

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-вимірвальна 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 нейромережевих моделей дозволяє отримати прогнозні оцінки стабільності та точності технологічних процесів механічної обробки деталей типу вал з достовірністю 90% - 96%. Розроблені нейромережеві 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.

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.