

АНОТАЦІЯ

Костюк Ю.В. Інформаційно-інтелектуальна система оцінки та прогнозування якості харчової продукції. – Кваліфікаційна наукова робота на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії в галузі знань «Інформаційні технології» за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки». Державний торговельно-економічний університет, Київ, 2023.

Дисертація є комплексним дослідженням з розробки, аналізу, оцінки та застосування інформаційно-інтелектуальної системи оцінки та прогнозування якості харчової продукції.

Актуальність теми дослідження зумовлена тим фактором, що управління якістю виробництва харчової продукції вимагає розробки комплексної інформаційно-інтелектуальної системи, яка ґрунтується на моделюванні інформаційних потоків виробничого процесу, застосуванні ефективних методів підтримки прийняття рішень, основних методах оцінки та прогнозування показників якості продукції, що призведе до підвищення якості продукції.

Сучасний розвиток цифрового світу підвищує вимоги до побудови інформаційних систем для моніторингу, оцінки, прогнозування та підтримки прийняття рішень на підприємствах, які є виробниками продукції або товарів загального вжитку. Такі виклики потребують використання сучасних інноваційних підходів щодо побудови інформаційних систем, включаючи використання елементів штучного інтелекту, а саме баз знань та нейронних мереж. Інформаційно-інтелектуальні системи здатні забезпечити ефективну та потужну підтримку щодо прийняття рішень, яка не відслідковується в традиційних інформаційних системах.

Інформаційно-інтелектуальні системи включають різні аспекти програмного забезпечення, обладнання та масиви даних для забезпечення підтримки прийняття рішення на основі інтелектуального аналізу даних.

Інтелектуальний аналіз даних поєднує методи статистичного та штучного інтелекту з метою отримання нових знань та встановлення закономірностей в умовах невизначеності інформації.

Для візуалізації архітектури компонентів та модулів інформаційно-інтелектуальної системи використовується сценарно-цільовий аналіз на основі графових та прографових моделей, що відображають та деталізують основні цілі, фактори впливу на структуру моделі, операції та міжопераційні зв'язки. Тобто, інтегрована інформаційно-інтелектуальна система поєднує в собі різні підсистеми, які постійно взаємодіють між собою, впливають на загальну ефективність інформаційної системи та спрямовані на забезпечення якості продукції.

Інформаційно-інтелектуальні системи активно використовуються для забезпечення якості виробничих процесів та продукції шляхом інтеграцій функцій обміну знаннями, пов'язаними з показниками якості продукції, з метою забезпечення їх автономності за допомогою елементів штучного інтелекту. Створення таких систем вимагає поєднання новітніх інформаційних та інтелектуальних технологій, хмарних обчислень, аналітики великих даних. Зокрема, це включає використання можливостей інтеграції даних інформаційних систем, прийняття рішень та здатність реагувати на наявні ситуації, представлення результатів через інформаційні панелі та інтерактивні візуальні панелі, а також використання інтелектуальних сенсорних технологій. Інтегровані системи, проводячи інтелектуальний аналіз даних та використовуючи технології штучного інтелекту, дозволяють розуміти та прогнозувати різного роду ситуації.

Однією із важливих характеристик інформаційно-інтелектуальних систем оцінки та прогнозування якості продукції є забезпечення інформаційних потоків між їх складовими, а також виявлення можливих дефектів ще до початку процесу. Тому деякі компоненти інформаційно-

інтелектуальної системи можуть використовувати статистичні методи управління для виявлення аномалій на етапі їх можливого виникнення, покращуючи тим самим ефективність управління якістю. Формування знань-даних через системи збору даних дозволяє аналізувати та візуалізувати інформацію в режимі реального часу, що збільшує ефективність процесу прийняття рішень.

Інформаційно-інтелектуальна система оцінки та прогнозування якості продукції повинна відповідати вимогам та надавати постійне підвищення ефективності функціонування системи в цілому. Щодо аспекту інтелектуалізації якості, важливим стає використання підходів, що базуються на знаннях, для створення та експлуатації системи на відмінну від традиційних підходів. Виникає потреба в методах та методологіях для опису вимог щодо майбутньої системи, опису задіяних етапів при проектуванні, відображення послідовності дій між системами різних рівнів виробничого підприємства. Методологія SysML дозволяє аналізувати, конкретизувати і проектувати такі складні системи з метою підвищення їх якості.

Інформаційні та комунікаційні технології стрімко розвиваються, хмарні технології стають все більше затребуваними та дозволяють поєднувати фізичний та віртуальний світ на основі програмного забезпечення із відкритим вихідним кодом. Для розробки інформаційної панелі інформаційно-інтелектуальної системи оцінки та прогнозування якості продукції використано середовище NODE-RED із відкритим вихідним кодом. Інформаційна панель представлена у вигляді дашборду, який складається з колекцій візуалізації елементів для представлення даних процесу через інтерфейс користувача (UI).

Інформаційною базою дослідження стали нормативні матеріали, наукові праці сучасних вітчизняних та закордонних науковців та практиків, вибірки

технологічних даних ТОВ «Гайсинський молокозавод» для процесу збивання вершків у масло із вмістом вологості 16 %, 20 %, 25 % .

Впровадження стратегії інтеграції інформаційно-інтелектуальних систем, які в основі своєї функціональності базуються на принципах та архітектурі штучних нейронних мереж, у єдиний інформаційний простір підприємства дають можливість досягти високої якості продукції на виробничому підприємстві. Цей підхід спрямований на досягнення низки головних цілей, включаючи підвищення рівня ефективності виробничих процесів та забезпечення сталої та надійної якості продукції. Інтеграція інформаційно-інтелектуальних систем заснована на застосуванні сучасних методів аналізу, інтерпретації та обробки даних, що дозволяє виявляти та аналізувати різноманітні аспекти якості продукції в реальному часі. Штучні нейронні мережі, які використовуються в цих системах, надають можливість автоматичного вивчення та адаптації до змін у виробничому середовищі, використовуючи навчання на основі даних. Цей напрямок спрямований на підвищення ефективності виробничих процесів та забезпечення стабільної якості продукції. Такий напрямок розвитку спрямований на досягнення оптимальних рішень у сфері виробництва, максимізуючи використання ресурсів та мінімізуючи можливі ризики виникнення дефектів чи відхилень в якості продукції. Такий підхід не лише сприяє підвищенню якості фінального продукту, але й дозволяє знижувати витрати, оптимізувати процеси виробництва та підтримувати конкурентоспроможність підприємства на ринку. Усе це, враховуючи, інтеграцію інформаційно-інтелектуальних систем, заснованих на штучних нейронних мережах, є важливим інструментом для досягнення успіху та стійкості в сучасному бізнес-світі.

Метою дисертаційної роботи є розробка інформаційно-інтелектуальної системи оцінки та прогнозування якості харчової продукції, яка дозволить покращити моніторинг процесу, прогнозувати можливі варіанти

проходження виробничого процесу, тим самим покращуючи кінцевий показник якості продукції.

Об'єктом дослідження є інформаційні потоки оцінки якості харчової продукції.

Предметом дослідження є інструменти інтеграції апаратного та програмного забезпечення для інформаційно-інтелектуальної системи оцінки та прогнозування якості продукції.

Наукова новизна отриманих результатів. У дисертаційній роботі отримані такі наукові результати:

вперше:

– розроблено та впроваджено сценарно-цільовий підхід щодо моделювання структури інформаційно-інтелектуальної системи оцінки та прогнозування якості харчової продукції (на прикладі виробництва масла), який ґрунтується на методології формально-графічного опису із застосуванням графів та прографів, такий підхід в молочній промисловості взагалі не застосовувався;

– побудовані А-сценарій та С-сценарій для моделі інформаційно-інтелектуальної системи оцінки та прогнозування якості виробництва харчової продукції (на прикладі виробництва масла), що на відміну від раніше запропонованих сценаріїв дозволить проаналізувати та оцінити інформаційні потоки між компонентами моделі та обрати оптимальну структуру для виконання поставлених завдань;

удосконалено:

– поняття системи управління якістю в розрізі інформаційно-інтелектуальної системи оцінки та прогнозування якості харчової продукції для підвищення ефективності контролю якості, що дає можливість забезпечення безпеки та удосконалення всіх аспектів виробництва;

– контекстну модель інформаційно-інтелектуальної системи оцінки та прогнозування якості харчової продукції, яка, на відміну від інших існуючих моделей, відрізняється використанням передових аналітичних методів, можливістю моніторингу та оновлення прогнозів в реальному часі, більшою ефективністю та відповідністю сучасним вимогам оцінки якості харчової продукції;

– метод формування оцінки якості продукції на основі контрольних карт Шухарта за вхідними технологічними параметрами із нанесенням контрольних меж, що ставить акценти на виявленні змін та шляхів покращення процесу;

набуло подальшого розвитку:

– модель концепцій управління якістю харчової продукції, яка, на відміну від інших існуючих концепцій, базується на використанні інформаційних технологій та аналізу даних сприяє вдосконаленню якості харчової продукції, забезпечуючи безпеку споживачів та підвищуючи конкурентоспроможність суб'єктів господарювання;

– архітектура нейро-нечіткої мережі прогнозування якості харчової продукції за допомогою пакету Fuzzy Logic Toolbox системи MATLAB на основі адаптивної системи виводу ANFIS для оцінки якості готової продукції.

Практична значимість наукових результатів.

Практичне значення інформаційно-інтелектуальної системи оцінки та прогнозування якості харчової продукції полягає у наданні науково обґрунтованих пропозицій та розроблених інформаційно-інтелектуальних продуктів, які рекомендовані до використання у діяльності виробничого підприємства. Це сприяє підвищенню якості та ефективності виробничого процесу, зменшенню витрат та ризиків, а також забезпечує відповідність продукції сучасним стандартам та вимогам споживачів. Крім того, інформаційно-інтелектуальні продукти цієї системи можуть

використовуватися для прийняття обґрунтованих рішень та для планування стратегічних напрямків розвитку підприємства.

Розроблено інформаційно-інтелектуальне забезпечення для оцінки якості продукції з використанням наступних середовищ програмування:

1. Побудовані контрольні карти Шухарта за допомогою середовища Statistica для моніторингу та оцінки якості харчової продукції.

2. Розроблено нейро-нечітку мережу для прогнозування оцінки якості харчової продукції, на прикладі вершкового масла, за допомогою пакету Fuzzy Logic Toolbox системи MATLAB на основі адаптивної системи виводу ANFIS.

3. Побудовані графові та прографові моделі, які допомагають візуалізувати архітектуру та функціональність інформаційно-інтелектуальної системи оцінки та прогнозування якості продукції.

4. Побудовані А- та С-сценарії моделі інформаційно-інтелектуальної системи оцінки та прогнозування якості харчової продукції із виділеними атрибутами, що дозволяють більшу деталізацію внутрішньої структури моделі та міжкомпонентних зв'язків системи.

5. Сформовані потоки для запису даних процесу до хмарного застосунка Google Sheet у електронну книгу RPIData та Telegram-бот для отримання інформації щодо показників якості в режимі реального часу.

6. Розроблена інформаційна панель для моніторингу та оцінки якості харчової продукції в середовищі Node-RED з відкритим кодом на основі JavaScript та Node.js. та WEB-інтерфейс користувача у вигляді дашборду з візуалізацією основних параметрів контролю якості харчової продукції.

Результати удосконалення інформаційно-інтелектуальної системи оцінки та прогнозування якості харчової продукції апробовані та впроваджені в діяльність наступних підприємств: ТОВ «Гайсинський молокозавод», ТОВ «ТІСЕР», ТОВ «Інженерний виробничо-технічний центр «Техно-Сервіс».

Дисертаційна робота виконана відповідно до плану науково-дослідних робіт Державного торговельно-економічного університету. НДР №0121U109155 «Моделювання інформаційно-аналітичної системи контролю якості процесу виробництва продукції», (довідка від 23.03.2023 №458/24), виконавцем якої є здобувач, містить результати наукових досліджень зазначеної теми.

Результати дисертаційного дослідження використано у навчальному процесі Державного торговельно-економічного університету (довідка від 28.03.2023 №490/22) при викладанні дисциплін «Інформаційні технології в юридичній практиці», «Організація комп'ютерних мереж», «Методи і засоби передачі даних», «Соціотехнічна кібербезпека», «Технології безпеки безпроводових та мобільних мереж», «Основи кібербезпеки» та в розробці методичного забезпечення освітнього процесу.

Ключові слова: інформаційна система, інтелектуальна система, інформаційні технології, інтелектуальний аналіз даних, система управління якістю, нейро-нечіткі мережі, карти Шухарта, моніторинг якості, нечітка логіка, система підтримки прийняття рішень, структурно-функціональний аналіз, статистичні методи, оцінка якості, математична модель, діагностика, графова модель, прогнозування, нейронна мережа, інформаційна панель, якість продукції.

SUMMARY

Kostiuk Yu. Intelligent Information System for Assessment and Forecasting of Food Product Quality. – Qualifying scientific work on manuscript rights.

Dissertation for the degree of Philosophy Doctor in the field of “Information Technologies,” specialty 122 “Computer Science.” State Trade and Economic University, Kyiv, 2023.

The dissertation represents a comprehensive study on the development, analysis, assessment, and application of an information-intellectual system for the assessment and prediction of food product quality.

The relevance of the research topic is driven by the necessity to develop a comprehensive information-intelligent system for quality management in food production. This system is based on modeling information flows within the production process, the application of effective decision support methods, and fundamental quality evaluation and forecasting techniques, ultimately leading to the enhancement of product quality.

The modern advancements in the digital world have heightened the requirements for constructing information systems for monitoring, assessment, prediction, and decision support in enterprises engaged in the production of consumer goods. These challenges necessitate the utilization of contemporary innovative approaches in information system development, including the incorporation of elements of artificial intelligence, such as knowledge bases and neural networks. Information-intelligent systems are capable of providing efficient and robust decision support that goes beyond the capabilities of traditional information systems.

Information-intelligent systems encompass various aspects of software, hardware, and data arrays to facilitate decision support based on intelligent data analysis. The fusion of statistical and artificial intelligence methods within data

analysis aims to acquire new knowledge and discern patterns within an environment characterized by information uncertainty.

The visualization of the architecture of components and modules in an information-intelligent system is achieved through scenario-driven analysis based on graphical and prograph models. These models illustrate and detail key objectives, factors influencing the model's structure, operations, and interoperations. In essence, the integrated information-intelligent system amalgamates various subsystems that continually interact with each other, impacting the overall effectiveness of the information system and aiming to ensure product quality.

Information-intelligent systems are actively employed to ensure the quality of production processes and products by integrating knowledge-sharing functions related to product quality indicators, thereby achieving autonomy through the use of artificial intelligence elements. The creation of such systems necessitates the fusion of cutting-edge information and intelligence technologies, cloud computing, and big data analytics. This encompasses the utilization of data integration capabilities in information systems, decision-making, the ability to respond to existing situations, presenting results through information panels and interactive visual panels, and leveraging intelligent sensor technologies. Integrated systems, through intelligent data analysis and the use of artificial intelligence technologies, enable the understanding and prediction of various situations.

One of the crucial characteristics of information-intelligent systems for quality assessment and prediction of product quality is the provision of information flows between their components and the early detection of possible defects before the commencement of the process. Therefore, certain components of the information-intelligent system may employ statistical control methods to identify anomalies before their potential occurrence, thereby enhancing the efficiency of quality management. The generation of knowledge-data through data collection systems allows for the real-time analysis and visualization of information, thereby

increasing the efficiency of decision-making processes. An information-intelligent system for assessing and forecasting product quality must meet requirements and provide continuous improvement in system efficiency as a whole. Regarding the aspect of quality intelligence, the use of knowledge-based approaches becomes essential for the creation and operation of a system that differs from traditional approaches. There is a need for methods and methodologies to describe the requirements for the future system, depict the stages involved in design, and outline the sequence of actions between systems at different levels of the production enterprise. The SysML methodology allows for the analysis, specification, and design of such complex systems with the aim of improving their quality.

Information and communication technologies are rapidly advancing, and cloud technologies are becoming increasingly demanded, allowing for the integration of the physical and virtual worlds based on open-source software. The development of the information panel for the information-intelligent system for quality assessment and forecasting of product quality was accomplished using the NODE-RED environment with open-source code. The information panel is presented in the form of a dashboard comprising collections of visualization elements for representing process data through the user interface (UI).

The research is based on normative materials, scientific works of contemporary domestic and foreign researchers and practitioners, as well as samples of technological data from "Haisyn Milk Plant" for the process of churning cream into butter with moisture content of 16%, 20%, and 25%.

The implementation of the strategy of integrating information-intelligent systems, which are fundamentally based on the principles and architecture of artificial neural networks, into a unified information space of the enterprise, enables the achievement of high product quality at the manufacturing enterprise. This approach aims to achieve several key objectives, including increasing the efficiency of production processes and ensuring consistent and reliable product quality. The

integration of information-intelligent systems is based on the application of modern methods for data analysis, interpretation, and processing, enabling the detection and analysis of various aspects of product quality in real-time. Artificial neural networks used in these systems provide the ability for automatic learning and adaptation to changes in the production environment based on data-driven learning. This direction is aimed at increasing the efficiency of production processes and ensuring stable product quality. Such an approach not only contributes to the improvement of the final product's quality but also allows for cost reduction, production process optimization, and maintaining competitiveness in the market. All of this, taking into account the integration of information-intelligent systems based on artificial neural networks, is a crucial tool for achieving success and sustainability in the modern business world.

The aim of this dissertation is to develop an information-intelligent system for the assessment and prediction of food product quality, which will enhance the monitoring of the process, forecast potential variations in the production process, thereby improving the final quality indicators of the products.

The object of the research is the information flows related to the assessment of food product quality.

The subject of the research includes the tools and integration of hardware and software components for the information-intelligent system for quality assessment and prediction of production.

Scientific novelty of the obtained results: The following scientific results were obtained in the dissertation work:

For the first time:

– We have developed and implemented a scenario-targeted approach for modeling the structure of an information-intelligent system for assessing and forecasting the quality of food production (using the example of butter production).

This approach is based on a formal-graphical description methodology using graphs and prographs, and it has never been applied in the dairy industry before.

- A-scenarios and C-scenarios have been constructed for the model of the information-intelligent system for assessing and forecasting the quality of food production (using the example of butter production). Unlike previously proposed scenarios, these scenarios allow for the analysis and evaluation of information flows between model components and enable the selection of the optimal structure to accomplish the defined tasks;

Developed:

- The concept of a quality management system in the context of an information-intelligent system for assessing and forecasting the quality of food production to enhance quality control efficiency, ensuring safety, and improving all aspects of production.

- The contextual model of the information-intelligent system for assessing and forecasting the quality of food production, which, unlike other existing models, distinguishes itself by using advanced analytical methods, real-time monitoring and updating of forecasts, greater efficiency, and compliance with modern quality assessment requirements.

- A method for generating product quality assessment based on Shuhart control charts using input technological parameters with the application of control limits, emphasizing the detection of changes and improvement opportunities in the process;

Enhanced:

- A model of food quality management concepts that, unlike other existing concepts, is based on the use of information technologies and data analysis, contributing to the improvement of food product quality, ensuring consumer safety, and enhancing the competitiveness of economic entities.

– The architecture of a neuro-fuzzy network for forecasting the quality of food products using the Fuzzy Logic Toolbox of the MATLAB system, based on the Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) for assessing the quality of finished products.

The practical significance of scientific results.

The practical significance of the scientific results lies in the provision of scientifically substantiated proposals and developed information-intelligent products recommended for use in the activities of the manufacturing enterprise. This contributes to the improvement of the quality and efficiency of the production process, reduction of costs and risks, and ensures compliance of the products with modern standards and consumer requirements. Additionally, the information-intelligent products of this system can be utilized for making informed decisions and planning strategic directions for the development of the enterprise.

Developed information-intellectual software for production quality using the following Programming Environment:

1. Constructed Shewhart control charts using the Statistica environment for monitoring and evaluating the quality of food products.
2. Developed a neuro-fuzzy network for forecasting the quality assessment of food products, specifically butter, using the Fuzzy Logic Toolbox package in the MATLAB system based on the adaptive ANFIS output system.
3. Created graphical and flowchart models to visualize the architecture and functionality of the information-intelligent quality assessment and prediction system.
4. Developed A and C scenarios for the information-intelligent quality assessment and prediction system model, with highlighted attributes allowing for greater detailing of the model's internal structure and inter-component connections.

5. Established data flows for recording process data in the Google Sheet cloud application into the RPIData electronic workbook and implemented a Telegram bot for real-time quality parameter information retrieval.

6. Designed an information dashboard for monitoring and evaluating the quality of food products within the Node-RED open-source environment, based on JavaScript and Node.js, along with a user-friendly web interface in the form of a dashboard with visualization of key quality control parameters.

Further development and enhancement of the information-intellectual system for forming and predicting product quality have been successfully tested and implemented in the operations of the following enterprises:

1. LLC “TISER” (implementation report dated 29.12.2022).
2. LLC “Haysyn Dairy Plant” (implementation report dated 02.03.2023).
3. LLC “Engineering Production and Technical Center Techno-Service” (implementation report dated 23.03.2023).

The dissertation work was carried out in accordance with the plan of scientific research of the State Trade and Economic University. Research Project No. 0121U109155 “Modeling of an Information-Analytical Quality Control System for Production Processes” (reference dated 23.03.2023, No. 458/24), executed by the candidate, contains the results of scientific research on the specified topic.

The results of the dissertation research have been incorporated into the educational process of the State Trade and Economic University (reference dated 28.03.2023, No. 490/22) in the teaching of disciplines such as “Information Technologies in Legal Practice,” “Organization of Computer Networks,” “Methods and Means of Data Transmission,” “Sociotechnical Cybersecurity,” “Wireless and Mobile Network Security Technologies,” “Fundamentals of Cybersecurity,” and in the development of educational materials.

Keywords: information system, intelligent system, information technologies, intelligent data analysis, quality management system, neuro-fuzzy networks, Schuhart maps, quality monitoring, fuzzy logic, decision support system, structural-functional analysis, statistical methods, quality assessment, mathematical model, diagnostics, graph model, forecasting, neural network, information panel, product quality.