

І. О. Мощенко, к.т.н., **О. М. Нікітенко**, к.т.н., **Ю. В. Козлов**, к.т.н.

Харківський національний університет радіоелектроніки, м. Харків

ВІЗУАЛІЗАЦІЯ ІНСТРУМЕНТІВ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ЦИКЛУ PDCA ЗАСОБАМИ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Показано актуальність розробки програмного інструментарію на базі традиційних методів контролю якості для аналізу статистичної інформації та візуального подання отриманих результатів під час реалізації циклу PDCA. На основі аналізу особливостей статистичних даних, отриманих під час використання інструментів контролю якості, доведено, що найбільш ефективно реалізувати поставлену задачу можливо застосовуючи комбінації СКМ Maple та видавничої системи LaTeX. Розроблено комплексну модель обробки та візуалізації статистичної інформації в циклі PDCA засобами СКМ Maple та системи LaTeX. Наведено загальні рекомендації щодо застосування модулів реалізації інструментів контролю якості на кожному етапі циклу управління.

Ключові слова: *цикл PDCA, інструменти контролю якості, статистична інформація, візуалізація, СКМ Maple, видавнича система LaTeX.*

I. O. Moshchenko, PhD, **O. M. Nikitenko**, PhD, **Yu. V. Kozlov**, PhD

QUALITY CONTROL TOOLS VISUALIZATION IN THE PDCA CYCLE BY MEANS OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES

The relevance of developing software tools based on traditional quality control methods for analyzing and visualizing the statistical information during the implementation of the PDCA cycle was shown. Guidelines for the use of statistical quality control tools contained in ISO international standards was presented.

The quality control tools were analyzed in terms of the obtained statistical results features and the needs for their visual interpretation. The advantages and disadvantages of Computer algebra system (CAS) Maple, Matlab, MathCad, Mathematica are given in terms of the availability of random data processing and qualitative statistical results visualization. Based on the analysis of statistical data obtained by quality control tools, it has been proved that it is possible to most effectively solve the task using CAS Maple and the LaTeX publishing system combination. At every stage of the PDCA cycle the software modules for seven basic quality tools were realized using the CAS Maple and the LaTeX publishing system. The computational experiment results were presented. The parameters for the computational experiment results visualization of the using the LaTeX publishing system for their presentation as a single document in the cross-platform PDF format have been determined. A complex model for processing and visualizing statistical information in the PDCA cycle using the CAS Maple and LaTeX system has been developed. The model takes into account the peculiarities of input statistical information and visual interpretation of each basic quality tool. The model allows getting a single file in PDF format at the output. This PDF file contains a complex analysis of the technological process quality in a form that is simple for visual perception. Using the comparative analysis method, an expert map was compiled, that analyzed the advantages and disadvantages of each quality control tool. General recommendations were given on the use of the developed modules during the realization of the PDCA cycle in practice in the process of quality control in production and in the educational process of the engineering students.

Keywords: *PDCA cycle, quality control tools, statistical data, visualization, CAS Maple, LaTeX publishing system.*

DOI 10.32684/2412-5288-2022-1-20-6-15

Вступ

5 грудня 2018 року в Україні набрав чинності найважливіший нормативний документ в галузі управління якістю – ДСТУ EN ISO 9001:2018

Системи управління якістю. Вимоги (EN ISO 9001:2015, IDT; ISO 9001:2015, IDT) [1]. Цей документ надає українським підприємствам та організаціям будь-якої сфери господарювання

рекомендації щодо створення та впровадження сучасної ефективної системи управління якістю. Основою управління якістю виробництва продуктів та послуг, згідно ДСТУ EN ISO 9001:2018 [1], є процесний підхід. Базовим елементом процесного підходу є цикл PDCA (Plan-Do-Check-Act), який дозволяє здійснювати безперервний контроль та поліпшення якості виробництва на усіх стадіях життєвого циклу продукції або послуги.

Для ефективної реалізації циклу PDCA важливо, щоб керівники та відповідальні особи усіх підрозділів підприємства володіли методологією управління якістю згідно процесного підходу, найважливішим і найбільш об'єктивним елементом якого є застосування статистичних методів контролю. Керівні вказівки щодо вибору та використання статистичних методів контролю надає міжнародний стандарт ISO 10017:2021 Quality management — Guidance on statistical techniques for ISO 9001:2015 [2]. В цьому Керівництві наведено відомі статистичні методи обробки інформації, які рекомендовані для управління якістю у відповідності з конкретними пунктами та підпунктами стандартів серії ISO 9000, та визначена необхідність наявності кількісних даних для виконання вимог цих пунктів (якісні дані можуть використовуватися, якщо можливо їх подати у кількісній формі).

На сьогодні відомо багато статистичних методів обробки інформації, причому більшість з них є дуже складними та працемісткими в плані практичної реалізації, потребують високого рівня володіння методами математичної статистики та теорії ймовірностей. Тому для спрощення впровадження застосування цих методів в реаліях виробничої діяльності підприємств у 1979 році спеціалістами з Союзу японських вчених та інженерів (JUSE) було виокремлено та адаптовано для використання на практиці сім статистичних методів обробки інформації, які відомі в літературі як «Сім інструментів контролю якості» [3, 4]. До цих семи інструментів відносяться контрольна мапа (control chart), контрольний аркуш (check sheet), гістограма (histogram), діаграма Парето (Pareto chart), діаграма розкиду (scatter diagram), причинно-наслідкова діаграма (діаграма Ісікави) (cause-and-effect diagram), метод стратифікації (розшарування) (stratification). Сім інструментів можна реалізовувати як окремо, так і комплексно в залежності від умов застосування. Застосовуючи тільки три з сімох інструментів якості: контрольний аркуш, діаграму Парето і діаграму Ісікави можна вирішити 80 % всіх проблем. Застосування ж всіх семи

інструментів якості допомагає вирішити 95 % всіх проблем [4].

Під час впровадження систем контролю якості на базі отриманих масивів статистичних даних на перший план виходить задача оперативної і коректної обробки цих даних для одержання достовірних результатів. Цей процес неможливий без застосування розвинутого апарату візуалізації та аналітичної обробки статистичних даних. Тому задача автоматизації процесу застосування семи інструментів контролю якості є актуальною і потребує розробки ефективних способів її розв'язання.

З іншого боку завершенням будь-якого наукового дослідження є подання його результатів широкому загалу у формі друкованої роботи (електронного видання) у вигляді наукової статті, тез, усної доповіді чи методичних розробок. Найзручнішою формою подання є файл у форматі pdf, який створено за допомогою видавничої системи LaTeX.

Постановка проблеми

Реалізація циклу PDCA для контролю якості виробництва на будь-якому етапі життєвого циклу продукту із застосуванням семи інструментів передбачає наступний алгоритм дій:

1) проводиться оцінка відхилення параметрів технологічного процесу або виробленої продукції від нормативних значень (інструменти контролю: контрольні мапи, контрольні аркуші та гістограма якості);

2) за наявності відхилень або наближення до критичних значень параметрів оцінювання факторів, які можуть викликати ці відхилення (інструменти контролю: метод стратифікації, діаграма розкиду, причинно-наслідкова діаграма);

3) визначаються найбільш значущі фактори (інструменти контролю: діаграма Парето);

4) розробляються заходи щодо усунення або зменшення впливу факторів, що викликають відхилення параметрів від нормативних значень;

5) після впровадження заходів проводиться оцінювання їх ефективності (інструменти контролю: контрольні мапи, гістограма якості, діаграма Парето).

Цикл повторюється до отримання потрібного результату.

Авторами була поставлена задача розробити обчислювальний інструмент для обробки та візуалізації статистичних даних, які отримані під час використання інструментів контролю якості, з метою скорочення витрат часу та підвищення результативності при реалізації циклу PDCA.

Для вирішення цієї задачі потрібно вирішити наступні завдання:

1) проаналізувати інструменти контролю якості з точки зору особливостей статистичної інформації, яку отримуємо під час їх застосування, та потреб щодо її візуальної інтерпретації;

2) враховуючи ці особливості, обґрунтувати вибір системи комп'ютерної математики (СКМ), що дозволить найбільш повно та ефективно проаналізувати наявну статистичну інформацію;

3) розробити для реалізації інструментів контролю якості відповідні модулі СКМ з урахуванням особливостей статистичної інформації та візуалізації;

4) навести загальні рекомендації щодо застосування модулів СКМ під час використання семи інструментів контролю якості в процесі реалізації циклу PDCA;

5) визначити параметри щодо оформлення результатів обчислювального експерименту за допомогою видавничої системи LaTeX для подання їх у вигляді єдиного документу у кросплатформенному форматі pdf.

Аналіз останніх досягнень та публікацій

Інструменти контролю якості були розроблені та описані класичними науковцями та інженерами-практиками в галузі управління якістю, такими як Armand V. Feigenbaum, Joseph Juran, К. Ішікава, V. Pareto, W. Shewhart, E. Deming та їх послідовниками [4]. Плідно працюють над подальшою розробкою та впровадженням в практичну діяльність інструментів контролю якості вітчизняні науковці [5, 6].

Керівні настанови щодо застосування інструментів контролю якості містяться в численній кількості нормативних документів, розроблених International Standardization Organization, і наведених в у Міжнародному каталозі стандартів (ICS ISO) в розділі 03.120 – якість та підрозділі 03.120.30 – використання статистичних методів. Серед цих стандартів найважливішими є ISO 10017:2021 Quality management — Guidance on statistical techniques for ISO 9001:2015; ISO 22514-1:2014 Statistical methods in process management; ISO 3534-1:2006 Statistics — Vocabulary and symbols; ISO 3951-1:2022 Sampling procedures for inspection by variables; ISO 7870-1:2019 Control charts — Part 1: General guidelines; ISO 10576:2022 Statistical methods — Guidelines for the evaluation of conformity with specified requirements; ISO 11462-1:2001 Guidelines for implementation of statistical process control (SPC).

Найбільш актуальним напрямом подальших наукових досліджень, які сприятимуть впровадженню застосування інструментів контролю якості на українських підприємствах, автори

вважають автоматизацію їх використання інженерами та техніками під час розв'язання прикладних задач, розробку програмних модулів із застосуванням СКМ та мов програмування високого рівня, а також подання результатів аналізу у доступному для широкого загалу вигляді. Цьому питанню присвячені праці науковців [7], котрі пропонують застосовувати для автоматизації контролю якості на виробництві такі програмні середовища як СКМ Matlab, Microsoft Office Excel, Statistica, SAP (System Analysis and Program Development), SPSS (Statistical Package for the Social Sciences), Microsoft Visual Studio. При чому, варто зауважити, що програмна реалізація пропонується за кожним інструментом контролю якості окремо, використовуючи різні програмні середовища, що не дає можливості застосувати системний підхід до реалізації циклу PDCA.

Формулювання мети статті

Об'єктом дослідження є процес контролю якості виробництва продуктів та послуг.

Предмет дослідження – автоматизація процесу обробки статистичних результатів, що отримані під час використання інструментів контролю якості, яка базується на застосуванні засобів інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ).

Метою дослідження є розробка комп'ютерної обчислювальної підтримки реалізації семи інструментів контролю якості на базі ІКТ, яка дозволить спростити і зробити більш ефективним застосування інструментів контролю якості в умовах виробничого процесу.

Матеріали і методи

Інструменти контролю якості можна умовно поділити на інструменти для контролю числових та нечислових даних. До методів контролю нечислових даних відносяться контрольний аркуш, причинно-наслідкова діаграма. До методів контролю числових даних належать метод стратифікації, гістограма якості, діаграма розкиду, діаграма Парето, контрольна мапа.

Перша група інструментів дозволяє виявити відхилення показників якості від нормативних значень та оцінити це відхилення (контрольний аркуш, контрольна мапа, гістограма якості).

Контрольний аркуш – перший крок на шляху до виявлення проблем у процесі виробництва. Це інструмент формалізації статистичних даних; бланк, який розробляється інженером з якості для реєстрації параметрів виробу під час виробничого процесу з метою виявлення можливих відхилень.

Контрольна мапа – інструмент контролю

якості, який дозволяє не тільки реєструвати наявні відхилення параметрів виробу, але й відстежувати хід виробничого процесу, заздалегідь виявляти тенденцію до появи ймовірних відхилень та попереджувати їх за допомогою застосування циклу зворотного зв'язку PDCA. Вимоги щодо побудови контрольних мап наведено в ISO 7870-1:2019 Control charts.

В залежності від типу контрольної мапи, яка визначається видом контрольованого параметру, будується графік результатів вимірювання цього параметру в динаміці з нанесенням меж верхнього, нижнього та середнього значень. Найпростішим типом контрольної мапи є мапа середніх значень.

Наступний розрахунок статистичних параметрів дозволяє виявити тенденції до ймовірного виходу контрольованого параметру за межі верхнього та нижнього значень і вчасно попередити їх.

Наочно оцінити закон розподілу статистичних даних, які отримані в результаті застосування контрольних аркушів, дозволяє використання інструменту – гістограми якості. Гістограма якості є графічним зображенням емпіричної щільності ймовірності показника якості в певній вибірці, дозволяє візуально оцінити симетричність, ексцес розподілу параметру та його можливий вихід за межі допуску. Отримані результати слугують для обґрунтування скерованості зусиль на виявленні факторів, які викликають можливу невідповідність показника допустимим значенням, та подальших заходів щодо регулювання виробничого процесу.

Після підтвердження наявності відхилень показників якості, головною задачею стає ідентифікація факторів, які викликали невідповідність. І першим кроком в розв'язанні цієї задачі стає застосування методу стратифікації або розшарування статистичних даних у відповідності до умов їх отримання та подальший окремий аналіз кожної групи. Традиційно у виробничій практиці застосовується метод стратифікації «5М» за такими факторами, як «men», «materials», «measure», «methods», «machines».

Причинно-наслідкова діаграма (діаграма Ісікави) використовується для аналізу факторів, які впливають на об'єкт аналізу (дефект, проблема, показник якості тощо). Дозволяє системно проаналізувати можливі причини виникнення проблеми і встановити причинно-наслідковий зв'язок між об'єктом аналізу та факторами, які впливають на нього, та виокремити найбільш значущі фактори. Відноситься до інструментів контролю нечислових даних. В першу чергу застосовується

під час аналізу багатofакторних процесів, який вимагає наочної візуалізації для вирішення задачі.

Для встановлення наявності, ступеню та типу кореляції між показником якості та фактором, що можливо впливає на нього, застосовується діаграма розкиду. Діаграма розкиду дозволяє висунути гіпотезу про існування зв'язку між двома показниками якості, між показником якості та фактором впливу, між двома факторами впливу, а потім підтвердити або спростувати цю гіпотезу розрахунком коефіцієнтів кореляції та регресії для наближеної лінійної залежності.

Після визначення основних факторів, що впливають на відхилення показника якості від нормативного значення, потрібно оцінити ступінь впливу кожного фактора на об'єктивний показник, який відбиває виробничу проблему (обсяг вартісних або виробничих втрат через дефектні вироби, невідповідність продукції, рекламації, тощо). Цей процес реалізується за допомогою універсального інструменту – діаграми Парето. Під час аналізу у Парето всі фактори ранжують в залежності від ступеня впливу на кінцеву проблему з метою скерувати зусилля на зменшенні негативного впливу саме тих факторів, які викликають переважну частку втрат.

Подальше застосування методу ABC до результатів, які отримано за методом Парето, розшаровує фактори на такі, які викликають близько 70 % втрат (клас А), близько 20 % втрат (клас В) та близько 10 % втрат (клас С). Звичайно, доцільно докласти основних зусиль до усунення або зменшення факторів впливу класу А, потім, можливо, класу В, залишивши осторонь клас С.

Після прийняття регулюючих заходів щодо усунення або зменшення впливу найбільш значущих факторів, які виявлено за результатами аналізу Парето, цикл PDCA повторюється до моменту досягнення потрібного результату.

Для комплексної програмної реалізації інструментів контролю якості в рамках циклу PDCA вважаємо за доречне застосовувати СКМ, оскільки вони мають можливість оперувати з випадковими величинами, мають значний набір команд для розрахунку різних статистичних характеристик випадкових величин, побудови і аналізу законів розподілу отриманих даних, візуалізації отриманих результатів у вигляді дво- та тривимірної графіки.

Найчастіше у вітчизняній практиці застосовуються такі СКМ: Maple, Matlab, MathCad, Mathematica. Порівняння вищеперерахованих СКМ з точки зору наявності можливостей обробки випадкових даних та якісної візуалізації ре-

зультатів наведено в таблиці 1 [8, 9].

Порівняно з іншими математичними програмними пакетами, СКМ Maple має декілька переваг, які є особливо важливими для обробки масивів статистичних даних, розрахунку їх числових характеристик та наочної візуалізації отриманих результатів, а саме: можливість символічних обчислень, оперування числами з довільною точністю, відображення графіків в динамічному режимі тощо [10]. Тому для розробки модулів обчислювальної реалізації інструментів контролю якості обрано саме СКМ Maple.

Таблиця 1 – Порівняння СКМ: Maple, Matlab, MathCad, Mathematica

СКМ	Переваги	Недоліки
Mathematica	Сумісність з комп'ютерними платформами. 3D-графіка. Документи (блокноти). Підтримка звукового синтезу.	Надмірний захист копіювання. Спрямованість на досвідчених користувачів.
Matlab	Унікальні матричні інструменти, графічний дескриптор, висока швидкість розрахунків, адаптація до задач користувача та велика кількість системних пакетів розширення.	Обмежені можливості символічних обчислень. Висока вартість системи та її пакетів.
Mad	Якісна графіка та візуалізація під час розрахунків. Зручний інтерфейс. Наявність палітри математичних символів. Великий вибір електронних книг, бібліотек, операторів і функцій.	Обмеженість символічних обчислень. Примітивне програмування. Вартість електронних книг і бібліотек.
Maple	Продумане ядро символічних обчислень. Документи (блокноти). Високоякісна графіка. Зручна допоміжна система.	Немає можливості синтезу звуку.

Вирішення задачі оформлення результатів обчислювального експерименту у доступному для широкого загалу вигляді доцільним вважається здійснити за допомогою видавничої системи LaTeX. Видавнича система LaTeX є загальноприйнятим світовим стандартом і володіє найпотужнішими інструментами для підготовки тексту, математичних формул і графічних ілюстрацій. LaTeX є набором програм і є продовженням оригінальної програми TEX, створеної ще наприкінці минулого століття американським математиком і програмістом Дональдом Кнутом

(Donald E.Knuth) як система для верстки текстів з формулами [11,12]. LaTeX – це комп'ютерна видавнича web-орієнтована система подання і рецензування рукописів, яка містить набір фундаментальних сервісів і функцій [13]. Основне її призначення – підготовка наукових документів.

За останні роки склалася тенденція, що переважна більшість науково-технічних та економічних журналів видаються виключно у LaTeX й рекомендують авторам використовувати її для підготовки рукописів. Видавничу систему LaTeX прийнято як стандарт більшістю відомих науково-технічних видавництв світу, зокрема: Elsevier, Springer-Verlag, John Wiley & Sons, Kluwer, Addison Wesley Longman, AMS, SIAM, Мир, ТВП, Факториал тощо.

LaTeX не є простим у його засвоєнні, але має багато переваг відносно популярних текстових процесорів й редакторів презентацій. Тексти, що підготовлені за її допомогою, мають високу якість оформлення і можуть використовуватися більшістю сучасних операційних систем [13].

Виклад основного матеріалу

Для побудови гістограми в СКМ Maple використовують команду **Histogram(A, colour=blue, bincount=15, frequencyscale = absolute)**; тут A – ім'я вибірки, параметр colour визначає колір стовпчиків гістограми (цей параметр може бути заданий і в американському варіанті color), параметр bincount визначає кількість інтервалів (стовпчиків) гістограми, параметр frequencyscale визначає розмірність осі ординат: absolute – по осі ординат відображають абсолютну кількість елементів вибірки у кожному інтервалі, relative – по осі ординат відображають відносну кількість елементів вибірки у кожному інтервалі (цей параметр використовують за замовченням).

Зображення, яке побудовано для вибірки, що розподілено за нормальним законом, обсягом 250 елементів з параметрами $\mu = 2, \sigma = 0,4$ за допомогою команди **Histogram**, наведено на рис. 1.

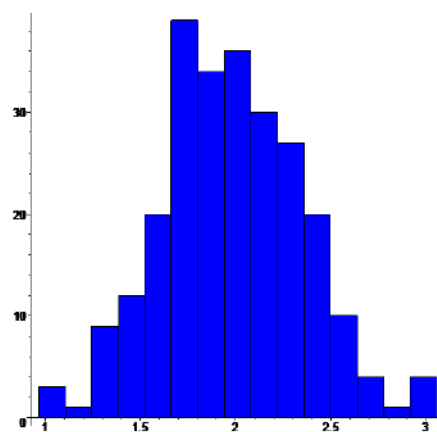


Рисунок 1 – Гістограма якості з СКМ Maple

Для того щоб додати це зображення у tex-файл, який є основним файлом системи LaTeX, можна використати дві можливості.

По-перше, скопіювати це зображення у будь-який графічний редактор і записати цей файл на носій (fn). За допомогою команди `\includegraphics{fn}` розташувати зображення гистограми у потрібному місці tex-файлу.

По-друге, за допомогою команди СКМ Maple `TallyInto(A, default, bins=15);`, тут параметр `bins` визначає кількість інтервалів (стовпчиків) гистограми, утворюємо статистичний ряд. За допомогою команди `\addplot` з оточення `axis` будуємо гистограму.

```
\addplot coordinates {(0.97,3) (1.11,1)
(1.24,9) (1.38,12) (1.52,18) (1.66,39) (1.8,36)
(1.94,36) (2.08,30) (2.22,27) (2.36,21) (2.5,10)
(2.64,4) (2.78,1) (2.92,3)}
```

Детальніше про такий спосіб побудови гистограми можна подивитися у літературі [14].

Для побудови діаграми розкиду в СКМ Maple використовують команду `ScatterPlot(x, y, colour=red,symbol=circle,symbolsize=20);` тут `x` – ординати елементів вибірки, `y` – абсциси елементів вибірки, параметр `symbol` визначає вигляд символів, якими позначають точки в діаграмі розкиду, параметр `symbolsize` визначає розмір точок у пікселях.

Зображення, яке побудовано для вибірки обсягом 80 елементів за допомогою команди `ScatterPlot`, наведено на рис. 2.

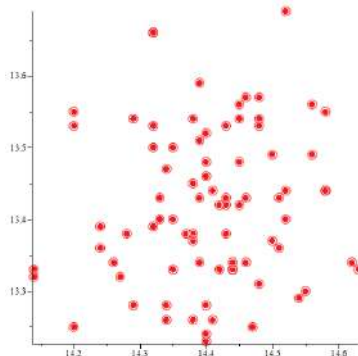


Рисунок 2 – Діаграма розкиду з СКМ Maple

Для того, щоб додати це зображення у tex-файл, слід використати ті ж можливості, що і для побудови гистограми.

Для побудови діаграми Парето в СКМ Maple використовують команду `pareto (Fdata, tags=Lab, misc=Others, colour=blue, thickness=5);` тут `Fdata` – дані для побудови діаграми Парето, `Lab` – назви стовпчиків у діаграмі Парето, параметр `misc` вказує, що до діаграми Парето слід додати стовпчик `Others`,

параметр `thickness` визначає товщину лінії у пікселях.

Зображення, яке побудовано за допомогою команди `pareto`, наведено на рис. 3.

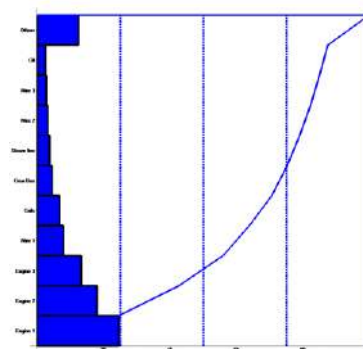


Рисунок 3 – Діаграма Парето з СКМ Maple

Для того, щоб додати це зображення у tex-файл, слід використати ті ж можливості, що і для побудови гистограми.

Для побудови контрольної мапи в СКМ Maple попередньо слід визначити або обчислити верхню, нижню межі регулювання та середню лінію, а потім скористатися командою `plot({data,ML,UCL,LCL},x=1..25,thickness=2);`, тут `data` – дані для побудови контрольної мапи.

Зображення, яке побудовано за допомогою команди `plot`, наведено на рис. 4.

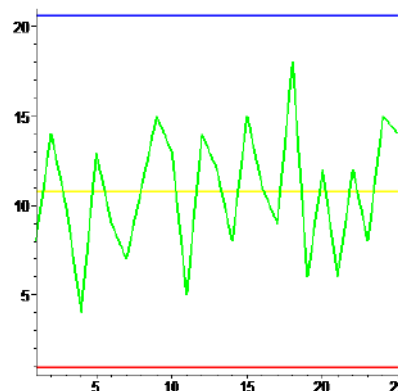


Рисунок 4 – Контрольна мапа з СКМ Maple

Для того щоб додати це зображення у tex-файл слід використати ті ж можливості, що і для побудови гистограми.

Для побудови розширення в СКМ Maple скористатися командою `ColumnGraph([A,B,C], colour=[blue, yellow, green]);`, тут `A,B,C` – масиви даних для побудови розширення.

Зображення, яке побудовано за допомогою команди `ColumnGraph`, наведено на рис. 5.

Для того щоб додати це зображення у tex-файл слід використати ті ж можливості, що і для побудови гистограми.

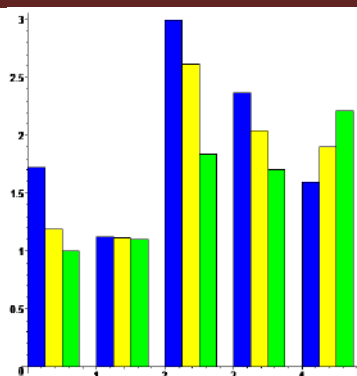


Рисунок 5 – Розшарування з СКМ Maple

Два інструменти якості, які не мають цифрових даних, не можуть бути створені у СКМ Maple. Натомість візуалізацію цих інструментів досить легко здійснити за допомогою видавничої системи LaTeX.

Контрольний аркуш є одним з різновидів таблиці. Побудувати контрольний аркуш можна за допомогою оточення **tabular** [14].

Діаграма Ішікави є більш складним графічним об'єктом, тому для її створення доцільно використати пакет **TikZ** [14], але більшої наочності діаграмі Ішікави надасть її виконання у вигляді інтелектуальної мапи (mind map) [15].

Зображення діаграми Ішікави, яке побудовано за допомогою пакету **TikZ** у вигляді інтелектуальної мапи, наведено на рис. 6.

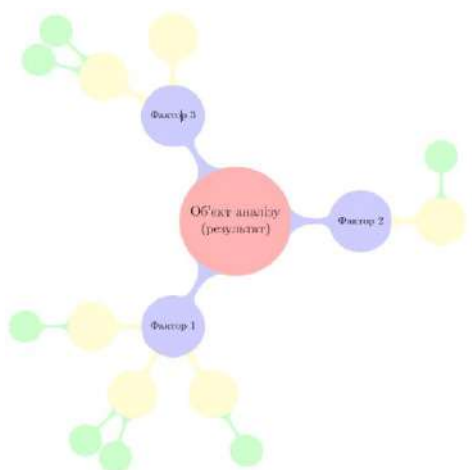


Рисунок 6 – Діаграма Ішікави у вигляді інтелектуальної мапи

Для виконання рекомендацій ДСТУ EN ISO 9001:2018 Системи управління якістю. Вимоги (EN ISO 9001:2015, IDT; ISO 9001:2015, IDT) у виробничих та навчальних умовах на окремих етапах циклу PDCA доцільно застосовувати визначені інструменти контролю якості (табл. 2).

Таблиця 2 – Рекомендовані інструменти на кожному етапі циклу PDCA

№ етапу	Сутність етапу	Інструмент контролю якості
1	Оцінювання відхилення параметрів технологічного процесу або виробленої продукції від нормативних значень	Контрольні мапи, контрольні аркуші, гістограма якості
2	Оцінювання факторів, які можуть викликати відхилення	Метод стратифікації, діаграма розкиду, причинно-наслідкова діаграма
3	Визначення найбільш значущих факторів	Діаграма Парето
4	Розробка та реалізація заходів щодо усунення або зменшення впливу цих факторів	–
5	Оцінка ефективності заходів	Контрольні мапи, гістограма якості, діаграма Парето

Розроблена комплексна модель візуалізації циклу PDCA із застосуванням семи інструментів контролю якості за допомогою засобів ІКТ має такий вигляд (рис. 7).

Загальні рекомендації щодо застосування запропонованих модулів на відповідних етапах циклу PDCA з урахуванням особливостей статистичної інформації та візуалізації, згруповано у вигляді таблиці 3.

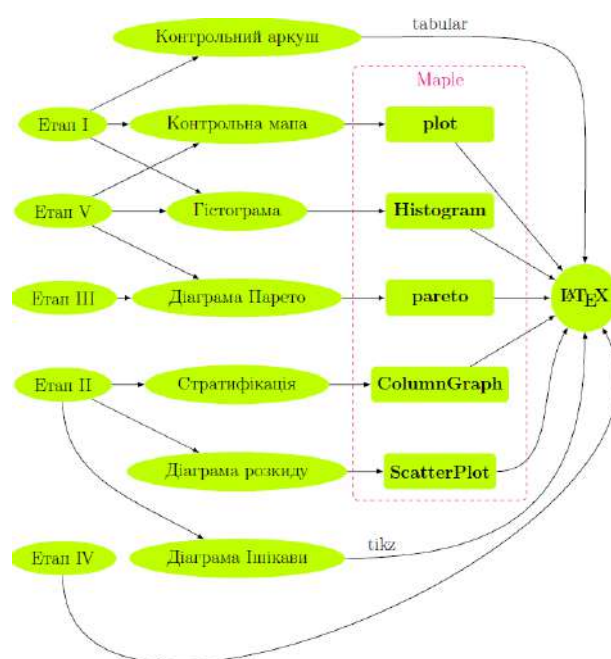


Рисунок 7 – Візуалізація циклу PDCA із застосуванням інструментів контролю якості засобами СКМ Maple та системи LaTeX

Таблиця 3 – Рекомендації щодо застосування модулів

Інструмент контролю якості	№ етапу циклу PDCA	Переваги	Недоліки	Рекомендації щодо застосування відповідного модулю
Контрольний аркуш	1	Простота у використанні, заздалегідь розроблені стандартні бланки	Неможливість врахувати появу непередбачуваних дефектів для їх вчасного виявлення	Вхідна статистична інформація використовується для першого етапу збору, впорядкування та формалізації даних. Візуалізується у вигляді таблиць або нескладних графіків методами дескриптивної статистики безпосередньо у системі LaTeX.
Контрольна мапа	1, 5	Можливість контролювати хід процесу та відстежувати можливі негативні тенденції задля попередження появи дефектів	Висока працемісткість процесу фіксації контрольованих параметрів у реальному часі	Вхідні дані є неперервними випадковими величинами, значення яких є кількісними даними параметра якості, або дискретними випадковими величинами (якісні дані). Візуалізуються у вигляді графіків засобами СКМ Maple та системи LaTeX.
Гістограма якості	1, 5	Наочність, простота. Вигляд гістограми дозволяє зробити висновки про придатність процесу забезпечувати необхідний рівень якості у визначений момент часу та надати рекомендації щодо поліпшення ситуації	Не дозволяє відстежувати часові зміни процесу, його динаміку та внутрішні тенденції	Для забезпечення репрезентативності вибірка вхідних статистичних даних повинна містити не менш за 25 елементів (зазвичай 50-100 елементів). Візуалізуються у вигляді графіків засобами СКМ Maple та системи LaTeX.
Стратифікація (розшарування)	2	Наочність зображення великої кількості даних, згрупованих за факторами впливу	Потрібно досконало розуміти процес, щоб максимально якісно виокремити фактори групування	Різниця між середніми значеннями виокремлених страт повинна бути значною, щоб зробити висновок про їх відмінність. Розкид статистичних даних всередині страт повинен бути меншим, ніж до процесу розшарування. Візуалізуються у вигляді графіків засобами СКМ Maple та системи LaTeX.
Діаграма розкиду	2	Дозволяє спростити контроль технологічного процесу завдяки визначенню кореляційного зв'язку між двома факторами	Неможливість в реальних умовах виробництва повністю усунути або врахувати вплив інших факторів	Статистичні дані, які аналізуються на наявність кореляції (не менш ніж 30 пар даних), повинні бути незалежними від інших можливих факторів впливу, або ця залежність повинна бути врахована при застосуванні модулю. Візуалізуються у вигляді графіків засобами СКМ Maple та системи LaTeX.
Причинно-наслідкова діаграма Ісікави	2	Можливість наочно зобразити велику кількість факторів впливу, що систематизовані певним чином, та прослідкувати ланцюжок причин, які їх викликають	Складність усебічного аналізу можливих факторів, навіть малоймовірних з першого погляду	Вхідна інформація для побудови причинно-наслідкової діаграми Ішікави має якісний, а не кількісний характер. Отримується зазвичай експертним методом. Візуалізується у вигляді схеми або інтелектуальної мапи засобами пакета TikZ.
Діаграма Парето	3, 5	Надає можливість скерувати зусилля на найбільш значущих факторах. Дозволяє проаналізувати вартісний вплив факторів	У випадку великої кількості факторів можна випустити з уваги менш значущі фактори, які можливо мають тенденцію до збільшення впливу	Для максимальної ефективності аналізу виникнення конкретної проблеми кількість факторів впливу рекомендується обирати в діапазоні від 7 до 10. Якщо аналізується працездатність системи взагалі, то рекомендується для аналізу обирати вартісні показники. Візуалізуються у вигляді графіків засобами СКМ Maple та системи LaTeX.

Таким чином, в результаті застосування розробленої моделі візуалізації результатів аналізу якості за допомогою семи інструментів контролю засобами СКМ Maple та системи LaTeX ми отримуємо належним чином оформлений документ у найбільш широко використовуваному в світі міжплатформенному відкритому форматі загального призначення pdf з результатами обробки отриманих статистичних даних, який наочно демонструє наявність чи відсутність проблем у протіканні виробничого процесу, можливі негативні тенденції процесу, візуалізує фактори впливу на нього, виокремлює найбільш значущі фактори та дозволяє наочно подати інформацію щодо результативності прийнятих запобіжних заходів.

Висновки

Розроблено модель комплексної реалізації та візуалізації базових інструментів контролю якості, що використовуються в процесі застосування циклу PDCA для виконання рекомендацій ДСТУ EN ISO 9001:2018 Системи управління якістю. Вимоги у виробничих та навчальних умовах. Модель базується на використанні таких засобів ІКТ, як СКМ Maple та системи LaTeX. Модель враховує особливості вхідної статистичної інформації та візуальної інтерпретації кожного інструменту контролю. Модель дозволяє отримати на виході єдиний файл в форматі pdf, який містить у простому для наочного сприйняття вигляді комплексний аналіз якості технологічного процесу. Реалізовано програмні модулі для семи інструментів контролю якості на відповідних етапах циклу PDCA засобами СКМ Maple та системи LaTeX та наведено результати обчислювального експерименту. За допомогою методу порівняльного аналізу складено експертну карту, у якій проаналізовано переваги, недоліки кожного інструменту контролю якості та наведено загальні рекомендації щодо застосування розроблених модулів під час реалізації циклу PDCA на практиці в процесі контролю якості на виробництві та в навчальному процесі студентів інженерних спеціальностей.

Подальші перспективи досліджень в цьому напрямку вбачаються в розробці комплексної моделі реалізації та візуалізації нових інструментів контролю якості (діаграма спорідненості (affinity diagram), діаграма зв'язків (interrelationship diagram), деревоподібна діаграма (tree diagram), матрична діаграма (matrix diagram or quality table), стрілкова діаграма (arrow diagram), потокова діаграма процесу (flow chart) та діаграма процесу виконання програми (process decision program chart – PDPC), метод «матриці пріоритетів» (matrix data analysis)), а

також новітніх інструментів контролю якості (розгортання функції якості (Quality Function Deployment, QFD-методологія, «Будинок якості»), методологія реперних точок (benchmarking), аналіз форм і наслідків відмов (Failure Mode and Effect Analysis, FMEA-методологія), система «Нуль дефектів» (Zero Defect, ZD-методологія), система «Точно в строк» (Just-in-Time, JIT-методологія), функціонально-вартісний аналіз (ФВА-методологія).

Застосування новітніх методів контролю якості у поєднанні з базовими та новими методами дозволяють вирішити 100 % проблем в галузі якості на виробництві [4]. Тому дуже важливим є видання навчальної літератури, яка допоможе спростити впровадження інструментів контролю якості у вигляді комплексної моделі на базі СКМ Maple та системи LaTeX у виробництво та освітній процес.

Список використаних джерел

1. ДСТУ EN ISO 9001:2018 Системи управління якістю. Вимоги (EN ISO 9001:2015, IDT; ISO 9001:2015, IDT).
2. ISO 10017:2021 Quality management — Guidance on statistical techniques for ISO 9001:2015.
3. Клячкин В. Н. Статистические методы в управлении качеством: компьютерные технологии. Москва: Финансы и статистика, 2014. 304с.
4. Нікітенко О. М., Єгоров А. Б., Штефан Н. В. Сучасні інструменти управління якістю. [Електронний ресурс]. Харків: ХНУРЕ, 2019. 245 с. URL: https://openarchive.nure.ua/bitstream/document/10521/3/Nikitenko_2019.pdf.
5. Демчук Л., Байцар Р. Статистичні методи в управлінні якістю виробничих процесів. *Вимірювальна техніка та метрологія*. 2014. № 75. С. 131-137. URL: <https://ena.lpnu.ua/handle/ntb/25787>.
6. Захожай В.Б. Статистичне забезпечення управління якістю : навч. посібник Київ: ЦНЛ, 2005. 340 с.
7. Власов А. И., Маркелов В. В., Сергеева Н. А., Зотьева Д. Е. Реализация визуальных инструментов контроля качества в среде MATLAB. *Международ. научно-исследовательский журнал*. 2016. № 4(46). С. 59-70. DOI: 10.18454/IRJ.2016.46.208.
8. Гриб'юк О. О., Юнчик В. Л. Використання систем комп'ютерної математики у контексті моделі змішаного навчання. *Математика. Інформаційні технології. Освіта*. [Збірник статей]. СХУ імені Л. Українки. Луцьк – Світязь, 2015. С. 52-71. URL: <https://lib.iitta.gov.ua/10262/>

1/grybyuk-yunchyk-lutsk+.pdf.

9. Moshchenko I., Nikitenko O., Kozlov Yu. Possibilities of using CMS Maple to study random variable distribution laws. *Радіотехніка*. 2021. Вип. 204. С. 128-134. DOI: 10.30837/rt.2021.1.204.15.

10. Аладьев В. З. Программирование в пакетах Maple и Mathematica : Сравнительный аспект. Гродно, ГрГУ, 2011. 517 с.

11. Knuth Donald E. The TeXbook / Donald E. Knuth. Addison-Wesley. Professional, 1984. 496 p. URL: <http://visualmatheditor.equatheque.net/doc/texbook.pdf>.

12. Лисенко С.М., Кришук А.Ф., Дзюбак Ю.П. Дослідження переваг застосування LATEX при оформленні наукових праць. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2012. № 5. С. 225-234. URL: <http://elar.khmnu.edu.ua/bitstream/123456789/226/1/5.22.pdf>

13. Дейнеко Ж. В., Нікітенко О. М., Зелений О. П. Застосування видавничої системи LATEX для створення навчальних видань з анімаційними об'єктами. Поліграфічні, мультимедійні та web-технології. Інновації: монографія. Харків: ТОВ «Друкарня Мадрид», 2022. С. 270-294. URL: <https://openarchive.nure.ua/bitstream/document/20560/1/Mon270294H.pdf>.

14. LATEX в дії. Методичні рекомендації з використання видавничої системи LATEX для студентів, науковців, викладачів [Електронний ресурс] / упоряд. О. М. Нікітенко. Харків: ХНУРЕ, 2018, 2019, 2020, 2021. 195 с. URL : https://openarchive.nure.ua/bitstream/document/6911/5/MTE_Mr_VS_LATEX_2018_2021_ukr.pdf.

15. Tantau T. TikZ and PGF Packages, manual for Version 3.0 / Till Tantau, Dec. 20, 2013. 1165 p.

References

1. DSTU EN ISO 9001:2018 Systemy upravlinnia yakistiu. Vymohy (EN ISO 9001:2015, IDT; ISO 9001:2015, IDT).

2. ISO 10017:2021 Quality management — Guidance on statistical techniques for ISO 9001:2015.

3. Klyachkin V. N. Statisticheskie metody v upravlenii kachestvom: komp'yuternye tekhnologii. Moskva : Finansy i statistika, 2014. 304 s.

4. Nikitenko O. M. Suchasni instrumenty upravlinnia yakistiu / O. M. Nikitenko, A. B. Yehorov, N. V. Shtefan [Elektronnyi resurs]. Kharkiv: KhNURE, 2019. 245 s. URL: https://openarchive.nure.ua/bitstream/document/10521/3/Nikitenko_2019.pdf.

5. Demchuk L., Baitsar R. Statystychni metody v upravlinni yakistiu vyrobnychkh protsesiv.

Vymiriuvalna tekhnika ta metrolohiia. 2014. # 75. S. 131-137. URL: <https://ena.lpnu.ua/handle/ntb/25787>.

6. Zakhozhai V. B. Statystychnе zabezpechennia upravlinnia yakistiu: navch. posibnyk Kyiv : TsNL, 2005. 340 s.

7. Vlasov A. I., Markelov V. V., Sergeeva N. A., Zot'eva D. E. Realizaciya vizual'nykh instrumentov kontrolya kachestva v srede MATLAB. *Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal*. 2016. № 4(46). S. 59-70. DOI: 10.18454/IRJ.2016.46.208

8. Hryb'iuk O. O., Yunchyk V. L. Vykorystannia system komp'yuternoї matematyky u konteksti modeli zmishanoho navchannia. *Matematyka. Informatsiini tekhnolohii. Osvita*. [Zbirnyk statei] / SNU imeni Lesi Ukrainky. Lutsk – Svitiaz, 2015. S. 52-71. URL : <https://lib.iitta.gov.ua/10262/1/grybyuk-yunchyk-lutsk+.pdf>.

9. Moshchenko I., Nikitenko O., Kozlov Yu. Possibilities of using CMS Maple to study random variable distribution laws. *Radiotekhnika*. 2021. Vyp. 204. S. 128-134. DOI: 10.30837/rt.2021.1.204.15.

10. Alad'ev V. Z. Programirovanie v paketax Maple i Mathematica: Sravnitel'nyj aspekt. Grodno, GrGU, 2011. 517 s.

11. Knuth Donald E. The TeXbook / Donald E. Knuth. Addison-Wesley. Professional, 1984. 496 p. URL: <http://visualmatheditor.equatheque.net/doc/texbook.pdf>.

12. Lysenko S. M., Kryshchuk A. F., Dziubak Yu. P. Doslidzhennia perevah zastosuvannia LATEX pry oformlenni naukovykh prats // *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu*. 2012. # 5. S. 225-234. URL: <http://elar.khmnu.edu.ua/bitstream/123456789/226/1/5.22.pdf>.

13. Deineko Zh. V., Nikitenko O. M., Zelenyi O. P. Zastosuvannia vydavnychoi sy-stemy LATEX dlia stvorennia navchalnykh vydan z animatsiinymy ob'ektamy. Polihrafichni, multymediini ta web-tekhnolohii. Innovatsii: monohrafiia. Kharkiv: TOV «Drukarnia Madryd», 2022. S. 270-294. URL: <https://openarchive.nure.ua/bitstream/document/20560/1/Mon270294H.pdf>.

14. LATEX v dii. Metodychni rekomendatsii z vykorystannia vydavnychoi systemy LATEX dlia studentiv, naukovtsiv, vykladachiv [Elektronnyi resurs] / uporiad. O. M. Nikitenko. Kharkiv: KhNURE, 2018, 2019, 2020, 2021. 195 s. URL : https://openarchive.nure.ua/bitstream/document/6911/5/MTE_Mr_VS_LATEX_2018_2021_ukr.pdf.

15. Tantau T. TikZ and PGF Packages, manual for Version 3.0 / Till Tantau, Dec. 20, 2013. 1165 p.

Надійшла до редакції 02.09.2022