

А. В. Кудряшова¹Т. І. Оліярник¹

ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ДЛЯ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ЗВ'ЯЗКІВ МІЖ ФАКТОРАМИ ЯКОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

¹Національний університет «Львівська політехніка»

У дослідженні зазначено, що на якість технологічного процесу впливає певна множина факторів. Кожний з них утворює відношення у вигляді прямого або опосередкованого зв'язку. Як приклад, розглянуто процес створення растрових зображень. Наведений приклад дозволяє продемонструвати ефективність методики у реальних виробничих умовах. До множини увійшли такі найважливіші фактори: роздільна здатність, глибина кольору, колірна модель, формат файлу, розмір файлу, розмір зображення, компресія, яскравість, насиченість, різкість. Формування взаємозв'язків між ними здійснено на основі попередньо отриманих експертних суджень. Розроблено семантичну мережу, яка відображає напрями та типи впливу між зазначеними факторами.

Для формалізації виявлених зв'язків побудовано матрицю досяжності. Вона подана у вигляді двовимірного масиву, де кожний рядок та кожний стовпчик мають відповідність одному з факторів. Залежність між факторами визначено за наявністю одиниць у відповідних позиціях. Здійснено декомпозицію множини факторів на основі матриці. Розроблено окремі графічні моделі для прямих та опосередкованих впливів. Кожен вузол дерева демонструє відношення між параметрами якості. Сформовані структури дають змогу виявити пріоритетні фактори, що мають найбільший вплив на досліджуваний технологічний процес.

На основі запропонованої методики аналізу зв'язків між факторами якості технологічного процесу розроблено інформаційну систему для їх візуалізації. Основу системи становить набір модулів, кожний з яких виконує визначене функціональне завдання. Серед них модулі для конфігурації, обробки введених даних, управління інтерфейсом, побудови матриці, проведення обчислень, відображення діаграм, візуалізації графів та координації між елементами. Програмна реалізація забезпечує інтерактивне введення кількості факторів, коректне формування матриці, масштабування вмісту та адаптивне відображення результатів. Візуалізація факторних впливів дає змогу здійснювати оцінювання структури зв'язків і виявляти ключові закономірності у формуванні показників якості. Створена архітектура програмного продукту дозволяє розширення, модифікацію та повторне використання у схожих задачах.

Ключові слова: якість технологічного процесу, растрове зображення, фактор, ієрархічне дерево зв'язків, факторний аналіз, ранжування.

Вступ

Сучасні дослідження у сфері інформаційних технологій демонструють значну зацікавленість до розроблення засобів візуалізації складних структурних залежностей у вигляді наочно інтерпретованих графів, дерев та діаграм. Візуалізація сприймається не лише як інструмент репрезентації, а й засіб аналітичного осмислення процесів, що відбуваються у технічних, соціальних або когнітивних системах [1], [2].

Проблема, яка розглядається у дослідженні, полягає у необхідності формалізованого подання та аналізу зв'язків між факторами, що визначають якість технологічних процесів. Оскільки такі фактори можуть мати як прямий, так і опосередкований вплив, важливо розробити інформаційну систему, яка забезпечує побудову ієрархічних моделей для подальшої інтерпретації результатів. Така система стане одним з модулів потужного програмного комплексу для оцінювання якості цифрових зображень. Практична цінність аналізу факторів якості растрових зображень полягає у можливості виявлення пріоритетних параметрів, що забезпечують оптимізацію технологічних процесів

створення та опрацювання зображень, а також у формуванні підґрунтя для прийняття обґрунтованих рішень у поліграфії, вебдизайні та суміжних галузях.

Варто акцентувати увагу на дослідженнях з виявлення взаємозв'язків між факторами якості в межах складних технологічних процесів. Ці фактори можуть мати як прямий, так і опосередкований характер впливу. Тому важливим є їх формалізоване подання, що ґрунтується на експертних оцінках або даних спостереження. Поширеним підходом до структурного моделювання є розроблення семантичних мереж та матриць досяжності [3], [4]. Чисельне відображення відношень досяжності між елементами системи (матриця досяжності) активно використовується у методах структурного аналізу, які дозволяють виділити ключові фактори впливу та сформувати ієрархічні рівні у межах множини. Виявлення структурних шляхів, включно з транзитивними зв'язками другого порядку, є основою для подальшого ранжування факторів [5], [6].

Оцінювання якості цифрових зображень також є актуальною дослідницькою проблемою через складну взаємодію технічних параметрів зображення та суб'єктивного сприйняття людиною. У роботі [7] зазначено, що наявні об'єктивні метрики часто недостатньо пов'язані з людським сприйняттям, зокрема, в умовах складних або комбінованих спотворень, що обмежує їх застосування як єдиної міри якості в практичних задачах.

У [8] вказано на недостатню кількість універсальних методів безпосереднього оцінювання якості, які були б ефективні для різних сфер застосування цифрових зображень. Наразі активний розвиток методів на основі глибокого навчання покращив ситуацію, проте вони часто вимагають великих датасетів, специфічного налаштування під прикладне середовище і вимагають значної кваліфікації.

До того ж у багатьох практичних процесах (поліграфія, вебдизайн тощо) рішення залежать не лише від однієї метрики, а від комбінації параметрів (роздільна здатність, глибина кольору, модель кольору, компресія, розміри тощо). Тому зростає зацікавленість у підходах, що трансформують експертні семантичні знання у структуровані моделі для аналізу прямих і опосередкованих впливів [9].

Візуалізація складних міжфакторних залежностей і простий інструментальний інтерфейс для інженерів та менеджерів якості є необхідними для практичного застосування результатів досліджень. Оглядові та прикладні роботи останніх років, наприклад [10], показують попит на інтерактивні інструменти, які поєднують аналітику та інтерпретовану візуалізацію (діаграми, графи, ієрархічні дерева).

Таким чином, останні публікації підтверджують актуальність створення інформаційних систем, які поєднують графічний інтерфейс, модулі аналітичних обчислень і засоби візуалізації результатів [11], [12].

Проте недостатньо уваги приділено проектуванню рішень, які б об'єднували логічну структуру знань з чисельними методами ранжування. Тому *метою статті* є розроблення інформаційної системи для візуалізації результатів аналізу прямих та непрямих впливів і залежностей між факторами якості досліджуваного технологічного процесу. Наукова значущість побудови такої системи полягає у створенні інструменту, що забезпечує інтеграцію експертних знань з методами структурного аналізу, дозволяє формалізувати фактори та сформувати ієрархічні моделі впливів. Це також сприяє підвищенню точності оцінювання якості та створює передумови для визначення інтегрального показника якості досліджуваного процесу на основі нечітких множин.

Результати досліджень

На якість будь-якого технологічного процесу впливають певні фактори, що формують множину факторів впливу. Між факторами існують зв'язки, які доцільно поділити на два основні види: впливи та залежності. При цьому як впливи, так і залежності можуть бути прямими та опосередкованими [13], [14]. Як приклад для аналізу зв'язків між факторами розглянуто процес створення растрових зображень з множиною факторів $I = \{I_1, I_2, I_3, I_4, I_5, I_6, I_7, I_8, I_9, I_{10}\}$, де I_1 — роздільна здатність, I_2 — глибина кольору, I_3 — колірна модель, I_4 — формат файлу, I_5 — розмір файлу, I_6 — розмір зображення, I_7 — компресія, I_8 — яскравість, I_9 — насиченість, I_{10} — різкість [15]. На основі експертних суджень розроблено семантичну мережу (рис. 1). Варто зазначити, що розроблення семантичної мережі здійснено на основі експертного оцінювання за методом шкальних оцінок. Цей метод полягає у оцінюванні розширеної множини за 100-бальною шкалою та вибір факторів з

найвищими оцінками для подальшого моделювання. Визначення оцінки за кожним фактором здійснено за принципом групування шкальних оцінок. Кількість залучених експертів залежить від складності досліджуваної тематики. Для виокремлення множини факторів впливу на якість растрових процесів залучено 40 експертів.

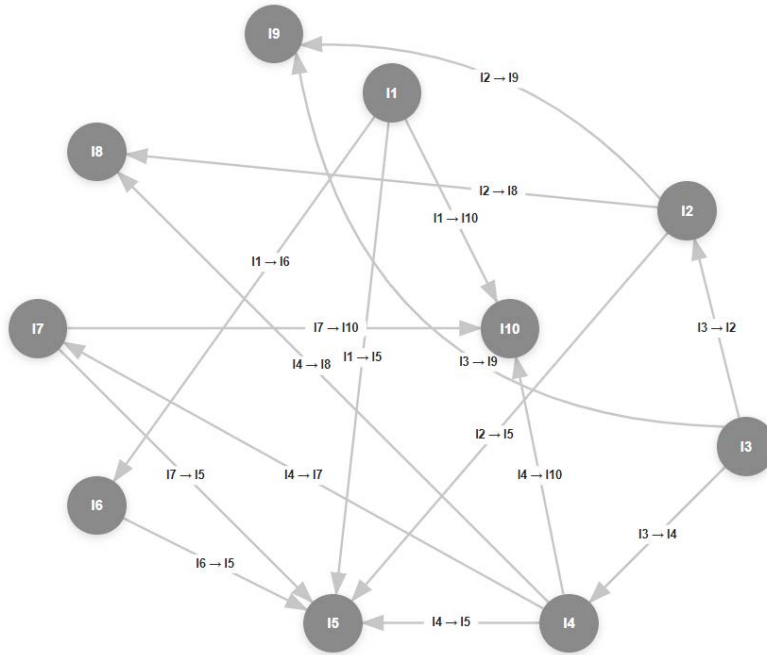


Рис. 1. Семантична мережа факторів впливу на якість растрових зображень

Наступним етапом є побудова матриці досяжності $M = [m_{ij}]$. Рядки та стовпці матриці відповідають однаковій впорядкованій множині факторів $I = \{I_1, I_2, \dots, I_{10}\}$, де елемент m_{ij} у позиції (i, j) відображає наявність відношення досяжності від фактора I_i до фактора I_j . У матриці одиницею вказана наявність впливів, а нулем — їх відсутність. По діагоналі матриці завжди вказані одиниці, демонструючи властивість рефлексивності. Тобто матриця формується за таким принципом [13], [15], [16]:

$$I_{ij} = \begin{cases} 1, \text{ якщо з вершини } i \text{ можна досягнути до вершини } j; \\ 0 \text{ за відсутності досяжності.} \end{cases} \quad (1)$$

Враховуючи семантичну мережу (рис. 1) та принцип (1), матриця досяжності щодо факторів впливу на якість растрових зображень має вид:

$$M = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Тоді можна побудувати ієрархічні дерева прямих та опосередкованих впливів (рис. 2), що є основою методу ранжування факторів для визначення їх пріоритетності [13]. Аналогічно формуються дерева прямих та опосередкованих залежностей.

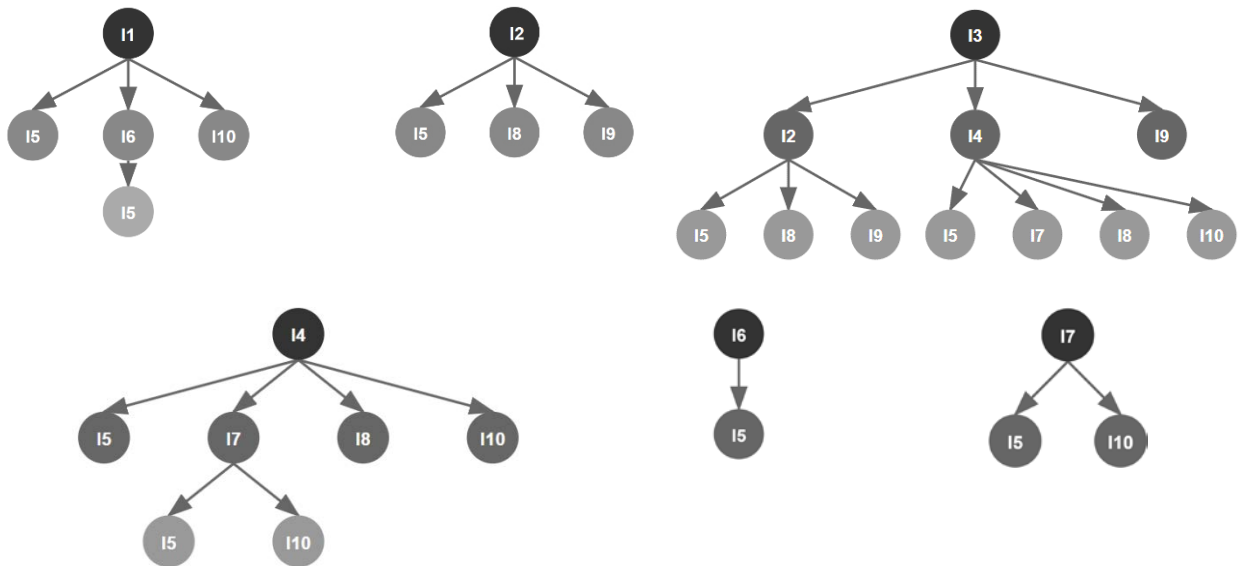


Рис. 2. Візуалізація прямих та опосередкованих впливів

Наведена методика аналізу зв'язків між факторами якості стала основою для розроблення інформаційної системи, інтерфейс якої продемонстровано на рис. 3.



Рис. 3. Інтерфейс інформаційної системи для візуалізації зв'язків між факторами

Імплементація програмного забезпечення здійснена мовою Python. Система складається з декількох взаємопов'язаних модулів: модуль бібліотечних залежностей, ініціалізації та конфігурації, управління інтерфейсом, опрацювання матриці, аналітичних обчислень, візуалізації, керування подіями, запуску. Модуль бібліотечних залежностей містить стандартні та спеціалізовані Python-бібліотеки, зокрема, tkinter — для створення графічного користувацького інтерфейсу, matplotlib — для побудови діаграм та графіків, numpy — для математичних операцій з матрицями та networkx — для роботи з мережевими структурами. Модуль ініціалізації та конфігурації відповідає за встановлення початкових параметрів системи: створення головного вікна, встановлення розмірів та властивостей інтерфейсу, ініціалізацію змінних стану програми та налаштування візуальних стилів. Модуль управління інтерфейсом включає create_settings_panel для створення панелі налаштувань з елементами введення кількості факторів та вибору аналізованого фактора, create_matrix_section — для формування інтерактивної матриці досяжності з можливістю масштабування, create_chart_section — для відображення статистичних діаграм та create_trees_section для візуаліза-

ції ієрархічних дерев зв'язків. Модуль опрацювання матриці відповідає за створення та валідацію матриці досяжності, забезпечує прийняття лише бінарних значень та методи масштабування. Модуль аналітичних обчислень містить алгоритми для визначення різних типів зв'язків між факторами. Модуль візуалізації реалізує два основні компоненти відображення результатів аналізу. Підсистема статистичних діаграм створює стовпчикові діаграми для демонстрації кількісних характеристик різних типів зв'язків вибраного фактора. Підсистема ієрархічних дерев формує графічне представлення структури зв'язків. Модуль керування подіями забезпечує опрацювання змін у полях введення матриці, реакцію на зміну масштабу відображення та координацію між різними компонентами інтерфейсу у разі вибору фактора для аналізу. Головний модуль запуску містить функцію, яка ініціалізує основний цикл програми.

Таким чином, користувач має можливість вводити необхідну для аналізу кількість факторів та елементи матриці досяжності. Валідація введених даних забезпечена через контроль допустимих значень та автоматичне коригування помилок. Масштабування інтерфейсу матриці реалізовано за допомогою динамічного регулювання розмірів елементів та шрифтів залежно від кількості факторів та встановленого коефіцієнта масштабування. Прокручування забезпечує можливість роботи з великими матрицями без втрати функціональності інтерфейсу. Також можлива зміна розмірів основних блоків системи для зручності представлення даних. Програма підтримує аналіз технологічних процесів з кількістю факторів від двох до двадцяти п'яти, що є достатнім з точки зору вибору найвагоміших для аналізу.

Аналіз факторних впливів реалізовано через декомпозицію на прямі та непрямі зв'язки. Первинна візуалізація структурних зв'язків здійснена у вигляді стовпчастої діаграми, яка показує кількість впливів та залежностей першого та другого порядку. Також будуються ієрархічні дерева впливів та залежностей. Прямі впливи визначено безпосередньо з матриці досяжності завдяки аналізу відповідних рядків, а непрямі впливи ідентифіковано за транзитивними зв'язками другого порядку. Алгоритм пошуку опосередкованих залежностей побудовано на аналізі шляхів через проміжні фактори з урахуванням спрямованості впливів. Отже, графічне представлення результатів аналізу містить два типи ієрархічних дерев: дерево впливів та дерево залежностей. За допомогою зміни кольорів відображено диференціацію між кореневим фактором, прямими та непрямыми зв'язками.

На відміну від поширених рішень, орієнтованих виключно на використання об'єктивних метрик якості зображень (наприклад, SSIM, PSNR чи сучасних методів NR-IQA [17]—[19]), запропонована система інтегрує експертні знання у вигляді матриці досяжності. Це забезпечує не лише кількісну оцінку, а й інтерпретоване представлення структурних залежностей між факторами, що впливають на якість. На відміну від робіт, у яких акцент зроблено на побудові моделей «чорного ящика» на основі глибоких нейронних мереж [20], [21], запропоноване рішення орієнтоване на прозорість результатів і можливість адаптації множини факторів під конкретну прикладну сферу. Основною перевагою системи є поєднання візуалізації, чисельного ранжування та інтерактивного управління параметрами, тоді як обмеженням можна вважати залежність результатів від попереднього експертного оцінювання.

Висновки

Виконано семантичне моделювання множини факторів процесу створення растрових зображень. Побудовано матрицю попарних порівнянь факторів. Сформовано ієрархічні дерева впливів і залежностей. На основі запропонованої методики аналізу факторів розроблено інформаційну систему для візуалізації зв'язків між факторами якості технологічного процесу. Проаналізовано кількісні характеристики зв'язків за допомогою діаграм. Імплементовано засоби інтерактивного введення, валідації та оброблення бінарної матриці досяжності з контролем допустимих значень та автоматичною адаптацією інтерфейсу. Розроблено алгоритми пошуку зв'язків другого порядку з урахуванням досяжності та напрямку впливу. Верифіковано працездатність системи на прикладі множини факторів якості растрових зображень.

Основним обмеженням дослідження є визначена кількість факторів, які можливо проаналізувати, а саме від 2 до 25. Це пояснюється тим, що доцільно досліджувати найвагоміші фактори, а менш важливі упускати. Тому перед використанням програми необхідне проведення експертного оцінювання для формування множини факторів.

Наукова новизна роботи полягає у поєднанні семантичного моделювання множини факторів

якості з формалізованим чисельним аналізом на основі матриці досяжності та ієрархічних дерев. Інтеграція підходів в єдину інформаційну систему з модульною архітектурою забезпечує автоматизовану побудову матриць, обчислення транзитивних зв'язків другого порядку та інтерпретовану візуалізацію результатів. Розроблення ієрархічних дерев факторів якості растрових зображень є передумовою для визначення їх пріоритетності та оцінювання якості на основі методів та засобів нечіткої логіки. На відміну від традиційних підходів, що розглядають окремі параметри зображення ізольовано, запропонований метод дозволяє виявляти комплексну структуру взаємозалежностей між такими факторами, як роздільна здатність, глибина кольору, модель кольору та ін.

Перспективи подальшого розвитку полягають у розробленні моделі пріоритетного впливу факторів за методом ранжування, первинна суть якого полягає у врахуванні кількості прямих та опосередкованих впливів на основі ієрархічних дерев зв'язків. Практична цінність програми полягає у можливості застосуванні її для розв'язання задач стратегічного планування та у сфері управління проектами. З наукової точки зору візуальне представлення результатів аналізу у вигляді діаграм та ієрархічних дерев значно полегшує інтерпретацію складних мережевих структур та сприяє кращому розумінню досліджуваних явищ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] H. Siirtola, *Interactive visualization of multidimensional data*. Finland: University of Tampere, 2007, 99 p.
- [2] P. Drieger, "Semantic network analysis as a method for visual text analytics," *Procedia-social and Behavioral Sciences*, vol. 79, pp. 4-17, 2013.
- [3] H. Sharma, N. Sohani, and A. Yadav. "Structural modeling of lean supply chain enablers: a hybrid AHP and ISM-MICMAC based approach," *Journal of Engineering, Design and Technology*, vol. 21 (6), pp. 1658-1689, 2023.
- [4] R. Ming, B. Li, C. Du, W. Yu, H. Liu, R. Kosonen, and R. Yao, "A comprehensive understanding of adaptive thermal comfort in dynamic environments—an interaction matrix-based path analysis modeling framework," *Energy and Buildings*, vol. 284, pp. 112834, 2023.
- [5] A. Sharma, Z. Zhang, and R. Rai, "The interpretive model of manufacturing: a theoretical framework and research agenda for machine learning in manufacturing," *International Journal of Production Research*, vol. 59(16), pp. 4960-4994, 2021.
- [6] X. Xiahou, et al., "Analyzing critical factors for the smart construction site development: A DEMATEL-ISM based approach," *Buildings*, vol. 12 (2), pp.116, 2022.
- [7] S. Jamil, "Review of image quality assessment methods for compressed images," *Journal of Imaging*, vol. 10 (5), 113, 2024.
- [8] I. Stępień, and M. Oszust, "A brief survey on no-reference image quality assessment methods for magnetic resonance images," *Journal of Imaging*, vol. 8 (6), p. 160, 2022.
- [9] J. H. Lim, Y. L. Rhie, and J. Park, "Applying Semantic network analysis to develop user experience assessment model for Smart TV," *Applied Sciences*, vol. 9 (16), pp. 3307, 2019.
- [10] K. Nikiforaki, et al., "Image quality assessment tool for conventional and dynamic magnetic resonance imaging acquisitions," *Journal of Imaging*, vol. 10 (5), 115, 2024.
- [11] S. W. Cheng, K. L. Choy, and H. Y. Lam, "A workflow decision support system for achieving customer satisfaction in warehouses serving machinery industry," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 48 (3), pp. 1714-1719, 2015.
- [12] T. W. Stephenson. "Effective data visualization and analytics: unique considerations for large scale production operations," *SPE Oklahoma City Oil and Gas Symposium/Production and Operations Symposium*. SPE, 2023. D021S001R002.
- [13] B. М. Сеньківський, і А. В. Кудряшова, *Моделі інформаційної технології проектування післядрукарських процесів*, моногр. Львів, Україна: УАД, 2022, 204 с.
- [14] O. Sichevska, V. Senkivskyi, S. Babichev, and O. Khamula. *Information technology of forming the quality of art and technical design of books*. DCSMart, 2019, pp. 45-57.
- [15] Й. З. Піскозуб, А. В. Кудряшова, і Т. І. Оліярник, «Модель факторів впливу на якість цифрових зображень», *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*, № 2, с. 107-111, 2024.
- [16] V. Senkivskyi, A. Kudriashova, I. Pikh, I. Hileta, and O. Lytovchenko. "Models of post-press processes designing," 1st *International Workshop on Digital Content & Smart Multimedia*, DCSMart, 2019, pp. 259-270.
- [17] D. Varga, "No-reference image quality assessment using the statistics of global and local image features," *Electronics*, vol. 12 (7), pp. 1615, 2023.
- [18] F. Chen, H. Fu, H. Yu, and Y. Chu. "No-reference image quality assessment based on a multitask image restoration network," *Applied Sciences*, vol. 13 (11), 6802, 2023.
- [19] J. Ryu, "Improved image quality assessment by utilizing pre-trained architecture features with unified learning mechanism," *Applied Sciences*, vol. 13 (4), pp. 2682, 2023.
- [20] M. Trigka, and E. Dritsas, "A comprehensive survey of deep learning approaches in image processing," *Sensors*, vol. 25 (2), 531, 2025.
- [21] N. Alangari, M. El Bachir Menai, H. Mathkour, and I. Almosallam, "Exploring evaluation methods for interpretable machine learning: a survey," *Information*, vol. 14(8), 469, 2023.

Рекомендована кафедрою автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 11.09.2025

Кудряшова Альона Вадимівна — д-р техн. наук, доцент, доцент кафедри систем віртуальної реальності, e-mail: alona.v.kudriashova@lpnu.ua ;

Олійник Тарас Ігорович — аспірант кафедри комп'ютерних технологій у видавничо-поліграфічних процесах, e-mail: taras.i.oliarnyk@lpnu.ua .

Національний університет «Львівська політехніка», Львів

A. V. Kudriashova¹

T. I. Oliarnyk¹

Information System for Visualizing Relationships between Quality Factors of a Technological Process

¹Lviv Polytechnic National University

The study indicates that the quality of a technological process is influenced by a specific set of factors. Each of these factors establishes a relationship in the form of either a direct or an indirect connection. As an illustrative example, the process of raster image creation was examined. The set includes the most significant factors, namely: resolution, color depth, color model, file format, file size, image dimensions, compression, brightness, saturation, and sharpness. The formation of interconnections among these factors was based on previously obtained expert assessments. A semantic network was developed to represent the directions and types of influence among the identified factors.

To formalize the revealed relationships, a reachability matrix was constructed. It is represented as a two-dimensional array, in which each row and each column corresponds to a particular factor. The dependencies between factors are identified by the presence of ones in the relevant positions. A decomposition of the factor set was performed based on the matrix structure. Separate graphical models were developed for both direct and indirect influences. Each node of the hierarchical tree represents a relation between specific quality parameters. The resulting structures allow the identification of priority factors that exert the greatest influence on the technological process under investigation.

Based on the proposed method for analyzing the relationships among quality factors of a technological process, an information system was developed for their visualization. The core of the system consists of a set of modules, each of which performs a specific functional task. These include modules for configuration, input data processing, interface management, matrix construction, analytical computations, diagram generation, graph visualization, and coordination of interface components. The software implementation supports interactive input of the number of factors, proper matrix formation, content scaling, and adaptive result presentation. Visualization of factor influences enables structural evaluation of interconnections and identification of key patterns in the formation of quality indicators. The software architecture is designed to support extension, modification, and reuse in similar analytical tasks.

Keywords: quality of technological process, raster image, factor, hierarchical tree of connections, factor analysis, ranking.

Kudriashova Alona V. — Dr. Sc. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Chair of Virtual Reality Systems, e-mail: alona.v.kudriashova@lpnu.ua ;

Oliarnyk Taras I. — Post-Graduate Student of the Chair of Computer Technologies in Publishing and Printing Processes, e-mail: taras.i.oliarnyk@lpnu.ua