвитку, щоб завчасно впливати на очікувані відхилення від бажаного результату. Передбачення стану показників процесу у будь-який момент часу – це основне завдання при моделюванні кожного процесу. Моделювання динаміки показників процесів дозволяє зробити прогнози з метою подальшого прийняття управлінських рішень. Іншими словами, можна керувати модельованим технологічним процесом, передбачаючи його можливі відхилення від поставленої мети.

У соціології, біології та інших природничих науках для вирішення подібних завдань застосовують математичні моделі, такі як ланцюги Маркова. Однак, в галузі управління та вивченні систем якості на підприємствах теорія Марківських процесів ще не отримала широкого використання.

Зміна показника якості у будь-якому процесі системи управління якістю називається реалізацією цього процесу з часом. Для застосування ланцюгів Маркова, як математичного апарату, потрібно, щоб реалізація процесу була стаціонарною, випадковою і ергодичною. Тільки при таких умовах рекомендують застосовувати ланцюги Маркова, в іншому випадку прогноз буде неточним. Тому перед застосуванням теорії ланцюгів Маркова для оцінки і прогнозування процесів необхідно перевірити його на стаціонарність, випадковість та ергодичність.

3.1.1. Перевірка оцінок показників якості на наявність грубих помилок

Перед використанням методів ланцюгів Маркова для аналізу динаміки процесу управління якістю на підприємстві, рекомендується перевірити експериментальні дані загального показника якості на наявність грубих помилок. Як вже було зазначено, наявність таких помилок може негативно вплинути на результати аналізу процесу та, відповідно, на об'єктивність планування заходів щодо його покращення.

У випадку, коли серед зібраних даних загального показника якості процесу за певний період часу виявляються результати, що суттєво відрізняються від інших, і власник процесу впевнений, що це є груба помилка, то їх недоцільно враховувати в подальшому аналізі динамічних характеристик. У випадку відсутності такої впевненості для визначення, чи є дані про якість процесу, які значно відрізняються від інших, результатом грубої помилки чи випадкового відхилення, доцільно використовувати один із методів виявлення грубих помилок в експерименті, наприклад, метод Романовського [3].

Метод Романовського полягає у використанні статистичних характеристик, отриманих з даних загального показника якості процесу у часі (рисунок 3.2). Ці характеристики включають середнє арифметичне значення часового ряду \bar{X} та середнє квадратичне відхилення S .

У порівнянні з іншими методами, які дозволяють виявити та виключити грубі похибки з дослідження [3], метод Романовського відрізняється більшою простотою в застосуванні. Після виключення одного зі значень, що суттєво відрізняється у експериментальних даних, не потрібно повторно перераховувати характеристики \bar{X} та S .

Для визначення того, чи величина Fx_i , яка значно відрізняється від інших експериментальних даних, є грубою похибкою, потрібно обчислити величину r за формулою:

$$r = \frac{|Fx_i - \bar{X}|}{S}, \quad (3.1)$$

Отримане значення r порівнюється з табличним допустимим r^* (табл. 3.1) [3]: якщо $r < r^*$, то Fx_i є випадковою величиною і її треба враховувати під час аналізу динамічних характеристик технологічного процесу; якщо $r > r^*$, то значення Fx_i є грубою похибкою, і його потрібно виключити з подальшого дослідження. Таким чином треба перевірити й всі отримані значення впродовж досліджуваного періоду часу.

Допустимі значення r^*

n	20	25	30	40	50	120
r^*	2,14	2,1	2,08	2,05	2,02	1,99

Отже, проведений аналіз експериментальних даних, щодо оцінки узагальненого показника якості процесу за методом Романовського, допоможе підготувати статистичну інформацію для подальшого вивчення динамічних характеристик оцінок показників якості технологічного процесу за допомогою методів непараметричної статистики.

3.1.2. Оцінювання стаціонарності процесу розсіювання оцінок показників якості

Реалізація будь-якого технологічного процесу на підприємстві представляє собою складну систему явищ, що визначається багатьма факторами, більшість з яких може змінюватися з часом. Однак, навіть незначна зміна одного з цих факторів, зазвичай, призводить до нестаціонарності всієї реалізації. Це значно ускладнює аналіз змін у процесі з плином часу та управління процедурою пошуку оптимальних умов його практичної реалізації.

Для доведення стаціонарності випадкового процесу теоретично необхідно переконатися, що всі вивчені статистичні характеристики залишаються незмінними при зсуві у часі. Однак на практиці таку перевірку виконати практично неможливо, оскільки існує безліч статистичних характеристик, які потрібно перевірити, а для повного опису випадкового процесу як ансамблю необхідно обчислити всі ці характеристики. Тим не менш, за умови деяких важливих припущень, які часто виконуються для більшості технологічних випадкових процесів, можна використовувати ряд практичних критеріїв стаціонарності [4].

Нехай розсіювання оцінок показника якості процесу з часом має такий вигляд (рисунок 3.2).

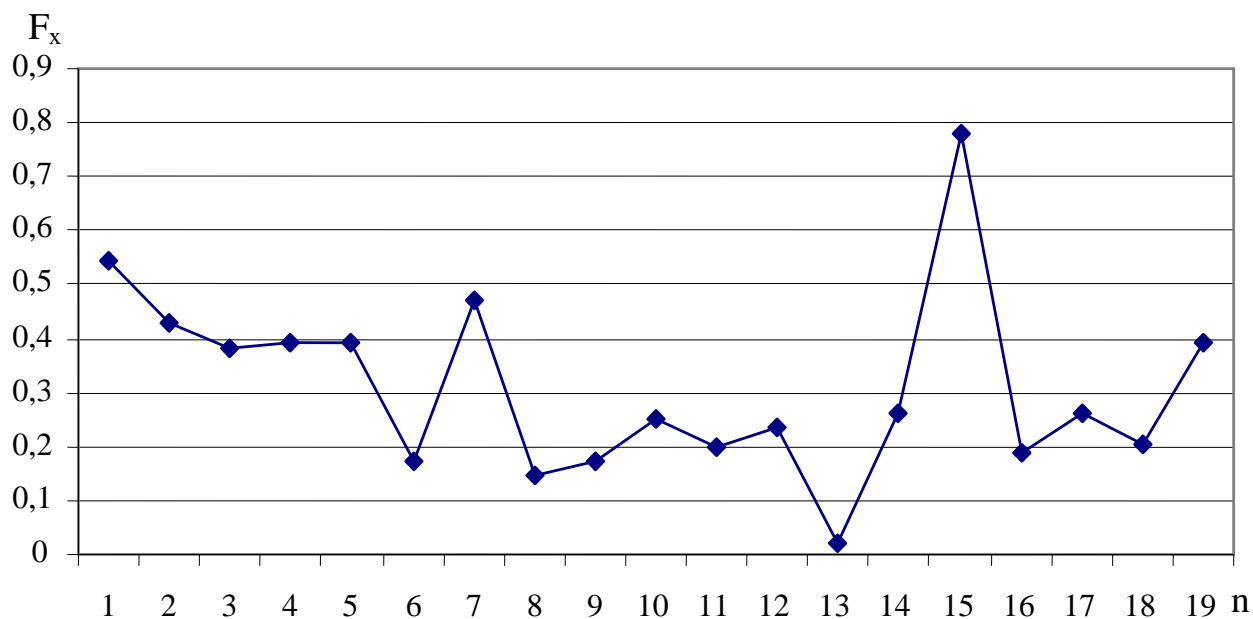


Рис. 3.2. Схема розсіювання оцінок узагальненого показника якості технологічного процесу з часом

Оцінки показників якості виміряні в дискретні проміжки часу i знаходяться в межах допусків, встановлених нормативним документом. Крім того, реалізація процесу повинна містити не менше 20 значень.

1. Визначаємо середнє значення \overline{X}_i за формулою:

$$\overline{X}_i = \frac{1}{n} \sum_{s=1}^n \tilde{\sigma}_i, \quad (3.2)$$

де n - кількість значень вимірних показників якості процесу; i - порядковий номер певного значення.

2. Складаються послідовності виду:

$$X_1, X_2, X_3, \dots, X_n. \quad (3.3)$$

Якщо відомий закон розподілу випадкових величин, то можна скористатися параметричними критеріями. Однак для цього потрібно провести статистичні

дослідження, які часто потребують великої кількості даних. Зазвичай такі дані або відсутні, або їх важко зібрати. Тому, для подальшого аналізу, ми віддаємо перевагу непараметричним методам, які не потребують знання розподілу величин. Наприклад, критерій "Серій".

Припустимо, що послідовності значень $(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ представляють собою вибіркові значення оцінок випадкової величини розсіювання показника якості процесу у часі, які відповідають істинним середнім значенням μ_0 і істинним значенням середньоквадратичного відхилення σ_x^2 відповідно. Отже, дані величини відповідають таким величинам всієї генеральної сукупності. Якщо ця гіпотеза є правдивою, то зміни вибірових значень у послідовностях є випадковими і не містять тренду.

Згідно із зазначеною методикою, ми визначили значення випадкових величин (3.2). Тепер побудуємо варіаційний ряд, тобто упорядкуємо ці значення за зростанням і визначимо медіану.

$$X_{\text{med}} = \text{med } x_i \quad (3.4)$$

Кожне значення будемо класифікувати як плюс (+) або мінус (-) відносно медіани. Знак (+) вказуватиме на значення, що перевищують медіану, а знак (-) вказуватиме на значення, які розташовані нижче медіани. Послідовність спостережень, з обраними знаками плюс або мінус, може виглядати так:

$$++ - ++ - +++ - + - - + - - +++++ - - \quad (3.5)$$

Серією будемо називати послідовність однакових спостережень, які передують або слідуєть за спостереженнями іншої категорії або спостереження взагалі відсутні [4].

$$\underbrace{++}_1 \underbrace{-}_2 \underbrace{++}_3 \underbrace{-}_4 \underbrace{+++}_5 \underbrace{-}_6 \underbrace{-}_7 \underbrace{+}_8 \underbrace{-}_9 \underbrace{-}_10 \underbrace{++++}_11 \underbrace{-}_12 \quad (3.6)$$

При кількості серій у послідовності (3.6), яка дорівнює дванадцятьом, можна визначити, чи є результати незалежними випадковими спостереженнями однієї і тієї ж випадкової величини. Якщо послідовність з n спостережень є незалежними, тобто ймовірність зміни знаків (+) і (-) не змінюється від спостереження до спостереження, то кількість серій у вибірці стає випадковою величиною r з середнім значенням [4]:

$$\mu_r = \frac{2N_1N_2}{N} + 1 \quad (3.7)$$

і дисперсією

$$D_r = \frac{2N_1N_2(2N_1N_2 - N)}{N^2(N - 1)}, \quad (3.8)$$

де N_1 - кількість спостережень зі знаком (+), N_2 - кількість спостережень зі знаком (-).

У випадку, коли

$$N_1 = N_2 = \frac{N}{2} \quad (3.9)$$

співвідношення 3.7 і 3.8 будуть мати наступний вигляд:

$$\mu_r = \left(\frac{N}{2} \right) + 1 \quad (3.10)$$

$$D_r = \frac{(N(N - 2))}{4(N - 1)} \quad (3.11)$$

Якщо є підстави вважати, що послідовність спостережених значень містить тренд, тобто ймовірність зміни знаків (+) або (-) змінюється, то можна провести перевірку наявності тренду. Перше, вводимо гіпотезу про відсутність тренду, тобто припускаємо, що послідовність N спостережень є незалежними значеннями однієї і тієї ж випадкової величини. Потім, припускаючи, що кількість значень зі знаком (+) дорівнює кількості значень зі знаком (-), можемо вважати, що кількість серій у послідовності має вибірковий розподіл, який представлений у таблиці [4]. Цю гіпотезу можна перевірити на будь-якому рівні значущості α , порівнюючи кількість серій з граничними значеннями: $g(1-\alpha)$ та $G(\alpha)$, вказаними в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2.

Критичні значення $g(\alpha; N_1; N_2)$ та $G(\alpha; N_1; N_2)$ [4]

n=N/2	α					
	0,99	0,975	0,95	0,05	0,025	0,01
5	2	2	3	8	9	9
6	2	3	3	10	10	11
7	3	3	4	11	12	12
8	4	4	5	12	13	13
9	4	6	6	13	14	15
10	5	6	6	15	15	16
11	6	7	7	16	16	17
12	7	7	8	17	18	18
13	7	8	9	18	19	20
14	8	9	10	19	20	21
15	9	10	11	20	21	22
16	10	11	11	22	22	23
18	11	12	13	24	25	26
20	13	14	15	26	27	28
25	17	18	19	32	33	34
30	21	22	24	37	39	40

Продовження таблиці 3.2

35	25	27	28	43	44	46
40	30	31	33	48	50	51
45	34	36	37	54	55	67
50	38	40	42	59	61	63
55	43	45	46	65	66	68
60	47	49	51	70	72	74
65	52	54	56	75	77	79
70	56	58	60	81	83	85
75	61	63	65	86	88	90
80	65	68	70	91	93	96
85	70	72	74	97	99	101
90	74	77	79	102	104	107
95	79	82	84	107	109	112
100	84	86	88	113	115	117

Отже, для визначення стаціонарності розсіювання оцінок показників якості процесів потрібно визначити кількість серій r і порівняти її з граничними значеннями: мінімальним та максимальним кількостями серій при даному рівні значущості α , тобто потрібно, щоб виконувалася така нерівність:

$$g(1-\alpha; N_1, N_2) < r < G(\alpha; N_1, N_2) \quad (3.12)$$

де r - кількість серій; α - рівень значущості; g і G – нижня та верхня межа для кількості серій.

Отримуємо наступне: якщо кількість серій, визначена таким чином, що лежить поза межами вказаного інтервалу, то можна вважати, що розсіювання показників якості процесу є стаціонарним на даному рівні значущості α ; а в протилежному випадку, якщо кількість серій потрапляє в межі цього інтервалу, розсіювання не може бути стаціонарним.

3.2. Методика прогнозування оцінок показників якості технологічного процесу

3.2.1. Визначення приналежності реалізацій технологічних процесів до сімейства марківських

Згідно з [3], процес – це діяльність, яка перетворює вхідні дані на вихідні. Іншими словами, це модель "чорний ящик", результатом якої є кількісні вимірювання. Такі процеси можуть включати будь-які технологічні або управлінські процеси, які можна оцінити.

При описі результатів реалізації процесів зі зміною часу часто застосовують методи статистичного моделювання, такі як метод Монте-Карло. Це пов'язано з імовірнісним характером технологічних параметрів, які підлягають управлінню, а також з можливостями довгострокових імовірнісних прогнозів. Статистична модель може досить точно відтворювати реальний процес, але для її побудови потрібен аналіз інформації, отриманої в результаті вимірювань показників якості процесу. Чим більший обсяг вихідної інформації, тим більш достовірною і надійною буде статистична модель.

Розглянемо основні поняття та принципи марківських процесів, які детально описані в ряді наукових праць [5-11].

Функція $X(t)$ вважається випадковою, якщо її значення при будь-якому аргументі t є випадковою величиною. Випадкова функція $X(t)$, аргументом якої є час, називається випадковим процесом. Марківські процеси відіграють ключову роль серед інших видів випадкових процесів, що зумовлено наступними факторами:

1. Для марківських процесів розроблений добре структурований математичний апарат, що дозволяє вирішувати багато практичних завдань.
2. За допомогою марківських процесів можна описати (точно чи наближено) поведінку досить складних систем.

Випадковий процес, що відбувається в будь-якій системі S , називається марківським, якщо він має таку властивість: для будь-якого моменту часу t_0 ймовірність будь-якого майбутнього стану системи (при $t > t_0$) залежить лише від її

поточного стану (при $t = t_0$) і не залежить від того, як та коли дана система потрапила у цей стан [5].

В даній роботі будуть розглядатися тільки дискретні марківські процеси. Дискретні марківські процеси можна зручно представити за допомогою графа станів (рисунок 3.3), де кружки позначають стани Q_1, Q_2, \dots, Q_n системи Q , а стрілки вказують можливі переходи між станами. На графі показуються лише безпосередні переходи, а не переходи через інші стани. Можливі затримки в одному і тому ж стані позначаються "петлею", тобто стрілкою, що виходить з даного стану і входить в нього ж. Кількість станів системи може бути як скінченною, так і нескінченною. Приклад графа станів системи S поданий на рисунку 3.3.

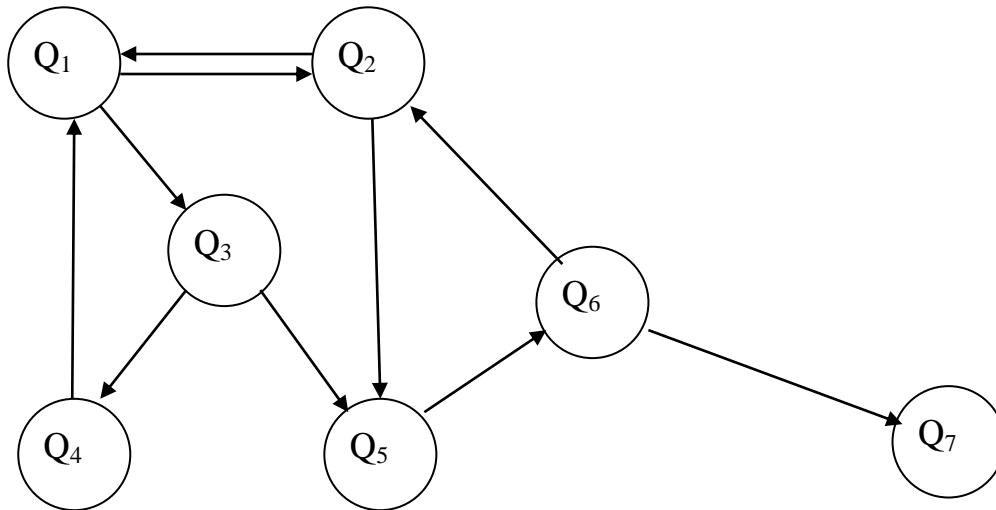


Рис. 3.3. Граф станів реалізації процесу

Марківський ланцюг, що є процесом з дискретними станами і часом, відомий як марківський випадковий процес. Послідовність станів $Q(0), Q(1), \dots, Q(k)$ може бути сприйнята як послідовність випадкових подій. Марківський ланцюг, це така послідовність подій, якщо ймовірність переходу з будь-якого стану Q в наступний стан Q_1 не залежить від історії перебування системи у стані Q_i . Початковий стан $Q_{(0)}$ може бути заданим наперед або обраним випадково.

Ймовірностями станів ланцюга Маркова називаються ймовірності $P_j(k)$ того, що після k - го кроку (i до $(k + 1)$ -го) система S буде перебувати в стані Q_i ($i = 1, 2, \dots, n$). Очевидно, що для будь-якого k :

$$\sum_{i=1}^n P_i(k) = 1$$

Початковий розподіл ймовірностей марківського ланцюга - це розподіл ймовірностей станів на початку процесу:

$$P_1(0), P_2(0), \dots, P_i(0), \dots, P_n(0) \quad (3.13)$$

Якщо початковий стан системи $Q(0) = Q_i$, то початкова ймовірність $P_i(0) = 1$.

Ймовірність переходу з одного стану в інший через декілька кроків (відома як перехідна ймовірність) визначає, наскільки ймовірно системі Q перейти у стан Q_j після k -го кроку, якщо безпосередньо перед цим вона була в стані Q_i . Оскільки система може перебувати в одному з n станів, для кожного моменту часу t потрібно визначити n^2 ймовірностей переходу P_{ij} , які можна подати у вигляді матриці.

$$\|p_{ij}\| = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{i1} & P_{i2} & \dots & P_{in} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{n1} & P_{n2} & \dots & P_{nm} \end{bmatrix} \quad (3.14)$$

де P_{ij} – величина ймовірності переходу за один крок із стану Q_i в стан Q_j .

Матриця (3.14) називається матрицею переодів (перехідною матрицею).

У тому випадку, коли ймовірності переходу не залежать від номера кроку (від часу), а лише від того, з якого стану в який відбувається перехід, то такий ланцюг називається однорідним ланцюгом Маркова.

Перехідні ймовірності у однорідному марківському ланцюгу, позначені як P_{ij} , утворюють квадратну матрицю розміром $m \times n$. Деякі особливості цієї матриці варто відзначити:

1. Кожен рядок представляє вибраний стан системи, а елементи матриці вказують ймовірності всіх можливих переходів за один крок з цього стану (з i -го), включаючи можливий перехід у той самий стан.

2. Елементи стовпців вказують на ймовірності всіх можливих переходів системи за один крок у заданий (j -ий) стан.

Сума ймовірностей у кожному рядку дорівнює одиниці, бо переходи формують повну систему несумісних подій:

$$\sum_{j=1}^n P_{ij} = 1, \quad i = \overline{1, n}$$

Головна діагональ матриці ймовірностей переходу містить ймовірності P_{ij} , які вказують на те, що система залишиться в стані S_i і не вийде з нього.

Для марківських процесів, знання результату останнього вимірювання показника якості процесу дозволяє при прогнозуванні майбутнього показника ігнорувати інформацію про результати попередніх [5,12,13]. Але треба зауважити, що це правильно лише у випадку, коли результат останнього вимірювання процесу відомий точно.

3.2.2. Прогнозування ризиків низької якості технологічних процесів

Одним з основних завдань моделювання будь-яких процесів є проблема знаходження часу досягнення меж заданого інтервалу. Для розв'язання подібних завдань у соціології, біології та природничих дисциплінах використовують ланцюги Маркова. Однак теорія марківських процесів не знаходила досі широкого застосування в технічних науках при оцінюванні ризиків низької якості технологічних процесів.

Під якістю технологічних процесів розуміють розташування дійсних значень його показників якості у заданих допусках, які регламентовані технічною документацією. Технологічний процес являється більш якісним, якщо його

показники близькі до оптимальних. У більшості випадків оптимальними показниками якості являються ті, які близькі до середини поля допуску.

Експериментальні дослідження дають змогу довести належність реалізації технологічних процесів до ергодичних регулярних ланцюгів Маркова. Визначення перехідної та граничної матриць, а також інших характеристик марківського ланцюга дасть змогу прогнозувати низьку якість технологічних процесів. Іншими словами, прогнозувати відхилення показників якості від оптимального значення. Недоліком такого підходу є низка припущень, які призводять до помилки передбачення очікуваного відхилення. Так ланцюги Маркова ефективні за стаціонарного ергодичного процесу, де всі статистичні характеристики не змінюються в часі. В іншому разі прогноз буде менш точним.

Познайомимося докладніше з властивостями марківських процесів на прикладі вивчення характерного подання цього класу - скалярного випадкового процесу $X(t)$, заданого стохастичним диференціальним рівнянням [6].

$$\frac{dx(t)}{dt} = a(x,t) + b(x,t)v(t), \quad (3.15)$$

де $a(t)$, $b(t)$ – задані безперервні не випадкові функції; $v(t)$ – гаусова центрована перешкода з інтенсивністю $\ell(t)$.

Відомо, що за виконання умов типу Ліпніца існує єдиний розв'язок рівняння (3.15), який відповідає початковому значенню $x(t_0)$.

$$x(t) = x(t_0) + \int_{t_0}^t a(x,t) dt + \int_{t_0}^t b(x,t)v(t) dt \quad (3.16)$$

Структура рішення (3.16) незалежно від різних перерізів перешкод (t) забезпечує наявність марківської властивості у процесі $x(t)$, що виражається в тому, що властивості процесу на інтервалі $t > t_0$ (у майбутньому) визначаються значенням,

що було прийняте в момент t_0 (у теперішньому) і не залежать від значень на інтервалі $t < t_0$ (у минулому), зокрема від похідних процесу $x(t)$, що існували в момент $t_0 - 0$.

Оскільки послідовність випробувань описуються ланцюгами Маркова, то вплив попередніх дослідів на наступні має ймовірнісний характер. В іншому разі, якби цей вплив характеризувався якоюсь детермінованою залежністю, випробування можна було б і не проводити. Оскільки результати майбутніх випробувань залежать від попередніх, то їх необхідно характеризувати умовними ймовірностями.

Припустимо, що реалізація технологічного процесу у будь який момент часу може перебувати у одному зі станів S_1, S_2, \dots, S_N та може змінювати свій стан лише у дискретні моменти часу t_1, t_2, \dots, t_k . Щоб процес у такій системі описувався простим ланцюгом Маркова, необхідно дотримання марківської властивості, яка в даному випадку формулюється наступним чином: ймовірність перейти у будь-який стан S_i у момент часу t_{k+1} за умови, що у момент часу t_k система перебуває у стані S_j , залежить лише від стану S_j і не залежить від того, у яких станах знаходилась система у моменти t_{k-1}, t_{k-2} і т. д.

Якщо кількість N є скінченою, то марківський ланцюг називається скінченим [7]. Нижче ми обмежимося розглядом лише цього випадку. На інтервали часу між моментами t_i та t_{i+1} не накладаються жодні обмеження. Важливо лише, щоб моменти t_i були фіксованими. Для спрощення, зазвичай припускають, що $t_{i+1} - t_i = \text{const}$.

Отже, марківські ланцюги дискретні як за станами, так і за часом. Дискретність станів має явну фізичну основу, а дискретність часу є менш очевидним поняттям. Важливо розуміти, що термін "дискретний час" не суперечить загальним уявленням про плин часу загалом. Він лише виражає той факт, що певний процес змінюється лише при певних дискретних значеннях t .

Процес, описаний ланцюгом Маркова, може бути проілюстрований розподілом оцінок одиничних показників якості реалізації будь якого процесу. Вони можуть розподілятися вгору або вниз відносно середини діапазону розсіювання. Цей розподіл пояснюється впливом випадкових факторів.

За термінологією Марківських процесів, вищезазначене можна узагальнити так: діючий технологічний процес не має невідновлюваних станів і представляє собою ергодичну множину станів. Ергодична множина станів - це така множина, в яку можна з будь-якого стану потрапити у будь-який [8].

Як зазначено вище, для марківських процесів, знання результату останнього випробування дозволяє при прогнозуванні майбутнього випробування знехтувати інформацією про результати попередніх випробувань. Важливо пам'ятати, що це стосується лише випадку, коли результат останнього випробування відомий точно. Наприклад, якщо ми знаємо лише те, що останній експеримент призвів до результату S_i , то знання того, чи є істинним висловлення, пов'язане з попередніми експериментами, може вплинути на наш прогноз майбутнього.

Повертаючись до технологічного процесу, можна стверджувати, що з будь-якого початкового стану процесу, після достатньо великої кількості кроків він може перебувати у будь-якому стані, тобто процес є регулярним.

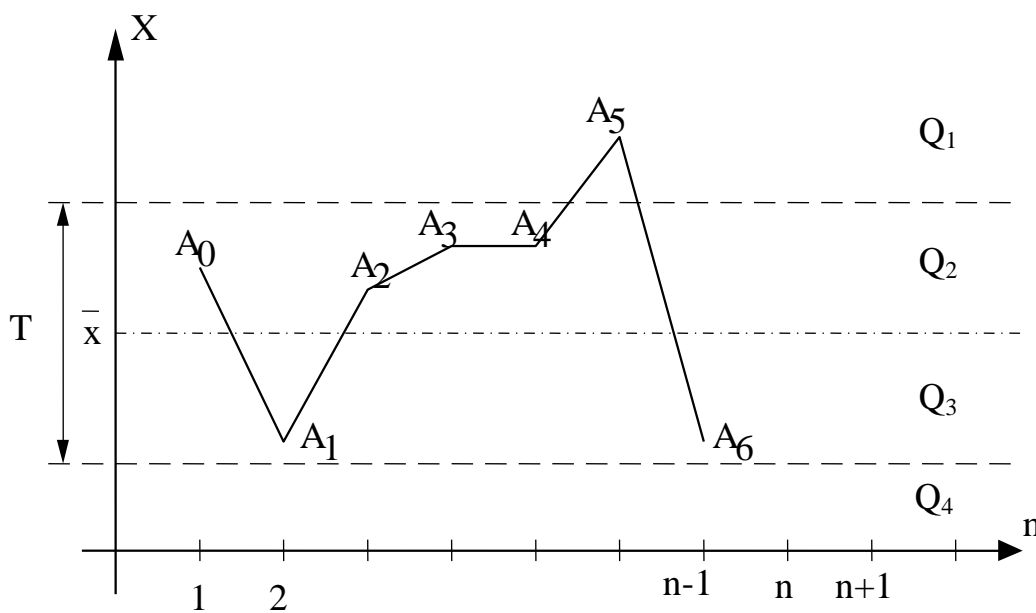


Рис. 3.4. Типові випадки розподілу дійсних розмірів

Аналізуючи точкову діаграму розсіювання оцінок одиничних показників якості технологічних процесів (рисунок 3.4), можна зробити такі спостереження:

1. процес може переходити з однієї зони в протилежну відносно середини поля допуску, наприклад: (перехід A_0-A_1) або навпаки (перехід A_1-A_2);
2. процес може продовжувати рух у тому ж напрямку (перехід A_2-A_3);
3. процес може залишатися на досягнутому рівні (перехід A_3-A_4);
4. процес може виходити за межі допуску, але тут же повертатися в допустимі межі (перехід $A_4-A_5-A_6$).

Отже, стани системи Q_1, Q_2, \dots, Q_N у момент часу t_k необхідно характеризувати умовними ймовірностями p_{ij} тими, що система за один крок перейде у який-небудь стан Q_j за умови, що в момент t_{k-1} вона перебувала в стані Q_i . Ймовірності p_{ij} є основними характеристиками марківського ланцюга і називаються перехідними або ймовірностями переходу [10].

Так як будь яка система може знаходитися у одному з N станів, для кожного моменту часу t_k необхідно задати N^2 ймовірностей переходу p_{ij} , які зручно записати у вигляді матриці:

$$P_{ij} = \begin{pmatrix} p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1N} \\ p_{21} & p_{22} & \dots & p_{2N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_{N1} & p_{N2} & \dots & p_{NN} \end{pmatrix} \quad (3.17)$$

В позначеннях P_{ij} перший індекс вказує на стан системи в попередній момент часу, а другий вказує на можливий стан системи в наступний момент часу.

На першому етапі обчислюємо частоту знаходження процесу в відповідній зоні S_i (рисунок 3.5).

Де $N_i = \sum Q_i$ - кількість попадань в зону Q_i .

На другому етапі ми обчислюємо кількість переходів з i -ї зони в будь-яку іншу M_{ij} . Наприклад, скільки разів процес переходив з зони Q_2 в зону Q_5 , після чого рахуємо, скільки було переходів з цієї ж зони Q_5 в зону Q_2 і так далі.

Складемо вектор-стовпець попадання процесу в відповідну зону (3.18).

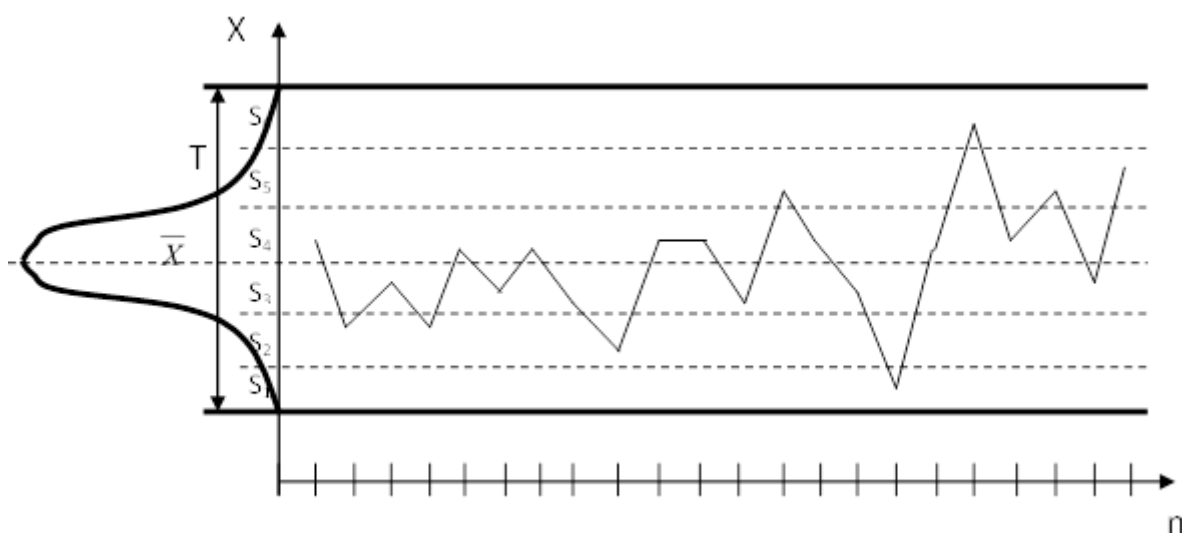


Рис. 3.5. Точкова діаграма розподілу оцінок показників якості за зонами

$$N_i = \begin{matrix} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \\ S_4 \\ S_5 \\ S_6 \end{matrix} \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \\ n_3 \\ n_4 \\ n_5 \\ n_6 \end{bmatrix} \quad (3.18)$$

Кількість переходів із Q_i -ї зони в зону Q_j складає наступну матрицю:

$$M_j = \begin{matrix} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \\ S_4 \\ S_5 \\ S_6 \end{matrix} \begin{bmatrix} S_1 & S_2 & S_3 & S_4 & S_5 & S_6 \\ M_{11} & M_{12} & \dots & \dots & \dots & M_{1n} \\ M_{21} & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ M_{n1} & \dots & \dots & \dots & \dots & M_{nn} \end{bmatrix} \quad (3.19)$$

Ймовірність переходу P_{ij} визначається співвідношенням:

$$P_{ij} = \frac{M_{ij}}{N_i}$$

$$P_{ij} = \begin{matrix} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \\ S_4 \\ S_5 \\ S_6 \end{matrix} \begin{bmatrix} S_1 & S_2 & S_3 & S_4 & S_5 & S_6 \\ P_{11} & P_{12} & \dots & \dots & \dots & P_{1n} \\ P_{21} & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{n1} & \dots & \dots & \dots & \dots & P_{nn} \end{bmatrix} \quad (3.20)$$

Особливістю цієї матриці є те, що в кожному рядку записані ймовірності всіх можливих переходів з обраного стану, включаючи перехід у самого себе. Ці переходи утворюють такий набір подій, що сума ймовірностей кожного рядка дорівнює одиниці. У такому випадку матриця переходу - це обов'язково квадратна матриця з не від'ємними елементами, що утворюють за рядками одиничну суму. Матриці такого типу в літературі називають стохастичними [9].

Ймовірності переходу - це ключові характеристики будь-якого марківського ланцюга. Проте за визначенням вони є умовними, і тому значення матриці переходу не визначає повністю марківський ланцюг. Якщо розглядати матрицю переходу на першому кроці, що визначає початок роботи системи, для виключення умовності необхідно також задати ймовірності початкових станів - початкові умови.

Ймовірності початкових станів $p_1^{(0)}, p_2^{(0)}, \dots, p_N^{(0)}$ є безумовними ймовірностями і утворюють матрицю-рядок $P_0 = (p_1^{(0)}, p_2^{(0)}, \dots, p_N^{(0)})$, сума елементів якої, згідно з умовою нормування, повинна дорівнювати одиниці. Характер розподілу ймовірностей початкових станів повністю визначається умовами задачі. Зокрема, в початковий момент система може знаходитися у кожному з N станів з однаковою ймовірністю. У цьому випадку $p_i^{(0)} = 1/N$ для всіх i . У випадку, коли початковий стан системи відомий точно, тоді $p_i^{(0)} = 0$ для всіх $i \neq j$ і $p_i^{(0)} = 1$.

Матриця переходу дає вичерпне уявлення про ймовірності можливих переходів за один крок. Звісно, виникає питання: як розрахувати ймовірності того, що система, яка знаходиться у даний момент у стані S_i , перейде у стан S_j за 2, 3, ..., n кроків. Іншими словами, потрібно знайти матриці переходу для заздалегідь заданої кількості кроків, якщо відома матриця переходу за один крок.

Коли йдеться про однорідний ланцюг Маркова, ймовірність переходу системи зі стану i у стан j за два кроки $p_{ij}(2)$ визначається наступним очевидним співвідношенням, яке враховує всі можливі шляхи переходу [10].

$$p_{ij}(2) = \sum_{k=1}^N p_{ik} p_{kj}, \quad i, j = 1, 2, \dots, N \quad (3.21)$$

де p_{ij} - елементи визначеної матриці переходу за один крок.

Так, сукупність ймовірностей переходу за два кроки $p_{ij}(2)$ утворює матрицю переходу за два кроки $P(2)$:

$$P(2) = \begin{pmatrix} p_{11}(2) & p_{12}(2) & \cdots & p_{1N}(2) \\ p_{21}(2) & p_{22}(2) & \cdots & p_{2N}(2) \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ p_{N1}(2) & p_{N2}(2) & \cdots & p_{NN}(2) \end{pmatrix} \quad (3.22)$$

Співвідношення (3.21) дозволяє зробити висновок, що матриця $P(2)$ є добутком двох однакових матриць переходу, тобто $P(2) = P \cdot P = P^2$.

Так, аналогічна ймовірність переходу системи з i -го в j -е стан за три кроки $p_{ij}(3)$. Її можна обчислити за формулою:

$$p_{ij}(3) = \sum_{k=1}^N p_{ik}(2) p_{kj} = \sum_{k=1}^N p_{ik} p_{kj}(2) \quad (3.23)$$

Це означає, що матриця переходу за три кроки $P(3)$ дорівнює добутку матриць переходу за один і два кроки:

$$P(3) = P(2)P = P \cdot P(2) = P^3 \quad (3.24)$$

Зрозуміло, що матриця переходу за n кроків $P(n)$ обчислюється як n -а степінь матриці переходу за один крок:

$$P(n) = P^n \quad (3.25)$$

Обчислення ймовірностей переходу за 2, 3, ..., n кроків здійснюється шляхом суми добутків ймовірностей переходу, що відносяться до початкового, проміжного та кінцевого моментів часу. Дійсно, у співвідношенні (3.21) містяться ймовірності переходу за один крок: з нульового моменту в перший і потім з першого в другий. При розрахунку ймовірностей переходу за три кроки можна вже розглядати два проміжні моменти: перший і другий, і обчислення ймовірностей p_{ij} слід здійснювати з урахуванням знання матриць переходу до і після проміжного моменту.

До цього часу ми працювали лише з умовними ймовірностями, але не меншою цікавістю є безумовні ймовірності станів системи в 1, 2, 3, ..., n -й моменти часу. Для їх визначення потрібно використовувати знання рядкової матриці початкових ймовірностей P_0 :

$$P_0 = (P_1^{(0)}, P_2^{(0)}, \dots, P_n^{(0)}) \quad (3.26)$$

Безумовна (абсолютна) ймовірність стану x_j після першого кроку визначається виразом:

$$P_j^{(1)} = \sum_{i=1}^N P_2^{(0)} P_{ij}, \quad (3.27)$$

який відображає простий факт, що система в перший момент часу може опинитися в стані j після переходу з будь-якого початкового стану i . Сукупність безумовних ймовірностей станів $P_j^{(1)}$ утворюють рядкову матрицю P_1 .

Вираз (3.27) означає, що рядкова матриця ймовірностей станів в перший момент часу $P=(P_1^{(1)}, P_2^{(1)}, \dots, P_N^{(1)})$ дорівнює добутку рядкової матриці початкових ймовірностей P_0 на матрицю переходу P :

$$P_1 = P_0 P \quad (3.28)$$

Матриця-рядок ймовірностей станів у n момент часу $P_n = (P_1^{(n)}, P_2^{(n)}, \dots, P_N^{(n)})$ визначається співвідношенням:

$$P_n = P_0 P^n \quad (3.29)$$

Оскільки

$$P_j^{(n)} = \sum_{i=1}^N P_i^{(0)} P_{ij}^{(n)} \quad (3.30)$$

В більшості випадках, коли початковий стан системи відомий точно ($P_j^{(0)}=1, P_k^{(0)}=0, k \neq i$), з (3.30) маємо $P_j^{(n)}=P_{ij}^{(n)}$, тобто i -й рядок у n -й момент часу, якщо процес почався зі стану S_i .

Розглянемо вектор початкових ймовірностей P_0 . Для зручності подальших обчислень розіб'ємо діапазон можливих значень оцінок показників якості на 6 рівних ділянок шириною в одиницю (рис. 3.5). Припустимо, що допуск на оцінку показника якості T включає 4 ділянки і дорівнює $T=4\sigma$.

При цьому ми маємо два граничних відбиваючих стани S_1 і S_6 , а також чотири внутрішні стани S_2, S_3, S_4, S_5 .

Відбиваючими називають такі стани, в які процес прагне повернутися до внутрішніх станів.

В загальному випадку вектор початкових ймовірностей має вигляд:

$$P_0 = \{ P_1; P_2; P_3; P_4; P_5; P_6 \} \quad (3.31)$$

Ми отримали числове значення рядкового вектора, що визначає ймовірності знаходження дійсного значення оцінки показника якості на початку процесу прогнозування.

Для прогнозування подальшого розсіювання оцінок показників якості необхідно визначити значення перехідної матриці P_{ij} . Оскільки ми визначили, що стани S_1 і S_6 є відбиваючими, то ймовірність того, що процес, потрапивши в них, залишиться там, дорівнює нулю. Отже, можна спокійно записати нулі в клітинки S_1 і S_6 . Усі інші стани можуть бути досягнуті з будь-якого іншого стану. Тому в усі інші клітинки записуємо відповідні ймовірності P_{ij} .

Після вищезазначеного перехідна матриця має вигляд:

$$P = \begin{matrix} & S_1 & S_2 & S_3 & S_4 & S_5 & S_6 \\ \begin{matrix} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \\ S_4 \\ S_5 \\ S_6 \end{matrix} & \left| \begin{array}{cccccc} 0 & P_{12} & P_{13} & P_{14} & P_{15} & P_{16} \\ P_{21} & P_{22} & P_{23} & P_{24} & P_{25} & P_{26} \\ P_{31} & P_{32} & P_{33} & P_{34} & P_{35} & P_{36} \\ P_{41} & P_{42} & P_{43} & P_{44} & P_{45} & P_{46} \\ P_{51} & P_{52} & P_{53} & P_{54} & P_{55} & P_{56} \\ P_{61} & P_{62} & P_{63} & P_{64} & P_{65} & 0 \end{array} \right. & \end{matrix} \quad (3.32)$$

Таким чином, ми показали методику застосування теорії ланцюгів Маркова для прогнозування якості технологічного процесу на кілька кроків вперед.

3.3. Визначення параметрів перехідної матриці ланцюгів Маркова

Після визначення процесу на стаціонарність, у разі підтвердження умови стаціонарності можна застосувати теорію марківських процесів для передбачення перебігу процесу з часом. Спочатку необхідно визначити основні параметри марківського ланцюга.

Як було вказано в пункті 3.2.2, передусім необхідно визначити значення перехідної матриці P . Під час обробки точкових діаграм розкиду необхідно визначити ймовірність переходу P процесу із початкового стану в будь-який інший. На такий перехід не накладаються жодні обмеження, і ці події не можна вважати рівноймовірними. Це твердження випливає з нормального закону розподілу випадкових величин, згідно з яким процес буде прагнути протікати більше в межах внутрішніх станів, ніж на межі.

За методикою, запропонованою в пункті 3.2.2 побудуємо матрицю переходу, математичні очікування та дисперсію досягнення меж для одної з точкових діаграм розкиду розмірів зовнішньої циліндричної поверхні поршня ДВЗ. Для зручності результати експерименту оформляємо у вигляді карти експерименту.

$$N_i = \begin{matrix} Q_1 \\ Q_2 \\ Q_3 \\ Q_4 \\ Q_5 \\ Q_6 \end{matrix} \begin{bmatrix} n_1 = 1 \\ n_2 = 9 \\ n_3 = 14 \\ n_4 = 17 \\ n_5 = 5 \\ n_6 = 2 \end{bmatrix}$$

Вектор-стовпець елементарних подій знаходження процесу в зоні Q_i

$$M_j = \begin{matrix} Q_1 \\ Q_2 \\ Q_3 \\ Q_4 \\ Q_5 \\ Q_6 \end{matrix} \begin{bmatrix} Q_1 & Q_2 & Q_3 & Q_4 & Q_5 & Q_6 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 5 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 4 & 4 & 5 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 6 & 8 & 2 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 2 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 0 \end{bmatrix}$$

Матриця елементарних подій переходу із зони Q_i в зону Q_j

Матриця P_{ij} знаходиться шляхом поелементного ділення елементів матриці M_j на відповідний рядок вектора-стовпця N_i .

Матриця ймовірностей переходу із зони Q_i в зону Q_j

$$P_{ij} = \begin{matrix} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \\ S_4 \\ S_5 \\ S_6 \end{matrix} \begin{bmatrix} Q_1 & Q_2 & Q_3 & Q_4 & Q_5 & Q_6 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.1 & 0.2 & 0.5 & 0.1 & 0 & 0 \\ 0 & 0.28 & 0.28 & 0.35 & 0 & 0.07 \\ 0 & 0.06 & 0.35 & 0.47 & 0.1 & 0 \\ 0 & 0.2 & 0 & 0.4 & 0.2 & 0.2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Для передбачення знаходження процесу на n кроків вперед необхідно перемножити вектор-рядок знаходження процесу в даний момент часу на перехідну матрицю у степені n . Наприклад, якщо в даний момент часу процес знаходиться в зоні S_3 , то вектор-рядок матиме вигляд:

$$[0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0],$$

після множення її на матрицю P_{ij} отримаємо матрицю ймовірностей знаходження процесу на один крок вперед.

Усі обчислення проводилися за допомогою математичної системи "MATLAB". Розроблена методика та програмне забезпечення дозволяють прогнозувати похибку виготовлення на декілька кроків вперед. Проведені масштабні дослідження показали, що для даного технологічного процесу обробки внутрішньої циліндричної поверхні гільзи циліндра точінням, крок переходу перехідної матриці в граничну невелику (9-12). Це означає, що прогнозування на 9 кроків вперед практично не надає корисної інформації для системи управління точністю обробки. Тому для управління точністю обробки в таких умовах необхідно робити прогноз на 4-5 деталей вперед. Система автоматичного управління точністю обробки вводить корекцію на положення інструменту на прогнозовану величину, і таким чином, відбувається компенсація помилок виготовлення. В результаті

управління точністю поле розкиду розмірів при виготовленні гільзи циліндрів зменшилося на 18%.

З теорії математичної статистики відомо, що чим більше статистичної інформації ми маємо, тим точніші стають оцінки характеристик процесу. У даному випадку, чим довше формується матриця переходу, тобто, чим більше значень у часовому ряді, тим точніше вона відображатиме розсіювання показників якості процесу, і тим достовірнішим буде прогноз.



Рис. 3.6. Залежність достовірності прогнозу від кроку прогнозування

На рисунку 3.6 показана залежність надійності прогнозу показників якості процесу виробництва олії, зокрема, прогноз кількості фосфоровмісних речовин. З графіку видно, що досить надійним є прогноз на 3 кроки вперед. Для збільшення кроку прогнозування потрібно збільшувати обсяг статистичної інформації та розширювати матрицю переходу.

Висновки до третього розділу

В даному розділі розглядається можливість застосування один з методів прогнозування, наприклад, методи на основі ланцюгів Маркова. Цей метод дає можливість отримати якісні прогнози для лінійних та нелінійних процесів. Актуальною є задача оцінювання ймовірнісних прогнозів, потреба в яких швидко зростає як у суто інженерних застосуваннях, так і у фінансово-економічних системах.

Технологічний процес представляє собою складну систему, яку необхідно оцінювати, аналізувати, прогнозувати і, за необхідності, коригувати, щоб забезпечити високу якість продукції. Задані показники якості виробу можна досягти одним з двох основних методів: індивідуальним виготовленням, яке зазвичай застосовується до одиничних виробів, де використовується ручна праця та методи пригонки, або методом автоматичного виготовлення виробів із заданими параметрами якості на налагодженому обладнанні. У межах даного розділу дисертаційної роботи пропонується досліджувати метод автоматичного виготовлення виробів, оскільки планується застосовувати методи математичної статистики для прогнозування якості технологічних процесів.

Зміна показника якості у будь-якому процесі системи управління якістю називається реалізацією цього процесу з часом. Для застосування ланцюгів Маркова, як математичного апарату, потрібно, щоб реалізація процесу була стаціонарною, випадковою і ергодичною. Тільки при таких умовах рекомендують застосовувати ланцюги Маркова, в іншому випадку прогноз буде неточним. Тому перед застосуванням теорії ланцюгів Маркова для оцінки і прогнозування процесів необхідно перевірити його на стаціонарність, випадковість та ергодичність.

Були розроблені методика та програмне забезпечення для передбачення похибки виробництва на конкретного технологічного процесу перехідна матриця виявилася обмеженою (9-12 кроків). Це означає, що передбачення на 9 кроків вперед мало корисної інформації для системи управління якістю. Тому в умовах такої обмеженої якості виробництва доцільно проводити прогноз лише на 4-5 кроків

вперед. Якщо застосувати Систему автоматичного управління якістю, то це може призвести до зменшення розкиду оцінок показників якості на 16%.

Згідно з теорією математичної статистики, чим більше статистичної інформації доступно, тим точнішими стають оцінки характеристик процесу. У цьому випадку, збільшення довжини часового ряду для матриці переходу покращує точність відображення розсіювання показників якості процесу і робить прогноз більш достовірним.

Список використаних джерел

1. Бідюк П.І., Меньяйленко О. С., Половцев О. В. Методи прогнозування. Т.1. Луганськ: Альма-матер, 2008. 301 с.
2. Тріщ Р. М. Розвиток наукових основ управління якістю в машинобудуванні в умовах обмеженої кількості інформації: дис. д-ра. техн. наук: 05.01.02. Київ, 2007. 323 с.
3. Колкер Я. Д. Математический анализ точности механической обработки. Київ: Техника, 1976. 200 с.
4. Julius S. Bendat, Allan G. Piersol Measurement and Analysis of Random Data. New York: Wiley, 1966. 390 p.
5. Катрич О. А. Прогнозирование процессов системы менеджмента качества. *Вісник Національного технічного університету „ХПІ”*: збірник наукових праць. Серія: *Механіко-технологічні системи та комплекси*. 2015. № 21(1130). С. 170-175.
6. Albert T. Bharucha-Reid. Elements of the Theory of Markov Processes and Their Applications. New York: McGraw-Hill, 1960. 468 p.
7. Dynkin E. B. Markov Processes. Theorems and Problems. New York: Springer New York, 1969. 237 p.
8. Сеньо П. С. Випадкові процеси: підручник. Львів: Компакт-ЛВ, 2006. 288 с.
9. John G. Kemeny, J. Laurie Snell. Finite Markov Chains. New York, Berlin, Heidelberg, Tokyo: Springer –Verlag, 1976. 224 p.
10. Kai Lai Chung. Markov Chains with Stationary Transition Probabilities. Berlin:Springer Berlin, Heidelberg, 1960. 278 p.
11. Трунова О. В. Застосування апарату теорії Марківських процесів при визначенні стратегії економічного розвитку. *Наукові записки*. Серія: Педагогічні науки. № 141. Ч.1. 2015. С.87-92.
9. Малецька О.Є., Тріщ Ю.В., Багаєв І.О. Перевірка та калібрування обладнання випробувальної лабораторії. *Якість, стандартизація та метрологічне забезпечення*: матеріали міжнар. наук-практ. конф. (м. Харків, 25-26 січня 2022 року). Харків, 2022. С. 36.

13. Fedorovich O., Lutai L., Kompanets V., *Bahaiev I.* The Creation of an Optimisation Component-Oriented Model for the Formation of the Architecture of Science-Based Products. *Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering - 2023. ICTM 2023. Lecture Notes in Networks and Systems.* vol 996. Springer, Cham. 2024. P. 415–426.

РОЗДІЛ 4. МЕТОД ПРОГНОЗУВАННЯ РИЗИКІВ ЯКОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ З ЗАСТОСУВАННЯМ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Північна Америка лідувала на ринку та отримала понад 40,64% частки доходу в 2023 році. Очікується, що ця тенденція збережеться протягом прогнозованого періоду завдяки дедалі більшому використанню псевдоуяви та зростанню банківського шахрайства. Крім того, очікується, що такі компанії, як Meta, Google LLC і Microsoft, будуть стимулювати розвиток ринку генеративного штучного інтелекту. Протягом прогнозованого періоду Азійсько - Тихоокеанський регіон зростатиме з найшвидшим CAGR. Зростання генеративного штучного інтелекту в регіоні стимулюється розширенням урядових ініціатив і зростанням розгортання програм на основі штучного інтелекту.

Відомо [2], що світовий ринок штучного інтелекту складав у 2022 році 10,79 мільярдів дол. США. Прогнозують, що до 2032 року він складатиме 118 мільярдів дол. США. Тенденцію змін представлено на рисунку 4.1.

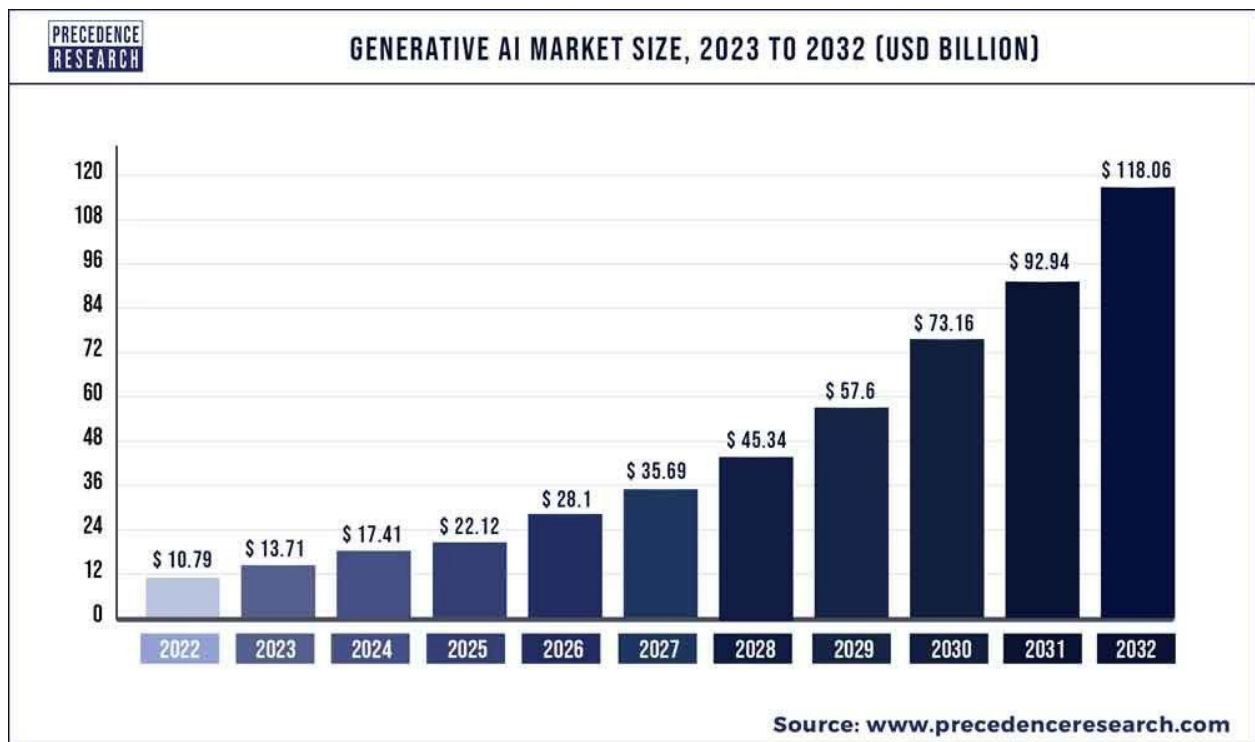


Рис. 4.1. Тенденцію змін фінансування штучного інтелекту [2]

У 2024 році багато компаній знайдуть привабливу рентабельність інвестицій від GenAI, але лише небагатьом вдасться досягти трансформаційної цінності. GenAI може здатися простим у використанні, і багато постачальників хмарних послуг уже вбудовують можливості GenAI у свої пропозиції. Але для реалізації повного потенціалу GenAI потрібно більше, ніж просто дозволити співробітникам використовувати нові можливості в корпоративних програмах, якими б потужними вони не були. Це вимагає використання можливостей GenAI для налаштування під ваші конкретні потреби та його чудової масштабованості, а також приділяти пильну увагу потенційним ризикам.

Одним із ключових є уникнення пастки варіантів використання. Якщо ви використовуєте GenAI лише в окремих випадках, ви отримаєте лише обмежену цінність. Натомість віддавайте пріоритет «шаблонам», які можуть масштабуватися. Наприклад, здатність GenAI отримувати висновки з неструктурованих даних (таких як текст) може допомогти майже кожному працівнику інтелектуальних технологій наростити потенціал і приймати кращі рішення.

Важливо заохочувати працівників не просто використовувати нову технологію, а використовувати її для перегляду своєї роботи. Технологічний прогрес означає, що вони можуть переосмислити свою роботу, знайшовши способи розгортання та налаштування GenAI для автоматизації деяких завдань і розширення решти. Оскільки технологія постійно вдосконалюється, а витрати падають, керівництву доведеться дещо переосмислюватися.

ШІ включає два основні завдання: глибинне навчання та машинне навчання. Алгоритми машинного навчання навчаються на величезних масивах даних, які вони аналізують, щоб виявити закономірності, взаємозв'язки і тенденції. Потім такі закономірності можна використовувати для прогнозування або прийняття рішень на основі нових, ще не вивчених даних. Машинне навчання і глибоке навчання іноді використовуються як взаємозамінні поняття, але між ними існує певна різниця [6].

Глибинне навчання може аналізувати більше типів інформації та виконувати більш складні операції. Процес глибинного навчання натхненний структурою і функціями людського мозку - зокрема, тим, як нейрони пов'язані між собою і

працюють разом для обробки інформації. Завдяки цьому, глибоке навчання дає змогу робити більш тонкі та глибокі прогнози на основі наданих даних [6].

Штучні нейронні мережі - це математичні моделі, що забезпечують глибоке навчання. За своєю суттю вони є імітацією людського мозку. Що складається з шарів взаємопов'язаних вузлів, які називаються штучними нейронами або перцептронами, кожен штучний нейрон приймає вхідні дані, виконує обчислення і генерує вихід. Потім отримані результати передаються наступному шару перцептронів, створюючи ієрархічну структуру. Сила нейронних мереж полягає в їхній здатності навчатися і розпізнавати закономірності в даних [6].

4.1. Теоретичне обґрунтування можливості прогнозування нестационарних технологічних процесів з використанням нейронних мереж

Нейронні мережі (НМ) є навчальними паралельними та розподіленими системами, які складаються з взаємопов'язаних процесорних елементів - нейронів. Штучний нейрон у перцептронній мережі складається з множників, інтегратора та нелінійного перетворювача і реалізує скалярну функцію векторного аргумента. Поточний стан нейрона визначається як зважена сума його входів [7, 8]

$$s = \sum_{i=1}^n w_{ij} x_i + b,$$

де w_{ij} - ваги синаптичних зв'язків нейрона j ; $i=1 \dots n$; x_i - вхідний сигнал; n - кількість входів нейрона; b - значення зсуву.

Залежно від функціонального призначення можна виділити нейрони проміжного шару (шарів) та вихідні нейрони. Вихід нейрона представляє собою функцію його внутрішнього стану (активації):

$$y = f(s).$$

Найпоширенішою є сигмоїдна (логістична) функція активації нейронів (рисунок 4.1), призначена для перетворення інформації, що надходить на вхід

$$f(s) = \frac{1}{1 + \exp(-as)}, \quad (4.1)$$

де a - параметр нахилу функції.

Для більшості практичних завдань з метою спрощення моделі НМ використовується значення [9]. Різні значення параметра змінюють крутизну сигмоїдної функції (рисунок 4.2), і, внаслідок цього, впливають на апроксимаційні властивості НМ [10].

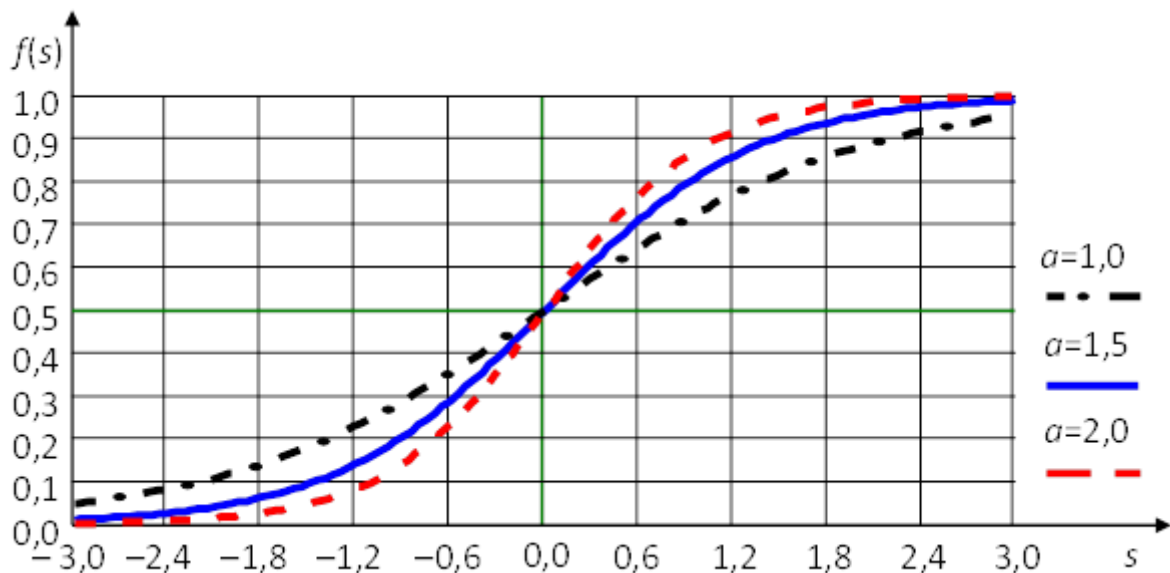


Рис.4.2. Сигмоїдні функції (4.1) активації моделей НМ

Але, як видно з рисунку 4.2, числові значення на осі ОХ змінюються в межах (-3, 3). Так як показники якості можуть мати різні межі та шкали вимірювання, то більш ефективною і універсальною буде запропонована функція у другому розділі (2.29):

$$F(x) = \frac{1}{1 + e^{\frac{6(x_{max}-x)+6(x_{min}-x)}{x_{max}-x_{min}}}} \quad (4.2)$$

Функція (4.2) має кілька переваг перед іншими функціями активації, оскільки є диференційованою на всій вісі абсцис і має властивість підсилювати слабкі вхідні сигнали краще, а також забезпечує від насичення великих сигналів [7, 11, 12]. Послідовне з'єднання нейронів дозволяє створювати перцептрони (прямослойні мережі), основними перевагами яких є здатність навчання на множині прикладів для вирішення завдань апроксимації, прогнозування та класифікації, а також можливість створення інтелектуальних систем з автоматизованим процесом введення та обробки вимірювальної інформації [13 - 16].

Цілком обґрунтоване використання перцептронів для апроксимації нелінійної R/T -характеристики NTC -термістора зумовлене властивостями універсальності нейромережових алгоритмів навчання з використанням нелінійних функцій активації нейронів (4.2) і підтверджується результатами досліджень, поданими у роботі [17]. Сутність цього підходу полягає у знаходженні вагових коефіцієнтів зв'язків між нейронами мережі, при яких значення похибки апроксимації залежності "вхід (входи) \rightarrow вихід", отриманої на основі навчання НМ - моделі, є мінімальним. Варто відзначити, що практична реалізація даної задачі характеризується виконанням вимог відтворюваності результатів апроксимації для тестової та контрольної вибірок з часового ряду і збіжності нейромережової моделі до заданої величини похибки навчання.

Таким чином, адаптивна НС - модель типу перцептрон фактично представляє більш вдосконалений і точний аналог регресійної моделі, в якому замість параметрів передбачування використовується набір вагових коефіцієнтів входів та виходів нейронів, пов'язаний з великим масивом числових експериментальних даних.

В дослідженнях [18, 19] показано, що використання перцептронів, що має властивість інваріантності до довільного виду нелінійної передавальної функції, є універсальним методом компенсації її нелінійності, що підвищує точність результатів вимірювань порівняно з поліноміальними моделями. Однак результати цих досліджень були отримані в досить вузькому діапазоні температур 20...80°C без використання інших нейромережових методів.

Результати нейромережевого моделювання, подані у роботах [20 - 24], також свідчать про високу точність побудови ГХ *NTC*-термісторів при сегментації робочого діапазону на окремі частини з використанням різних алгоритмів навчання багат шарових перцептронів (*MLP*) та мікроконтролерів.

Попередні дослідження властивостей різних типів НМ показують, що для рівномірної апроксимації неперервної функції на обмеженій множині значень може бути використано сім'я RBF-мереж [25]. Згідно з ДСТУ ISO/IEC 2382-34:2003, RBF-мережа - прямослойна нейронна мережа, в якій кожен прихований нейрон використовує радіальну базисну функцію активації, а вихідні нейрони реалізують лінійні комбінації функцій активації нейронів прихованого шару. RBF-функція - це функція, що радіально змінюється навколо певного центру і приймає ненульові значення лише в околицях цього центру [8].

Аналіз наукових публікацій показав, що основними методами прогнозування стандартизованих показників технічного рівня та якості промислової продукції є методи, які ґрунтуються на математичному опрацюванні статистичних даних, представлених часовими рядами. Часовим рядом називають послідовність спостережень $y(\tau)$, упорядковану за параметром τ .

Початковою базою прогнозування технічного рівня слугують відповідні інформаційні масиви, що являють собою сукупності дискретних кількісних значень показників якості продукції та технологічного процесу її виготовлення, за різних значень незалежної змінної τ , за якою здійснюється прогнозування. Під час прогнозування якості продукції на етапі її виготовлення за τ зазвичай приймають час початку виготовлення, припинення виробництва або інтервал часу перебування в серійному виробництві тощо. Інтервал зміни змінної τ , у якому задано інформаційний масив, називають ретроспективним.

Обробка даних часового ряду зводиться до отримання оцінки майбутніх значень досліджуваного параметра на підставі обмеженої статистичної інформації. Мета аналізу часових рядів показників якості виробів машинобудування полягає у вилученні з цього ряду корисної інформації. Для цього, в разі застосування класичних статистичних методів аналізу часових рядів, необхідно побудувати

математичну модель досліджуваного явища. Така модель має пояснювати сутність процесу, що породжує дані, зокрема описувати характер даних (випадкові, такі, що мають тренд, періодичні, стаціонарні тощо). Після цього можна застосовувати різні методи фільтрації даних (згладжування, видалення викидів тощо) з кінцевою метою - прогнозувати майбутні значення.

Для здійснення прогнозування якості виготовлення відповідальних деталей машинобудування за показниками точності та стабільності на першому етапі необхідно знати ймовірнісні характеристики процесів розсіювання розмірів деталей у часі та характеристики їхньої тимчасової стійкості.

Другим етапом є аналіз тенденцій (трендів) зміни досліджуваних показників у часі, що полягає в оцінюванні автокореляції, тобто оцінюванні ступеня залежності окремих спостережень, будь-якого фактора, зміщених відносно один одного у часі (наприклад, ступінь залежності точності виготовлення деталей $y_{\tau+1}$, у $(\tau + 1)$ -й момент часу від значення y_{τ} у момент часу τ). Наявність автокореляції та трендів визначає нестационарність процесів у часі та веде до певної неправомірності використання класичних статистичних методів для прогнозування якості продукції. Існування та величина автокореляції в динамічних рядах визначаються за допомогою коефіцієнта автокореляції першого порядку:

$$r_{y\tau} = \frac{(n-1) \sum_{\tau=1}^{\tau=n-1} y_{\tau} y_{\tau+1} - \sum_{\tau=1}^{\tau=n-1} y_{\tau} \sum_{\tau=1}^{\tau=n-1} y_{\tau+1}}{\sqrt{\left[(n-1) \sum_{\tau=1}^{\tau=n-1} y_{\tau}^2 - \left(\sum_{\tau=1}^{\tau=n-1} y_{\tau} \right)^2 \right] \cdot \left[(n-1) \sum_{\tau=1}^{\tau=n-1} y_{\tau+1}^2 - \left(\sum_{\tau=1}^{\tau=n-1} y_{\tau+1} \right)^2 \right]}}. \quad (4.3)$$

Для обраного рівня значущості обчислене значення автокореляції порівнюють із табличним. При виконанні умови $r_{x\tau} > r_{x\tau\text{табл}}$ для отримання достовірних прогнозів необхідно враховувати істотний вплив автокореляції та використовувати різні процедури згладжування часових рядів досліджуваних показників з метою виділення регулярної складової часового ряду.

На третьому етапі складається математична модель прогнозування зміни в часі контрольованого показника якості, залежно від визначальних виробничо-технологічних факторів.

Як показали проведені дослідження [7-14], вельми перспективною технологією, що дає змогу використовувати ефективні підходи до прогнозування якості, надійності та довговічності відновлених деталей, прогнозування властивостей композиційних матеріалів і конкурентоспроможності промислової продукції, прогнозування ризику забезпечення якості відповідальних деталей, оцінювання якості композиційних матеріалів, а також контролю прецизійних процесів є нейронні мережі. Вони це паралельні та розподілені системи, що складаються з певним чином пов'язаних один з одним процесорних елементів - нейронів. Штучний нейрон складається з помножувачів, інтегратора та нелінійного перетворювача і реалізує скалярну функцію векторного аргументу. Залежно від функцій, які виконують нейрони в мережі, можна виділити вхідні, проміжні та вихідні типи нейронів.

Будучи з'єднаними в шари нейрони утворюють різні архітектури нейронних мереж. Проведені дослідження та аналіз науково-технічної літератури свідчать, що для розв'язання задач прогнозування часових послідовностей найефективнішими є багат шарові НМ із прямими зв'язками між нейронами (рисунок 4.3).

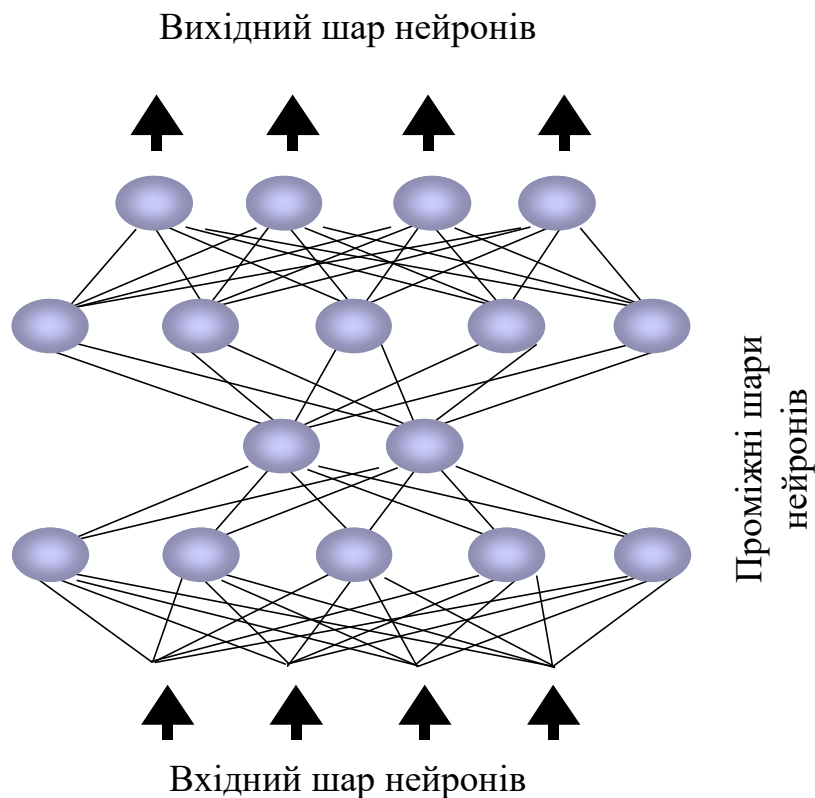


Рис. 4.3. Архітектура прямошарової нейронної мережі зв'язками [13]

Вибір архітектури нейронної мережі (визначення кількості шарів мережі та нейронів у кожному шарі) здійснюють відповідно до особливостей і складності розв'язуваної задачі прогнозування. При цьому для прогнозування необхідно апроксимувати за допомогою нейронної мережі функцію $X \rightarrow Y$, де Y може мати одиничну або довільну розмірність.

У задачах прогнозування нестационарних технологічних процесів як вхідні сигнали будемо використовувати тимчасові ряди, що представляють значення контрольованих показників якості деталей на деякому інтервалі часу. Вихідний сигнал являє собою множину змінних, яка є підмножиною змінних вхідного сигналу.

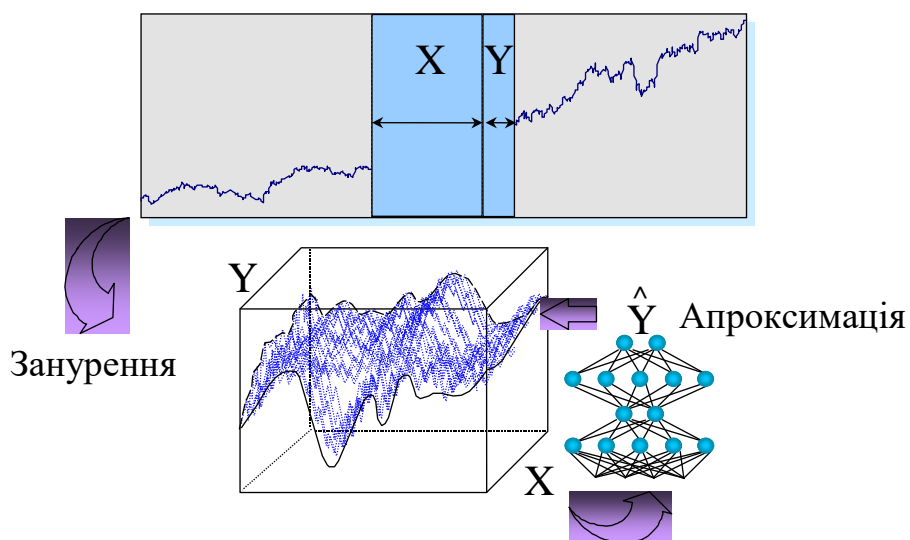


Рис. 4.4. Зведення методом занурення задачі прогнозування часового ряду до задачі апроксимації [13]

Процес функціонування НМ залежний з синаптичними зв'язками між нейронами, тому, розробивши архітектуру нейромережевої моделі, необхідно знайти оптимальні значення існуючих вагових коефіцієнтів мережі для розв'язання певної задачі. Цей етап дістав назву навчання НМ (рисунок 4.5).

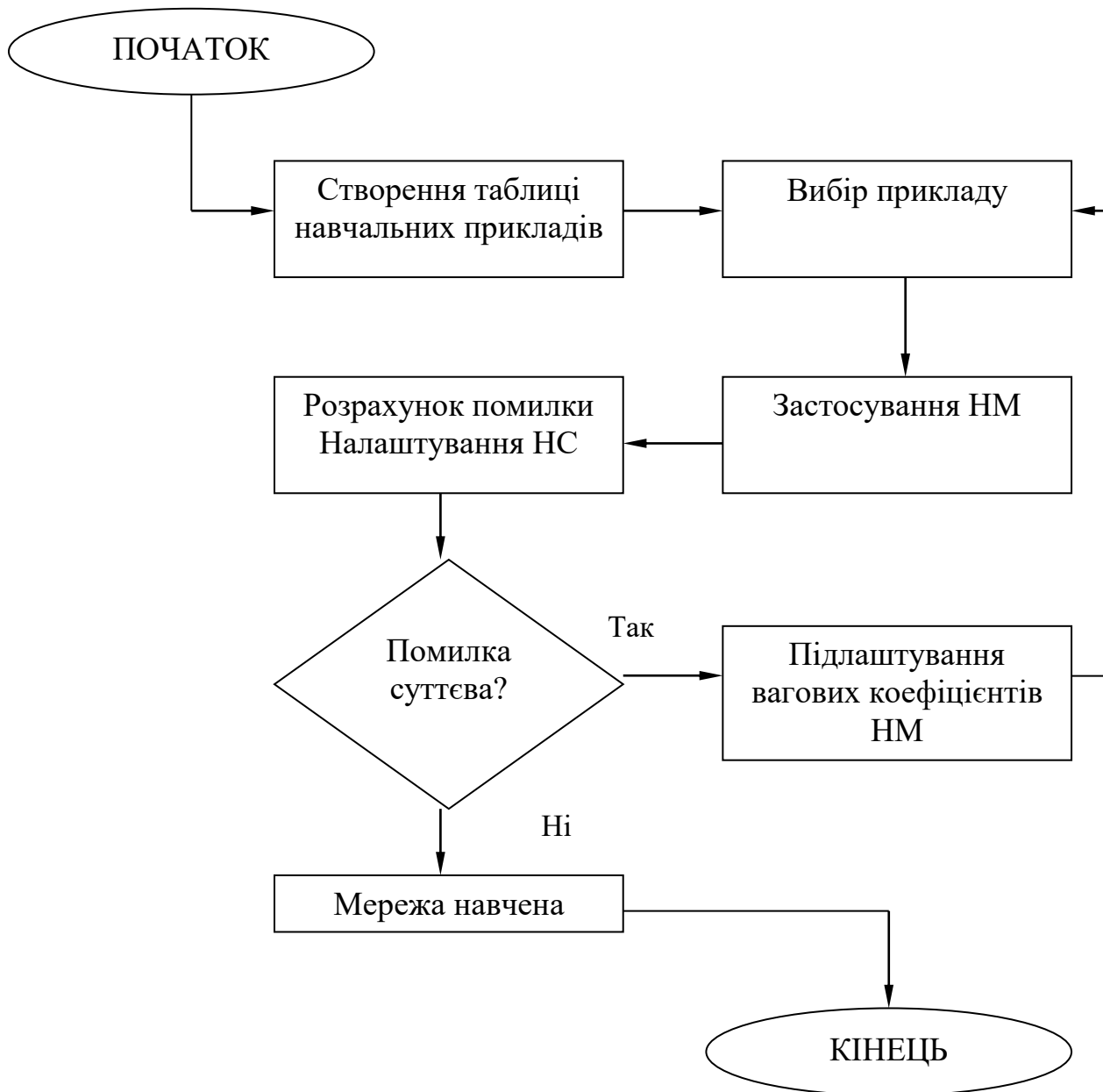


Рис. 4.5. Алгоритм навчання прямошарової нейронної мережі

У середині 80-х років 20-го століття був знайдений універсальний алгоритм налаштування нейромереж - метод градієнтного спуску, відомий як метод зворотного розповсюдження - Back Propagation of Error. У процесі налаштування за цим алгоритмом навчання, вбудованим у програму НМ, ітераційно підлаштовується вся множина синаптичних зв'язків $\{w_{ij}\}$ за критерієм досягнення призначеної точності прогнозу. Причому підстроювання ваг відбувається в напрямку від відомого виходу останнього шару нейронів (вихідні сигнали дорівнюють значенням

прогнозованого параметра в рядках масиву навчальних прикладів) до вхідного шару.

Тобто вихід останнього шару нейронів порівнюють зі зразком навчання, і з різниці між бажаним і дійсним результатом роблять висновок про те, якими мають бути зв'язки нейронів останнього шару з попереднім. Потім подібна операція проводиться з нейронами передостаннього шару і в результаті нейромережею від виходу до входу поширюється хвиля зміни ваг зв'язків. Навчання припиняється в тому разі, коли помилка на тестових прикладах між навчальним і прогнозованим значеннями буде меншою за задану величину.

4.2. Метод прогнозування ризиків якості технологічних процесів виготовлення деталей у машинобудуванні

Під ризиком якості технологічних процесів виготовлення деталей у машинобудуванні будемо розуміти розладку технологічної системи до такого стану, при якому одиничні показники якості близькі до меж поля допуску. Головною характеристикою якості технологічних процесів являється їх стабільність.

Для забезпечення стабільності технологічного процесу механічного оброблення відповідальних високоточних деталей необхідний оперативний прогноз його подальшого стану, а саме передбачення того, в якій із зон регулювання, визначених на контрольній карті, перебуватиме значення досліджуваних показників якості деталей, таких, наприклад, як точність, шорсткість, биття тощо, або відбудеться розладка процесу.

Завдання забезпечення стабільного рівня якості деталей поршневої групи є важко формалізованим, і може бути охарактеризоване масивом неповної, суперечливої та спотвореної інформації про показники технологічного процесу. Розв'язання такої задачі не дає змоги застосовувати класичні статистичні методи прогнозування, і потребує застосування адаптивних моделей, на основі нейронних мереж. Для розроблення прогнозу стабільності технологічного процесу механічного оброблення деталей поршневої групи з урахуванням систематичної складової похибки необхідно скласти таблицю навчальних прикладів - часових рядів значень

контрольованого показника (точності виготовлення деталей) та розділити отримані приклади на класи, виражені в якісній або кількісній формі.

Прогнозування стабільності технологічного процесу виготовлення високоточних деталей з використанням апарату нейронних мереж можливо здійснювати на основі методу розгалуженої лінії затримки (рис. 4.7).



Рис. 4.7. Нейронна мережа з тимчасовою затримкою

Архітектура нейронної мережі з часовою затримкою дає змогу моделювати будь-яку скінченну часову залежність вигляду:

$$y(t) = F[x(t), x(t-1), \dots, x(t-k)]. \quad (4.4)$$

Під час прогнозування стабільності технологічного процесу виготовлення відповідальних деталей основне завдання полягає в тому, щоб розділити на класи область значень прогнозованого показника відповідно до необхідної точності прогнозу. Класи можуть представляти якісну або кількісну оцінку змін досліджуваного показника. Етапами прогнозування стабільності є: визначення періоду випередження прогнозу; визначення вихідної змінної; побудова моделі, що

відображає причинно-наслідкові зв'язки між відгуком і входними ознаками; інтерпретація та перевірка точності моделі.

Принципи формування навчальних прикладів для прогнозування стабільності процесу механічного оброблення поршнів двигуна внутрішнього згоряння точінням подано на рисунку 4.8.

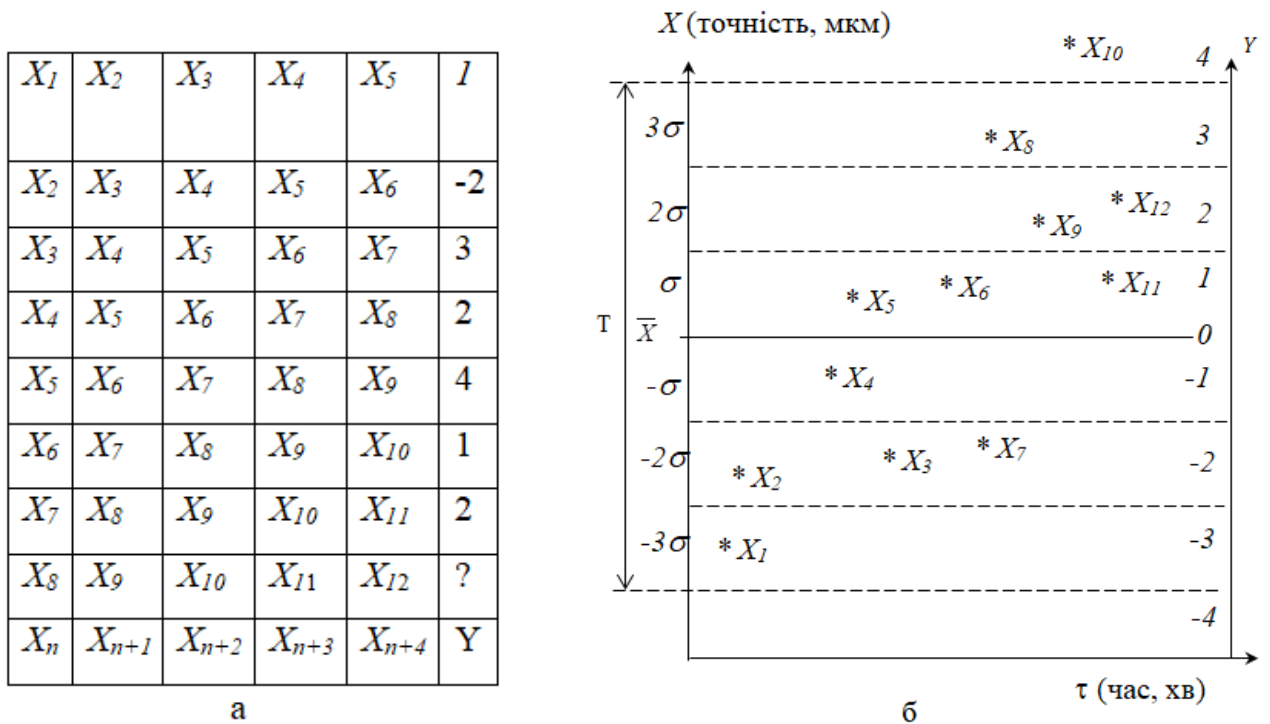


Рис. 4.8. Принципи підготовки навчальних прикладів для прогнозування стабільності технологічного процесу

Таблиця навчальних прикладів для розроблення нейромережевої моделі прогнозування стабільності технологічного процесу за показником точності виготовлення виробів, подана на рисунку 4.8 (а), містить вибірки часового ряду розсіювання діаметральних розмірів поршнів двигуна внутрішнього згоряння, що складаються з t рівнів. На рисунку 4.8 (б) представлено адаптовану для налаштування нейронної мережі контрольну карту за кількісною ознакою, що містить контрольні межі, позначені згідно з правилом "шести сигм", середнє значення контрольованого параметра (точності зовнішнього діаметра поршня двигуна внутрішнього згоряння) - \bar{X} , поле допуску - T та закодовані у чисельному вигляді позначення зон регулювання технологічного процесу. При цьому відповідно

до правила "шести сигм", зони мають бути позначені цифрами (3), (2), (1), (-1), (-2), (-3), де кожна цифра відповідає закодованому значенню, визначеному відповідно вище та нижче середньої лінії. Цифрою (0) позначається середина поля допуску зовнішнього діаметра поршня двигуна внутрішнього згоряння. Цифрами (4) і (-4) позначається вихід процесу за верхню і нижню межі регулювання відповідно.

Метод прогнозування ризиків якості технологічного процесу з використанням нейронної мережі включає п'ять етапів:

1. На першому етапі проводиться збір і попереднє опрацювання статистичних даних про прогнозований показник - точність виготовлення поршнів двигуна внутрішнього згоряння.

2. На другому етапі здійснюється підготовка навчальних прикладів для налаштування мережі, що складаються з масиву вхідних векторів X_1, X_2, \dots, X_m - вибірок часового ряду досліджуваного показника і відповідних їм значень Y - класів векторів, у вигляді закодованого кількісного позначення зон регулювання технологічного процесу. При цьому для кожного вхідного вектора необхідно використовувати клас майбутньої зони регулювання процесу, який визначається періодом випередження прогнозу.

3. Третій етап полягає в розробленні архітектури нейронної мережі, тобто виборі кількості проміжних шарів і нейронів мережі. На цьому етапі, для оцінювання кількості нейронів у прихованих шарах однорідних нейронних мереж необхідно застосовувати аналітичні залежності для розрахунку необхідної кількості синаптичних ваг Lw у багатошаровій мережі.

4. Для налаштування і навчання, на четвертому етапі заповнений масив навчальних прикладів пред'являється нейронній мережі. Під час виконання оперативного прогнозу стабільності технологічного процесу, на заключному (п'ятому) етапі, нейронній мережі пред'являють тільки набори вхідних векторів, а значення класу, що визначає зону регулювання технологічного процесу, формуються мережею, оскільки ці значення є величинами, що прогнозуються.

4.3. Апробація методу прогнозування ризиків якості технологічних процесів виготовлення деталей у машинобудуванні

Отже, навчальні приклади представляють собою миттєві вибірки значень контрольованого параметра послідовно оброблюваних деталей у вигляді часового ряду, зсунутого відносно початкових значень x_i на один рівень, тобто з запізненням на один цикл обробки.

Для створення бази навчальних прикладів використовуватимуться статистичні дані, що характеризують відхилення від номінального розміру партії з $n=125$ послідовно оброблюваних деталей «вісь» діаметром $\varnothing 50h11$. Отже, розміри деталі будуть знаходитись у полі допуску T від найменшого розміру $d_{\min} = 49,8$ мм. до найбільшого розміру $d_{\max} = 50$ мм. Поле допуску $T = d_{\max} - d_{\min} = 200$ мкм.

Розділимо партію з $n=125$ послідовно оброблюваних деталей на $k=5$ реалізацій (циклів) процесу механічної обробки, кожна з яких містить 25 деталей. Ці деталі обробляються між періодичними налаштуваннями верстата після кожного циклу за однаковими режимами точіння [27].

Результати вимірювання усіх послідовно оброблюваних деталей представлено у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1.

Результати вимірювання 125 послідовно оброблюваних деталей

Номер деталі	Реалізація №1	Реалізація №2	Реалізація №3	Реалізація №4	Реалізація №5
1	24	38	18	47	27
2	36	49	23	57	39
3	35	55	32	45	50
4	44	61	28	49	55
5	50	76	51	57	69
6	55	80	43	66	83
7	76	71	68	85	91
8	75	88	74	99	88
9	63	93	68	74	91
10	84	85	82	98	93
11	88	105	66	115	99

Продовження таблиці 4.1

12	80	90	88	108	96
13	103	101	105	112	116
14	90	110	94	100	108
15	100	92	113	123	111
16	105	133	98	124	123
17	91	125	97	121	116
18	129	128	125	133	129
19	125	152	116	145	132
20	115	143	121	147	146
21	142	166	125	150	167
22	149	167	136	175	173
23	158	165	151	186	177
24	183	169	163	188	194
25	185	173	169	191	196

За допомогою модуля "Контрольні карти" системи STATISTICA отримали оцінки середнього арифметичного значення $\bar{X} = 102,0$ мкм та стандартного відхилення $\sigma = 11,78$ мкм для реалізації №1 та реалізації №2 відповідно. Кожна з цих реалізацій містить десять миттєвих вибірок з мінімальним обсягом $k = 5$ деталей (рисунок 4.9).

X-bar: 102,00 (102,00); Сигма: 11,780 (11,780); n: 5,

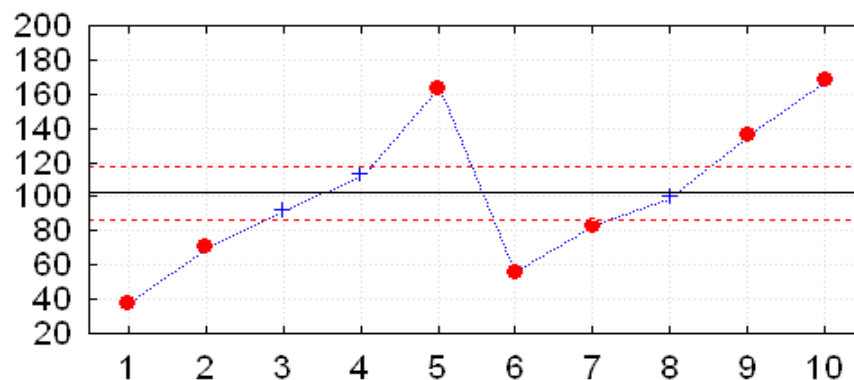


Рис.4.9. Графік зміни середнього значення \bar{X} та стандартного відхилення σ контролюваного параметра технологічного процесу

Розділимо поле допуску T на 8 зон. Для прогнозування стійкості технологічного процесу закодуємо межі зон $-A$, $-B$, $-C$, C , B , A статистичного регулювання і зони межі процесу D і $-D$ п'ятимірним бінарним вектором (рис. 4.10).

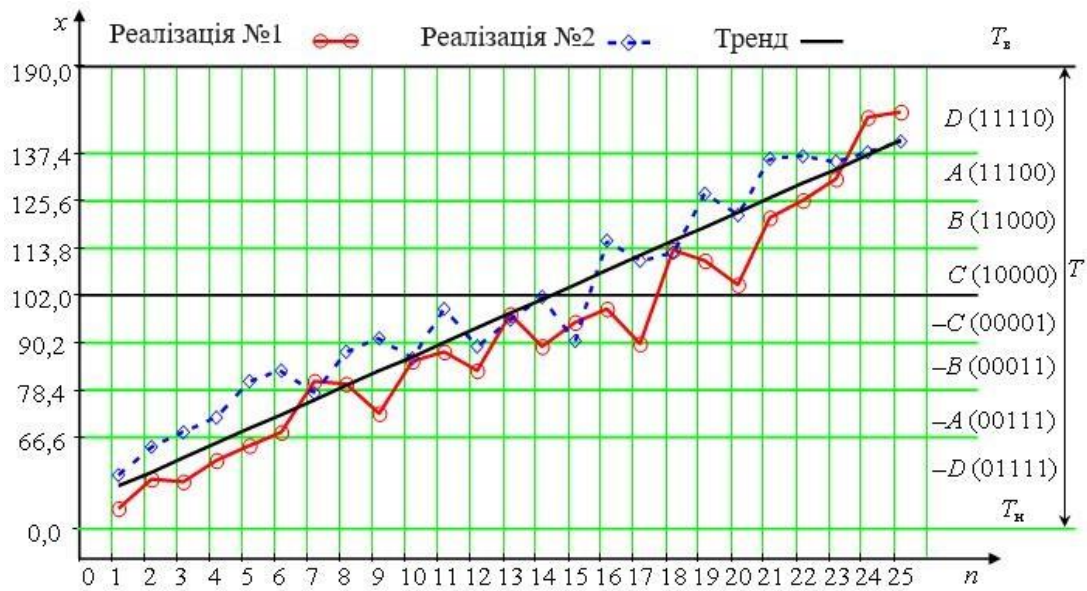


Рис. 4.10. Кодування зон статистичного регулювання технологічного процесу, що характеризується лінійним трендом відхилень контрольованого параметра деталі

Для створення моделі нейронної мережі підготуємо навчальний приклад. Суть навчального прикладу заключається у тому, що беруться 25 значень першої реалізації 10 разів підряд. Кожен раз викидаючи з реалізації одне (перше) значення. Таким чином отримуємо 16 навчальних реалізацій, які будуть являтися входами до навчального прикладу. Приклад для Реалізації 1 представлено у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2.

Навчальний приклад для Реалізації 1

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	24	36	35	44	50	55	76	75	63	84
2	36	35	44	50	55	76	75	63	84	88
3	35	44	50	55	76	75	63	84	88	80
4	44	50	55	76	75	63	84	88	80	103
5	50	55	76	75	63	84	88	80	103	90
6	55	76	75	63	84	88	80	103	90	100
7	76	75	63	84	88	80	103	90	100	105
8	75	63	84	88	80	103	90	100	105	91
9	63	84	88	80	103	90	100	105	91	129
10	84	88	80	103	90	100	105	91	129	125
11	88	80	103	90	100	105	91	129	125	115
12	80	103	90	100	105	91	129	125	115	142

Продовження таблиці 4.2

13	103	90	100	105	91	129	125	115	142	149
14	90	100	105	91	129	125	115	142	149	158
15	100	105	91	129	125	115	142	149	158	183
16	105	91	129	125	115	142	149	158	183	185
17	91	129	125	115	142	149	158	183	185	-
18	129	125	115	142	149	158	183	185	-	-
19	125	115	142	149	158	183	185	-	-	-
20	115	142	149	158	183	185	-	-	-	-
21	142	149	158	183	185	-	-	-	-	-
22	149	158	183	185	-	-	-	-	-	-
23	158	183	185	-	-	-	-	-	-	-
24	183	185	-	-	-	-	-	-	-	-
25	185	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Виходами будуть являтися зашифровані коди $y_1 - y_5$, які визначають п'ятимірний бінарний вектор станів процесу механічної обробки деталі (таблиця 4.3).

Кожен рядок містить значення входів $x_1 - x_{10}$ і відображає тенденцію зміни відхилення від номінального розміру діаметра десяти послідовно виготовлених деталей. При цьому значення $x_1 - x_{10}$ характеризують фактичний стан процесу і відповідають певній зоні статистичного регулювання $-D, -A, -B, -C, C, B, A, D$.

Таблиця 4.3.

Навчальна вибірка нейронної мережі з даними реалізації №1

Номер при-кладу	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}		y_1	y_2	y_3	y_4	y_5
1	24	36	35	44	50	55	76	75	63	84	-B	0	0	0	1	1
2	36	35	44	50	55	76	75	63	84	88	-B	0	0	0	1	1
3	35	44	50	55	76	75	63	84	88	80	-B	0	0	0	1	1
4	44	50	55	76	75	63	84	88	80	103	C	1	0	0	0	0
5	50	55	76	75	63	84	88	80	103	90	-B	0	0	0	1	1
6	55	76	75	63	84	88	80	103	90	100	-C	0	0	0	0	1
7	76	75	63	84	88	80	103	90	100	105	C	1	0	0	0	0
8	75	63	84	88	80	103	90	100	105	91	-C	0	0	0	0	1

9	63	84	88	80	103	90	100	105	91	129	A	1	1	1	0	0
10	84	88	80	103	90	100	105	91	129	125	B	1	1	0	0	0
11	88	80	103	90	100	105	91	129	125	115	B	1	1	0	0	0
12	80	103	90	100	105	91	129	125	115	142	D	1	1	1	1	0
13	103	90	100	105	91	129	125	115	142	149	D	1	1	1	1	0
14	90	100	105	91	129	125	115	142	149	158	D	1	1	1	1	0
15	100	105	91	129	125	115	142	149	158	183	D	1	1	1	1	0
16	105	91	129	125	115	142	149	158	183	185	D	1	1	1	1	0

Скористаємося програмою BrainMaker Professional для створення нейромережевої моделі з використанням прикладів №1 – №5 навчальної вибірки (табл. 4.1). У вікні NetMaker зарезервуємо один факт для тестування, використовуючи команду «Preferences...» з меню «File» та встановлюючи прапорець "Create Test File With" 5 "Percent of the Facts". Точність навчання будемо оцінювати за критерієм проценту точності (TOL=0,1) та за критерієм середнього квадратичного відхилення (RMS).

На рисунках 4.11 та 4.12 представлені результати навчання та тестування моделі нейромережі, призначеної для прогнозування стану технологічного процесу механічної обробки першої деталі реалізації №2.

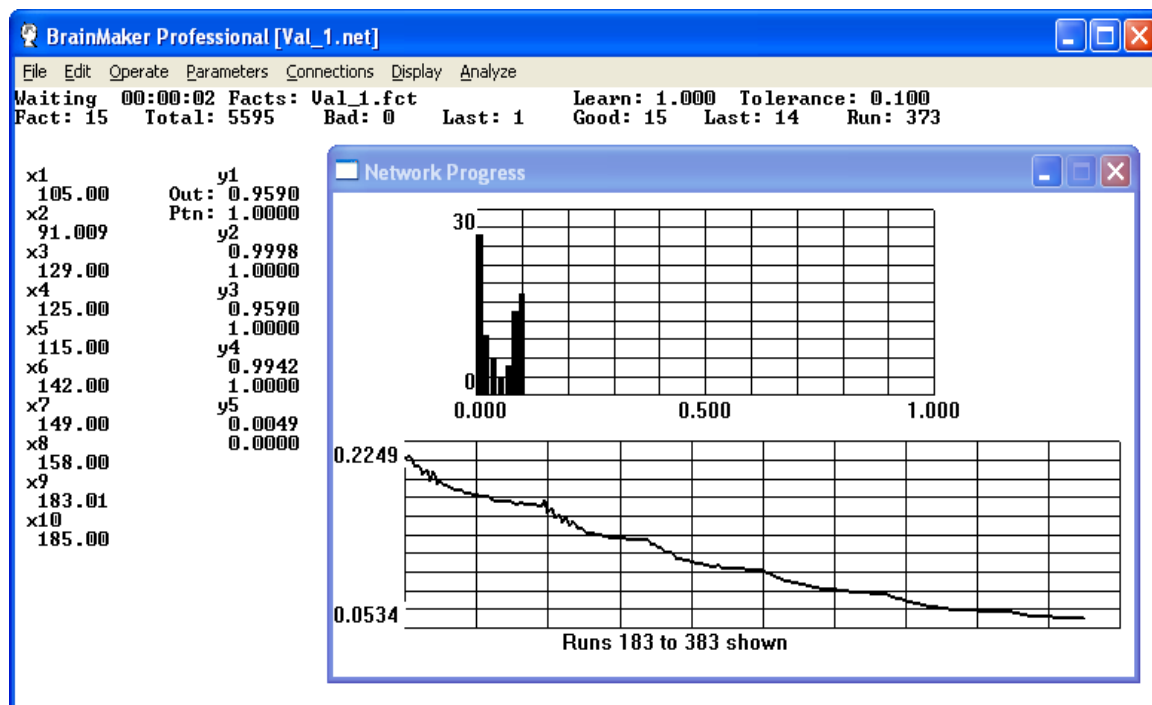


Рис. 4.11. Нейромережева модель для прогнозування стану технологічного процесу механічної обробки 1-ї деталі реалізації №2

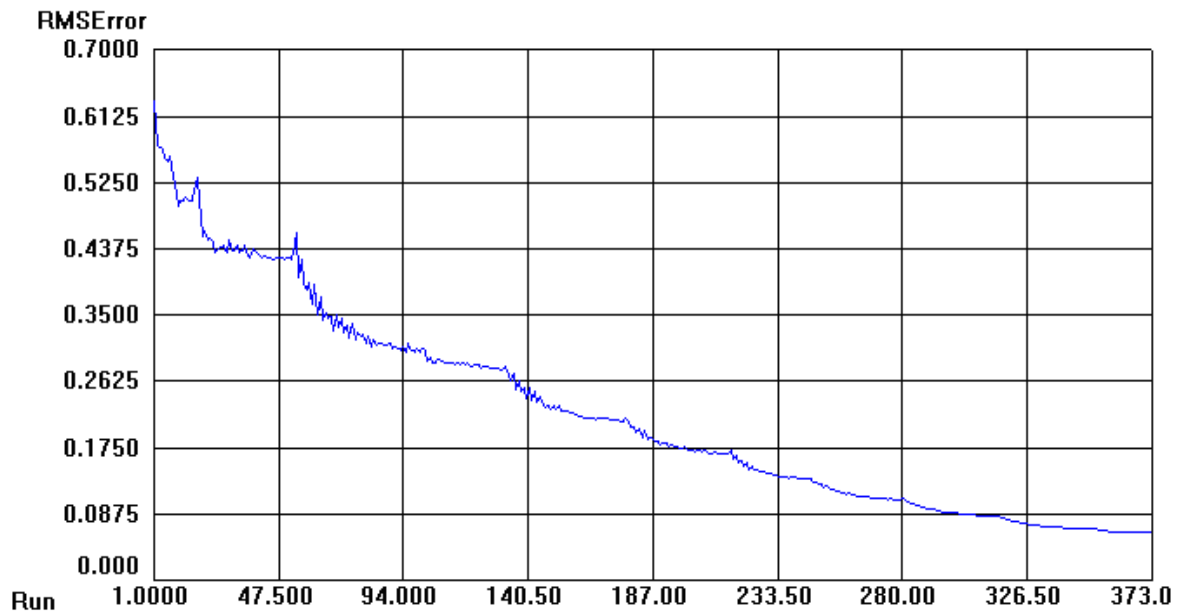


Рис.4.12. Графік зміни *RMS*-помилки навчання моделі нейромережі для 1-ї деталі

Відсутність нерозпізнаних фактів на етапі навчання та тестування ($V_{ad}=0$) і значення $RMS < 0,0875$ (див. рис. 4.11, рис. 4.12) свідчать про високу точність навчання нейромережевої моделі протягом 373 тактів ($R_{un}=373$).

Для прогнозування станів процесу будемо використовувати значення відхилень діаметра валика кожної послідовно виготовленої деталі реалізації №1 (табл. 4.3).

На основі використання нейромережевої моделі (рис. 4.11) отримаємо прогнозні оцінки стану технологічного процесу механічної обробки для 1-ї деталі з реалізації №1 за входами $x_1 - x_{10}$ першого рядка таблиці 4.3, ігноруючи її виходи $y_1 - y_5$, як показано на рисунку 4.13.

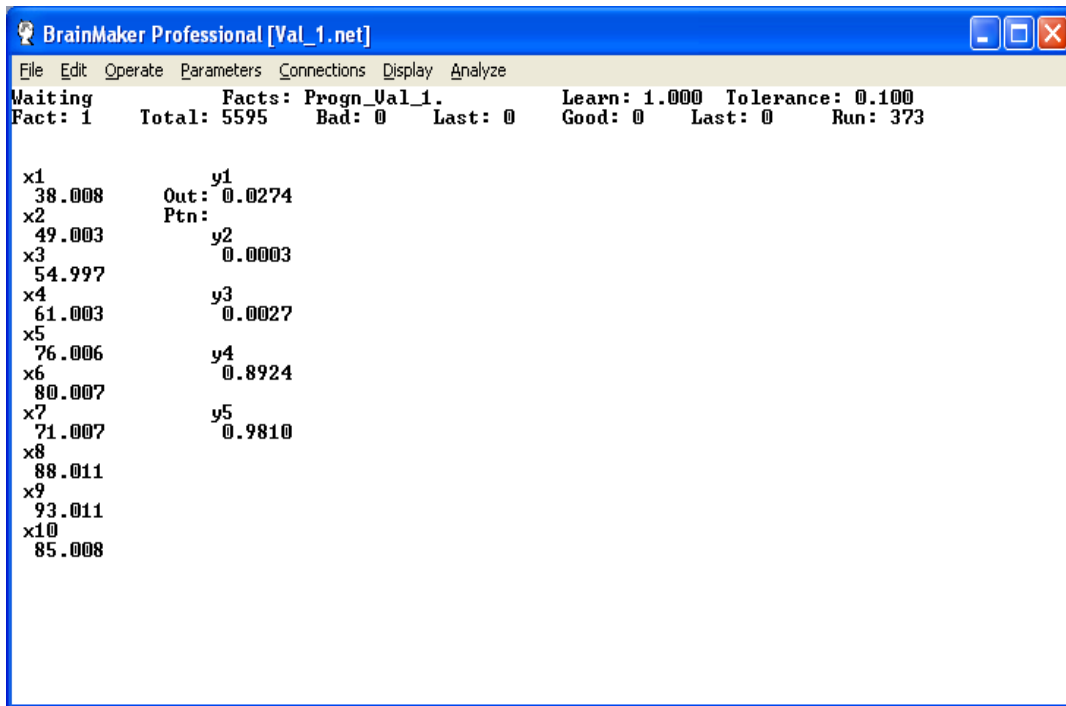


Рис. 4.13. Прогнозні оцінки вектора контрольованого параметра для 1-ї деталі реалізації №2

Аналіз результатів прогнозування для 1-ї деталі реалізації №1 (рисунок 4.13) показує, що отриманий вектор прогнозних оцінок $y_1 - y_5$ (0,02; 0,00; 0,00; 0,89; 0,98) при $TOL=0,1$ збігається зі значеннями $y_1 - y_5$ для цієї деталі в таблиці 4.3 (0; 0; 0; 1; 1). Це свідчить про достовірне розпізнавання зони статистичного регулювання $-B$, закодованої бінарним вектором (00011) згідно з принципом кодування.

Для прогнозування контрольованого параметра 2-ї деталі реалізації №1 навчимо нейромережеву модель, використовуючи приклади (табл. 4.2) та першого рядка прогнозного набору (табл. 4.3), що відповідає наступній виготовлюваній деталі в циклі обробки. Використання цього рядка в навчальній вибірці дозволяє реалізувати властивість адаптивності моделі нейромережі та продовжити процес її навчання в режимі онлайн. Прогнозні оцінки для 2-ї деталі реалізації №1 отримаємо за входами другого рядка таблиці 4.3. Нейромережева модель навчена за 393 такти ($Run=393$) на 16 фактах (1 факт зарезервованій для тестування). Результат моделювання для цієї деталі представлений на рисунку 4.14 та рисунку 4.15.

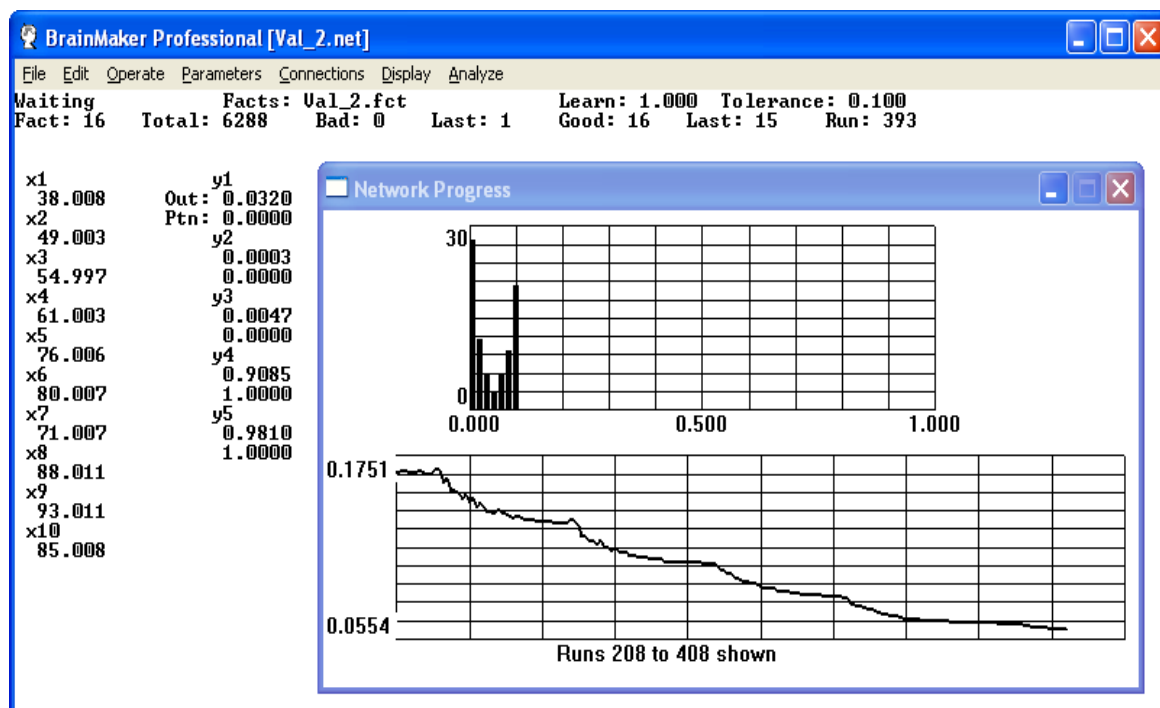


Рис. 4.14. Нейромережева модель для прогнозування стану процесу механічної обробки 2-ї деталі реалізації №2

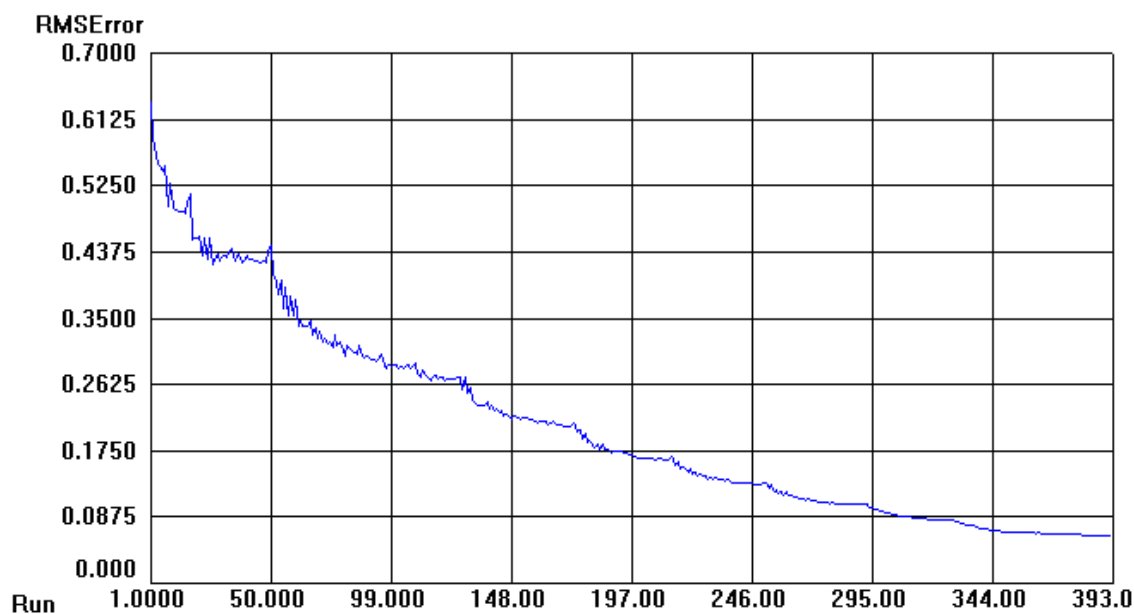


Рис. 4.15. Графік зміни RMS-помилки навчання моделі нейромережі для 2-ї деталі

Відсутність нерозпізнаних фактів на етапі навчання та тестування (Bad=0) і значення $RMS < 0,0875$ (рисунок 4.14, 4.15) свідчать про високу точність навчання

моделі. Результат прогнозування контрольованого параметра технологічного процесу механічної обробки другої деталі представлено на рисунку 4.16.

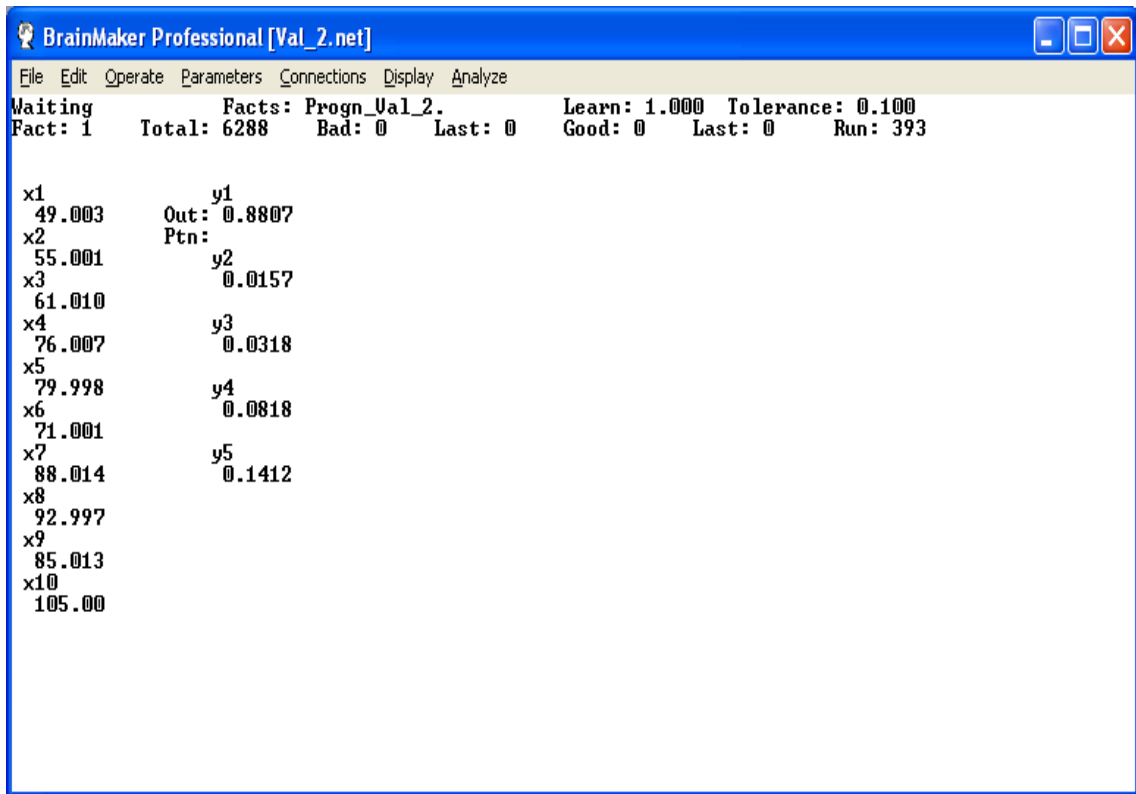


Рис.4.16. Прогнозні оцінки вектора контрольованого параметра 2-ї деталі

Аналіз прогнозних оцінок отриманого вектора $y_1 - y_5$ (0,88; 0,01; 0,03; 0,08; 0,14) при $TOL=0,1$ (рис. 4.16) свідчить про достовірне розпізнавання зони статистичного регулювання S , закодованої бінарним вектором (10000), як показано на рисунку 13.2.

Висновки до четвертого розділу

За результатами обчислювальних експериментів доведено, що застосування розроблених нейромережових моделей дозволяє отримати прогностні оцінки стабільності та точності технологічних процесів механічної обробки деталей типу вал з достовірністю 90 % – 96 %.

Розроблені нейромережові моделі можуть бути використані в автоматизованих системах для формування керуючого впливу та попередження відхилень параметрів деталей від регламентованих значень в режимі онлайн під час управління точністю процесу механічної обробки деталей.

Список використаних джерел

1. Generative AI Market Size, Share, and Trends 2024 to 2033 URL: <https://www.precedenceresearch.com/generative-ai-market>(дата звернення: 06.07.2024).
2. 2024 AI Business Predictions. URL: <https://www.pwc.com/us/en/tech-effect/ai-analytics/ai-predictions.html> (дата звернення: 07.03.2024).
3. Технологічні тренди 2024 року. URL: https://speka.media/tehnologicni-trendi-2024-roku-py77eq?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=21107681931&gad_source=1 (дата звернення: 07.03.2024).
4. Tech Trends 2024. URL: https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/articles/us176403_tech-trends-2024/DI_Tech-trends-2024.pdf (дата звернення: 07.03.2024).
5. Gartner Identifies the Top 10 Strategic Technology Trends for 2024. URL: <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2023-10-16-gartner-identifies-the-top-10-strategic-technology-trends-for-2024> (дата звернення: 02.02.2024).
6. Частіше, ніж здається. Де та для чого використовують штучний інтелект. <https://prjctr.com/mag/aicases> (дата звернення: 02.02.2024).
7. Зубрецькая Н. А., Федин С. С., Зубрецькая И. С. Построение градуировочных характеристик датчиков температуры с использованием нейронных сетей. *Вестник Инженерной академии Украины*. 2015. № 1. С. 130–136.
8. Федин С. С., Зубрецькая Н. А., Зубрецькая И. С. Моделирование статических характеристик датчиков температуры на основе нечеткой логики. *Системи обробки інформації*. 2015. № 4(129). С. 75–79.
9. Желдак Т.А., Коряшкіна Л.С. Нечіткі множини в системах управління та прийняття рішень :навчальний посібник. Дніпро :НТУ ДП, 2020. 386 с
10. Івахів О., Наконечний М. Основи побудови систем керування з нечіткою логікою :навчальний посібник. Львів :Растр-7, 2017. 129 с.
11. Ротштейн О. П. Інтелектуальні технології ідентифікації: нечіткі множини, генетичні алгоритми, нейронні мережі. Вінниця: «Універсум-Вінниця», 1999. 320 с.
12. Sorin Draghici. Neural networks in analog hardware — design and implementation issues. *International Journal of Neural Systems*. 2000. № 10:01, P. 19-42.

13. Федін С. С., Зубрецька І. С., Поликарпов А. А. Обеспечение точности построения градуировочных характеристик NTC-термисторов на основе нейронных сетей с радиальными базисными функциями. *Метрологія та прилади*. 2017. № 1(63). С. 37–46.

14. Федін С. С., Зубрецька І. С., Сокотун Ж. В. Використання RBF-мереж для побудови градууювальної характеристики NTC-термісторів. *Technical Using of Measurement – 2017: III Всеукр. наук.-тех. конф. молодих вчених у царині метрології*, 24–29 січня 2017 р.: тези доп. Славське: Академія метрології України. С. 19–21.

15. Грінченко Г.С., Багаєв І.О., Тріщ Ю.В. Імплементация системи управління якістю згідно міжнародних стандартів ISO/IEC 27000. *VII Мехатронні системи : інновації та інжиніринг : тези доповідей VII Міжнародної наук.-практ. конф.* Київ : КНУТД, 2023. С. 261.

16. Мазорчук К.К., Багаєв І.О., Тріщ Ю.В. Застосування штучного інтелекту при оцінюванні ризиків функціонування системи управління якості. *Освіта та технології для розвитку суспільства: збірник тез доповідей LVIII Науково–практичної конференції здобувачів вищої освіти академії (м. Харків, 13 – 17 листопада)*. Харків:УІПА, 2023. С.12.

17. Шварц Ю. М., Яганов П. А., Дзюба В. Г. Нейросетевая аппроксимация термометрической характеристики диодного сенсора. *Технология и конструирование в электронной аппаратуре*. 2005. № 5. С. 18-22.

18. Запорожец О. В., Коротенко В. А., Овчарова Т. А. Компенсация нелинейности функции преобразования измерительных устройств с помощью искусственной нейронной сети. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2010. № 4(16). С. 99–103.

19. Дегтярев А. В., Запорожец О. В., Овчарова Т. А. Адаптивная система компенсации нелинейности функции преобразования измерительных устройств на базе трехслойного персептрона. *Електротехнічні та комп'ютерні системи*. 2012. № 6. С. 235–241.

20. Nicholas J. Cotton, Bogdan M. Wilamowski. Compensation of Sensors Nonlinearity with Neural Networks. *24th IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications*. 2010. P. 1210–1216.

21. Dongale T. D., Kamat R. K. Modelling of NTC thermistor using artificial neural network for nonlinearity compensation. *Informatics Engineering, an International Journal (IEIJ)*. 2013. Vol. 1. P. 15–20.

22. Shakeb A. Khan, Tarikul Islam, Gulshan. Artificial Neural Network based online sensor calibration and compensation. *Computing*. 2007. Vol. 6. № 3. P. 74–78.

23. Self-Calibration and optimal response in intelligent sensors design based on Artificial Neural Networks / José Rivera and ets. *Sensors*. 2007. №7. P. 1509–1529.

24. Naveen Kumar Vaegae, Venkata Lakshmi Narayana K. Investigation of Artificial Neural Network techniques for thermistor linearization. *Sensors & Transducers*. 2015. Vol. 186. № 3. P. 55–63.

25. Powell M. J. D. The theory of radial basis function approximation in 1990. *Wavelets, Subdivision Algorithms and Radial Basis Functions*. Oxford: Oxford Science Publications. 1992. Vol. II. P. 105–210.

26. Руденко О. Г., Бодянський Є. В. Штучні нейронні мережі. Харків: Компанія СМІТ, 2006. 404 с.

27. Тріщ Р.М., Грінченко Г.С., Катрич О.О., Яковлев М.Ю., Багаєв І.О., Мірошник Є.І. Застосуванням чутливої статистичної характеристики для оцінювання якості в машинобудуванні. *Машинобудування: Збірник наукових праць*. 2023. №32. С. 47-54.

ВИСНОВКИ

У результаті проведених теоретичних та експериментальних досліджень удосконалили методи оцінювання ризиків низької якості технологічних процесів, застосовуючи при цьому методи квалдіметрії та ефективні інформаційні технології.

При цьому отримали наступні наукові результати:

1. Отримали нову не лінійну функціональну залежність між дійсними значеннями показників якості технологічного процесу та їх оцінками на безрозмірній шкалі. Її особливість та цінність у тому, що при її застосуванні не потребується застосування експертних оцінок. Крім цього її можна вважати універсальною, так як немає параметрів, а залежить тільки від дійсних значень показників якості технологічних процесів та їх граничних значень.

2. Провели апробацію застосування запропонованої функціональної залежності для оцінювання якості об'єктів різної природи. У якості об'єктів квалдіметрії використовувались приклади продукції, процесу та системи.

3. Для визначення стаціонарності технологічних процесів, як оцінок показників якості протягом певного часу їх функціонування запропонували використовувати математичний апарат непараметричних статистик.

4. У випадку стаціонарності процесу розробили метод оцінювання ризиків виготовлення продукції низької якості з використанням запропонованої функціональної залежності та теорії ланцюгів Маркова. Були розроблені методика та програмне забезпечення для передбачення похибки виробництва на конкретного технологічного процесу перехідна матриця виявилася обмеженою (9-12 кроків). Тому в умовах такої обмеженої інформації про оцінки якості виробництва доцільно проводити прогноз лише на 4-5 кроків вперед. Якщо застосувати Систему автоматичного управління якістю, то це може призвести до зменшення розкиду оцінок показників якості на 16%.

5. У випадку не стаціонарності процесу розробили метод оцінювання ризиків виготовлення продукції низької якості на основі використання запропонованої функціональної залежності та застосування одного із методів штучного інтелекту –

нейронних мереж.

6. Розробили універсальну методику оцінювання ризиків виготовлення продукції низької якості з використанням запропонованої функціональної залежності та застосуванням одного із методів штучного інтелекту – нейронних мереж. За результатами обчислювальних експериментів доведено, що застосування розроблених нейромережових моделей дозволяє отримати прогнозні оцінки стабільності технологічних процесів механічної обробки деталей з достовірністю 90% – 96%.

ДОДАТКИ

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових фахових виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз

1. Fedorovich O., Lutai L., Kompanets V., Bahaiev I. The Creation of an Optimisation Component-Oriented Model for the Formation of the Architecture of Science-Based Products. Lecture Notes in Networks and Systems. 2024. Vol. 996. P. 415-426.

Keywords: architecture of a technical product; component approach; design; high-tech products; shortening the life cycle of new technique

DOI: 10.1007/978-3-031-60549-9_31 (Scopus).

URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-60549-9_31

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

2. 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.

Ключові слова: аналіз медичний текстильний матеріал, стерилізація, метод іонізуючого випромінювання, стандартизація режимів, COVID-19.

DOI: 10.20998/2413-4295.2021.04.14.

URL: <http://vestnik2079-5459.khpi.edu.ua/article/view/245927>

(Особистий внесок здобувача: розроблена математична модель поглинутої дози випромінювання матеріалом, та розрахувати режими опромінення різних текстильних матеріалів за допомогою інформаційних технологій. Запропоновано метод оцінювання ризиків. Відповідні результати наведені в практичній частині роботи.

Особистий внесок Черняк О. М.: запропоновано метод іонізуючого випромінювання для стерилізації текстильних матеріалів, відповідні результатом є матеріалами публікації.

Особистий внесок Сороколат Н. А.: перевірка наукової достовірності отримуваних результатів, перевірка тексту роботи, редагування. Відповідні результатом є матеріалами публікації.

Особистий внесок Каницька І. В.: перевірка наукової достовірності отримуваних результатів, перевірка тексту роботи. Відповідні результатом є матеріалами публікації.

Особистий внесок Фатєєва Л. Ю.: проведено аналіз методів стерилізації текстильних матеріалів. Було виявлено, що застосування гамма-випромінювання – це дуже небезпечний технологічний процес, так як застосовуються природні джерела - гамма-промені, радіаційні технології з гамма-випромінюванням складні при утилізації відпрацьованих джерел енергії та непрості при обслуговуванні, результати наведені у відповідній частині роботи).

3. 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.

Ключові слова: функціональна залежність; методика оцінювання; багатокритеріальне оцінювання; об'єкт кваліметрії; узагальнений показник; безпека праці.

DOI: 10.30837/ITSSI.2022.19.076.

URL: <https://itssi-journal.com/index.php/itssi/article/view/318>

(Особистий внесок здобувача: проаналізовано існуючі функціональні залежності між вимірними значеннями показників якості та їх оцінкою на безрозмірній шкалі, які застосовували для оцінювання об'єктів кваліметрії різної природи. Отримано функціональну залежність між дійсними значеннями показників якості технологічного процесу та їх оцінками на безрозмірній шкалі, результати наведені у відповідній частині роботи.

Особистий внесок Черняк О. М.: перевірка наукової достовірності отримуваних результатів, перевірка тексту роботи, редагування. Відповідні результатом є матеріалами публікації.

Особистий внесок Сороколат Н. А. перевірка наукової достовірності отримуваних результатів, перевірка тексту роботи, редагування. Відповідні результатом є матеріалами публікації.:

Особистий внесок Фатєєва Л. Ю.: розроблено покрокову методичку визначення узагальненого показника безпеки праці на виробництві та на прикладі вимірних чисельних значення небезпечних чинників, показано її дієвість та універсальність, результати наведені у відповідній частині роботи.)

4. Грінченко Г.С., Тріщ Ю.В., Грінченко В.В., Багаєв І.О., Фатєєва Л. Ю. Підходи щодо оцінювання ризиків функціонування систем об'єктів різного призначення. *Машинобудування*. 2022. № 29. С. 70–79.

Ключові слова: ризик, системи, кваліметричне оцінювання, надійність, безвідмовність, відновлюваність.

DOI: 10.32820/2079-1747-2022-29-70-79.

URL: <https://jmash.uipa.edu.ua/index.php/jMASH/article/view/287/211>

(Особистий внесок здобувача: запропоновано в якості оцінювання ризиків функціонування систем функціональну залежність між дійсними значеннями показників якості технологічного процесу та їх оцінками на безрозмірній шкалі та фізико-статистичну математичну модель на основі інформаційних методів оцінювання інтенсивності відмов та ймовірності відновлення роботи системи, результати наведені у відповідній частині роботи.

Особистий внесок Грінченко Г.С.: проаналізовано та виокремлено основні проблеми при кваліметричному оцінювання ризиків. Результати наведені у відповідній частині роботи.

Особистий внесок Тріщ Ю.В.: попередня обробка та аналіз даних з їх візуалізацією, результати наведені у відповідній частині роботи.

Особистий внесок Грінченко В.В.: перевірка наукової достовірності отримуваних результатів, перевірка тексту роботи, редагування. Відповідні результатом є матеріалами публікації.

Особистий внесок Фатєєва Л. Ю.: запропоновано для кваліметричного оцінювання вважати ризиком обернену величину надійності, запропоновано оцінювання ризиків розділити на дві моделі функціонування системи, результати наведені у відповідній частині роботи.)

5. 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.

Ключові слова: кваліметрія; комплексний показник; оцінювання; метод інтегрування; метод середніх прямокутників; безпека праці

DOI: 10.30837/ITSSI.2023.23.115.

URL: <https://itssi-journal.com/index.php/itssi/article/view/372>

(Особистий внесок здобувача: графічно побудовано часовий ряд змін показників шкідливих чинників з плином часу, визначено комплексний показник безпеки праці на виробництві за допомогою інформаційних технологій та методом середніх прямокутників. Відповідні результати наведені в практичній частині роботи.

Особистий внесок Черняк О. М.: перевірка наукової достовірності отримуваних результатів, перевірка тексту роботи. Відповідні результатом є матеріалами публікації.

Особистий внесок Сороколат Н. А.: проаналізовано низку сучасних наукових праць, у яких розглянуто кількісне оцінювання якості об'єктів кваліметрії різної природи, що мають неоднакові показники якості та різні шкали вимірювання, результати наведені у відповідній частині роботи.

Особистий внесок Бурдейна В. М.: перевірка наукової достовірності отримуваних результатів, редагування. Відповідні результатом є матеріалами публікації.

Особистий внесок Фатєєва Л. Ю.: запропоновано застосувати метод середніх прямокутників для визначення комплексного показника шкідливого виробничого чинника, результати наведені у відповідній частині роботи).

6. 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. – Харків: НТУ «ХПІ». 2023. № 1 (15). С. 60-67.

Ключові слова: кваліметрія, комплексний показник, багатокритеріальне оцінювання, метод інтегрування, метод трапецій, безпека праці

DOI: 10.20998/2413-4295.2023.01.08.

URL: <http://vestnik2079-5459.khpi.edu.ua/article/view/274797>

(Особистий внесок здобувача: графічно побудовано часовий ряд змін показників шкідливих чинників з плином часу, визначено комплексний показник безпеки праці на виробництві застосовуючи інформаційні технології. Відповідні результати наведені в практичній частині роботи.

Особистий внесок Черняк О. М.: перевірка наукової достовірності отримуваних результатів, перевірка тексту роботи. Відповідні результатом є матеріалами публікації.

Особистий внесок Сороколат Н. А.: аналіз проблемної області та робіт присвяченій цій області, відповідна частина наведена в роботі.

Особистий внесок Фатєєва Л. Ю.: запропоновано застосувати метод інтегрування для визначення комплексного показника шкідливого виробничого чинника, запропонована апробація методики визначення комплексного показника безпеки праці на виробництві, результати наведені у відповідній частині роботи.

Особистий внесок Тріщ Ю.В.: перевірка наукової достовірності отримуваних результатів, редагування. Відповідні результатом є матеріалами публікації.).

7. Тріщ Р.М., Грінченко Г.С., Катрич О.О., Яковлев М.Ю., Багаєв І.О., Мірошник Є.І. Застосуванням чуттєвої статистичної характеристики для оцінювання якості в машинобудуванні. Машинобудування: Збірник наукових праць. 2023. №32. С. 47-54.

Ключові слова: оцінювання якості, точність технології, адекватність, закон розподілу, механічна обробка

DOI: 10.32820/2079-1747-2023-32-46-54

URL: <https://jmash.uipa.edu.ua/index.php/jMASH/article/view/316/241>

(Особистий внесок здобувача: запропоновано використати інформаційну технологію застосування чутливої "λ-характеристики" для оцінювання адекватності інформаційної моделі якості технологічних процесів в машинобудуванні.

Особистий внесок Тріщ Р.М.: проаналізовано та виокремлено основні проблеми при виробництві деталей, а саме чинники, що впливають на якість процесів, результати наведені у відповідній частині роботи.

Особистий внесок Грінченко Г.С.: перевірка наукової достовірності отримуваних результатів, редагування. Відповідні результатом є матеріалами публікації.).

Особистий внесок Катрич О.О.: попередня обробка та аналіз даних з їх візуалізацією, результати наведені у відповідній частині роботи.

Особистий внесок Яковлев М.Ю.: перевірка наукової достовірності отримуваних результатів, редагування. Відповідні результатом є матеріалами публікації.).

8. 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.

Ключові слова: закон розподілу; кількість періодів оцінювання; статистична інформація; ідентифікація; математичне сподівання; порядкові статистики; дисперсія; індекси сталого розвитку.

DOI: 10.30837/ITSSI.2024.27.215

URL: <https://itssi-journal.com/index.php/itssi/article/view/471>

(Особистий внесок здобувача: запропоновано інформаційний метод ідентифікації закону розподілу випадкових величин за малою кількістю статистичної інформації, розроблено покрокову методику ідентифікації закону розподілу випадкових величин

із використанням інформаційних технологій. Відповідні результати наведені в практичній частині роботи.

Особистий внесок Черняк О. М.: розглянуто параметричні та непараметричні методи статистики, їх переваги та недоліки. Відповідні результати наведені в практичній частині роботи

Особистий внесок Катрич О. О.: перевірка наукової достовірності отримуваних результатів, редагування. Відповідні результатом є матеріалами публікації.

Особистий внесок Теслов О. А.: перевірка наукової достовірності отримуваних результатів, редагування. Відповідні результатом є матеріалами публікації.

Особистий внесок Косиченко О. М.: попередня обробка та аналіз даних з їх візуалізацією, результати наведені у відповідній частині роботи.

Особистий внесок Шевченко В. П.: попередня обробка та аналіз даних з їх візуалізацією, результати наведені у відповідній частині роботи.).

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

9. Малецька О.Є., Тріщ Ю.В., Багаєв І.О. Перевірка та калібрування обладнання випробувальної лабораторії. Якість, стандартизація та метрологічне забезпечення: матеріали міжнар. наук-практ. конф. (м. Харків, 25-26 січня 2022 року). Харків, 2022. С. 36.

10. Грінченко Г.С., Багаєв І.О., Тріщ Ю.В., Грінченко В.В. Кваліметричні підходи до оцінювання якості індикаторів сталого розвитку// Якість, стандартизація та метрологічне забезпечення: матеріали II міжнар. наук-практ. конф. (м. Харків, 14-15 березня 2023 року). Харків, 2023. С. 111.

11. Грінченко Г.С., Багаєв І.О., Тріщ Ю.В. Імплементация системи управління якістю згідно міжнародних стандартів ISO/IEC 27000. VII Мехатронні системи : інновації та інжиніринг : тези доповідей VII Міжнародної наук.-практ. конф. Київ : КНУТД, 2023. С. 261.

12. Мазорчук К.К., Багаєв І.О., Тріщ Ю.В. Застосування штучного інтелекту при оцінюванні ризиків функціонування системи управління якістю. Освіта та технології для розвитку суспільства: збірник тез доповідей LVIII Науково–

практичної конференції здобувачів вищої освіти академії (м. Харків, 13 – 17 листопада). Харків:УПА, 2023. С.12.

13. Черняк О.М., Багаєв І.О., Теслов О.А., Крутько В.О. Застосування автоматизованої системи оцінювання якості об'єктів кваліметрії. Інформаційні технології: теорія і практика. I (VII) міжнародна науково-практична конференція здобувачів вищої освіти і молодих учених «Інформаційні технології: теорія і практика». Тези доповідей (Дніпро 20 – 22 березня 2024). М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Дніпро : Свідлер А.Л., 2024. С. 401-402.

14. Катрич О.О., Багаєв І. О., Кислий А. Г. Методика визначення мінімальної кількості періодів для оцінювання індексів сталого розвитку країн ЄС методами порядкових статистик. Управління розвитком соціально-економічних систем: Матеріали VIII Міжнародної науково-практичної конференції (м. Харків, 21-22 березня 2024 року). Харків: ДБТУ. Ч. 2. 2024. С. 180-183.

15. Катрич О.О., Багаєв І.О., Рибальченко Т.П. Застосування функціонально – залежних статистик для оцінювання якості об'єктів кваліметрії різної природи. Наукові дослідження молоді з проблем європейської інтеграції: збірник тез доповідей XIII Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів до 80-річчя від дня заснування банківського інституту (5 квітня 2024 року, м. Харків, Україна). Харків : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2024. С. 324-327.

ДОКУМЕНТИ, ЯКІ ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ ОСНОВНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

ЗАТВЕРДЖУЮ

Перший проректор

з науково-педагогічної роботи

Української інженерно-

педагогічної академії



Сергій ПЕТРОВ

« 05 » _____ 2024р

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

Результатів наукових досліджень дисертаційної роботи

Ігора БАГАЄВА

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 Грінченко Г. С., встановила, що результати наукових досліджень Багаєва І.О. запроваджені у навчальному процесі УПА у вигляді:

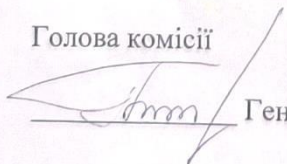
- теоретичних матеріалів при вивченні навчальних дисциплін: «Інформаційні системи оцінювання якості»; «Кваліметрія»; «Управління якістю технологічних процесів»;

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

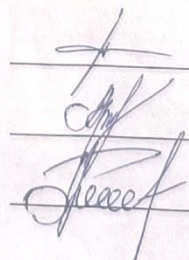
- при виконанні курсових та дипломних проектів магістрів для спеціальності 175 «Інформаційно-вимірювальні технології» освітньо-професійної програми «Якість, стандартизація та сертифікація».

Члени комісії

Голова комісії



Геннадій КАНЮК



Наталія АНТОНЕНКО

Світлана АРТЮХ

Ганна ГРІНЧЕНКО

"ЗАТВЕРДЖУЮ"



**АКТ впровадження
результатів наукових досліджень дисертаційної роботи
Ігора БАГАЄВА**

Ми, представники органу з сертифікації систем менеджменту ТОВ «Орган з оцінки відповідності "ПРОМСТАНДАРТ": Денисенко Марина Володимирівна, аудитор з сертифікації СУЯ згідно вимог ДСТУ EN ISO 9001: 2018 (EN ISO 9001:2015, IDT; ISO 9001:2015, IDT); ДСТУ ISO 9001:2015 (ISO 9001: 2015, IDT); ISO 9001:2015 (сертифікат аудитора № UA OСП ПЕ 2022 - 001/1220 від 20.12.2022 р. до 19.12.2025 р.), Ковальова Наталія Василівна - Головний аудитор систем менеджменту якості (ДСТУ EN 180 9001:2018, ДСТУ ISO 9001: 2015, ISO 9001:2015) (сертифікат аудитора № ГАСМЯ.091 від 14.12.2021 р. чинний до 14.12.2024 р.) та здобувач Української інженерно-педагогічної академії (УПА) – Ігор Багаєв, склали цей акт про те, що відповідно до угоди про співпрацю між ТОВ "ООВ ПРОМСТАНДАРТ" та УПА, ТОВ "ООВ ПРОМСТАНДАРТ" випробувало методику оцінювання процесів системи управління якістю кваліметричними методами відповідно до вимог міжнародного стандарту ISO 9001:2015, яка передбачала наступне:

Апробовано методику прогнозування оцінок якості функціонування соціально-економічних процесів. У разі стаціонарності, випадковості та ергодичності розсіювання показників якості процесу для його прогнозування з часом пропонується застосовувати теорію ланцюгів Маркова, яка дозволяє, використовуючи статистичні дані про якість процесу, отримати прогноз на кілька кроків вперед.

Дана методика універсальна, так як може бути застосована при оцінюванні якості технологічних процесів та систем, що дає можливість впливати на них та корегувати їх.

Від ТОВ "ООВ "ПРОМСТАНДАРТ"

 A handwritten signature in black ink, appearing to be "M. Denisenko".

Марина ДЕНИСЕНКО

 A handwritten signature in black ink, appearing to be "N. Kovalova".

Наталія КОВАЛЬОВА

Від УПА

 A handwritten signature in black ink, appearing to be "I. Bagayev".

Ігор БАГАЄВ

Онлайн сервіс створення та перевірки кваліфікованого та удосконаленого електронного підпису

ПРОТОКОЛ
створення та перевірки кваліфікованого та удосконаленого електронного підпису

Дата та час: 14:45:42 12.02.2025

Назва файлу з підписом: ДИСЕРТАЦІЯ БАГАЄВ І.О..pdf
Розмір файлу з підписом: 4.1 МБ

Перевірені файли:
Назва файлу без підпису: ДИСЕРТАЦІЯ БАГАЄВ І.О..pdf
Розмір файлу без підпису: 4.1 МБ

Результат перевірки підпису: Підпис створено та перевірено успішно. Цілісність даних підтверджено

Підписувач: Багаєв Ігор Олександрович
П.І.Б.: Багаєв Ігор Олександрович
Країна: Україна

РНОКПП: 3194706674

Час підпису (підтверджено кваліфікованою позначкою часу для підпису від Надавача): 15:45:32
12.02.2025

Сертифікат виданий: "Дія". Кваліфікований надавач електронних довірчих послуг

Серійний номер: 382367105294AF97040000001EEE07007E488103

Тип носія особистого ключа: ЗНКІ криптомодуль ІІТ Гряда-301

Алгоритм підпису: ДСТУ 4145

Тип підпису: Кваліфікований

Тип контейнера: Підписаний PDF-файл (PAdES)

Формат підпису: З повними даними для перевірки (PAdES-B-LT)

Сертифікат: Кваліфікований

Версія від: 2025.02.05 13:00