

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

Кваліфікаційна наукова праця  
на правах рукопису

Ломанов Костянтин Олександрович

УДК 005.6:330.1:519.23

**ДИСЕРТАЦІЯ**  
**УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ СОЦІАЛЬНО-**  
**ЕКОНОМІЧНИХ СИСТЕМ, ЯК ОБ'ЄКТІВ КВАЛІМЕТРІЇ, ПРИ**  
**ОБМЕЖЕНІЙ КІЛЬКОСТІ ІНФОРМАЦІЇ**

152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка

15 Автоматизація та приладобудування

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

\_\_\_\_\_ К. О. Ломанов

Науковий керівник: Трищ Роман Михайлович, доктор технічних наук, професор

Харків – 2026

## АНОТАЦІЯ

*Ломанов К. О.* Удосконалення методів оцінювання якості соціально-економічних систем, як об'єктів кваліметрії, при обмеженій кількості інформації – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 15 Автоматизація та приладобудування за спеціальністю 152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка. – Навчально-науковий інститут «Українська інженерно-педагогічна академія» Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна Міністерства освіти і науки України, Харків, 2026.

Об'єктом дослідження є – оцінювання якості соціально-економічних систем.

Предметом дослідження є застосування інформаційних технологій, методів математичної статистики та методів порядкових статистик для удосконалення кваліметричних методів оцінювання якості функціонування соціально – економічних систем при обмеженій кількості інформації.

Метою дослідження є удосконалення кваліметричних методів оцінювання якості соціально – економічних систем, у стаціонарному та динамічному режимах при малій кількості інформації про їх функціонування та застосування ефективного математичного апарату порядкових статистик..

Наукова новизна одержаних результатів.

Удосконалено адекватну систему індикаторів, систему ієрархічно структурованих показників, що відображають соціальний розвиток регіонів та ієрархічно структуровану систему індикаторів стратегічного потенціалу підприємства на основі домінуючих думок та методів математичної статистики, що дозволить вирішувати ряд практичних завдань: вибору найкращого проекту будівлі; ранжування регіонів країни за рівнем їх соціально-економічного розвитку для вдосконалення регіональної політики; оцінки якості персоналу; та ін..

Удосконалено метод визначення мінімально необхідної кількості періодів оцінювання показників якості соціально економічних систем, застосовуючи теорію порядкових статистик для ідентифікації закону розподілу випадкових величин, що

дасть можливість проводити їх кількісну оцінку при обмеженій кількості статистичної інформації.

Вперше отримано індекс сталого розвитку соціально-економічних систем через об'єднання одиничних показників; інтенсивність та рівномірність, застосовуючи методи багатокритеріального оцінювання та кореляційно - регресійний аналіз, що дозволило знайти зв'язок між адекватністю кількісної оцінки сталого розвитку та кількістю періодів спостереження.

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

У *першому розділі* розглянуто наукові основи оцінювання якості соціально-економічних систем за інформацією обмеженого обсягу. Послідовно розкривається сутність процесу оцінювання як засобу визначення кількісних характеристик випадкових величин, що описують якість функціонування системи, у ситуаціях, коли обсяг доступних статистичних даних є невеликим. Показано, що саме обмеженість інформації є головною причиною неточності традиційних методів аналізу, тому запропоновано застосування інформаційного підходу, який базується на понятті ентропії як міри невизначеності. Такий підхід дозволяє оцінити кількість інформації, що міститься у вибірці, і визначити ефективність проведеного статистичного аналізу.

Розглянуто особливості роботи з малими вибірками, обґрунтовано доцільність використання порядкових статистик, які дають змогу збільшити інформативність даних без фактичного розширення їх обсягу. Визначено, що впорядкування вибірових спостережень зменшує ентропію вибірки, а отже, підвищує точність оцінювання параметрів якості. Наведено математичні вирази, що описують розподіли, моменти та коваріації порядкових статистик, доведено їх застосовність для практичних задач управління якістю.

У *другому розділі* розглянуто застосування порядкових статистик для визначення оптимальної кількості періодів при оцінюванні соціально-економічних систем. Введено практичне використання математико-статистичних методів,

спрямованих на підвищення точності оцінювання якості за умов обмеженої інформації. Особливу увагу приділено аналізу існуючих методів визначення тривалості періоду спостережень, що використовується для оцінювання стану системи, а також виявленню їхніх недоліків і обмежень у реальних умовах.

Показано, що більшість традиційних методик не враховує нерівномірності та динаміки зміни соціально-економічних процесів, що призводить до викривлення результатів. Запропоновано використання порядкових статистик як ефективного інструменту, який дозволяє одержати додаткову інформацію про розподіл показників якості без збільшення обсягу вибірки. Завдяки впорядкуванню статистичних даних зменшується невизначеність, підвищується точність оцінювання параметрів і стає можливим більш обґрунтоване визначення тривалості періоду аналізу.

Розроблено методику визначення закону розподілу випадкових величин за обмеженими даними. Визначається, що навіть за малої вибірки можна встановити тип розподілу, використовуючи властивості порядкових статистик та інформаційні критерії. Це забезпечує можливість проведення більш коректного статистичного аналізу в умовах нестачі інформації. Отримані результати мають важливе прикладне значення – вони дозволяють оптимізувати процес збору даних, мінімізувати витрати на контроль і водночас підвищити достовірність оцінок якості соціально-економічних систем.

*У третьому розділі* представлено теоретико-методологічні засади кількісного оцінювання сталого розвитку соціально-економічних систем (СЕС). Обґрунтовано необхідність відмови від традиційного підходу, який базується на аналізі стану системи лише в одному часовому зрізі, на користь підходу, що враховує динамічну природу та інерційність СЕС. Розроблено нову методологію формування інтегрального індексу сталого розвитку на основі поєднання двох взаємодоповнювальних параметрів – інтенсивності та рівномірності розвитку. Запропоновано використання кореляційно-регресійного аналізу для визначення інтенсивності розвитку та аналітичного підходу для оцінки рівномірності. Показано, що лише їх комплексне поєднання дозволяє адекватно відобразити реальний стан і

сталість розвитку СЕС. Розроблена методика передбачає два рівні застосування: розрахунок за одним інтегральним індикатором або за системою показників, що дозволяє врахувати багатовимірність та структурну складність соціально-економічних процесів. Отримані результати сприяють підвищенню точності моніторингу сталого розвитку, формуванню науково обґрунтованих управлінських рішень і можуть бути використані в системному аналізі розвитку регіонів і підприємств.

У *четвертому розділі* розглядаються виробничі соціально-економічні системи як складні, багаторівневі та адаптивні утворення, що інтегрують економічні та соціальні компоненти для забезпечення сталого розвитку суспільства. Особлива увага приділяється оцінюванню якості продукції та технологічних процесів як основного індикатора ефективності системи. Запропоновано використання контрольних карт кумулятивних сум (CUSUM) для діагностики технологічних процесів у малосерійних виробництвах, а також комплексного показника якості з урахуванням вагомості окремих параметрів (точність, шорсткість, просторові відхилення, внутрішні напруги). Досліджується застосування функції помилок для безрозмірного оцінювання одиничних показників якості та багатокритеріальної оптимізації технологічних процесів. Розроблені підходи дозволяють кількісно визначати стан процесів, прогнозувати ризики та забезпечувати високу конкурентоспроможність продукції.

**Ключові слова:** оцінювання якості, соціально-економічні системи, інформація, кваліметрія, порядкові статистики, оцінювання ризиків, функціонально залежні статистики, виробничі системи, сталий розвиток, метрики якості, ідентифікація закону розподілу, оптимальна кількість періодів оцінювання, статистичний аналіз даних, інформаційні методи, математичні моделі.

## ABSTRACT

*Lomanov K. O.* Improvement of Methods for Assessing the Quality of Socio-Economic Systems as Objects of Qualimetry under Limited Information Conditions – Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy from the field of knowledge 15 Automation and Instrumentation in speciality 152 Metrology and Information and Measuring Technology - Educational and Research Institute ‘Ukrainian Engineering and Pedagogical Academy’ of V. N. Karazin Kharkiv National University of Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2026.

*The object of the research* is the assessment of the quality of socio-economic systems.

*The subject of the research* is the application of information technologies, methods of mathematical statistics, and order statistics to improve qualimetric methods for evaluating the quality of functioning of socio-economic systems under conditions of limited information.

*The purpose of the research* is to improve qualimetric methods for assessing the quality of socio-economic systems in both stationary and dynamic modes when the amount of available information about their functioning is limited, through the use of an effective mathematical apparatus based on order statistics.

*Scientific novelty of the results.*

An adequate system of indicators has been improved, a system of hierarchically structured indicators reflecting the social development of regions and a hierarchically structured system of indicators of the strategic potential of an enterprise based on prevailing opinions and methods of mathematical statistics, which will allow solving a number of practical tasks: selecting the best building design; ranking regions of the country according to their level of socio-economic development to improve regional policy; assessing the quality of personnel; etc.

The method for determining the minimum number of periods for assessing the quality indicators of socio-economic systems has been improved by applying the theory of

ordinal statistics to identify the distribution law of random variables, which will make it possible to conduct their quantitative assessment with a limited amount of statistical information.

For the first time, an index of sustainable development of socio-economic systems has been obtained by combining individual indicators: intensity and uniformity, using multi-criteria assessment methods and correlation-regression analysis, which made it possible to find a connection between the adequacy of the quantitative assessment of sustainable development and the number of observation periods.

*The introduction* substantiates the relevance of the topic, formulates the purpose and objectives of the research, defines the scientific novelty and practical value of the obtained results, and presents the general characteristics of the dissertation.

*The first* chapter examines the scientific foundations of quality assessment of socio-economic systems based on limited information. It consistently reveals the essence of the evaluation process as a means of determining quantitative characteristics of random variables describing the quality of system functioning when the volume of available statistical data is small. It is shown that limited information is the main cause of inaccuracies in traditional analysis methods; therefore, an informational approach based on the concept of entropy as a measure of uncertainty is proposed. This approach allows for evaluating the amount of information contained in a sample and determining the effectiveness of the conducted statistical analysis.

The features of working with small samples are analyzed, and the feasibility of using order statistics to increase the informativeness of data without actually expanding their volume is justified. It is determined that ordering sample observations reduces the sample's entropy and thus increases the accuracy of parameter estimation. Mathematical expressions describing the distributions, moments, and covariances of order statistics are presented, and their applicability for practical quality management problems is proven.

*The second* chapter considers the application of order statistics for determining the optimal number of periods when evaluating socio-economic systems. Practical implementation of mathematical-statistical methods aimed at increasing the accuracy of quality assessment under limited information conditions is demonstrated. Special attention

is paid to analyzing existing methods for determining the observation period used to evaluate system states, as well as identifying their shortcomings and limitations in real-world conditions.

It is shown that most traditional methodologies do not account for the unevenness and dynamic nature of socio-economic processes, leading to distorted results. The use of order statistics is proposed as an effective tool that provides additional information about the distribution of quality indicators without increasing the sample size. Due to the ordering of statistical data, uncertainty decreases, accuracy of parameter estimation increases, and a more justified determination of the analysis period becomes possible.

A method for determining the probability distribution law of random variables under limited data conditions has been developed. It is established that even with a small sample, it is possible to identify the type of distribution using the properties of order statistics and information criteria. This ensures the possibility of more accurate statistical analysis when information is scarce. The obtained results are of significant practical importance – they allow optimizing data collection processes, minimizing control costs, and at the same time increasing the reliability of quality assessments of socio-economic systems.

*The third* chapter presents the theoretical and methodological foundations for quantitative assessment of sustainable development of socio-economic systems (SES). The need to abandon the traditional approach – based only on analyzing the system's state at a single time slice – is substantiated in favor of a dynamic approach that takes into account the inertia and evolution of SES. A new methodology for forming an integrated sustainable development index based on combining two complementary parameters – intensity and uniformity of development – has been developed. Correlation-regression analysis is proposed for determining the intensity of development, and an analytical approach for evaluating uniformity. It is shown that only their combined use can adequately represent the real state and sustainability of SES. The proposed methodology allows for both a single integrated indicator calculation and a system of indicators approach, accounting for the multidimensional and structurally complex nature of socio-economic processes. The results improve the accuracy of sustainable development

monitoring, support scientifically grounded managerial decisions, and can be used for systemic analysis of regional and enterprise development.

*The fourth* chapter examines industrial socio-economic systems as complex, multilevel, and adaptive entities integrating economic and social components to ensure sustainable societal development. Particular attention is paid to assessing product and technological process quality as key indicators of system efficiency. The use of cumulative sum (CUSUM) control charts for diagnosing technological processes in small-batch production is proposed, along with a composite quality index considering the weight of individual parameters (accuracy, roughness, spatial deviations, internal stresses). The use of error functions for dimensionless evaluation of single quality indicators and for multicriteria optimization of technological processes is studied. The developed approaches make it possible to quantitatively determine process conditions, forecast risks, and ensure high product competitiveness.

**Keywords:** *quality assessment, socio-economic systems, information, qualimetry, ordinal statistics, risk assessment, functionally dependent statistics, production systems, sustainable development, quality metrics, distribution law identification, optimal number of assessment periods, statistical data analysis, information methods, mathematical models.*

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

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

1. Trishch R., Petraškevičius V., Šimelytė A., Cherniak O., **Lomanov K.** Assessment of product quality risks by qualimetric methods using functionally dependent statistics. *Engineering Management in Production and Services*. 2025. №17(3). P. 68-82. **(Scopus)**.

DOI: 10.2478/emj-2025-0020

URL: <https://reference-global.com/article/10.2478/emj-2025-0020>

ISSN: 2543-6597

**Keywords:** qualimetry; quality of life; risk; risk assessment; quality risk; sustainability criteria; error function; functionally dependent statistics; multicriteria quality assessment.

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

2. **Ломанов К.О.**, Головка М.О. Статистичні методи оцінювання якості технологічних процесів при обмеженій кількості інформації. *Машинобудування*. 2025. Вип. 35. С. 36-45.

**Ключові слова:** оцінювання якості; статистичні методи; обмежена кількість інформації; кваліметрія; технологічний процес.

DOI: 10.26565/2079-1747-2025-35-04

URL: <https://periodicals.karazin.ua/engineering/article/view/26612/23722>

*(Особистий внесок здобувача: сформульовано наукову ідею та мету дослідження; розроблено математичний апарат для оцінювання якості технологічного процесу з урахуванням вагомості показників, здійснено обґрунтування доцільності використання контрольних карт кумулятивних сум у малосерійному виробництві; проведено аналітичну частину роботи, узагальнено результати та сформульовано висновки. Відповідні результати наведені в практичній частині роботи.*

*Особистий внесок Головка М. О.: проведено збір і статистичну обробку експериментальних даних; побудовано графіки кумулятивних сум і розроблено еталонну контрольну карту для практичного використання; підготовлено текст статті та верифікації результатів).*

3. Тріщ Р.М., Ломанов К.О., Цициліано Д.О., Крутько В.О., Бондар Д.Ю., Зась Д.С. Застосування функціонально-залежних статистик для оцінювання ризиків якості продукції. *Метрологія та прилади*. 2025. № 1. С. 76–84.

**Ключові слова:** якість; ризик; оцінювання; безрозмірна шкала; функція помилок; кваліметрія.

DOI: 10.30837/2663-9564.2025.1.10

URL: <https://mi.nure.ua/article/view/333370/324472>

*(Особистий внесок здобувача: обґрунтовано доцільність використання функції помилок у кваліметрії та визначено методичні підходи до нормування показників якості в безрозмірну шкалу, аналітично опрацьовано результати моделювання, інтерпретовано отримані функції щільності розподілу оцінок та забезпечено обґрунтування ефективності запропонованого підходу порівняно з традиційними методами кваліметрії., результати наведені у відповідній частині роботи.*

*Особистий внесок Тріщ Р. М.: формування загальної концепції дослідження, постановці цілей та завдань, методологічний супровід, аналізі результатів. Відповідні результатом є матеріалами публікації.*

*Особистий внесок Цициліано Д.О.: перевірка наукової достовірності отримуваних результатів, перевірка тексту роботи, редагування. Відповідні результатом є матеріалами публікації.*

*Особистий внесок Крутько В.О.: аналіз літературних джерел з питань ризик-менеджменту та кваліметрії, систематизації принципів управління ризиками, результати наведені у відповідній частині роботи.*

*Особистий внесок Бондар Д.Ю.: побудування графіків, оформлення таблиць та підготовка ілюстративного матеріалу для наочної демонстрації результатів дослідження, результати наведені у відповідній частині роботи.*

*Особистий внесок Зась Д.С.: пошук та первинний аналіз літератури, а також участь в оформленні статті згідно з вимогами видання.)*

4. **Ломанов К.О.**, Рибальченко Т.П. Застосування порядкових статистик для визначення оптимальної кількості періодів при оцінюванні соціально-економічних систем. *Відкриті інформаційні та комп'ютерні інтегровані технології*. 2025. № 104. С. 243-257.

**Ключові слова:** порядкові статистики; закон розподілу; соціально-економічні системи; ідентифікація закону; інформаційно-комунікаційні технології.

DOI: 10.32620/oikit.2025.104.16.

URL:<http://nti.khai.edu/ojs/index.php/oikit/article/view/2969/2748>

*(Особистий внесок здобувача: формалізовано математичний апарат, розроблено алгоритм та методики ідентифікації закону розподілу, проаналізовано властивості порядкових статистик та їх застосування для оцінювання соціально-економічних систем.. Відповідні результати наведені в практичній частині роботи.*

*Особистий внесок Рибальченко Р.П.: збір та підготовка емпіричних даних, перевірка наукової достовірності отримуваних результатів, перевірка тексту роботи. Відповідні результатом є матеріалами публікації)*

*Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:*

5. **Ломанов К.О.**, Головка М.О. Статистичні методи оцінювання якості технологічних процесів при обмеженій кількості інформації. *Нові технології в машинобудуванні*: Матеріали тридцять п'ятої Всеукраїнської конференції, 02– 05 вересня 2025 р. Харків, Україна, 2025. С. 150-151.

6. **Ломанов К.О.**, Головка М.О., Рибальченко Т.П. Кількісне оцінювання ефективності комунікаційних процесів у системі управління якістю ISO 9001:2015. *Якість, стандартизація, контроль: теорія та практика*: Матеріали 25-ї Міжнародної науково-практичної конференції, 22–26 вересня 2025 р. Київ: АТМ України, 2025. С.78-80.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ.....	15
ВСТУП.....	16
РОЗДІЛ 1. НАУКОВІ ОСНОВИ ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ЗА ІНФОРМАЦІЄЮ ОБМЕЖЕНОГО ОБСЯГУ.....	23
1.1 Багатокритеріальне оцінювання соціально-економічних систем.....	38
1.1.1 Загальні відомості методів багатокритеріального оцінювання соціально-економічних систем .....	39
1.1.2 Формування адекватної системи індикаторів для досліджуваного явища або процесу.....	41
Висновки до першого розділу та постановка задач досліджень	51
Список використаних джерел.....	53
РОЗДІЛ 2. ЗАСТОСУВАННЯ ПОРЯДКОВИХ СТАТИСТИК ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ КІЛЬКОСТІ ПЕРІОДІВ ПРИ ОЦІНЮВАННІ СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНИХ СИСТЕМ.....	58
2.1 Теоретико-методологічні засади багатокритеріального оцінювання якості функціонування соціально-економічних систем в умовах невизначеності.....	58
2.2 Існуючі методи визначення оптимальної кількості періодів оцінювання соціально-економічних систем.....	62
2.3 Застосування порядкових статистик для визначення оптимальної кількості періодів.....	63
2.4 Методика визначення закону розподілу випадкових величин за обмеженою кількістю інформації .....	64
2.5 Апробація методики багатокритеріального оцінювання показників сталого розвитку СЕС.....	72
Висновки до другого розділу.....	83
Список використаних джерел.....	84

РОЗДІЛ 3. ОЦІНЮВАННЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНИХ СИСТЕМ.....	86
3.1 Аналіз розвитку соціально-економічних систем.....	86
3.2 Соціально-економічні системи в контексті сталого розвитку .....	90
3.3 Методологія дослідження соціально-економічних систем.....	92
3.4 Емпіричне дослідження розвитку соціально-економічних систем.....	102
Висновки до третього розділу.....	109
Список використаних джерел.....	110
РОЗДІЛ 4 ВИРОБНИЧІ СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНІ СИСТЕМИ.....	116
4.1 Виробничі соціально-економічні системи як об'єкт наукового аналізу.....	116
4.2 Комплексна оцінка якості технологічного процесу механічної обробки.....	124
4.3 Застосування функціонально-залежних статистик для оцінювання ризиків якості продукції .....	133
4.3.1. Застосування функції помилок для оцінювання якості об'єктів кваліметрії.....	135
4.3.2. Оцінювання ризиків низької якості продукції.....	138
Висновки до четвертого розділу.....	141
Список використаних джерел.....	142
ВИСНОВКИ.....	146
ДОДАТКИ.....	148
Додаток А. Список опублікованих праць за темою дисертації .....	149
Додаток Б. Документи, які підтверджують впровадження основних результатів дисертаційної роботи .....	153

**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ**

CUSUM - кумулятивна сума

СЕС - соціально-економічна система

## ВСТУП

У сучасних умовах динамічного розвитку суспільства та економіки особливого значення набуває проблема оцінювання якості функціонування соціально-економічних систем. Високий рівень невизначеності, інтенсивність інформаційних потоків, зростання ролі інновацій та глобалізаційні процеси вимагають від таких систем здатності швидко адаптуватися до нових викликів, зберігаючи при цьому ефективність та стабільність. Одним із ключових показників результативності їхньої діяльності виступає якість, яка не лише характеризує стан внутрішніх процесів і результатів, а й відображає можливості системи забезпечувати конкурентоспроможність, соціальну відповідальність та стійкий розвиток.

Оцінювання якості соціально-економічних систем має комплексний характер і охоплює широкий спектр аспектів: економічних, управлінських, соціальних, технологічних, екологічних. Така багатогранність обумовлює складність самого процесу оцінювання, оскільки жоден окремих показник не здатний повною мірою відобразити сутність якості системи. Водночас практика управління вимагає наявності кількісних інструментів, які б дозволяли приймати обґрунтовані рішення щодо вдосконалення діяльності, оптимізації процесів, підвищення ефективності використання ресурсів. Саме тому застосування кваліметрії як науки про кількісне вимірювання якості є надзвичайно важливим напрямом сучасних досліджень.

Разом із тим, у реальних умовах діяльності соціально-економічних систем повнота та достовірність інформації, необхідної для здійснення кваліметричного аналізу, часто є обмеженою. Це пояснюється як об'єктивними факторами – складністю процесів, наявністю прихованих параметрів, впливом невимірюваних чинників, – так і суб'єктивними: небажанням організацій надавати повну інформацію, проблемами комунікації між підсистемами, асиметрією інформаційних потоків. У результаті оцінювання якості відбувається за неповною базою даних, що може суттєво знижувати точність результатів і призводити до помилкових управлінських рішень.

Важливість вирішення цієї проблеми обумовлена тим, що соціально-

економічні системи різного масштабу – від підприємств до національних економік – є основою функціонування суспільства. Для підприємства якість системи визначає його здатність випускати продукцію чи надавати послуги, які відповідають очікуванням споживачів і стандартам ринку. Для освітньої установи якість системи відображається у результатах підготовки кадрів, рівні наукових досягнень і задоволеності студентів. Для державних інституцій якість проявляється у рівні довіри громадян, ефективності управлінських рішень, спроможності формувати середовище сталого розвитку. В усіх випадках якість стає критерієм життєздатності системи, її стійкості до зовнішніх і внутрішніх загроз, а також визначає можливості для розвитку.

Особливої уваги заслуговує розгляд виробничих підприємств, які є одним із найважливіших прикладів соціально-економічних систем. У цьому контексті якість системи безпосередньо пов'язана з якістю продукції, що випускається. Недосконалість управлінських процесів, неузгодженість у функціонуванні підрозділів, низька ефективність використання ресурсів неминуче призводять до погіршення якості виробів, зростання частки браку, збільшення витрат на переробку та рекламу. Навпаки, високий рівень організації внутрішніх процесів, наявність системи управління якістю, орієнтованої на постійне вдосконалення, забезпечує стабільність продукції, її відповідність міжнародним стандартам і конкурентоспроможність на ринку. Таким чином, кількісне оцінювання якості системи через результати її продукції стає одним із найефективніших способів визначення рівня розвитку підприємства.

Сучасні методи кваліметрії, що застосовуються для оцінювання якості соціально-економічних систем, ґрунтуються на використанні багатокритеріальних моделей, статистичних підходів, експертних оцінок. Проте більшість із них передбачає наявність повної та достовірної інформації про стан системи, що у реальних умовах є рідкістю. Традиційні підходи виявляються малоефективними в умовах інформаційних обмежень, коли частина даних відсутня, є суперечливою або представлена у нечіткій формі. У таких випадках необхідні інноваційні методи, здатні інтегрувати різні типи інформації, враховувати невизначеність і

забезпечувати достовірні результати навіть за мінімальної інформаційної бази.

З цією метою перспективним є поєднання класичних інструментів кваліметрії із сучасними методами системного аналізу, математичного моделювання, теорії нечітких множин, теорії ймовірностей, байєсівських підходів та інструментів штучного інтелекту. Використання таких методів дозволяє будувати гнучкі моделі, які адаптуються до різних умов і забезпечують коректність результатів у випадку наявності обмежених або неповних даних. Важливим є також застосування методів експертного оцінювання, які дають змогу заповнити інформаційні прогалини за рахунок використання знань і досвіду фахівців.

Розробка нових підходів до оцінювання якості соціально-економічних систем в умовах обмеженої кількості інформації має не лише теоретичне, а й велике практичне значення. Для підприємств це означає можливість своєчасно виявляти проблемні ділянки, підвищувати ефективність управління, знижувати ризики і втрати. Для освітніх закладів – формувати обґрунтовану політику підвищення якості освітніх послуг, адаптувати програми до потреб ринку праці. Для державних структур – забезпечувати більш точну оцінку соціально-економічних процесів, приймати управлінські рішення на основі реалістичних даних. Усі ці аспекти підкреслюють актуальність обраної теми і визначають необхідність розроблення нових методологічних та практичних рішень у сфері кваліметрії.

Крім того, проблема оцінювання якості соціально-економічних систем безпосередньо пов'язана з питанням їхнього розвитку. Неможливо удосконалювати систему, не маючи чіткого розуміння її сильних і слабких сторін. Систематичний процес оцінювання виступає основою для формування стратегій удосконалення, дозволяє визначати пріоритети інвестицій, планувати організаційні зміни, формувати політику розвитку персоналу. У цьому контексті методи кваліметрії перетворюються на потужний інструмент управління, який сприяє досягненню довгострокових цілей.

Таким чином, дослідження, спрямовані на удосконалення методів оцінювання якості соціально-економічних систем як об'єктів кваліметрії в умовах обмеженої кількості інформації, мають важливе значення для науки і практики. Вони

поєднують у собі фундаментальні аспекти – розвиток теоретичної бази кваліметрії та системного аналізу – і прикладні завдання, пов’язані з підвищенням ефективності управління організаціями різних типів. Результати таких досліджень здатні забезпечити створення більш гнучких та надійних інструментів для вимірювання якості, що у свою чергу сприятиме розвитку соціально-економічних систем, підвищенню їх конкурентоспроможності та формуванню основ для сталого розвитку суспільства в цілому.

**Мета і задачі дослідження.** Метою дисертаційної роботи являється удосконалення кваліметричних методів оцінювання якості соціально – економічних систем, у стаціонарному та динамічному режимах при малій кількості інформації про їх функціонування та застосування ефективного математичного апарату порядкових статистик.

Для досягнення мети планується вирішення таких задач:

1. Розробити науково обґрунтовану систему індикаторів для оцінювання соціально-економічного розвитку на основі аналізу експертних думок і методів математичної статистики.

2. Сформувати ієрархічно структуровану систему показників стратегічного потенціалу підприємства, що відображає взаємозв’язки між рівнями управління та функціональними компонентами потенціалу.

3. Обґрунтувати і розробити параметричну методику ідентифікації закону розподілу випадкових величин із використанням порядкових статистик для умов обмеженої кількості інформації.

4. Провести апробацію запропонованої методики ідентифікації закону розподілу на реальних соціально-економічних даних та оцінити її адекватність для різних типів систем.

5. Розробити модель кількісного оцінювання сталого розвитку соціально-економічних систем на основі поєднання параметрів інтенсивності та рівномірності розвитку.

6. Провести експериментальну перевірку розробленої моделі сталого розвитку на прикладах систем із різною структурою індикаторів і визначити межі її

застосування.

**Об'єкт дослідження** – оцінювання якості соціально-економічних систем.

**Предмет дослідження** - застосування інформаційних технологій, методів математичної статистики та методів порядкових статистик для удосконалення кваліметричних методів оцінювання якості функціонування соціально – економічних систем при обмеженій кількості інформації.

**Методи дослідження.** Теоретичні дослідження базуються на фундаментальних принципах теорії кваліметрії, методах теорії математичної статистики, теорії порядкових статистик, теорії малих вибірок

**Наукова новизна одержаних результатів.**

Удосконалено адекватну систему індикаторів, систему ієрархічно структурованих показників, що відображають соціальний розвиток регіонів та ієрархічно структуровану систему індикаторів стратегічного потенціалу підприємства на основі домінуючих думок та методів математичної статистики, що дозволить вирішувати ряд практичних завдань: вибору найкращого проекту будівлі; ранжування регіонів країни за рівнем їх соціально-економічного розвитку для вдосконалення регіональної політики; оцінки якості персоналу; та ін..

Удосконалено метод визначення мінімально необхідної кількості періодів оцінювання показників якості соціально економічних систем, застосовуючи теорію порядкових статистик для ідентифікації закону розподілу випадкових величин, що дасть можливість проводити їх кількісну оцінку при обмеженій кількості статистичної інформації.

Вперше отримано індекс сталого розвитку соціально-економічних систем через об'єднання одиничних показників; інтенсивність та рівномірність, застосовуючи методи багатокритеріального оцінювання та кореляційно - регресійний аналіз, що дозволило знайти зв'язок між адекватністю кількісної оцінки сталого розвитку та кількістю періодів спостереження.

**Практичне значення одержаних результатів.**

Практичне значення одержаних результатів полягає у можливості безпосереднього застосування розроблених науково-методичних положень, моделей

і рекомендацій у процесі оцінювання, управління та прогнозування якості функціонування соціально-економічних систем різного рівня.

Запропонована методологія дає змогу здійснювати кількісну оцінку показників якості в умовах неповної або обмеженої інформації, що є типовою ситуацією для сучасних виробничих, управлінських і соціальних систем. Використання інформаційно-ентропійного підходу, поєднаного з теорією порядкових статистик, дозволяє підвищити достовірність оцінок за рахунок ефективного використання малих вибірок статистичних даних. Це створює підґрунтя для прийняття обґрунтованих управлінських рішень навіть у ситуаціях невизначеності.

Результати теоретичних та експериментальних досліджень впроваджені в ТОВ "ООВ ПРОМСТАНДАРТ", фахівці якого випробували впровадили методику визначення оптимальної кількості періодів оцінювання соціально-економічних систем з застосуванням теорії порядкових статистик для ідентифікації закону розподілу випадкових величин.

**Особистий внесок здобувача.** Основні теоретичні, розрахункові та експериментальні результати отримано здобувачем самостійно. Наукові положення, що виносяться на захист, та висновки дисертаційної роботи належать автору.

У роботах, опублікованих у співавторстві:

- створено математичну модель для розрахунку функції щільності ймовірності перетворених показників якості. Модель валідовано за допомогою аналітичних виведень та числових експериментів на поршневих компонентах у точному машинобудуванні [1];

- сформульовано наукову ідею та мету дослідження; розроблено математичний апарат для оцінювання якості технологічного процесу з урахуванням вагомості показників, здійснено обґрунтування доцільності використання контрольних карт кумулятивних сум (CUSUM) у малосерійному виробництві; проведено аналітичну частину роботи, узагальнено результати та сформульовано висновки [2];

- обґрунтовано доцільність використання функції помилок у кваліметрії та

визначено методичні підходи до нормування показників якості в безрозмірну шкалу, аналітично опрацьовано результати моделювання, інтерпретовано отримані функції щільності розподілу оцінок та забезпечено обґрунтування ефективності запропонованого підходу порівняно з традиційними методами кваліметрії [3];

- розроблено алгоритм та методики ідентифікації закону розподілу, проаналізовано властивості порядкових статистик та їх застосування для оцінювання соціально-економічних систем [4].

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення та результати досліджень доповідалися на наукових конференціях: Тридцять п'ята Всеукраїнська конференція «Нові технології в машинобудуванні» (Харків, 2025); 25-а Міжнародна науково-практична конференція «Якість, стандартизація, контроль: теорія та практика» (Київ, 2025).

**Публікації результатів дисертації.** Результати досліджень, що подані в дисертації, опубліковані у 6 наукових працях, у тому числі у 3 статтях у наукових фахових виданнях; 1 стаття у науковому виданні Scopus, апробаційного характеру опубліковано 2 тез доповідей в збірниках конференцій.

**Структура і обсяг дисертації.** Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Повний об'єм дисертаційної роботи становить 153 сторінки, з них обсяг основного тексту – 115 сторінок: 2 рисунка на 1-ій окремій сторінці, 25 рисунків по тексту, 22 таблиці по тексту, 2 додатки на 5-ти сторінках, список використаних джерел із 131 найменувань на 17-ти сторінках.

## РОЗДІЛ 1. НАУКОВІ ОСНОВИ ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ЗА ІНФОРМАЦІЄЮ ОБМЕЖЕНОГО ОБСЯГУ

Завдання оцінювання якості завжди спрямовано на обчислення кількісних характеристик випадкової величини за кінцевою вибіркою. При оцінюванні зазвичай розрізняють правило оцінювання, яке називається оцінювальною функцією, і значення, до яких призводить це правило, застосоване до конкретної вибірки. Різниця між ними така ж, як між функцією  $f(x)$ , визначеною на деякому інтервалі зміни  $X$ , і окремим її значенням при фіксованому значенні змінної  $X$  із заданого інтервалу. В основному, дане завдання зводиться до точкового або інтервального оцінювання за вибіркою одного або декількох параметрів генеральної сукупності.

При перевірці статистичної гіпотези зазвичай ставиться мета визначити за вибіркою властивості випадкової величини або сукупності їх. При цьому властивості можуть виражатися як кількісно, так і якісно, відповідно до цього гіпотеза може мати як кількісний, так і якісний характер.

Незважаючи на істотну відмінність завдань оцінювання та перевірки гіпотез, між ними існує тісний взаємозв'язок. На практиці ці завдання можуть передувати одне одному залежно від вихідного статистичного матеріалу та кінцевої мети аналізу. Наприклад, якщо необхідно оцінити математичне сподівання генеральної сукупності за вибіркою, в якій є спостереження, що сильно відрізняються від інших, то попередньо слід провести «підчищення» даних.

Для цієї мети використовуються методи виключення аномальних вимірювань, суть яких полягає в перевірці гіпотези про аномальність окремого спостереження по відношенню до інших елементів вибірки. В іншому випадку може бути необхідно за вибіркою перевірити гіпотезу про закон розподілу, що описує генеральну сукупність, яка представляється вибіркою [1]. У даному прикладі на першому місці стоїть завдання оцінювання невідомих параметрів гіпотетичного розподілу.

Завдання обчислення оцінки функції розподілу можна вважати несуттєвим завданням, але тільки в разі необмежених можливостей в отриманні статистичного

матеріалу. Дійсно, в такому випадку за допомогою широко відомих методів можна дуже точно оцінювати параметри розподілів і мати невеликі помилки при перевірці гіпотез. Якщо ж необхідно оцінити розподіл, то це нескладно виконується одним з поширених методів, наприклад за допомогою побудови полігону частот або гістограми.

На практиці дуже часто доводиться працювати в умовах обмежених обсягів вибірок. Особливо гостро це відчувають служби контролю якості підприємств, що мають дрібносерійне виробництво. Таке ж становище існує у виробництві та експлуатації дорогих і високонадійних технічних виробів. Аналогічні приклади можна знайти в медицині, біології тощо. При аналізі статистичного матеріалу обмеженого обсягу завдання оцінювання функції розподілу набуває проблематичного характеру.

Уміння будувати хорошу (у ймовірнісному сенсі) оцінку функції розподілу при малих вибірках дає можливість обчислювати хороші оцінки моментів випадкової величини і більш впевнено, тобто з меншими помилками першого і другого роду, приймати рішення при перевірці статистичних гіпотез.

Особливості та шляхи вирішення в умовах малих вибірок завдань кожного класу окремо для управління якістю машинобудівної продукції як дискретних випадкових величин полягають в ефективному використанні статистичної інформації обмеженого обсягу. Інформаційний підхід виявляється дуже корисним і результативним при вирішенні завдань статистичного аналізу. На це вказується в роботах Н. Вінера, Р. Фішера, К. Шеннона, які фактично побудували фундамент сучасної теорії інформації.

Говорячи про інформацію, необхідно відзначити якісну сторону, яка добре узгоджується з інтуїтивним уявленням про інформацію як про знання взагалі. Для завдань статистичного аналізу це визначення є дуже доречним, тобто ми пов'язуємо поняття зростання інформації з поняттям зростання знань про досліджуване випадкове явище. Для вирішення завдань, пов'язаних з управлінням якістю в машинобудуванні, під інформацією будемо розуміти відображення випадковою вибіркою розсіювання показника якості. Тоді правомірним є твердження, що при

статистичному аналізі здійснюється вилучення інформації з вибірки.

Для кількісної оцінки інформації використовуємо поняття ентропії в її загальноприйнятому значенні: як міру хаотичності або невизначеності фізичного об'єкта [2]. При цьому внаслідок того, що метою статистичного аналізу є вивчення властивостей випадкової величини показника якості, яка кількісно описує деяке випадкове явище, а, отже, в кінцевому підсумку – вивчення випадкового явища, ентропію потрібно розуміти як невизначеність досліджуваного явища. Ця невизначеність існує як апіорно, так і після проведення аналізу вибірки. Так, якщо  $f_0(x)$  – апіорна щільність розподілу випадкової величини  $X$  на інтервалі  $U$ , то ентропія  $H_0$ , що визначається за Шенноном, є [3]:

$$H_0 = - \int_U f_0(x) \log f_0(x) dx, \quad (1.1)$$

де  $\int_U f_0(x)$  - оцінка щільності розподілу на інтервалі  $U$ .

Нехай  $f_0(x)$  – оцінка щільності розподілу, обчислена за вибіркою  $\{x_i, i = 1, 2, \dots, N\}$  тоді апостеріорна ентропія обчислюється наступним чином:

$$H_N = - \int_U f^*(x) \log f^*(x) dx. \quad (1.2)$$

Кількість інформації про показник якості виробів або процесів, отримана з вибірки, визначається як зменшення невизначеності:

$$I = H_0 - H_N. \quad (1.3)$$

Вираз (1.3) визначає кількість інформації у вибірці про дане явище, але, з іншого боку, можна розглядати поняття інформації різними способами. Випадкова величина  $X$ , визначаючи досліджуване явище, сама у свою чергу повністю

визначається функцією розподілу  $F(x)$  або її щільністю  $f(x)$ . Тому будемо вважати інформацію відображенням вибіркою  $\{x_i, i=1,2,\dots,N\}$  дійсної функції розподілу  $F(x)$  або щільності  $f(x)$ , що описує випадкову величину  $X$  на інтервалі  $U$ . У такому випадку ентропія буде характеризувати розподіли  $f(x)$ . Якщо  $f^*(x)$  є оцінкою  $f(x)$ , обчисленою за вибіркою, і задано функціонал:

$$H=H(f(x), f^*(x)), \quad (1.4)$$

що визначає розбіжність між  $f(x)$  та її оцінкою  $f^*(x)$  і, очевидно, є випадковою величиною з щільністю розподілу  $\varphi_N(H)$ , заданою на інтервалі  $V$ , то апіорну ентропію  $H_0$  можна визначати відповідно до виразу (1.1):

$$H_0 = - \int_U \varphi_0(H) \log \varphi_0(H) dH, \quad (1.5)$$

де  $\varphi_0(H)$  – апіорна щільність величини (1.4).

Апостеріорна ентропія  $H_N$  обчислюється аналогічно:

$$H_N = - \int_U \varphi_N(H) \log \varphi_N(H) dH. \quad (1.6)$$

Таким чином, кількість інформації про щільність  $f(x)$ , яку отримано з вибірки об'єму  $N$ , дорівнює:

$$I_N = H_0 - H_N. \quad (1.7)$$

Інформаційний підхід дозволяє оцінити якість статистичного аналізу. Припустимо, що величина  $I'_N$  визначає кількість інформації про досліджуване явище, отриману з вибірки об'єму  $N$  за допомогою одного методу, а величина  $I''_N$  характеризує інший метод. Тоді при співвідношенні  $I'_N > I''_N$  завжди можна вважати,

що якість аналізу, при якому використовується перший метод, вища. При оцінюванні, наприклад, щільності розподілу потрібно розглядати якість оцінки  $f^*(x)$ , обчисленої за кінцевою вибіркою, визначаючи її аналогічним чином.

Оцінювання є ефективним, якщо воно має мінімальну дисперсію відхилень від оцінюваного показника якості (у нашому випадку функція  $f(x)$  на всьому розглянутому можливому класі оцінювань). Якість оцінювання цілком визначається вибірковим розподілом [2]. При визначенні якості з інформаційних позицій за допомогою показника (1.4) щільністю вибіркового розподілу є функція  $\varphi_N(H)$ . Як видно з (1.6) і (1.7), вона дійсно цілком визначає якість оцінювання  $f^*(x)$ . Наприклад, якість оцінювання, що має щільність  $\varphi_N(H)$  виду 1, вища, ніж для оцінювання з щільністю виду 2 (рис. 1.1) [2], оскільки має меншу дисперсію. Але дисперсія є мірою розкиду величини (1.4) і є однією з характеристик вибіркового розподілу  $\varphi_N(H)$ .

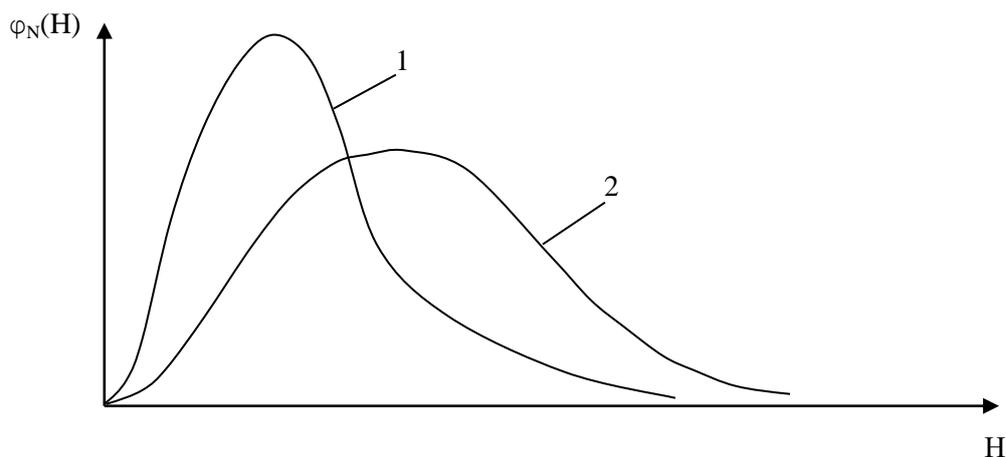


Рис. 1.1. Щільності вибіркового розподілу

Рівень якості оцінки, визначений за інформаційним критерієм, збігається з рівнем ефективності оцінки. Але дисперсія не повністю визначає щільність  $\varphi_N(H)$  і, отже, не може повністю характеризувати якість оцінки, а задає тільки її частину. Можна стверджувати, що мінімум дисперсії є необхідною, але не достатньою умовою високої якості оцінки. Необхідною і достатньою умовою високої якості оцінки, як видно з рисунку 1.2, є мінімум математичного сподівання величини (1.4) при мінімальній дисперсії.

Тут ідеться про відносну, або порівняльну, якість оцінки. Оцінити якість абсолютно неможливо, оскільки для цієї мети необхідно було б знати кількість інформації, що міститься у вибірці обсягу  $N$ . Обчислення цієї величини на даний час не може бути проведено об'єктивно – у будь-якому випадку суб'єктивність методу накладатиме свій відбиток.

Для дослідження задачі оцінювання функції розподілу та її щільності визначимо функціонал (1.4) у такому вигляді:

$$H_N = \int_U f^*(x) \ln \frac{f^*(x)}{f(x)} dx. \quad (1.8)$$

З формули (1.8) зрозуміло, що величина  $H_N$  задає середню розбіжність на інтервалі  $U$  між логарифмами оцінки щільності  $f^*(x)$  і оцінюваної щільності  $f(x)$ . При  $f^*(x)=f(x)$  величина  $H_N = 0$ , в іншому випадку завжди  $H_N > 0$ . Можна говорити про те, що середня розбіжність на інтервалі  $U$  описує ступінь відображення випадковою вибіркою оцінювану щільність  $f(x)$ , а значить, є мірою невизначеності нашого знання про щільність  $f(x)$ . Таким чином, ми маємо право назвати величину  $H_N$ , на відміну від безумовної ентропії (1.6), умовною апостеріорною ентропією, яка залишається після обробки вибірки, тобто після знаходження оцінки  $f^*(x)$ .

Умовна ентропія, що існує до побудови оцінки  $f^*(x)$ , обчислюється аналогічно:

$$H_0 = \int_U f_0(x) \ln \frac{f_0(x)}{f(x)} dx. \quad (1.9)$$

Для визначення величини  $H_0$  необхідно мати щільність  $f_0(x)$ . Тоді величина умовної інформації, що отримується з вибірки обсягу  $N$  шляхом обчислення оцінки  $f^*(x)$ , може бути представлена зазвичай як різниця апіорної та апостеріорної умовних ентропій:

$$I_N = H_0 - H_N. \quad (1.10)$$

Отже, міру  $I_N$  не можна вважати точною характеристикою якості статистичного аналізу, хоча вона і відображає кількість умовної інформації, витягнутої з вибірки при аналізі. При обчисленні  $I_N$  за формулою (1.10) з урахуванням (1.8) і (1.9) виходить випадкове вибіркоче значення, безпосередньо за яким не можна зробити певного висновку щодо якості аналізу. Тут справа йде точно так само, як і при вивченні випадкової величини  $X$ , про яку практично дуже важко говорити що-небудь тільки за однією реалізацією. Достовірне судження можна формулювати тільки за величинами, що мають достатню стійкість. До таких величин відносяться вибіркові оцінки моментів випадкової величини. Тому при дослідженні задачі оцінювання функції розподілу та її щільності, для визначення якості оцінювання, будемо використовувати математичне сподівання  $M[I_N]$  і дисперсію  $D[I_N]$  величини  $I_N$ . При цьому необхідною і достатньою умовою більш високої якості оцінювання, як і раніше, будемо вважати мінімум математичного сподівання  $M[I_N]$  при мінімальній дисперсії  $D[I_N]$ .

Відмова від застосування безумовних інформаційних характеристик (1.5)–(1.7) для визначення якості оцінювання обумовлена значною складністю пошуку розподілу величини  $H_N$ , особливо при теоретичному дослідженні.

В умовах реального експерименту або виробничого процесу дослідник часто стикається з ситуацією, коли наявна інформація про об'єкт або процес є обмеженою, а кількість отриманих спостережень недостатньою для застосування класичних статистичних методів, розроблених для великих вибірок. У таких випадках використовується поняття малої вибірки, під якою розуміється відносно невелика кількість спостережень випадкової величини, що характеризує досліджуване явище або процес. Проте визначення «малої вибірки» не має однозначного математичного критерію, оскільки саме поняття є відносним і залежить від ряду чинників: характеру варіації даних, стабільності процесу, дисперсії вимірювань, а також мети дослідження.

Розмежування між малою та великою вибіркою не можна встановити суворо, оскільки навіть вибірки однакового обсягу можуть мати різну інформаційну цінність. Наприклад, якщо дані отримані з однорідної сукупності, де розкид ознаки невеликий, така вибірка може бути визнана «великою» у статистичному сенсі. Водночас вибірка того ж самого обсягу, але сформована з різнорідних даних, може не відображати реальної структури генеральної сукупності й, отже, вважатиметься «малою». Таким чином, належність вибірки до тієї чи іншої категорії визначається не стільки її кількісними параметрами, скільки якісними характеристиками та ступенем репрезентативності.

Кожен конкретний випадок аналізу даних вимагає індивідуального підходу до вирішення питання про тип вибірки. Якщо дослідник має сумніви щодо того, чи можна використати класичні методи математичної статистики, розраховані на великі обсяги даних, доцільно застосовувати апарат теорії малих вибірок, який дає змогу коректно оцінити параметри навіть за обмеженої інформації. Це пояснюється тим, що використання методів великих вибірок у ситуаціях, де кількість спостережень невелика, призводить до систематичних похибок і втрати достовірності результатів. Натомість, застосування методів малих вибірок до великих масивів даних не викликає суттєвих викривлень, тому в разі невизначеності безпечніше обирати саме підхід малих вибірок.

Відомо, що у великих вибірках середні значення показників тісніше групуються навколо генеральної середньої, що забезпечує більш високу точність, стабільність і надійність статистичних оцінок. Це дозволяє робити висновки з меншими довірчими інтервалами та з більшою упевненістю у відтворюваності результатів. У малих вибірках ситуація інша — спостерігається більший розкид середніх значень, ширші довірчі межі, а достовірність статистичних висновків зменшується. Проте саме в таких умовах часто доводиться працювати на практиці, особливо коли збирання великої кількості даних є технічно складним, економічно невиправданим або фізично неможливим (наприклад, при руйнівних випробуваннях, у медичних експериментах чи при контролі якості у малосерійному виробництві).

Теорія малих вибірок розроблена для подолання цих обмежень і дозволяє оцінювати середні значення, дисперсії та інші параметри навіть за мінімального обсягу даних. Її інструментарій базується на розподілах Ст'юдента, Фішера,  $\chi^2$ , які враховують додаткову невизначеність, спричинену малою кількістю спостережень. Завдяки цьому можна отримати надійні статистичні оцінки, коректно побудувати довірчі інтервали та перевірити гіпотези щодо параметрів генеральної сукупності.

На практиці теорія малих вибірок широко застосовується не лише у фундаментальних наукових дослідженнях, а й у промислових, технологічних, соціально-економічних і метрологічних задачах. Вона дає можливість ефективно аналізувати дані при контролі якості продукції, визначенні стабільності технологічних процесів, оцінюванні параметрів надійності чи безпеки обладнання. Навіть тоді, коли дослідник має можливість зібрати значну кількість даних, застосування апарату малих вибірок може бути доцільним, якщо потрібно оперативно отримати попередні результати або обмежити обсяг експерименту.

Таким чином, розуміння особливостей використання малих і великих вибірок має важливе практичне значення. Воно дозволяє не лише правильно інтерпретувати отримані результати, а й вибудувати оптимальну методику дослідження, мінімізувати похибки та підвищити достовірність статистичних висновків. Теорія малих вибірок, попри свою назву, посідає значне місце у сучасному науковому та інженерному аналізі, забезпечуючи надійність висновків у ситуаціях, коли інформації об'єктивно бракує.

До визначення малої вибірки можна підходити з інформаційних позицій. Оскільки, як зазначалося, випадкова вибірка несе інформацію про досліджуване явище, то статистична обробка є не що інше, як витяг інформації з вибірки. Якщо це так, то слід відповісти всього на два питання: яка кількість інформації міститься у вибірці заданого обсягу і яка кількість інформації необхідна для отримання результату із заданою точністю і достовірністю.

Якщо немає можливості точно оцінити кількість інформації, з якою має справу статистик, то це необхідно зробити хоча б приблизно. Для цієї мети можна використовувати наступні міркування. У багатьох методах статистичної обробки

вибірки використовується ідея групування даних (гістограма, критерій  $\chi^2$  і т. д.). При аналізі вибірок значного обсягу з використанням цих методів зазвичай вдається отримати задовільний результат. Але групування спостережень зазвичай викликає зменшення інформації, яка витягується з вибірки. Отже, якщо застосування такого методу в конкретній задачі задовольняє статистика, то, очевидно, вибірка містить надлишкову інформацію для заданих точності і достовірності. Звідси випливає, що, по-перше, кількість інформації у вибірці заданого обсягу нерозривно пов'язана з можливістю досягти цілком певної точності та достовірності. Отже, можна говорити про існування достатньої вибірки, яка якраз і є межею, що розділяє великі та малі вибірки. По-друге, якщо вибірка менше достатньої, то для усунення втрат інформації при її обробці необхідно відмовитися від групування спостережень і перейти до методів, заснованих на використанні кожної окремої реалізації (статистична функція розподілу, критерій знаків, критерій Вілкоксона та ін.). Цей момент і може бути покладений в основу визначення малої вибірки.

Таким чином, вибірку можна вважати малою, якщо при її обробці методами, заснованими на групуванні спостережень, не можна вирішити задачу з необхідною точністю і достовірністю результату. У цьому визначенні сконцентровані всі основні положення, розглянуті нами. З нього випливає, що вибірку можна вважати великою, якщо при її обробці є можливість перейти до групування спостережень без відчутної втрати інформації. При цьому повинні досягатися задані точність і достовірність. Межу, що розділяє великі і малі вибірки (достатня вибірка), не можна, звичайно, розуміти як точку в ряду дійсних цілих чисел. Суттєві вибірки, природно, в силу випадковості вибору, утворюють деяку скінченну множину. Але найістотнішим, що випливає з визначення малої вибірки, і на чому вже акцентувалася увага, є необхідність при обробці малої вибірки індивідуального підходу до кожної окремої реалізації.

Як було сказано вище, правильність і ефективність вирішення практичних завдань визначається обсягом інформації про функціонування технологічного процесу, яку можна розділити на консервативну та оперативну. До консервативної інформації відноситься знання закону розподілу і знаходження ефективних

статистичних оцінок його параметрів, а до оперативної – обсяг вибірки. Під інформацією, в даному випадку, будемо розуміти відображення випадковою вибіркою досліджуваного явища, тому можна сказати, що при статистичному аналізі відбувається одержання інформації з вибірки.

Розглянемо інформаційне забезпечення процесу управління якістю статистичними методами. Обсяг оперативної інформації – обсягу вибірки з генеральної сукупності, може бути знайдений з інформаційної моделі

$$D(X) \geq \frac{1}{I(X)}, \quad (1.11)$$

де  $I(X)$  – кількість інформації щодо параметра  $X$ , яка складається з кількості консервативної інформації  $I_K(X)$  та кількості оперативної інформації  $n$ .

З нерівності (1.11) видно, що зменшення дисперсії вимагає збільшення кількості інформації. Для цього необхідно розробити методи отримання більшого обсягу необхідної інформації без збільшення обсягу контрольної вибірки. Іншими словами, для використання статистичних методів управління якістю необхідне знання закону розподілу та його ефективних статистичних оцінок. Чим точніше знайдена функція щільності розподілу і чим ефективніші статистичні оцінки, тим менший необхідний обсяг вибірки.

Під ефективністю статистичної оцінки будемо розуміти мінімальність її дисперсії і незміщеність. Дане положення показує, що для зменшення обсягу вибірки необхідно зосередити увагу на двох завданнях: визначення закону розподілу параметрів якості і знаходження їх ефективних статистичних оцінок.

Вирішення першого завдання не становить труднощів тільки за умови, що кількість статистичної інформації про показники якості значна. Але в умовах обмеженої інформації ця можливість відсутня. Такий стан справ вимагає розробки нових методів, що дозволяють ефективно використовувати статистичну інформацію. Основою для розробки таких методів може служити теорія порядкових статистик.

Розглянемо сутність порядкових статистик. Якщо  $x_1, \dots, x_n$  – вибірка обсягу  $n$

( $n$  – сукупність незалежних і однаково розподілених випадкових величин) з генеральної сукупності, що має розподіл  $F(x)$ , то  $x_{(1)} \leq \dots \leq x_{(n)}$  – відповідні впорядковані величини, називаються порядковими статистиками з  $F(x)$ . Якщо для звичайної вибірки ентропія є відмінною від нуля, то для порядкових статистик вона дорівнює нулю за рахунок впорядкування  $x_{(1)}, x_{(2)} \dots x_{(n)}$ . Таким чином, впорядкування величин  $x_i$  дає додаткову інформацію про процес без зміни обсягу вибірки. Це робить застосування порядкових статистик більш ефективним при вирішенні практичних завдань. Зауважимо, що додаткову інформацію отримують, в основному, за рахунок ускладнення залежностей, що описують статистичні оцінки, і наявного взаємозв'язку порядкових статистик між собою.

Нехай є вибірка обсягу  $n$ . Перенумеруємо вибіркові значення в порядку зростання їх величини:  $x_{(1)}, x_{(2)}, \dots x_{(n)}$ . Зокрема, найменшим значенням буде тоді  $x_{(1)}$ . Отримане після перенумерації  $i$ -е значення  $x_{(i)}$  називається  $i$ -ою порядковою статистикою. У цьому сенсі медіана і квантілі є порядковими статистиками (медіана, наприклад, дорівнює  $\frac{1}{2}(n+1)$ -му спостереженню, або середньому значенню  $\frac{1}{2}n$ -го і  $\frac{1}{2}(n+1)$ -го спостережень). Порядковими статистиками є також найменше ( $i = 1$ ) і найбільше ( $i = n$ ) значення у вибірці. Різниця  $R = x_{(n)} - x_{(1)}$  називається розмахом вибірки (вибірковим розмахом).

Дія з упорядкування вибірки називається ранжуванням. Вибірка, що містить одні й ті ж елементи, може бути реалізована в досліді  $n!$  різними способами залежно від порядку слідування елементів. Якщо експеримент поставлений правильно, всі можливі реалізації рівноімовірні і серед них з імовірністю  $1/n!$  може виявитися вибірка, ранжирувана вже в процесі формування. Ця імовірність дуже мала навіть для невеликих обсягів вибірки. Звідси випливає, що операція впорядкування перетворює ранжировану вибірку в унікальний об'єкт.

Відмінність ранжованої вибірки від вихідної, кількісно можна оцінити загальноприйнятою мірою безладу – ентропією. Оскільки число реалізацій вибірки  $n!$ , а всі реалізації рівноімовірні, то в цьому випадку ентропія

$$H = -\log_2(1/n!) = \log_2 n! \quad (1.12)$$

Ранжована вибірка має ентропію, рівну нулю [5]. Тобто зменшення ентропії відбувається в процесі впорядкування. Ентропія системи зменшується в результаті надходження інформації, причому зменшення дорівнює кількості інформації, що надійшла. Звідси випливає, що в процесі впорядкування вибірка ніби наповнюється великою кількістю інформації. Ця інформація може бути корисно використана, зокрема, для отримання оцінок параметрів розподілів за невеликою кількістю випробувань. Розподіл і моменти порядкових статистик можна знайти, використовуючи наступні відомі факти [6].

Так, якщо припустити, що функція розподілу  $F(x)$  і функція щільності  $f(x)$  розглянутої генеральної сукупності є неперервними майже всюди, тоді для  $i \neq j$ :

$$P(x_{(i)} = x_{(j)}) = 0,$$

звідки випливає, що має місце нерівність

$$x_{(1)} < x_{(2)} < \dots < x_{(i)} < \dots < x_{(n)}.$$

Взявши  $k$  цілих чисел таких, що

$$1 \leq k \leq n$$

та

$$1 \leq n_1 < n_2 < \dots < n_k \leq n,$$

тоді елемент частоти спільного розподілу  $k$  порядкових статистик  $x_{(n_1)_{(n_1)}}$ ,  $x_{(n_2)_{(n_2)}}$ , ...,  $x_{(n_k)_{(n_k)}}$  матиме вигляд [6]:

$$\Psi_k(x_{(n_1)}, \dots, x_{(n_k)}) dx_{(n_1)} \dots dx_{(n_k)} = \frac{n!}{\prod_{i=1}^{k+1} (n_i - n_{i-1} - 1)} \prod_{i=1}^{k+1} [F(x_{(n_i)} - F(x_{(n_{i-1}})))]^{n_i - n_{i-1} - 1} \prod_{i=1}^k f(x_{(n_i)}) dx_{(n_i)} \quad (1.13)$$

для області  $x_{(n_1)} < x_{(n_2)} < \dots < x_{(n_k)}$  і дорівнює нулю поза нею, тоді як

$$n_0 = 0; \quad n_{k+1} = n + 1$$

та

$$x_{(n_0)} = -\infty; \quad x_{(n_{k+1})} = +\infty$$

Для елемента частоти спільного розподілу порядкових статистик  $x_{(1)}, x_{(2)}, \dots, x_{(n)}$  формула (1.13) буде:

$$\Psi_n(x_{(1)}, \dots, x_{(n)}) dx_{(1)} \dots dx_{(n)} = n! f(x_{(1)}) \dots f(x_{(n)}) dx_{(1)} \dots dx_{(n)} \quad (1.14)$$

для області  $x_{(1)} < x_{(2)} < \dots < x_{(n)}$ .

Спільний розподіл  $i$ -ої та  $j$ -ої порядкових статистик (де  $i < j$ ) описується виразом

$$\Psi_2(x_{(i)}, x_{(j)}) dx_{(i)} dx_{(j)} = \frac{n!}{(i-1)!(j-i-1)!(n-j)!} [F(x_{(i)})]^{i-1} [F(x_{(j)}) - F(x_{(i)})]^{j-i-1} [1 - F(x_{(j)})]^{n-j} f(x_{(i)}) f(x_{(j)}) dx_{(i)} dx_{(j)} \quad (1.15)$$

для області  $x_{(i)} < x_{(j)}$  і дорівнює нулю поза нею. Зокрема, коли  $i = 1$  і  $j = n$ , отримуємо:

$$\Psi_2(x_{(1)}, x_{(n)}) dx_{(1)} dx_{(n)} = n(n-1) [F(x_{(n)}) - F(x_{(1)})]^{n-2} f(x_{(1)}) f(x_{(n)}) dx_{(1)} dx_{(n)} \quad (1.16)$$

З цього виразу можна вивести розподіл розмаху, який має вигляд:

$$F(\omega) = n \int_{-\infty}^{\infty} f(x) [F(x + \omega) - F(x)]^{n-1} dx \quad (1.17)$$

Розподіл  $i$ -ої порядкової статистики визначено формулою [6]:

$$\Psi_1(x_{(i)}) dx_{(i)} = \frac{n!}{(i-1)!(n-i)!} [F(x_{(i)})]^{i-1} [1 - F(x_{(i)})]^{n-i} f(x_{(i)}) dx_{(i)} \quad (1.18)$$

Змішані моменти порядкових статистик можна обчислити для заданого розподілу за формулою:

$$\begin{aligned} M[x_{(n_1)}^{a_1}, x_{(n_2)}^{a_2}, \dots, x_{(n_k)}^{a_k}] &= \int_{-\infty}^{\infty} \dots \int_{-\infty}^{\infty} x_{(n_1)}^{a_1} x_{(n_2)}^{a_2} \dots x_{(n_k)}^{a_k} \Psi_k(x_{(n_1)}, \dots, x_{(n_k)}) dx_{(n_1)} \dots dx_{(n_k)} = \\ &= \frac{n!}{\prod_{i=1}^{k+1} (n_i - n_{i-1} - 1)!} \int_{-\infty < x_{(n_1)} < \dots < x_{(n_k)} < \infty} \dots \int_{i=1}^k \prod x_{(n_i)}^{a_i} \cdot \\ &\cdot \prod_{i=1}^k [F(x_{(n_i)}) - F(x_{(n_{i-1})})]^{n_i - n_{i-1} - 1} \prod_{i=1}^k f(x_{(n_i)}) \prod_{i=1}^k dx \end{aligned} \quad (1.19)$$

Математичне сподівання  $i$ -ої порядкової статистики  $x_{(i)}$ :

$$\begin{aligned} M(x_{(i)}) &= \frac{n!}{(i-1)!(n-i)!} \int_{-\infty}^{\infty} \xi [F(\xi)]^{i-1} [1 - F(\xi)]^{n-i} dF(\xi) = \\ &= \frac{n!}{(i-1)!(j-i-1)!(n-j)!} [F(x_{(i)})]^{i-1} [F(x_{(j)}) - F(x_{(i)})]^{j-i-1} [1 - \\ &- F(x_{(j)})]^{n-j} f(x_{(i)}) f(x_{(j)}) dx_{(i)} dx_{(j)} \end{aligned} \quad (1.21)$$

Дисперсія  $i$ -ої порядкової статистики  $x_{(i)}$ :

$$D(x_{(i)}) = M(x_{(i)}^2) - [M(x_{(i)})]^2 = \frac{n!}{(i-1)!(n-i)!} \cdot \left( \int_{-\infty}^{\infty} \xi^2 [F(\xi)]^{i-1} [1-F(\xi)]^{n-i} dF(\xi) - \left[ \int_{-\infty}^{\infty} \xi [F(\xi)]^{i-1} [1-F(\xi)]^{n-i} dF(\xi) \right]^2 \right) \quad (1.22)$$

Коваріація  $i$ -ї та  $j$ -ї порядкових статистик (де  $i < j$ ):

$$\begin{aligned} Cov[x_{(i)}, x_{(j)}] &= M(x_{(i)}, x_{(j)}) - M(x_{(i)}) \cdot M(x_{(j)}) = \\ &= \frac{n!}{(i-1)!(j-i-1)!(n-j)!} \int_{-\infty}^{\infty} dF(\eta) \int_{-\infty}^{\eta} \xi \eta [F(\xi)]^{i-1} [F(\eta) - F(\xi)]^{j-i-1} [1-F(\eta)]^{n-j} dF(\xi) - \\ &- \frac{(n!)^2}{(i-1)!(j-1)!(n-i)!(n-j)!} \int_{-\infty}^{\infty} \xi [F(\xi)]^{i-1} [1-F(\xi)]^{n-i} dF(\xi) \int_{-\infty}^{\infty} \eta [F(\eta)]^{j-1} [1-F(\eta)]^{n-j} dF(\eta) \end{aligned}$$

Виходячи з наведеного вище, можна зробити висновок, що теорія порядкових статистик може стати науковою основою створення методології управління якістю за малою кількістю статистичної інформації. Це дасть можливість розробляти ефективно довідково-нормативне забезпечення, що має статус нормативного документа і дозволяє управляти якістю, наприклад, механічною обробкою і складанням з більшою достовірністю результату.

### 1.1. Багатокритеріальне оцінювання соціально-економічних систем

Адекватність багатокритеріального оцінювання значною мірою залежить від того, наскільки повно система індикаторів відображає досліджуване явище. Якщо кількість індикаторів велика, то експерти не можуть адекватно оцінити ваги індикаторів. Як наслідок, обсяг розрахунків значно зростає, але точність падає. Цю проблему можна вирішити шляхом формування ієрархічно структурованої системи індикаторів. Багатокритеріальне оцінювання таких систем починається з найнижчого ієрархічного рівня, де оцінюються значення пов'язаних груп індикаторів, а потім вони перетворюються на показники вищого ієрархічного рівня.

Ця процедура повторюється до тих пір, поки не буде отримано значення, що відображає стан досліджуваного явища

### **1.1.1. Загальні відомості методів багатокритеріального оцінювання соціально-економічних систем**

Об'єктами дослідження суспільних наук є складні явища або процеси, які за своєю суттю є соціально-економічними системами (СЕС). Аналіз літератури показує, що дослідження таких систем зазвичай передбачає або аналіз впливу впливових детермінант, або кількісну оцінку стану системи. У першому випадку, завдяки своїй універсальності, простоті та можливостям, використовується кореляційно-регресійний аналіз [7-10]. У другому випадку застосовуються методи багатокритеріального оцінювання через їхню гнучкість та врахування кількох можливих альтернатив [11, 12]. Ключова відмінність між двома вищезгаданими методами полягає в тому, що кореляційно-регресійний аналіз можливий лише тоді, коли відомий стан досліджуваного явища або процесу. Основна мета аналізу - оцінити вплив впливових детермінант на стан досліджуваного явища або процесу з урахуванням або без урахування взаємозв'язку між детермінантами. Якщо враховується взаємозв'язок між детермінантами, використовується парна кореляційно-регресійна модель, а якщо не враховується - поліноміальна кореляційно-регресійна модель. Методи багатокритеріальної оцінки застосовуються тоді, коли стан досліджуваного явища або процесу невідомий і потребує оцінки. Метою такого аналізу є визначення пріоритетності розглянутих варіантів [13, 14].

Як основні інструменти дослідження СЕС кореляційно-регресійний та багатокритеріальний методи оцінювання не конкурують, а скоріше доповнюють один одного, формуючи таким чином цілісну систему комплексного дослідження. Вибір факторів, що впливають на розвиток СЕС, залежить від мети та завдань дослідження, масштабу СЕС, так, це можуть бути показники результативності або її передумови [15-17]. На першому етапі такого дослідження оцінюється стан досліджуваного явища або процесу, наприклад, персонал компанії, якість маркетингової системи, економічні показники, соціально- економічний розвиток

країни/регіону тощо, шляхом застосування методів багатокритеріального оцінювання [11, 13, 18, 19]. На другому етапі за допомогою кореляційно-регресійного аналізу з'ясовується вплив цієї умови на різні параметри СЕС, наприклад, вплив якості персоналу на економічні показники підприємств.

Основною метою кількісної оцінки стану СЕС є її покращення шляхом цілеспрямованого управління. Загальновизнано, що поліпшення можна досягти лише тоді, коли стан СЕС можна оцінити в певний момент часу. Для вирішення цього типу проблем можуть бути застосовані різноманітні методи багатокритеріальної оцінки. Деякі з них (сума рангів, середнє геометричне, просте адитивне зважування, тощо) є простішими [20-22], тоді як інші, такі як АНР, TOPSIS, VICOR, PROMETEI, MOORA, ELEKTRE, UTA, ORESTE, LINMAP тощо, є більш складні [23-40].

З іншого боку, теорія багатокритеріального оцінювання все ще містить багато невирішених методологічних питань, суттєвим з яких є формування системи індикаторів для досліджуваного явища або процесу. Воно охоплює такі аспекти: відбір показників для подальших розрахунків; формування системи, адаптованої до багатокритеріальної оцінки, на основі обраних показників; оцінка стану досліджуваного явища або процесу на основі ієрархічно структурованої системи показників тощо.

Відбір індикаторів для подальших розрахунків є необхідним, оскільки їх вплив на досліджуваного явища або процесу є нерівнозначним. Таким чином, мають бути обрані лише достатньо впливові індикатори.

Формування системи індикаторів ускладнюється тим, що залежно від характеру досліджуваного явища або процесу кількість індикаторів може варіюватися від кількох до кількох десятків. Якщо кількість індикаторів велика, то система повинна бути розроблена з урахуванням багатокритеріальної оцінки. Крім того, необхідно спроектувати процедуру розрахунку на основі розробленої системи.

### 1.1.2. Формування адекватної системи індикаторів для досліджуваного явища або процесу

Як уже зазначалося, процес багатокритеріальної оцінки починається з вибору цільових індикаторів для подальших розрахунків. Цільові індикатори можуть бути обрані двома способами. Перший з них є простішим. Він ґрунтується на домінуючих думках, тобто обираються найбільш поширені, загально визнані показники. Такий відбір зазвичай здійснюється в табличній формі (таблиця 1.1). На основі таблиці 1.1 обираються показники, які найчастіше згадуються різними авторами. Проте такий метод формування системи індикаторів є неточним, оскільки важко визначити поріг, вище якого індикатори включаються до переліку, а нижче якого - виключаються. індикатори виключаються з переліку.

Методи математичної статистики є більш точними [41].

Таблиця 1.1

#### Формування системи індикаторів на основі домінуючих думок

Автор, джерело	Назви індикаторів					
	1-й	2-й	3-й	...	i-ий	n-ий
Перший.	-	+	-		+	-
Другий	+	+	-		-	+
Третій	+	+	+		+	+
i-ий	-	+	-	.	+	-
k-ий	-	+	-		+	+
Всього	$\sum 1$	$\sum 2$	$\sum 3$		$\sum i$	$\sum_{i=1}^n n$

Якщо звернутися до таблиці 1.1, то розташування індикаторів відповідно до частоти їх згадування виявляє певну закономірність. Отримана гістограма дозволяє вибрати теоретичний розподіл ймовірностей, а також оцінити теоретичні частоти згадування індикатора і розрахувати відсоток індикаторів, які необхідно виключити

(5, 10 і т.д.). На основі цього можна визначити, скільки індикаторів в кінці гістограми можна виключити з системи індикаторів (рис. 1.2).

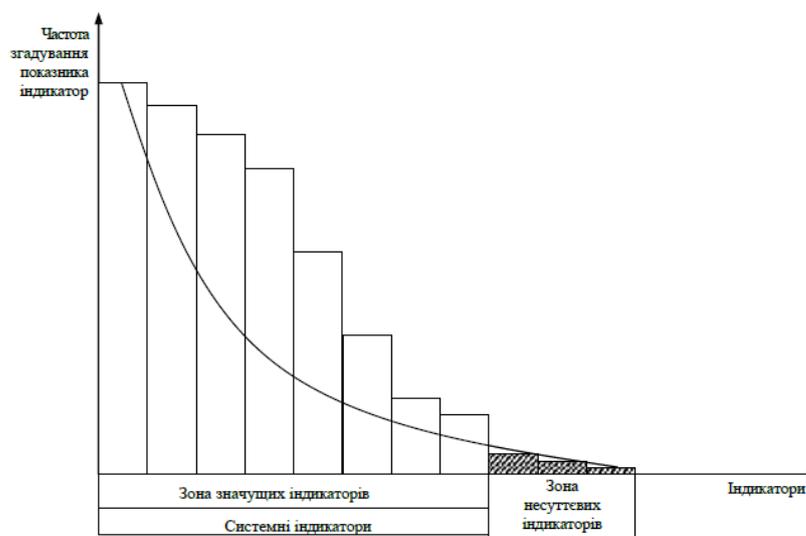


Рис. 1.2. Формування системи індикаторів досліджуваного явища або процесу на основі методів математичної статистики [41]

Формування системи індикаторів не завершується відбором індикаторів, оскільки це лише їх налаштування, яке задовольняє одну з умов теорії систем - умову цілісності. Іншими словами, ця система адекватно відображає досліджуваного явища або процесу.

Ще однією умовою, яка накладається на систему (сукупність певних показників, що представляють досліджуване явище або процес, розглядається як система), є умова структурування. Вона ґрунтується на тому, що всі показники досліджуваного явища або процесу, як елементи системи, є взаємопов'язаними. Теорія систем передбачає, що взаємозв'язки елементів системи мають бути спрямовані на досягнення спільної мети всієї системи, тобто вони мають бути цілеспрямованими [42]. Цілеспрямованість системи перетворює сукупність пов'язаних індикаторів (тобто індикаторів, які відображають один і той самий аспект досліджуваного явища або процесу) в єдину інтегруючу величину (індекс). Сукупність таких індикаторів утворює вищий ієрархічний рівень системи індикаторів. Якщо загальна кількість індикаторів велика, то таких індикаторів може бути більше. Шляхом аналогічного об'єднання пов'язаних індикаторів отримують

ще один, третій, ієрархічний рівень. Процес продовжується до бажаного ступеня агрегування. Кінцевим результатом є величина, яка відображає стан всього досліджуваного явища або процесу. Його отримують шляхом агрегування індикаторів верхнього рівня.

Якщо кількість індикаторів, що відображають досліджуваного явища або процесу, невелика, то потреба у формуванні ієрархічно структурованої системи індикаторів відпадає, оскільки стан досліджуваного явища або процесу можна оцінити на основі однорівневої системи індикаторів (рис. 1.3).

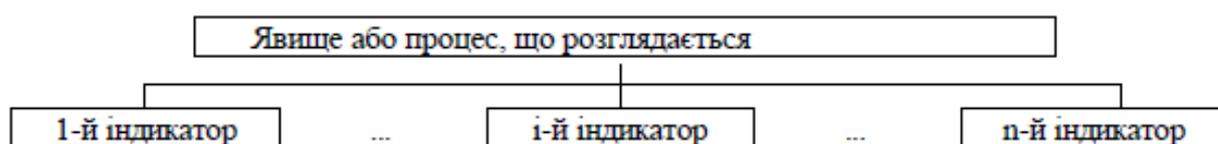


Рис.1.3.Відображення сліджуваного явища або процесу в однорівневій системі індикаторів

Для того, щоб методи багатокритеріального оцінювання могли бути використані для кількісної оцінки стану досліджуваного явища або процесу, на сформовану систему індикаторів мають бути накладені певні обмеження.

При багатокритеріальному оцінюванні кожен показник виражається двома величинами - цінністю та значущістю, або вагою. Останню надають експерти. Суть експертних оцінок полягає в тому, що для того, щоб "зважити" значущість показника, експерт повинен також оцінити значущість всіх інших показників, тобто оцінити значущість всіх показників по відношенню до значущості окремого показника. Якщо кількість показників, що підлягають оцінюванню, невелика, експерт може досить точно оцінити цей зв'язок, але коли кількість показників зростає, ситуація повністю змінюється. Експерту стає все важче відчутти зв'язок, який він оцінює, а отже, точність оцінки знижується. Логічно припустити, що існує межа, за якою можливості експерта, незалежно від його компетентності, починають вичерпуватися. Літературні джерела пропонують вважати, що ця межа дорівнює 12-13 показникам [43-46].

Вищезазначене обмеження стосується найнижчого рівня ієрархічно структурованої системи індикаторів, на якому групуються всі індикатори, що відображають досліджуваного явища або процесу. Таким чином, всі індикатори повинні бути згруповані таким чином, щоб жодна з груп не містила більше 12-13 індикаторів.

Існує два способи формування ієрархічно структурованої системи індикаторів: "зверху вниз" та "знизу вгору" [42]. Перший спосіб має сенс, коли можна легко визначити найбільш важливі аспекти досліджуваного явища або процесу. Другий шлях має сенс, коли аспекти досліджуваного явища або процесу не є помітними, і є лише набір індикаторів, що описують досліджуваного явища або процесу.

"Зверху-вниз" - формування ієрархічно структурованої системи індикаторів. Типовим прикладом формування ієрархічно структурованої системи індикаторів за цим методом може слугувати соціальний розвиток регіонів країни. Поряд з економічним та екологічним розвитком, соціальний розвиток виділяється як найбільш складний у теорії сталого розвитку соціально- економічних систем [11]. Про це також свідчить низка індикаторів соціального розвитку, представлених у різних статистичних виданнях. У нашому випадку кількість індикаторів дорівнює 17.

У цьому випадку формування ієрархічно структурованої системи індикаторів "зверху-вниз" має сенс, оскільки різні аспекти регіонального соціального розвитку, наприклад, населення, соціальний захист, освіта тощо, можна дуже чітко розрізнити. Кількісно оцінені аспекти, згадані вище, перетворюються на індикатори найвищого ієрархічного рівня. Нарешті, всі 17 індикаторів розподіляються за відповідними аспектами. Таким чином, групи пов'язаних індикаторів сформують найнижчий рівень ієрархічної структури. Після цього отримуємо систему ієрархічно структурованих індикаторів, що відображають регіональний соціальний розвиток (рис. 1.4) [11, 42, 47].

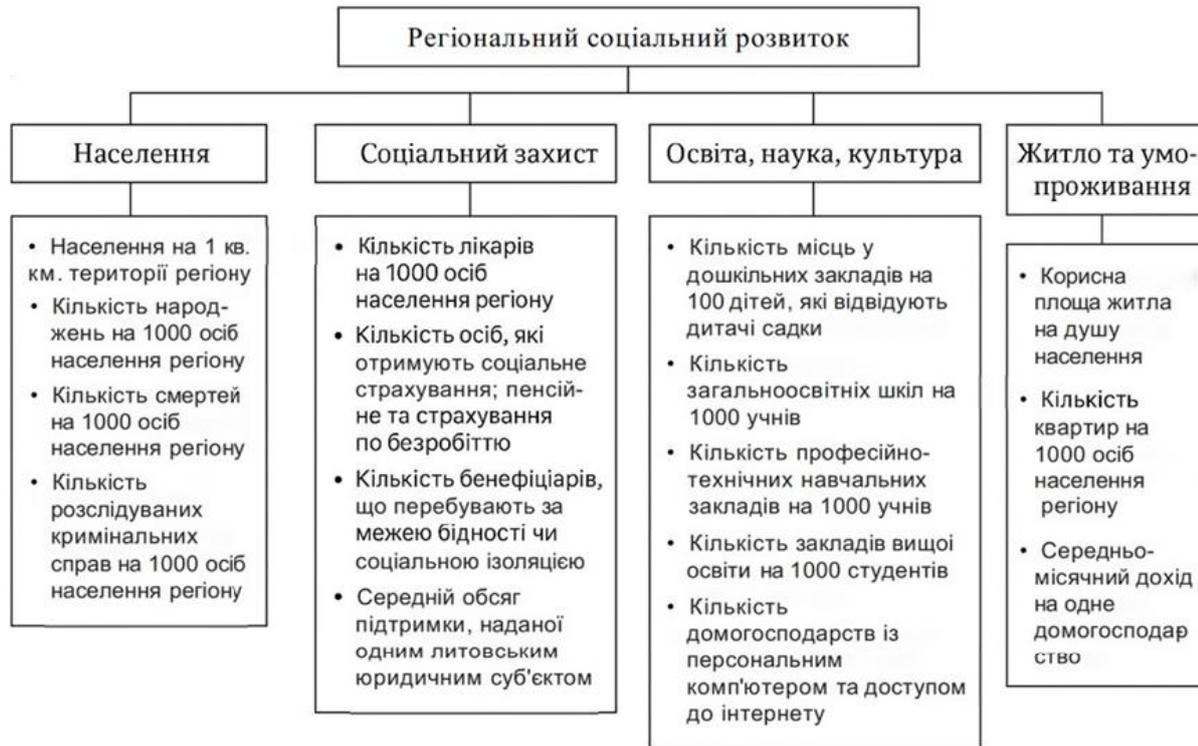


Рис. 1.4. Система ієрархічно структурованих показників, що відображають соціальний розвиток регіонів [42,47]

"Знизу-вгору" – формування ієрархічно структурованої системи показників. Типовим прикладом формування ієрархічно структурованої системи показників за цим методом може слугувати визначення стратегічного потенціалу підприємства [41]. Він може бути виражений 14 індикаторами, які не відображають однозначно окремі аспекти стратегічного потенціалу підприємства (Таблиця 1.2) [42].

Більш глибокий аналіз суті показників, представлених у таблиці 1.2, показує, що стратегічний потенціал підприємства залежить від двох важливих аспектів: по-перше, від здатності аналізувати, оцінювати і враховувати сукупність зовнішніх умов; по-друге, від здатності аналізувати, оцінювати і враховувати внутрішні можливості для задоволення зовнішніх вимог. Таким чином, внутрішні та зовнішні умови корпоративного стратегічного потенціалу є елементами найнижчого рівня в ієрархічній структурі. Об'єднуючи аспекти, що відображають як внутрішні, так і зовнішні умови ведення бізнесу, у відповідні групи, отримують показники більш високого ієрархічного рівня.

Дотримуючись вищезазначених принципів, система показників корпоративного стратегічного планування матиме вигляд, зображений на рисунку 1.5.

Таблиця 1.2

## Індикатори стратегічного потенціалу підприємства

№	Назва показника
1.	Здатність аналізувати внутрішню та зовнішню макроекономічну ситуацію
2.	Здатність своєчасно виявляти основні вимоги, потреби та потенційні замовлення клієнтів
3.	Здатність аналізувати вимоги до продукції (послуг), що дозволяють своєчасно та якісно задовольняти нові потреби потенційних клієнтів вчасно та якісно задовольняти нові потреби
4.	Здатність аналізувати фактори ринкового успіху та діяльність конкурентів на ринку
5.	Здатність генерувати нові конкурентоспроможні ідеї у сфері організації виробництва (постачання) продукції (послуг), що користується продукції (послуг), що користується попитом
6.	Здатність до реалізації нових конкурентних ідей у сфері організації виробництва (постачання) продукції (послуг), що користується попитом продукції (послуг), що користується попитом
7.	Здатність забезпечувати розвиток і гнучкість виробничої системи підприємства
8.	Здатність підтримувати конкурентоспроможність підприємства
9.	Здатність забезпечувати внутрішню гнучкість компанії шляхом забезпечення виробничого процесу адаптивними технологічними та іншими заходами адаптивними технологічними та іншими заходами
10.	Здатність забезпечення внутрішньої гнучкості виробничої системи шляхом формування адекватного потенціалу людських ресурсів відповідно до мінливих цілей

11.	Здатність забезпечити конкурентоспроможність продукції (послуг) для лідерства на поточних та перспективних ринках
12.	Здатність виробляти та надавати продукцію (послуги) в обсязі, що відповідає конкурентним можливостям підприємства та бажаній частці ринку
13.	Здатність забезпечувати ефективне функціонування компанії шляхом раціонального використання інвестиційних можливостей
14.	Здатність ефективно формувати та реалізовувати стратегічну програму технічного та соціального розвитку компанії

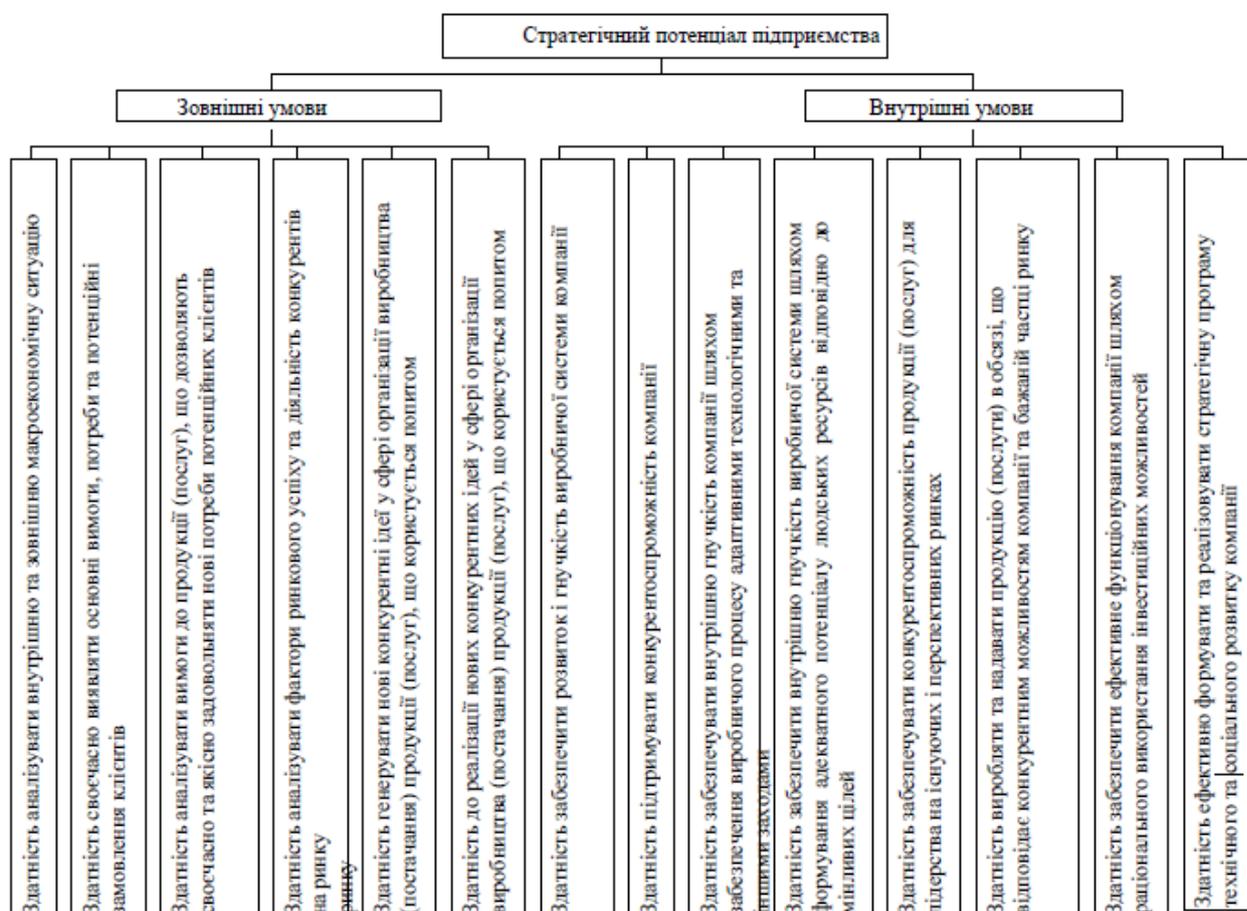


Рис. 1.5. Ієрархічно структурована система індикаторів стратегічного потенціалу підприємства [41]

Як видно з рисунків 1.3 і 1.4, системи індикаторів в обох випадках адаптовані до багатокритеріальної оцінки, оскільки кількість показників, що одночасно оцінюються експертами, не перевищує 12-13.

Перевага ієрархічно структурованої системи індикаторів над однорівневою полягає в тому, що досліджуване явище або процес може бути представлений значно більшою кількістю індикаторів без шкоди для точності його кількісної оцінки.

Багатокритеріальне оцінювання соціально-економічної системи на основі ієрархічно структурованої системи індикаторів починається знизу. Зокрема, необхідно оцінити значення окремих аспектів структури, що здійснюється наступним чином [20]:

$$K_j = \sum_{i=1}^n \omega_{ij} \tilde{q}_{ij} \quad (1.23)$$

де  $K_j$  - значення багатокритеріальної оцінки  $j$ -го аспекту соціального розвитку регіону за методом простої адитивної ваги;  $\omega_{ij}$  - вагомість  $i$ -го показника  $j$ -го аспекту;  $\tilde{q}_{ij}$  - нормоване значення  $i$ -го показника  $j$ -го аспекту.

У таблиці 1.3 нижче наведено значення багатокритеріальної оцінки різних аспектів соціального розвитку регіону.

Таблиця 1.3

Значення багатокритеріальної оцінки різних аспектів регіонального соціального розвитку в Литві

Рік	Аспекти соціального розвитку			
	Населення	Соціальний захист	Освіта, наука, культура	Житлові умови
2019	0.184	0.217	0.101	0.239
2018	0.181	0.209	0.104	0.207
2017	0.198	0.210	0.103	0.175
2016	0.191	0.200	0.102	0.158
2015	0.190	0.190	0.101	0.146

Об'єднавши значення, що представляють різні аспекти регіонального соціального розвитку (таблиця 1.3), в одну інтегруючу величину, отримаємо узагальнене значення, що представляє регіональний соціальний розвиток. Оцінки здійснюються аналогічним чином, тобто шляхом підсумовування добутків значущості аспекту на його цінність:

$$K_s = \sum_{j=1}^m \omega_j K_j$$

де  $K_s$  - значення соціального розвитку регіону;  $\omega_j$  - вагомість  $j$ -го аспекту розвитку.

На основі даних таблиці 1.3 та вагових коефіцієнтів різних аспектів, наданих експертами, отримано наступні значення індексу, що відображає соціальний розвиток регіону (табл. 1.4):

Таблиця 1.4

Значення багатокритеріальної оцінки, що відображає соціальний розвиток регіонів

[11]

Рік	Значення оцінки
2015	0.70202009
2016	0.74245283
2017	0.751336253
2018	0.75825139
2019	0.77215873

Розраховані значення для всіх регіонів країни можуть бути ранжовані за ступенем соціального розвитку регіонів. Отримані результати можуть бути використані для вдосконалення політики регіонального розвитку, спрямованої на скорочення розривів у розвитку між окремими регіонами.

Формування адекватної системи індикаторів для досліджуваного явища або процесу є одним з ключових питань, що визначають точність багатокритеріальної оцінки. Це особливо актуально, коли досліджуване явище або процес відображається великою кількістю індикаторів. З усіх варіантів кількісної оцінки стану СЕС методи

багатокритеріальної оцінки можна вважати найбільш достовірними. З іншого боку, система індикаторів повинна бути розроблена таким чином, щоб відповідати вимогам, що пред'являються до індикаторів, тобто необхідно враховувати, що в процесі багатокритеріального оцінювання кожен індикатор виражається двома величинами - значущістю і вартістю. Адекватна оцінка значущості індикатора обмежена кількістю індикаторів, оскільки експерти можуть надати достатньо точні оцінки лише для обмеженої кількості індикаторів. Вважається, що ця кількість дорівнює 10-12. Формування ієрархічно структурованої системи індикаторів дозволяє вирішити цю проблему. У цьому випадку, виходячи з кількості індикаторів, індикатори на найнижчому рівні ієрархічної структури групуються відповідно до їх репрезентативності щодо певного аспекту на вищому рівні ієрархічної структури. Якщо кількість таких аспектів та репрезентативних індикаторів є великою, формується ще вищий рівень ієрархічної структури і т.д.

Ієрархічно структурована система показників може бути сформована двома способами - "зверху вниз" та "знизу вгору". Перший спосіб має сенс тоді, коли можна легко визначити найбільш суттєві аспекти досліджуваного явища або процесу, тоді як другий спосіб має сенс тоді, коли аспекти досліджуваного явища або процесу не виділяються, а є лише набір індикаторів, що описують досліджуваного явища або процесу.

Багатокритеріальне оцінювання ієрархічно структурованої системи індикаторів починається знизу – оцінюються значення груп індикаторів, які, помножені на значущість аспекту, перетворюються на індекс. Шляхом об'єднання цих індексів в єдину інтегруючу величину отримують кінцеве значення, що відображає стан СЕС.

Така процедура кількісної оцінки стану складних явищ чи процесів може бути застосована для вирішення широкого кола завдань, наприклад, вибору найкращого проекту будівлі, ранжування регіонів країни за рівнем їх соціально-економічного розвитку для вдосконалення регіональної політики, оцінки якості персоналу, системи маркетингу тощо.

## Висновки до першого розділу та постановка задач досліджень

Визначено адекватну систему індикаторів для досліджуваного явища або процесу на основі узагальнення домінуючих думок експертів.

Проведено ранжування індикаторів за частотою їх згадування, що дало змогу виявити закономірності та побудувати гістограму для вибору відповідного теоретичного розподілу ймовірностей.

Розроблено методику оцінювання індикаторів, яка дозволяє розрахувати частоти їх згадування та визначити частку індикаторів, що підлягають виключенню як надлишкові.

Сформовано ієрархічно структуровану систему показників стратегічного потенціалу підприємства, що охоплює 14 індикаторів.

Доведено адаптованість запропонованої системи до багатокритеріальної оцінки, оскільки кількість показників, які одночасно оцінюються експертами, не перевищує 12–13.

Сформульовано мету наукового дослідження та визначено завдання для її досягнення.

**Метою дисертаційної роботи** є удосконалення кваліметричних методів оцінювання якості соціально – економічних систем, у стаціонарному та динамічному режимах при малій кількості інформації про їх функціонування та застосування ефективного математичного апарату порядкових статистик.

Для досягнення мети планується вирішення таких задач:

1. Розробити науково обґрунтовану систему індикаторів для оцінювання соціально-економічного розвитку на основі аналізу експертних думок і методів математичної статистики.

2. Сформувати ієрархічно структуровану систему показників стратегічного потенціалу підприємства, що відображає взаємозв'язки між рівнями управління та функціональними компонентами потенціалу.

3. Обґрунтувати і розробити параметричну методику ідентифікації закону розподілу випадкових величин із використанням порядкових статистик для умов

обмеженої кількості інформації.

4. Провести апробацію запропонованої методики ідентифікації закону розподілу на реальних соціально-економічних даних та оцінити її адекватність для різних типів систем.

5. Розробити модель кількісного оцінювання сталого розвитку соціально-економічних систем на основі поєднання параметрів інтенсивності та рівномірності розвитку.

6. Провести експериментальну перевірку розробленої моделі сталого розвитку на прикладах систем із різною структурою індикаторів і визначити межі її застосування.

### Список використаних джерел

1. Kendall, M.G., Stuart A. The Advanced Theory of Statistics. Volume 2, Inference and Relationship, Griffin. 1973. 723 p.
2. Rens van de Schoot, Miočević M. Small Sample Size Solutions: A Guide for Applied Researchers and Practitioners. Taylor & Francis. 2020. 284 p.
3. Hillier F.S., Lieberman G.J. Introduction to Operations Research. 11th ed. McGraw-Hill, 2021. 992 p. ISBN 1259872998.
4. Cochran, W.G. Sampling Techniques. 3rd Edition, John Wiley & Sons, New York. 1977. 452 p.
5. Casella, G., Berger R.L. Statistical Inference. 2nd Edition, Duxbury Press, Pacific Grove. 2002. 686 p.
6. David, H. A., & Nagaraja, H. N. Order Statistics. Wiley. 2004. 488 p.
7. Chowdhury S., Squire L. Setting weights for aggregate indices: an application to the commitment to development index and human development index. *Journal of Development Studies*, 2006, vol. 42, no. 5, pp. 761–771.
8. Boggia A., Rocchi L., Paolotti L., Musotti F., Greco S. Assessing rural sustainable development potentialities using a dominance-based rough set approach. *Journal of Environmental Management*, 2014, vol. 144, pp. 160–167.
9. Babu S., Datta S. Revisiting the link between socio-economic development and environmental status indicators focus on panel data. *Environment Development and Sustainability*, 2015, vol. 17, no. 3, pp. 567–586. DOI: 10.1007/s10668-014-9561-6.
10. Bilan Y., Vasilyeva T., Lyeonov S., Bagmet K. Institutional complementarity for social and economic development. *Business: Theory and Practice*, 2019, vol. 20, pp. 103–115. DOI: [10.3846/btp.2019.10](https://doi.org/10.3846/btp.2019.10).
11. Gedvilaitė D. *The assessment of sustainable development of a country's regions*. Doctoral dissertation. Vilnius: Technika, 2019.
12. Oželienė D. *Modelling the factors of a company's sustainable development*. Doctoral dissertation. Vilnius: Technika, 2019.

13. Molly K. M. Regional differences in Slovenia from the viewpoint of achieving Europe's sustainable development. *Acta Geographica Slovenia*, 2018, vol. 58, no. 2, pp. 2–46.
14. Strezov V., Evens A., Evans T. J. Assessment of the economic, social and environmental dimensions of the indicators for sustainable development. *Sustainable Development*, 2017, vol. 25, no. 3, pp. 242–253. DOI: [10.1002/sd.1649](https://doi.org/10.1002/sd.1649).
15. Bobenič Hintošová A., Bruothová M., Kubíková Z., Ručinský R. Determinants of foreign direct investment inflows: A case of the Visegrad countries. *Journal of International Studies*, 2018, vol. 11, no. 2, pp. 222–235. DOI: 10.14254/2071-8330.2018/11-2/15.
16. Bilan Y., Mishchuk H., Roshchuk I., Kmecova I. Analysis of Intellectual Potential and its Impact on the Social and Economic Development of European Countries. *Journal of Competitiveness*, 2020, vol. 12, no. 1, pp. 22–38. DOI: [10.7441/joc.2020.01.02](https://doi.org/10.7441/joc.2020.01.02).
17. Kostiukevych R., Mishchuk H., Zhidebekkyzy A., Nakonieczny J., Akimov O. The impact of European integration processes on the investment potential and institutional maturity of rural communities. *Economics and Sociology*, 2020, vol. 13, no. 3, pp. 46–63. DOI: 10.14254/2071-789X.2020/13-3/3.
18. McLaren D., Bullock S., Yousef N. *Tomorrow's world: Britain's share in a sustainable future*. London, 1998.
19. Volkov A. *Assessment of the impact of the common agricultural policy direct payments system on agricultural sustainability*. Doctoral dissertation. Vilnius: Technika, 2018. URL: <https://vb.lcss.lt/object/elaba:30829704/index.html>.
20. Hwang C. L., Yoon K. *Multiple Attribute Decision Making. Methods and Application a State-of-the-Art Survey*. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, 186. Berlin, Heidelberg: Springer, 1981.
21. Ginevičius R., Podvezko V. Some problems of evaluating multicriteria decision methods. *International Journal of Management and Decision Making*, 2007, vol. 8, no. 5/6, pp. 527–539.

22. Zavadskas E. K., Kaklauskas A. *Pastatų sistemotechninis vertinimas (Systematic technical evaluation of buildings)*. Vilnius: Technika, 1996. DOI: [10.1080/13921525.1998.10531385](https://doi.org/10.1080/13921525.1998.10531385).
23. Atta Mills E. F. E., Baafi M. A., Amowine N., Zeng K. A hybrid grey MCDM approach for asset allocation: evidence from China's Shanghai Stock Exchange. *Journal of Business Economics and Management*, 2020, vol. 21, no. 2, pp. 446–472. DOI: [10.3846/jbem.2020.11967](https://doi.org/10.3846/jbem.2020.11967).
24. Benayoun R., Roy B., Sussman B. *Electre: Une méthode pour guider le choix en présence de points de vue multiples*. Note de travail, 49. SEMA-METRA International Direction Scientifique, 1966.
25. Brans J. P., Mareschal B., Vincke Ph. PROMETHEE: A new family of outranking methods in multicriteria analysis. In: *Operational Research'84*. Ed. by J. P. Brans. North Holland: Elsevier Science Publishers B. V., 1984.
26. Brans J. P., Vincke Ph., Mareschal B. How to select and how to rank projects: The Promethee method. *European Journal of Operational Research*, 1986, vol. 24, no. 2, pp. 228–238. DOI: [10.1016/0377-2217\(86\)90044-5](https://doi.org/10.1016/0377-2217(86)90044-5).
27. Brauers W. K. M., Zavadskas E. K. The MOORA method and its application to privatization in a transition economy. *Control and Cybernetics*, 2006, vol. 35, no. 2, pp. 443–468.
28. Jacquet-Lagrange E., Siskos J. Assessing a set of additive utility functions for multicriteria decision-making, the UTA method. *European Journal of Operational Research*, 1982, vol. 10, no. 2, pp. 151–164. DOI: [10.1016/0377-2217\(82\)90155-2](https://doi.org/10.1016/0377-2217(82)90155-2).
29. Oláh J., Krisán E., Kiss A., Lakner Z., Popp J. PRISMA Statement for Reporting Literature Searches in Systematic Reviews of the Bioethanol Sector. *Energies*, 2020, vol. 13, no. 9, p. 2323. DOI: [10.3390/en13092323](https://doi.org/10.3390/en13092323).
30. Nazari-Shirkouhi S., Mousakhani S., Tavakoli M., Dalvand M. R., Šaparauskas J., Antuchevičienė J. Importance-performance analysis based balanced scorecard for performance evaluation in higher education institutions: an integrated fuzzy approach. *Journal of Business Economics and Management*, 2020, vol. 21, no. 3, pp. 647–678. DOI: [10.3846/jbem.2020.11940](https://doi.org/10.3846/jbem.2020.11940).

31. Turskis Z. Multi-attribute contractors ranking method by applying ordering of feasible alternatives of solutions in terms of preferability technique. *Technological and Economic Development of Economy*, 2008, vol. 14, no. 2, pp. 224–239.
32. Zahedi F. The Analytic Hierarchy Process: A Survey of the Method and Its Applications. *Interfaces*, 1986, vol. 16, no. 4, pp. 96–108.
33. Srinivasan V., Shocker A. Linear programming techniques for multidimensional analysis of preferences. *Psychometrika*, 1973, vol. 38, no. 3, pp. 337–369.
34. Roy B. Des critères multiples en recherche opérationnelle: Pourquoi? In: Rand G. K. (ed.) *Operational Research 87*. Amsterdam: North Holland, 1988.
35. Roy B. The outranking approach and the foundations of ELECTRE methods. *Theory and Decision*, 1991, vol. 31, pp. 49–73. DOI: [10.1007/BF00134132](https://doi.org/10.1007/BF00134132).
36. Roy B. *Multicriteria methodology for decision aiding*. Dordrecht; Boston: Kluwer Academic Publishers, 1996.
37. Popp J., Békefi E., Duleba S., Oláh J. Multifunctionality of pond fish farms in the opinion of the farm managers: the case of Hungary. *Reviews in Aquaculture*, 2019, vol. 11, no. 3, pp. 830–847. DOI: [10.1111/raq.12260](https://doi.org/10.1111/raq.12260).
38. Roubens M. Preference relations on actions and criteria in multicriteria decision making. *European Journal of Operational Research*, 1982, vol. 10, no. 1, pp. 51–55. DOI: [10.1016/0377-2217\(82\)90131-X](https://doi.org/10.1016/0377-2217(82)90131-X).
39. Opricovic S. *Multicriteria Optimization of Civil Engineering Systems*. Belgrade: Faculty of Civil Engineering, 1998.
40. Opricovic S., Tzeng G.-H. Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. *European Journal of Operational Research*, 2004, vol. 156, no. 2, pp. 445–455. DOI: [10.1016/S0377-2217\(03\)00020-1](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(03)00020-1).
41. Ginevičius R., Podvezko V. Įmonių strateginio potencialo kiekybinis vertinimas. *Verslas: teorija ir praktika – Business: Theory and Practice*, 2004, vol. 5, no. 1, pp. 3–9.
42. Ginevičius R. Some problems of quantitative evaluation of the state of social-economic systems. *Business: Theory and Practice*, 2009, vol. 10, no. 2, pp. 69–83.

43. Saaty T. L. A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology*, 1977, vol. 15, no. 3, pp. 234–281. DOI: 10.1016/0022-2496(77)90033-5.
44. Saaty T. L. *The Analytic Hierarchy Process*. New York: McGraw-Hill, 1980.
45. Saaty T. L., Vargas L. G., Dellmann K. The allocation of intangible resources: the analytic hierarchy process and linear programming. *Socio-Economic Planning Sciences*, 2003, vol. 37, no. 3, pp. 169–184.
46. Šaparauskas J. *Darnaus miesto vystymo(-si) daugiatiakslė selektonovacija*. Doctoral dissertation. Vilnius: Technika, 2004.
47. Ginevicius R. Quantitative Assessment of the Compatibility of the Development of Socioeconomic Systems. *Journal of Competitiveness*, 2019, vol. 11, no. 2, pp. 36–50. DOI: [10.7441/joc.2019.02.03](https://doi.org/10.7441/joc.2019.02.03).

## **РОЗДІЛ 2. ЗАСТОСУВАННЯ ПОРЯДКОВИХ СТАТИСТИК ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ КІЛЬКОСТІ ПЕРІОДІВ ПРИ ОЦІНЮВАННІ СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНИХ СИСТЕМ**

### **2.1. Теоретико-методологічні засади багатокритеріального оцінювання якості функціонування соціально-економічних систем в умовах невизначеності**

У зв'язку зі зростанням значущості управління інноваційністю в сучасних умовах розвитку економіки та суспільства, необхідність опанування рефлексійних методів впровадження інновацій у фінансові та складні соціально-економічні системи набуває особливої актуальності, передусім у стратегічних періодах трансформації та адаптації до зовнішніх і внутрішніх викликів. Інноваційні процеси в таких системах характеризуються високим рівнем невизначеності, нелінійністю взаємозв'язків між підсистемами та множинністю стейкхолдерів, що зумовлює потребу в адекватних інструментах оцінювання результативності управлінських рішень.

У цьому контексті ключового значення набуває застосування багатокритеріального оцінювання соціально-економічних систем, яке дає змогу комплексно враховувати економічні, соціальні, інституційні, інноваційні та екологічні параметри функціонування системи. Такий підхід забезпечує формування інтегральних показників ефективності розвитку, дозволяє зіставляти альтернативні сценарії впровадження інновацій, оцінювати їхній вплив на сталість та конкурентоспроможність системи, а також підтримує прийняття обґрунтованих управлінських рішень у межах стратегічного планування.

Крім того, використання методів багатокритеріального аналізу сприяє підвищенню прозорості процесів управління, ідентифікації пріоритетів інноваційного розвитку, оптимізації розподілу ресурсів та мінімізації ризиків, що виникають у процесі трансформації соціально-економічних систем. В умовах цифровізації та посилення глобальної конкуренції багатокритеріальне оцінювання виступає не лише інструментом аналітичної підтримки управління, а й важливим

методологічним підґрунтям формування стратегій сталого розвитку та підвищення адаптивності систем до динамічних змін зовнішнього середовища.

Фінансова безпека країни в умовах цифровізації соціально-економічних процесів виступає одним із ключових індикаторів якості функціонування соціально-економічної системи, що відображає її здатність забезпечувати стабільний розвиток, протидіяти внутрішнім і зовнішнім загрозам, а також адаптуватися до швидких технологічних і інституційних змін. Цифровізація фінансових потоків, впровадження інформаційних технологій у сфері державних фінансів, банківської системи та ринків капіталу суттєво підвищують складність процесів управління, водночас загострюючи проблему адекватного оцінювання рівня фінансової безпеки.

Особливістю оцінювання фінансової безпеки в сучасних умовах є обмеженість і асиметричність інформації, що проявляється у неповноті статистичних даних, затримках їх оновлення, наявності латентних фінансових ризиків та високій частці якісних показників, пов'язаних із довірою до фінансових інститутів, рівнем кібербезпеки та ефективністю регуляторних механізмів. За таких умов традиційні кількісні методи аналізу не забезпечують повноцінного відображення реального стану системи, що зумовлює необхідність використання адаптивних підходів до оцінювання якості її функціонування.

У цьому контексті оцінювання якості функціонування соціально-економічних систем доцільно здійснювати на основі багатокритеріальних моделей, які поєднують фінансові, інституційні, технологічні та соціальні параметри, а також дозволяють працювати з нечіткими, інтервальними та експертними даними. Цифрові технології при цьому виступають як джерелом додаткової інформації (великі дані, транзакційні масиви, цифрові сліди), так і фактором підвищення ризиків, що потребує їх урахування в системі критеріїв оцінювання фінансової безпеки.

Таким чином, фінансова безпека країни в умовах цифровізації повинна розглядатися не лише як окремий об'єкт аналізу, а як інтегральна характеристика якості функціонування соціально-економічної системи. Застосування багатокритеріальних методів оцінювання за обмеженої кількості інформації забезпечує підвищення обґрунтованості управлінських рішень, своєчасну

ідентифікацію загроз та формування ефективних стратегій сталого розвитку в умовах цифрової трансформації.

Управління соціально-економічним розвитком у сучасних умовах передбачає цілеспрямоване використання наявних резервів і потенціалів, що потребує обґрунтованого інформаційно-аналітичного забезпечення процесу прийняття управлінських рішень. Теоретичні та методологічні засади управління соціально-економічним розвитком дедалі більше базуються на застосуванні маркетингових підходів до ідентифікації, оцінювання та активізації внутрішніх ресурсів системи, з урахуванням потреб ключових стейкхолдерів та стратегічних пріоритетів розвитку.

Разом із тим, специфічною особливістю соціально-економічних систем є обмеженість, фрагментарність і неповнота інформації, що зумовлюється складністю об'єктів управління, інерційністю статистичних спостережень, високою динамікою зовнішнього середовища та наявністю якісних, слабкоформалізованих показників. За таких умов традиційні підходи до оцінювання ефективності використання резервів і потенціалів виявляються недостатньо адаптивними, що актуалізує потребу в розвитку спеціалізованих методів аналізу та оцінювання.

У контексті обмеженої кількості інформації особливого значення набуває застосування багатокритеріальних методів оцінювання, орієнтованих на поєднання кількісних і якісних показників, використання експертних суджень, нечітких оцінок та інтервальних даних. Маркетинговий підхід у цьому випадку виступає не лише інструментом аналізу ринку чи споживчих потреб, а й методологічною основою формування системи критеріїв оцінювання, що відображає реальний рівень реалізації потенціалу та ступінь використання резервів соціально-економічного розвитку.

Таким чином, оцінювання соціально-економічного розвитку в умовах інформаційної обмеженості потребує інтеграції маркетингових підходів, багатокритеріального аналізу та методів роботи з невизначеністю, що забезпечує підвищення обґрунтованості управлінських рішень, зниження ризиків та формування адаптивних стратегій

Сучасні підприємства, концерни, холдинги, асоціації та корпорації представляють собою складні, багаторівневі та постійно змінні соціально-економічні системи. Попри спільні системні характеристики, кожна з таких структур є унікальною, із власними особливостями, багато з яких складно зафіксувати або піддати точному контролю. У динаміці їх функціонування постійно виникають фактори невизначеності, що поділяються на зовнішні та внутрішні.

До зовнішніх чинників належать зміна економічних умов, оновлення науково-технічних підходів, нововведення в законодавстві, зокрема податковому й митному. Внутрішні ж фактори охоплюють трансформацію організаційних структур, зміну систем мотивації та оплати праці, кадрові коливання, морально-психологічні проблеми в колективах, а також технологічні збої й технічну ненадійність.

На сьогодні функціонування соціально-економічних систем характеризується високим рівнем інтелектуалізації, глобалізацією та соціальною орієнтованістю управління. Водночас традиційні підходи до менеджменту СЕС виявляються малоефективними в умовах сучасного кризового і нестабільного середовища. Раніше незначущі або ігноровані фактори починають чинити суттєвий вплив на функціонування цих систем.

Особливе значення набувають процеси глобалізації партнерських мережових виробничо-організаційних структур, а також активне впровадження інноваційних інформаційних технологій (ІТ), які стають ключовими драйверами змін в управлінських моделях. Проте ці процеси залишаються недостатньо вивченими. У науковій літературі спостерігається зростаюча увага до аналізу впливу сучасних ІТ на організацію, методи та технології управління різними типами систем.

Вплив сучасних ІТ на управління підприємством є значним, оскільки безпосередньо пов'язаний із підвищенням ефективності його діяльності загалом. Впровадження ІТ зазвичай потребує значних витрат як на розроблення й впровадження, так і на подальше обслуговування та розвиток, тому багато підприємств вагаються щодо їх інтеграції.

Теоретичні основи ІТ охоплюють фундаментальні поняття й закони інформатики: поняття інформації, її властивостей (цінність, повнота, актуальність,

компактність, достовірність, логічність); класифікації інформації; основні інформаційні процеси; типи інформаційних ресурсів; види інформаційної діяльності; принципи функціонування комп'ютерної техніки; алгоритми інформаційного моделювання; використання інформаційних ресурсів.

Мета розділу – розробити методику визначення мінімальної кількості періодів оцінювання соціально-економічних систем із використанням порядкових статистик.

## **2.2 Існуючі методи визначення оптимальної кількості періодів оцінювання соціально-економічних систем**

Соціально-економічні системи часто розглядаються в контексті їхнього сталого розвитку (СР), оскільки в літературі сталий розвиток неявно розглядається як передумова СР. Наприклад, зазначається, що концепція сталого розвитку може не враховувати потреби, які з часом змінюються і не визначаються. Численні дослідження підкреслюють, що сталий розвиток – це безперервний, довготривалий процес, який постійно адаптується до мінливих обставин [1-4]. Підкреслюється, що сталість за своєю суттю передбачає наявність стабільного зростання [5, 6].

Довгострокова життєздатність СЕС підтримується виключно завдяки постійному розвитку та зростанню [5]. Проте, що сталий розвиток невіддільний від стабільності та довгострокового розвитку, пишуть і в інших літературних джерелах [7, 8]. Стале тлумачення поняття розвитку впливає з розуміння того, що сталий розвиток передбачає стабільне прагнення до динамічної мети, що еволюціонує [9]. Інші літературні джерела також висвітлюють розвиток СЕС, зокрема в контексті досягнення фінансової стабільності банківських установ [10] та фінансової моделі країни в цілому і фінансової безпеки. Також підкреслюється важливість підтримки стабільних економічних показників.

Стабільність, за своєю суттю, означає послідовний, стійкий і незмінний розвиток. Вона визначається двома фундаментальними вимірами: кількісним аспектом, який представляє ступінь розвитку СЕС, та якісним аспектом, який відображає величину змін, що відбулися протягом цього періоду. Ефективне управління розвитком вимагає здатності кількісно оцінювати ці параметри. Однак

сучасні практики здебільшого обмежуються словесними описами або графічними зображеннями змін розвитку в різні періоди [9]. Це зазвичай називають динамікою змін. Однак вона слугує лише текстовою ілюстрацією і не дає жодної кількісної оцінки ситуації. Це обмеження не випадкове, оскільки лише обмежена кількість досліджень розглядала цей аспект.

Всі існуючі дослідження оцінюють інтенсивність та рівномірність розвитку протягом розглянутого періоду, узагальнюючи ці аспекти під терміном "динаміка розвитку". Однак виникає питання, чи можна цю метрику точно назвати індексом динаміки. Згідно зі словниковими визначеннями, динаміка - це розвиток або перебіг якогось явища. Таке тлумачення свідчить про те, що тенденції змін можуть бути недооцінені. У кращому випадку з динаміки можна зробити висновок про рівномірність розвитку, хоча й без кількісного представлення. Зрозуміло, що природним станом функціонування СЕС є розвиток, який за своєю суттю передбачає перехід від менш досконалого (нижчого) стану до більш досконалого (вищого). Отже, параметри інтенсивності та рівномірності не повністю відображають динаміку процесу, а скоріше представляють окремі аспекти розвитку та сталого розвитку в цілому [11].

### **2.3. Застосування порядкових статистик для визначення оптимальної кількості періодів**

З розвитком теорії ймовірностей і математичної статистики статистичні методи отримали широке застосування для вирішення різноманітних прикладних задач незалежно від галузі економіки чи сфери діяльності людини. Розв'язання будь-яких задач із використанням статистичних методів можливе двома основними групами підходів – параметричними та непараметричними статистиками. При цьому не можна однозначно надати перевагу одній з груп методів, оскільки кожна з них має свої переваги й недоліки та залежить передусім від обсягу наявної статистичної інформації.

Непараметричні статистики не вимагають знання закону розподілу досліджуваної випадкової величини, а використовують лише вибіркові значення з

генеральної сукупності. Натомість параметричні статистики дозволяють вирішувати прикладні задачі навіть за обмеженого обсягу даних завдяки припущенню про відомий закон розподілу випадкових величин.

На практиці доволі часто виникає необхідність працювати в умовах обмеженого обсягу статистичної інформації. Такі ситуації характерні для виробництва й експлуатації дороговартісних і високонадійних технічних систем, а також для аналізу соціальних і соціально-економічних процесів. У задачах, пов'язаних із визначенням кількості періодів для оцінювання показників СЕС країн, під інформацією розумітимемо саме кількість часових періодів, за які здійснюється оцінка відповідних показників. У такому разі правомірним є твердження, що в прикладних статистичних задачах здійснюється вилучення інформації за обмежений часовий проміжок, результати якого екстраполюються на весь процес або явище.

Найбільша кількість інформації міститься в знанні закону розподілу випадкових величин. Закони розподілу, що використовуються в наукових дослідженнях, можуть мати до чотирьох параметрів. Чим більше параметрів має закон, тим точніше він описує досліджуване явище. Найчастіше застосовуються симетричні закони з двома параметрами, серед яких – нормальний, рівномірний та трикутний розподіли.

Окрім того, застосування параметричних статистик є зручним завдяки наявності нормованих оцінок параметрів, що наведені в довідниках із математичної статистики. Знання закону розподілу підвищує ефективність розв'язання задач, дозволяючи зменшити необхідну кількість статистичних даних у порівнянні з непараметричними методами [12].

#### **2.4. Методика визначення закону розподілу випадкових величин за обмеженою кількістю інформації**

Запропоновано метод ідентифікації законів розподілу випадкових величин дійсних значень показників досліджуваних об'єктів. Нехай маємо  $n$  незалежних спостережень  $x_1, x_2, \dots, x_n$  неперервної випадкової величини  $x$  з функцією розподілу:

$$F\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right), \quad (2.1)$$

де  $\mu$  - математичне сподівання;  $\sigma$  - середньоквадратичне відхилення;  $x$  – випадкова величина.

Розташуймо спостереження у порядку зростання та позначимо впорядковані результати як:  $X_{(1)}, X_{(2)}, \dots, X_{(n)}$ .

Оскільки впорядковані випадкові величини  $X$  і  $Y$  (для вибірки обсягу  $n$ ) пов'язані наступним співвідношенням [12]:

$$Y_{(i)} = \left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right) \quad (i=1, 2, \dots, n), \quad (2.2)$$

$\mu$  - математичне сподівання  $i$ -тої порядкової статистики  $M(Y_{(i)})$ . Випадкова величина  $Y_{(i)}$  має деяке значення, яке не залежить від параметрів. Звідси випливає, що для всіх розподілів вигляду  $F\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)$  можна один раз і назавжди обчислити математичне сподівання нормованої випадкової величини  $Y_{(i)}$ .

Із властивостей математичних сподівань та співвідношення (2.2) маємо [12]:

$$M(X_{(i)}) = \mu + \sigma M(Y_{(i)}), \quad (2.3)$$

Таким чином, математичне сподівання  $i$ -тої порядкової статистики  $M(Y_{(i)})$  є лінійною комбінацією параметрів  $\mu$  та  $\sigma$  з відомими коефіцієнтами  $M(Y_{(i)})$ .

Отже, при заданому обсязі вибірки  $n$  можна на осі абсцис відкласти значення  $M(Y_{(i)})$ , а на осі ординат - вибіркові впорядковані результати (рис. 2.1).

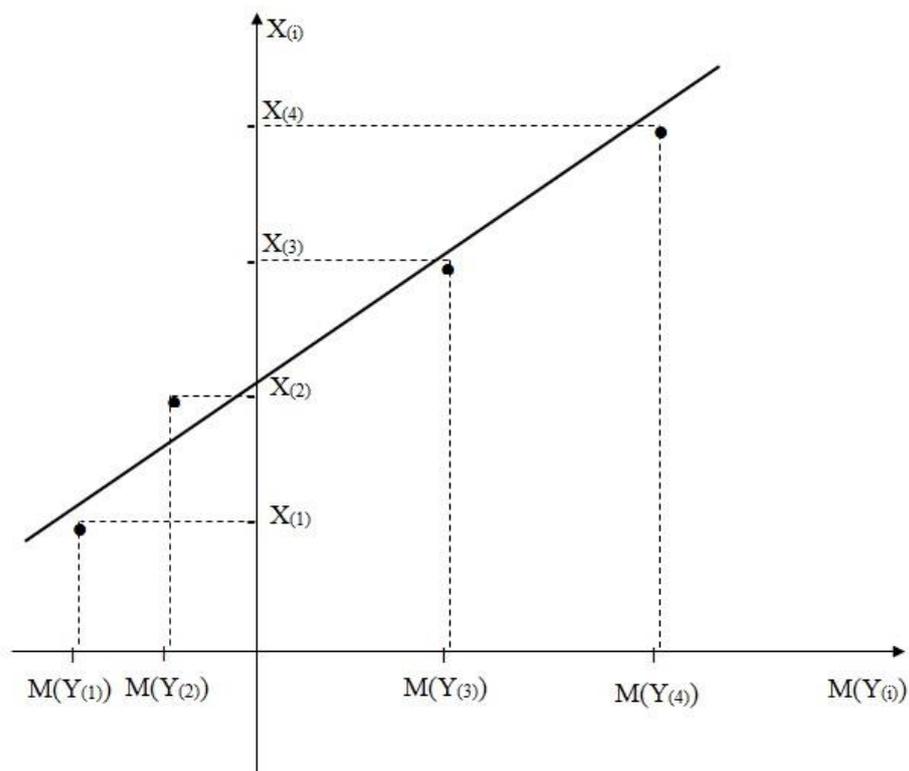


Рис. 2.1. Графічне зображення методу ідентифікації закону розподілу [1, 12]

Припускаючи, що  $M(X_{(i)})=x_{(i)}$ ,! знаходимо за методом найменших квадратів таку пряму, яка апроксимує ці точки, тобто таку, для якої сума квадратів відхилень була б мінімальною [1 12]

$$L = \sum_{i=1}^n (x_{(i)} - \mu - \sigma M(Y_{(i)}))^2 \quad (2.4)$$

У цьому випадку параметри набувають таких оцінок [12]:

$$\tilde{\mu} = \frac{A_2 S_1 - A_1 S_2}{nA_2 - A_1^2}; \quad \tilde{\sigma} = \frac{nS_2 - A_1 S_1}{nA_2 - A_1^2}, \quad (2.5)$$

де

$$A_1 = \sum_{i=1}^n M(Y_{(i)}), \quad (2.6)$$

$$A_2 = \sum_{i=1}^n [M(Y_{(i)})]^2, \quad (2.7)$$

$$S_1 = \sum_{i=1}^n x_{(i)}, \quad (2.8)$$

$$S_2 = \sum_{i=1}^n x_{(i)} \cdot M(Y_{(i)}) \quad (2.9)$$

Робота [12] містить таблиці середніх значень порядкових статистик для основних розподілів (нормального, рівномірного, трикутного), які зазвичай застосовуються у статистичному аналізі (табл. 2.1).

Таблиця 2.1

## Математичні сподівання порядкових статистик [12]

Порядкові статистики	Математичні сподівання порядкових статистик для законів розподілу випадкових величин		
	Рівномірний	Нормальний	Трикутний
$M(Y_{(1)})$	0,090909	-1,53875	-0,3089
$M(Y_{(2)})$	0,181818	-1,00136	-0,21332
$M(Y_{(3)})$	0,272727	-0,65606	-0,14148
$M(Y_{(4)})$	0,363636	-0,37576	-0,08099
$M(Y_{(5)})$	0,454545	-0,12267	-0,02637
$M(Y_{(6)})$	0,545455	0,122667	0,026373
$M(Y_{(7)})$	0,636364	0,375764	0,080991
$M(Y_{(8)})$	0,727273	0,656059	0,141475
$M(Y_{(9)})$	0,818182	1,001357	0,213317
$M(Y_{(10)})$	0,909091	1,538752	0,308895

Методика ідентифікації закону розподілу випадкових величин ґрунтується на послідовному порівнянні значень критерію  $L$ , обчислених для кожного із припущених законів розподілу при фіксованій кількості спостережень  $n$ . Спочатку визначається значення  $L$  для одного з розподілів згідно з формулою (2.5), далі аналогічні обчислення виконуються для інших варіантів. Найменше з отриманих значень  $L$  вказує на той закон розподілу, який найкраще відповідає наявним статистичним даним. Такий підхід дозволяє з високою точністю встановити характер розподілу навіть за умов обмеженої вибірки.

Таким чином, застосування теорії порядкових статистик відкриває можливість достовірної ідентифікації ймовірнісної моделі досліджуваного процесу без потреби у великих обсягах даних.

Пропонується методика ідентифікації закону розподілу показників СЕС за останні десять років, яка складається з кількох важливих послідовних дій.

1. Збір інформації про показники СЕС досліджуваного об'єкта.
2. Упорядковуємо всі значення в порядку зростання. Таким чином отримуємо впорядковану статистику.
3. Згідно з [12], обираємо моменти порядкових статистик для припущених законів розподілу, які, можливо, найточніше описують розподіл випадкових чисел. Таблиця математичних сподівань порядкових статистик для трьох законів розподілу наведена в таблиці 2.2 [12].

Таблиця 2.2

Таблиця математичних сподівань порядкових статистик для трьох законів розподілу [12].

Математичні сподівання порядкових статистик для законів розподілу			
$n$	Нормальний	Рівномірний	Трикутний
2	0,571	0,670	0,531
3	0,276	0,258	0,241
4	0,180	0,135	0,151
5	0,133	0,082	0,108
6	0,106	0,055	0,083

## Продовження таблиці 2.2

7	0,088	0,040	0,067
8	0,075	0,030	0,056
9	0,065	0,023	0,047
10	0,058	0,019	0,041
11	0,052	0,015	0,036
12	0,047	0,013	0,032
13	0,043	0,011	0,029
14	0,040	0,009	0,026
15	0,037	0,008	0,024
16	0,037	0,007	0,022
17	0,034	0,006	0,020
18	0,032	0,005	0,019
19	0,030	0,005	0,018

На рисунках 2.2-2.4 наведено математичні сподівання порядкових статистик для трьох законів розподілу у графічному вигляді.

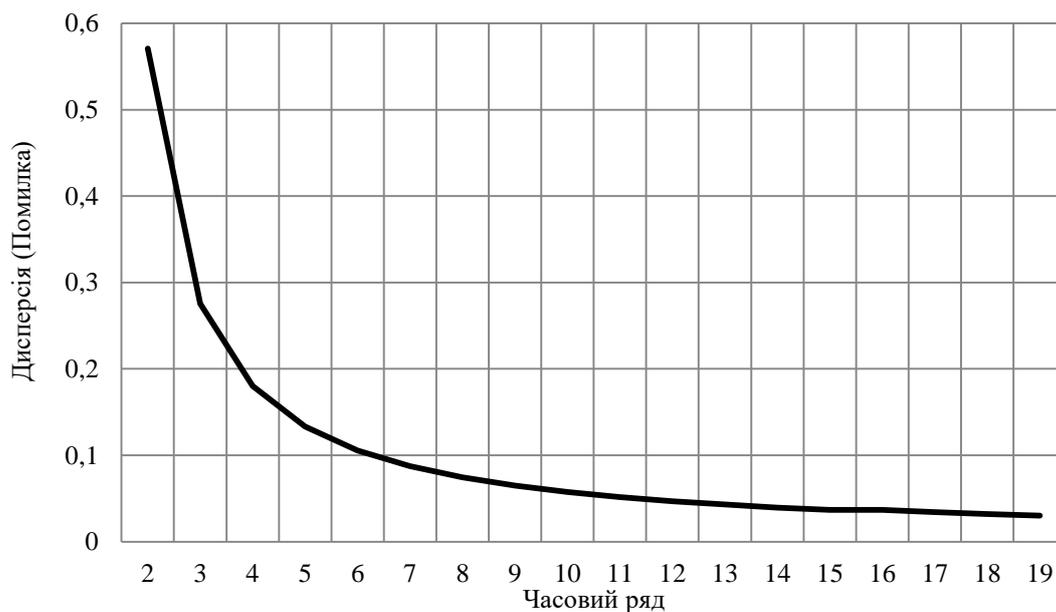


Рис. 2.2. Математичні сподівання порядкових статистик для нормального закону розподілу [1].

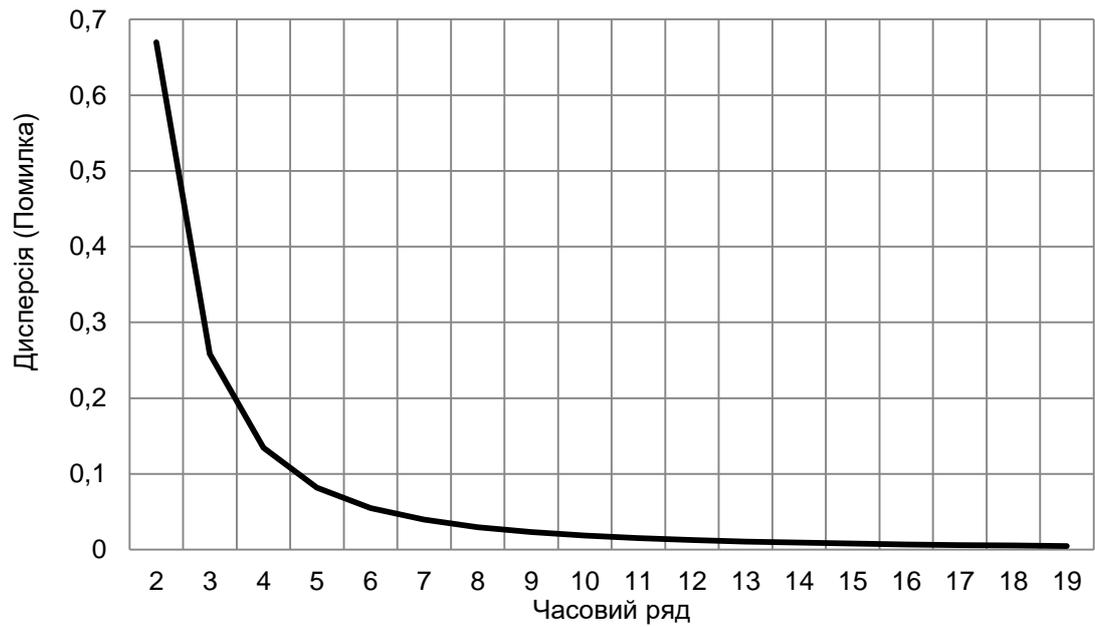


Рис. 2.3. Математичні сподівання порядкових статистик для рівномірного закону розподілу [1].

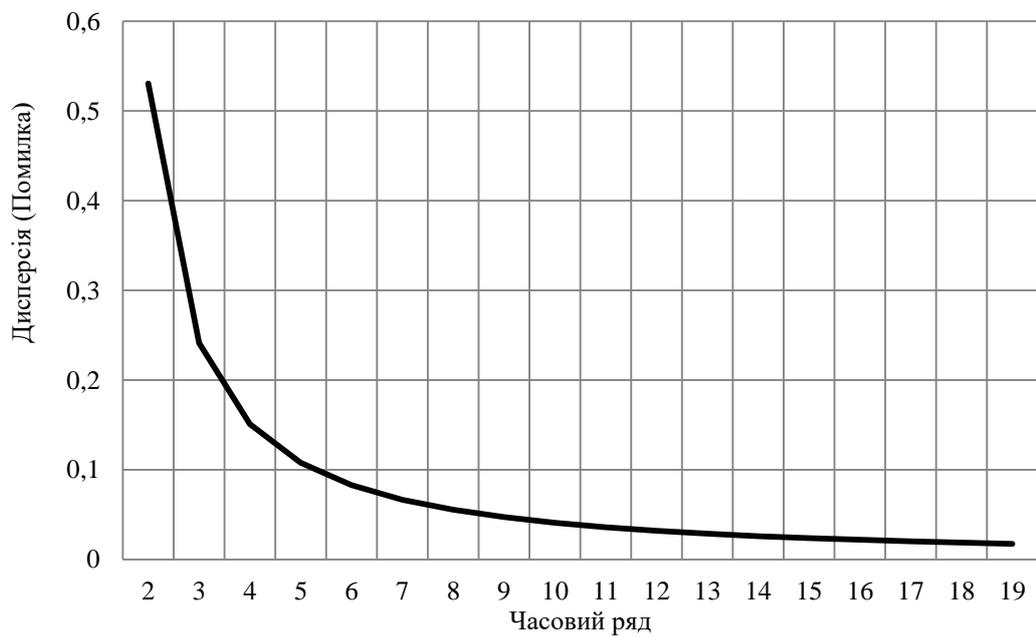


Рис. 2.4. Математичні сподівання порядкових статистик для трикутного закону розподілу [1].

4. На основі формул (2.7-2.9) здійснюємо обчислення параметричних оцінок для кожної країни ЄС. Отримані результати фіксуємо в таблиці 4 окремо для кожного із розглянутих законів розподілу.

5. Для кожного закону розподілу визначаємо значення критерію  $L$  згідно з формулою (2.5). Закон розподілу, що відповідає найменшому значенню  $L$ , вважається найкраще узгодженим із наявними даними. Підсумкові значення для трьох законів розподілу наведено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3

Оцінки параметрів для трьох законів розподілу [1].

Закон розподілу	$A_1$	$A_2$	$S_1$	$S_2$	$\mu$	$\sigma$	$L$
Рівномірний	5	25	72,4	37,67	7,21	0,06	3,167
Нормальний	0	7,91	72,4	5,09	7,24	0,64	0,086
Трикутний	0	0,34	72,4	1,05	7,24	3,11	0,103

З аналізу таблиці 2.3 можемо визначити, що найменше значення критерію  $L$  відповідає нормальному закону розподілу, що дозволяє прийняти його як базову модель для подальших обчислень. Визначивши характер розподілу, наступним етапом є встановлення мінімальної кількості періодів, достатньої для достовірної оцінки показників соціально-економічної системи. Для цього всі значення випадкової величини підлягають нормуванню з метою переведення у безрозмірну форму. З огляду на потребу в більш точній відповідності, рекомендовано застосовувати нелінійне нормування, методики якого описані у низці наукових джерел [13–14]. Після нормування обчислюється дисперсія значень за класичною формулою:

$$D = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - x_{cp})^2} \quad (2.10)$$

де  $D$  – дисперсія;  $x_i$  - випадкове значення показника;  $x_{cp}$  - середнє значення випадкових чисел показника.

У випадку з Австрією [1], за даними за останні 10 років, дисперсія нормованих значень становить  $D = 0,085$ . Порівнявши її з теоретичними значеннями дисперсії нормального розподілу, встановлено, що найближчим є значення математичного сподівання порядкової статистики 0,088, що відповідає обсягу вибірки  $n = 7$ . Таким чином, для забезпечення достовірності оцінювання соціально-економічної системи мінімальна кількість періодів має становити щонайменше сім років.

## **2.5 Апробація методики багатокритеріального оцінювання показників сталого розвитку СЕС**

Забезпечення сталого розвитку планети з урахуванням зростаючих і диференційованих потреб населення зумовлює необхідність формування цілей, що інтегрують соціальні, економічні та екологічні аспекти розвитку. Вказані вимоги відображені в міжнародних і національних стандартах, які використовуються під час розроблення нормативно-методичних документів, а також у 17 Цілях сталого розвитку, сформульованих на глобальному рівні та визнаних міжнародною спільнотою як стратегічні орієнтири розвитку.

Цілі сталого розвитку являють собою комплексну систему цільових орієнтирів, спрямованих на подолання бідності, збереження навколишнього природного середовища, підвищення якості життя населення та розширення соціально-економічних можливостей людини. У 2015 році держави — члени Організації Об'єднаних Націй затвердили зазначені 17 Цілей у межах Порядку денного сталого розвитку до 2030 року, що визначає довгострокову програму дій, розраховану на п'ятнадцятирічний період. Реалізація кожної з цілей передбачає досягнення конкретних результатів у сферах охорони здоров'я, цифрового розвитку, житлового забезпечення, соціального захисту та інших складових якості життя.

Незважаючи на наявність позитивних зрушень у реалізації окремих напрямів сталого розвитку, загальні темпи досягнення визначених цілей залишаються недостатніми та не відповідають масштабам сучасних глобальних викликів. Починаючи з 2020 року, світова спільнота увійшла в етап інтенсифікації дій, спрямованих на досягнення Цілей сталого розвитку до 2030 року. У цьому контексті

забезпечення системного прогресу потребує узгоджених рішень і дій на рівні державної політики, міжнародної взаємодії та індивідуальної відповідальності.

Вагомим чинником реалізації Цілей сталого розвитку є фінансове забезпечення відповідних програм і проєктів. Державам доцільно активізувати інвестиційну діяльність, зокрема у регіонах з підвищеним рівнем соціально-економічної вразливості та серед соціально незахищених верств населення. Це зумовлює необхідність розвитку інноваційних фінансових інструментів, залучення ресурсів приватного сектору та поглиблення співпраці з міжнародними фінансовими інституціями.

Підвищення ефективності використання ресурсів розглядається як один із ключових напрямів досягнення сталого розвитку. Йдеться про впровадження енергоефективних технологій, зниження рівня викидів парникових газів, розширення використання відновлюваних джерел енергії, а також формування збалансованого підходу до використання природно-ресурсного потенціалу.

Важливим елементом сталого розвитку є забезпечення доступності та якості базових соціальних послуг, зокрема у сфері освіти, охорони здоров'я та соціального захисту. Принципи рівності, інклюзивності та соціальної справедливості повинні бути інтегровані в усі напрями соціально-економічної політики та управлінських рішень.

Досягнення Цілей сталого розвитку значною мірою залежить від ефективності взаємодії між державами, інститутами громадянського суспільства, суб'єктами господарювання та науково-освітнім середовищем. Координація зусиль, обмін знаннями та поширення кращих практик сприяють підвищенню результативності стратегій сталого розвитку.

Водночас реалізація зазначених цілей потребує об'єктивного оцінювання досягнутого прогресу та ефективності застосовуваних фінансово-економічних механізмів, соціальних програм і проєктів. Це зумовлює необхідність розроблення та використання методології кількісного оцінювання показників сталого розвитку. У цьому контексті доцільним є застосування кваліметричних методів оцінювання, які базуються на кількісному вимірюванні різномірних індикаторів. Такі методи

дозволяють узагальнювати результати оцінювання, відстежувати динаміку змін і виступають універсальним інструментом визначення інтегрального рівня досягнення Цілей сталого розвитку.

У межах сформульованих у попередньому підрозділі методологічних підходів до оцінювання якості функціонування соціально-економічних систем за умов невизначеності та обмеженості інформації особливого значення набуває багатокритеріальне оцінювання. Його застосування супроводжується низкою принципових питань, які потребують поглибленого аналізу та наукового обґрунтування. Насамперед ідеться про отримання узгоджених оцінок різновимірних показників шляхом їх приведення до єдиної безрозмірної шкали. Друге ключове питання пов'язане з агрегуванням отриманих часткових оцінок у зведену багатокритеріальну оцінку якості функціонування системи.

Для розв'язання зазначених методологічних завдань доцільно застосовувати принципи кваліметрії - напряду наукових досліджень, що зосереджується на кількісному оцінюванні якості об'єктів різної природи, зокрема виробів, процесів, послуг, систем і складних соціально-економічних утворень. Кваліметричний підхід забезпечує формалізацію якісних характеристик і створює підґрунтя для побудови інтегральних показників за умов неповноти та неоднорідності інформації [15].

У межах кваліметрії одним із найбільш складних і водночас визначальних етапів оцінювання якості вважається встановлення вагомості окремих показників. Обґрунтованість цього положення пояснюється тим, що саме коректність визначення вагових коефіцієнтів одиничних показників значною мірою визначає адекватність і достовірність комплексної оцінки якості функціонування соціально-економічної системи.

Окрім цього, для забезпечення коректного кількісного оцінювання необхідно чітко визначити:

- характер функціональної залежності між значенням одиничного показника та його оцінкою, представленою на безрозмірній шкалі;
- метод агрегування одиничних оцінок з метою формування інтегральної оцінки якості.

Більшість об'єктів кваліметричного аналізу характеризуються суттєвою особливістю - нелінійною зміною ваг уздовж шкали оцінювання. Зокрема, на крайніх ділянках шкали зміни значень є відносно незначними, тоді як у центральній частині шкали чутливість оцінки до змін показника істотно зростає. На нашу думку, зазначена властивість притаманна і показникам сталого розвитку держави, що обумовлено складністю їх структури та взаємозалежністю компонентів [15].

З огляду на це для опису нелінійного характеру залежності між значеннями показників і їх кваліметричними оцінками пропонується застосовувати функціональну залежність подвійного експоненціального типу, яка має такий вигляд [12]:

$$F(x_1) = \exp(-\exp(-x)), (-\infty < x < \infty), \quad (2.11)$$

де  $F(x)$  — оцінка критерію на безрозмірній шкалі,  $x$  — дійсне значення досліджуваного критерію.

Цей вид залежності був виведений математиком Гнеденком, який довів, що вона описує розподіл найменших значень у масивах даних (вибірках). Нелінійний характер цієї залежності застосовувався в сучасних публікаціях для розв'язання соціально-економічних завдань [13, 14].

Крім того, Гнеденко довів, що розподіл найбільших значень у вибірках має такий вигляд:

$$F(x_2) = 1 - \exp(-\exp(x)). \quad (2.12)$$

Важливою властивістю залежностей (1) та (2) є принцип симетрії, що означає можливість формувати в межах цього діапазону численні нові залежності без введення додаткових параметрів. Наприклад, можна побудувати залежність, яка поділяє вказаний діапазон навпіл. Вона матиме наступний вигляд [2- 4]:

$$F(x_3) = \frac{(\exp(-\exp(-x)) + 1 - \exp(-\exp(x)))}{2}. \quad (2.13)$$

Для ілюстрації застосування принципів кваліметрії та функціональної залежності подвійного експоненціального типу доцільно розглянути конкретний приклад оцінювання показників сталого розвитку (універсальних ресурсних груп) для 27 підприємств. Оцінки кожного з 12 показників були отримані за 10-бальною шкалою, а їхня значущість визначалася експертним методом у вигляді рангів.

Виходячи з кількості показників і їхніх рангів, інтервал між мінімальними та максимальними оцінками за формулами (2.11) та (2.12) був поділений на 12 рівних частин, що дозволяє відобразити відмінності в значущості показників та забезпечити їх подальше агрегування у багатокритеріальну оцінку.

Таблиця 2.4

## Показники сталого розвитку та їх ранги

№	Показник	Одиниця виміру / характеристика	Ранг
1	, Тривалість життя)	роки	1
2	Смертність серед немовлят)	на 1000 живих новонароджених	3
3	Рівень народжуваності	коефіцієнт народжуваності	6
4	Народжуваність на 1000 мешканців	на 1000 мешканців	5
5	Смертність на 1000 мешканців	на 1000 мешканців	4
6	Кількість шлюбів на 1000 мешканців	на 1000 мешканців	7
7	Рівень розлучень на 1000 мешканців	на 1000 мешканців	8
8	Еміграція на 1000 мешканців	на 1000 мешканців	11
9	Імміграція на 1000 мешканців	на 1000 мешканців	10
10	Частина населення, що має кваліфікацію	%	2
11	Гендерний розрив у зайнятості	різниця у процентних пунктах	9
12	Індекс освіти	коефіцієнт	12

Як видно з таблиці 2.4, ранжування показників відображає їхню значущість для оцінювання сталого розвитку, що є необхідною умовою для побудови кваліметричної моделі.

На наступному етапі оцінки за допомогою залежностей (2.11) та (2.12) кожен показник перетворюється на безрозмірну оцінку, враховуючи його вагу та ранг. При цьому нелінійна подвійна експоненціальна функція дозволяє більш чутливо враховувати середні значення показників, тоді як крайові значення шкали змінюються менш інтенсивно. Такий підхід забезпечує коректне агрегування одиничних оцінок у інтегральну багатокритеріальну оцінку якості функціонування системи, що відповідає принципам кваліметрії та обмеженості інформації.

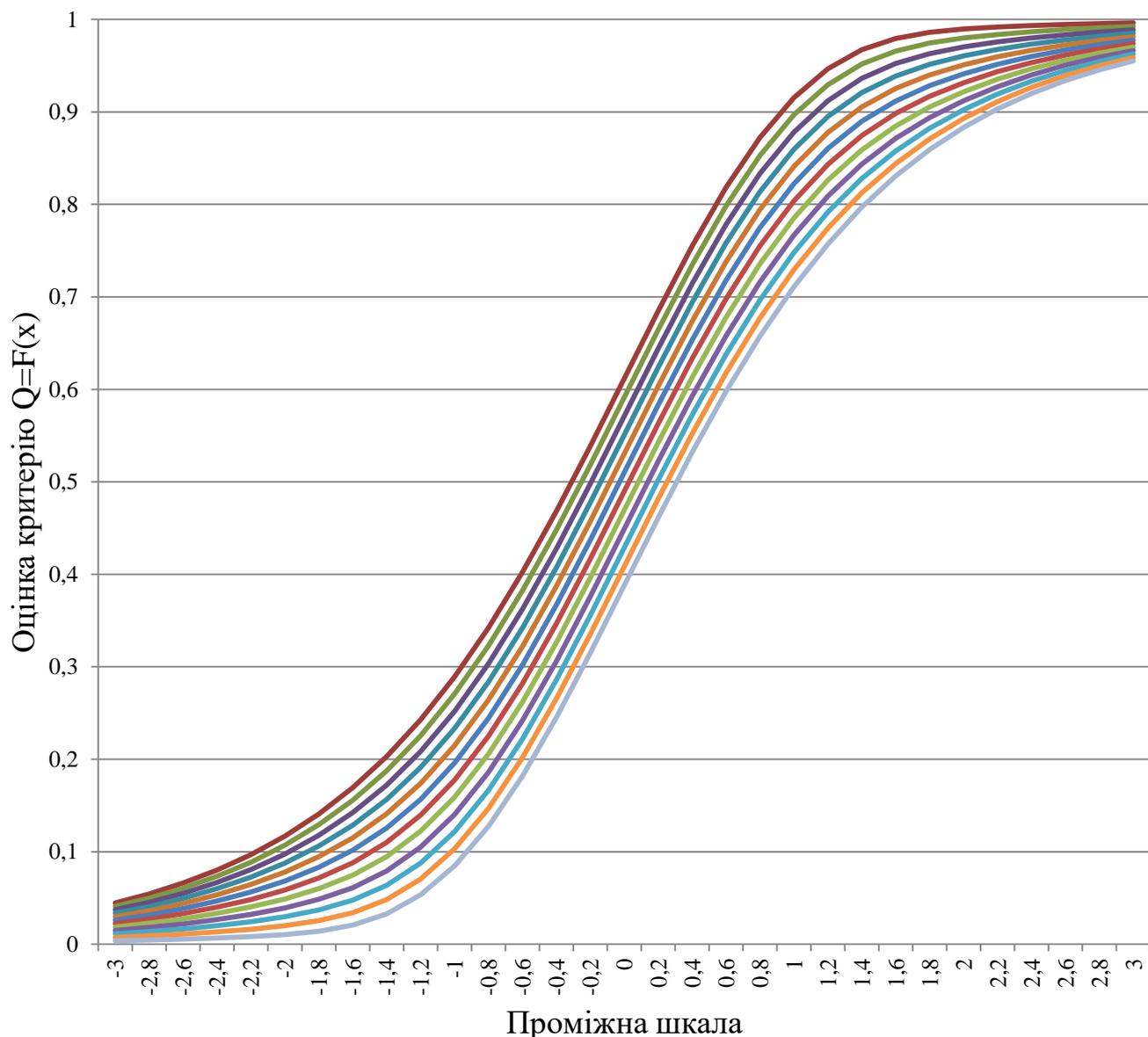


Рис. 2.5. Серія залежностей за 12 показниками

Кожна залежність відповідає окремому критерію. Найважливішому критерію з найвищим рангом (1) відповідає найнижча залежність на рисунку 2.5, тоді як критерію з найменшим рангом (12) - верхня залежність. Таким чином, кожному показнику відповідає своя функціональна залежність. Початкові дані та результати обчислень узагальнено у таблиці 2.5. У результаті сформовано 12 залежностей, які разом утворюють серію залежностей, представлену на рисунку 2.5.

Для автоматизації розрахунку оцінок показників СЕС було використано пакет Microsoft Excel, програму для роботи з електронними таблицями. Результати обчислень на прикладі країни (Литва) наведено у таблиці 2.5.

Таблиця 2.5

## Результати розрахунку оцінок за 12 показниками для країни (Литва)

	Найменування показників СЕС за 12 показниками											
Номер показника	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Вага	0,146	0,057	0,15	0,167	0,071	0,075	0,022	0,121	0,103	0,065	0,023	0,065
Ранги	10	3	2	1	7	6	12	4	5	8	11	9
Литва	0,92	0,56	0,27	0,83	0,96	0,82	1	0,48	0,52	0,98	0,63	0,52

В результаті розрахунків отримали часовий ряд оцінок показників СЕС за 12 показниками, графічно представлений на рисунку 2.6.

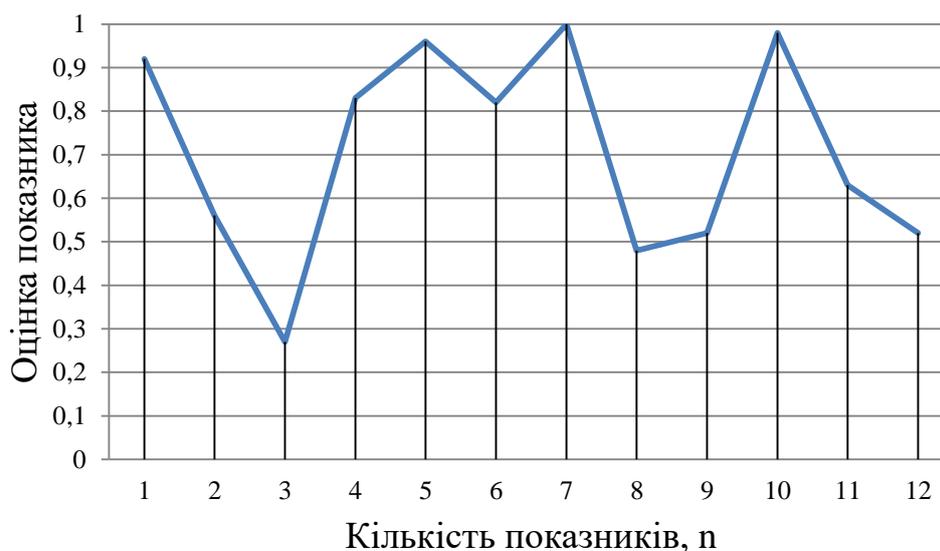


Рис. 2.6. Графічне представлення часового ряду зміни оцінок за 12 показниками СЕС для країни (Литва)

Наступним прикладом є показники СЕС, що складаються з 6 показників. Таким чином, завдяки принципу симетрії, можемо розділити відстань між залежностями (2.11) і (2.12) на 6 частин.

Назва показників:

1. Чисельність населення, коефіцієнт;
2. Частка населення віком 0–15 років, %;
3. Частка населення віком 15–64 роки, %;
4. Частка населення віком 65+ років, %;
5. Частка жінок, %;
6. Щільність населення, кількість/км<sup>2</sup>).

Вихідні дані представлені в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6

Вихідні дані показників сталого розвитку, їх ваги та ранги за 6 показниками

Номер показателя	Найменування показників СЕС за 6 показниками					
	1	2	3	4	5	6
Веса	0,174	0,211	0,208	0,147	0,142	0,118
Ранги	3	1	2	4	5	6
1. Бельгія	1,018	16,75	63,96	19,29	50,67	377,30
2. Болгарія	0,974	14,44	63,81	21,75	51,57	63,40
3. Чехія	0,994	16,07	63,76	20,17	50,73	138,20
4. Данія	1,016	16,25	63,61	20,14	50,26	138,50
5. Німеччина	1,008	13,80	64,22	21,97	50,66	235,20
6. Естонія	1,011	16,43	63,23	20,35	52,57	30,50
7. Ірландія	1,046	19,98	65,26	14,76	50,51	71,90
8. Греція	0,992	14,15	63,30	22,55	51,34	82,40
9. Іспанія	1,019	14,26	65,97	19,77	51,00	93,80
10. Франція	1,013	17,67	61,64	20,69	51,64	106,10
11. Хорватія	0,972	14,24	64,33	21,43	51,32	72,80
12. Італія	0,978	12,89	63,57	23,54	51,27	201,50
13. Кіпр	1,048	16,04	67,52	16,44	51,16	95,70
14. Латвія	0,971	16,00	63,20	20,80	53,77	30,20
15. Литва	0,982	15,11	64,97	19,93	53,01	44,60
16. Люксембург	1,075	15,97	69,42	14,61	49,67	239,80
17. Угорщина	0,993	14,56	65,12	20,31	52,07	107,10
18. Мальта	1,121	13,43	67,69	18,88	48,28	159,10
19. Нідерланди	1,023	15,52	64,70	19,79	50,29	157,30

Продовження табл.2.6

20. Австрія	1,018	14,39	66,40	19,21	50,78	107,60
21. Польща	0,996	15,48	65,80	18,72	51,62	123,60
22. Португалія	1,004	13,43	64,15	22,43	52,82	113,00
23. Румунія	0,977	15,76	64,94	19,30	51,11	82,70
24. Словенія	1,021	15,07	64,27	20,66	49,74	103,70
25. Словаччина	1,000	15,90	67,03	17,07	51,16	112,00
26. Фінляндія	1,006	15,56	61,75	22,70	50,60	18,20
27. Швеція	1,038	17,71	62,2	20,12	49,68	25,20

Тому отримали 6 залежностей (серію залежностей), показаних на рисунку 2.7.

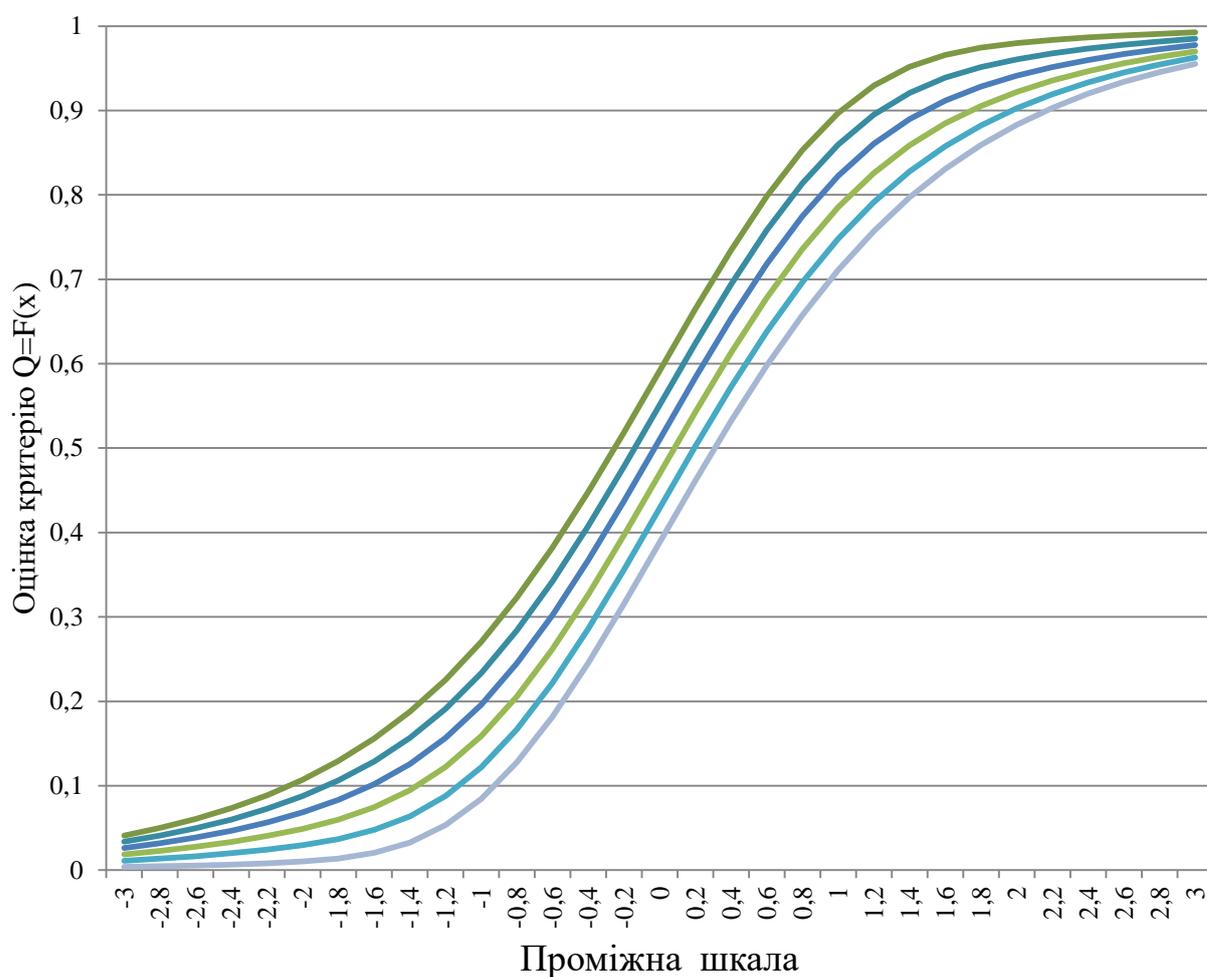


Рис. 2.7. Серія функціональних залежностей за 6 показниками

Результати розрахунків на прикладі країни представлені в таблиці 2.7.

Результати розрахунків оцінок за 6 показниками для країни (Литва).

Номер показника	Найменування показників СЕС за 6 показниками					
	1	2	3	4	5	6
Вага	0,174	0,211	0,208	0,147	0,142	0,118
Ранги	3	1	2	4	5	6
Оцінка показника, Q	0,82	0,92	0,98	0,91	0,97	0,18

В результаті розрахунків отримали часовий ряд оцінок показників СЕС за 6 показниками, графічно представлений на рисунку 2.8.

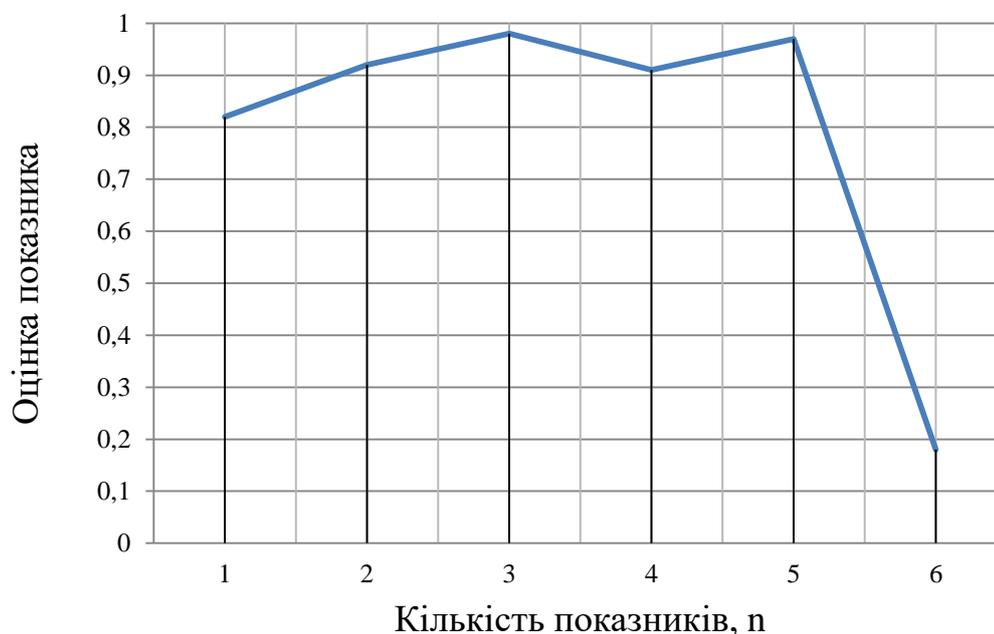


Рис. 2.8. Графічне представлення часового ряду зміни оцінок за 6 показниками СЕС для країни (Литва)

Для отримання багатокритеріальної оцінки необхідно об'єднати отримані безрозмірні оцінки в одну. Можна застосовувати один з методів усереднення даних, але такий метод отримання багатокритеріальної оцінки не завжди застосовний. Наприклад, у тому випадку, коли є оцінки з різними знаками. Пропонується застосувати один з чисельних методів – метод інтегрування, при цьому пропонується застосовувати квадратурні формули з використанням методу трапецій.

Метод трапецій – це наближений інтеграл, корисний у тих випадках, коли немає можливості знайти первісну функцію і обчислити інтеграл через неї. Крім методу трапецій існують інші методи наближеного інтегрування, наприклад метод прямокутників і метод парабол.

Для визначення багатокритеріальної оцінки необхідно знайти площу під ламаною лінією. Для цього необхідно знайти площу кожної трапеції, яка утворюється між дискретним кроком і двома сусідніми результатами на осі ОУ. Формула для визначення кроку має вигляд:

$$\Delta x = \frac{b - a}{n - 1}$$

$n$  – кількість показників;  $b$  і  $a$  – кінець і початок ділянки інтегрування по осі ОХ. Оскільки отримані значення є дискретними, то зручно, щоб ділянку інтегрування прирівняти до одиниці ( $b-a=1$ ).

Площа  $i$ -тої трапеції буде:

$$S_i = \Delta x \cdot \frac{y_{i-1} + y_i}{2}$$

Сума всіх трапецій буде багатокритеріальною оцінкою СЕС за 12 критеріями.

Отже, на прикладі оцінювання якості СЕС за 12 та 6 критеріями, провели апробацію багатокритеріального оцінювання якості СЕС за малою кількістю статистичних даних, враховуючи нормальний закон розподілу, визначений методикою, з застосуванням порядкових статистик.

## Висновки до другого розділу

Обґрунтовано доцільність застосування параметричних методів статистичного аналізу для оцінювання соціально-економічних систем в умовах обмеженої кількості даних. У нас просто набір даних, і не факт, що вони просто не підібрані.

Запропоновано методику ідентифікації закону розподілу випадкових величин на основі порядкових статистик, яка дозволяє визначати мінімальну кількість періодів для збору інформації. Проведено апробацію методики на прикладі статистичних даних країн Європейського Союзу; встановлено, що показники підпорядковуються нормальному закону розподілу, а мінімально необхідна кількість періодів становить сім років.

Для отримання оцінок показників СЕС на безрозмірній шкалі застосовується функціональна залежність, яка відповідає теорії кваліметрії, тобто по краях значень показників швидкість їх зміни мінімальна, а по середині максимальна.

Застосовуючи принцип симетрії, можна отримати безліч функціональних залежностей, залежно від кількості показників СЕС та їхніх рангів, які пов'язані з вагомістю кожного з них.

Для отримання комплексної (багатокритеріальної) оцінки пропонується використовувати інтегрування методом трапецій, який дозволяє отримувати комплексну оцінку незалежно від знака показника.

Пропоновані дослідження апробовані на прикладі показників СЕС однієї з країн (Литва) за умови, що показників було 12 і 6. Таким чином, дані дослідження можна застосовувати для будь-якої з країн.

### Список використаних джерел

1. Черняк О. М., Багаєв І. О., Катрич О. О., Теслов О. А., Косиченко О. М., Шевченко В. П. Визначення мінімальної кількості періодів для оцінювання індексів сталого розвитку країн ЄС методами порядкових статистик. Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2024. № 1 (27). С. 215–225. DOI: <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2024.27.215>
2. R. Trishch, O. Cherniak, O. Kupriyanov, V. Luniachek, Tsykhanovska I. Methodology for multi-criteria assessment of working conditions as an object of qualimetry. *Engineering management in production and Services*, 2021, 13(2). pp. 107–114
3. Ginevičius, R., Trišč, R., Remeikienė, R., Zielińska, A., Strikaitė-Latušinskaja, G. Evaluation of the condition of social processes based on qualimetric methods: The COVID-19 case. *Journal of International Studies*, 2022, 15(1), pp. 230–249
4. Ginevičius, R., Trishch, R., Bilan, Y., Lis, M., Pencik, J.
5. Dima B., Dima Ş. M., Tudor A. T. Societal sustainable development and long-run economic growth: How do we stand? *Sustainable Development (Bradford)*. 2024. Vol. 32, № . P. 4222–4249. DOI: <https://doi.org/10.1002/sd.2896>.
6. Raman R., Gunasekar S., Ray S., Behera D. K., Nedungadi P., Dénes D. L. A holistic approach to Sustainable Development Goal 8: Integrating economic growth, employment, and sustainability. *Equilibrium. Quarterly Journal of Economics and Economic Policy*. 2025. Vol. 20, No. 1. P. 147–202. DOI: <https://doi.org/10.24136/eq.3342>.
7. Guang-Wen Z., Murshed M., Siddik A. B., Alam M. S., Balsalobre-Lorente D., Mahmood H. Achieving the objectives of the 2030 sustainable development goals agenda: Causalities between economic growth, environmental sustainability, financial development, and renewable energy consumption. *Sustainable Development*. 2022. Vol. 31, No. 2. P. 680–697. DOI: <https://doi.org/10.1002/sd.2411>.

8. Pânzaru S., Dragomir C. The Considerations of the Sustainable Development and Eco-Development in National and Zonal Context. *Revista de management comparat international*. 2012. Vol. 13. № 5. P. 823–831.
9. Ginevičius R., Gedvilaitė D., Stasiukynas A., Šliogerienė J. Quantitative Assessment of the Dynamics of the Economic Development of Socioeconomic Systems Based on the MDD Method. *Inžinerine Ekonomika–Engineering Economics*. 2018. Vol. 29, № 3. P. 264–271. DOI: <https://doi.org/10.5755/j01.ee.29.3.20444>.
10. Ginevičius R., Trishch R., Bilan Y., Lis M., Pencik J. Assessment of the Economic Efficiency of Energy Development in the Industrial Sector of the European Union Area Countries. *Energies*. 2022. Vol. 15, № 9. DOI: <https://www.mdpi.com/1996-1073/15/9/3322>.
11. Ginevičius, R., Trishch, R., Remeikienė, R., Gasparėnienė, L. Complex evaluation of the negative variations in the development of Lithuanian municipalities. *Transformations in Business & Economics*. 2021. Vol. 20, № 2A(53A). P. 635–653.
12. Трищ Р. М. Розвиток наукових основ управління якістю в машинобудуванні в умовах обмеженої кількості інформації: дис. д-ра. техн. наук: 05.01.02. Київ, 2007. 323 с.
13. Ginevičius, R., Visokavičienė, B. T., Bilan, Y., Lisiński, M. Quantitative assessment of the financial hardship in the euro area countries. *PLoS ONE*. 2024. Vol. 19, № 4. P. 1–15. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0294886.s001>.
14. Volkov A. *Assessment of the impact of the common agricultural policy direct payments system on agricultural sustainability*. Doctoral dissertation. Vilnius: Technika, 2018. URL: <https://vb.lcss.lt/object/elaba:30829704/index.html>.
15. Ломанов К.О., Рибальченко Т.П. Застосування порядкових статистик для визначення оптимальної кількості періодів при оцінюванні соціально-економічних систем. Відкриті інформаційні та комп'ютерні інтегровані технології. 2025. № 104. С. 243-257. DOI: 10.32620/oikit.2025.104.16.

### **РОЗДІЛ 3. ОЦІНЮВАННЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНИХ СИСТЕМ**

Традиційним підходом до оцінки рівня розвитку будь-якої соціально-економічної системи (СЕС) є розгляд лише її стану в конкретному році. Однак такий підхід не відображає адекватно динамічну та складну природу СЕС, яким притаманна нестабільність через їхню інерційність. Іншими словами, показники розвитку в будь-який момент часу (рік) досліджуваного періоду значною мірою залежать від результатів розвитку, що мали місце в попередні періоди. Це ускладнює адекватну кількісну оцінку розвитку СЕС за певний період. У цій роботі представлено нову методологію отримання індексу сталого розвитку СЕС шляхом поєднання значень двох параметрів – інтенсивності та рівномірності. Оскільки перший параметр має враховувати сукупність як позитивних, так і негативних змін, що відбулися протягом досліджуваного періоду, для його розрахунку використовується кореляційно-регресійний аналіз. Остання відображається вартісними зв'язками фактичних змін в окремі періоди досліджуваного періоду з розвитком СЕС, що відбувається без відхилень. Враховуючи, що важливість інтенсивності та рівномірності для сталого розвитку не є однаковою, для репрезентативного поєднання значень використовується багатокритеріальний метод.

#### **3.1. Аналіз розвитку соціально-економічних систем**

Якість життя залежить від функціонування взаємопов'язаних СЕС різних типів і рівнів. Соціальна система, як невід'ємна частина СЕС, робить їх активними за своєю природою і зумовлює обставини, що визначають їх функціонування та виживання. Отже, всі соціально-економічні системи є відкритими, тобто підтримують постійний взаємозв'язок з навколишнім середовищем. Це означає, що СЕС може досягти своєї мети лише за умови використання різноманітних ресурсів, отриманих ззовні. У свою чергу, вона повинна задовольняти зовнішні потреби – постачати продукцію, послуги тощо. Оскільки СЕС за своєю природою є розгалуженими і складними, цілеспрямоване управління ними є складним і залежить

від дуже специфічних обставин. Таким чином, кількісна оцінка їхнього стану в потрібний момент часу є надзвичайно важливим завданням, і ця тема, відповідно, перебуває під пильною увагою протягом багатьох років. Хоча існують різні способи досягнення цієї мети, в основному для цього використовуються багатокритеріальні методи останнім часом [1-5]. Таку перевагу можна пояснити складністю та багатогранністю СЕС. Численні критерії та показники, що використовуються для оцінки СЕС, взаємопов'язані між собою як елементи однієї системи. Однак вони мають неоднакову важливість щодо досліджуваного явища, можуть бути виражені в різних вимірах і змінюватися в різних напрямках. Саме тому для об'єднання цих індикаторів в єдиний показник, здатний кількісно відобразити стан розвитку СЕС, застосовуються багатокритеріальні методи.

Як правило, багатокритеріальне оцінювання використовується для досягнення двох основних цілей: ранжування варіантів, що розглядаються, та оцінки стану СЕБП, взятих окремо. Переслідування першої мети, яку також називають системою підтримки прийняття рішень, оскільки вона надає необхідну інформацію для особи, яка приймає рішення, є набагато більш поширеним. Він особливо корисний при вирішенні виробничих, технологічних та організаційних проблем. Наприклад, цей метод набув широкого застосування в будівництві [6-11]. Мета такої багатокритеріальної оцінки полягає в нормалізації значень багатовимірних показників, що визначає послідовність їхнього приведення до порівнянних форм. У цьому контексті нормалізоване значення окремого індикатора виводиться в відношення до значень всіх інших альтернатив для того самого показника [12].

Якщо метою багатокритеріальної оцінки є незалежна оцінка рівня розвитку СЕС, такий метод нормалізації значень індикаторів є непридатним. У такому випадку нормалізоване значення кожного індикатора має визначатися незалежно від значень інших потенційно пов'язаних з ним альтернатив [13]. Стан розвитку СЕС, як правило, оцінюється в певний момент часу - як правило, в поточному році. Однак ці системи функціонують протягом багатьох років. Як великомасштабні системи, вони демонструють інерційність, що означає, що результати розвитку в поточному періоді суттєво залежать від рівня розвитку в попередніх періодах. Іншими словами,

стан розвитку в поточному періоді формується під впливом контексту розвитку, сформованого в попередні періоди [14].

Це спостереження підтверджується аналізом розвитку відновлюваної енергетики в країнах Європейського Союзу з використанням моделі кореляційно-регресійного аналізу  $Y_p = f(\bar{X}^t)$ , де  $Y_p$  – відсоток електроенергії з відновлюваних джерел у загальному виробництві електроенергії протягом останнього року оцінюваного періоду;  $\bar{X}^t$  - середні значення розвитку відновлюваної енергетики (у відсотках) за роки, що передували останньому року. Коефіцієнт кореляції був визначений на рівні 0,74, що підкреслює необхідність вирішення критично важливого питання як в науковому, так і в практичному контексті: як адекватно оцінити розвиток відновлювальних джерел енергії ВДЕ протягом оцінюваного періоду.

Значення аргументу, що використовується в кореляційній моделі  $\bar{X}$  в кореляційній моделі є непридатним з кількох причин. По-перше, воно не враховує зміни розвитку протягом досліджуваного періоду під впливом випадкових факторів. По-друге, воно не враховує фундаментальні аспекти функціонування СЕС як динамічних процесів, такі як розвиток, інтенсивність, рівномірність та сталість розвитку, а також не розглядає категорію динаміки, яка за своєю суттю є відмінною від вищезгаданих параметрів функціонування СЕС. Якщо ці параметри взаємопов'язані між собою як відображення процесів у СЕС, то динаміка фокусується виключно на траєкторії змін та розвитку окремих явищ чи процесів у часі. Отже, доречно говорити про інтенсивність, рівномірність та сталий розвиток розвитку СЕС, але не про динаміку розвитку. Остання стосується виключно часових змін окремих явищ чи процесів. Взаємозв'язок між цими категоріями узагальнено в таблиці 3.1.

Характеристика функціонування СЕС та окремих явищ і процесі

Категорії досліджуваного явища	Опис категорії	Суть категорії
Розвиток	Функціонування СЕС	Позитивні кількісні зміни у функціонуванні СЕС
Інтенсивність	Характеристика розвитку СЕС	Позитивні зміни у розвитку СЕС
Рівномірність	Особливості розвитку СЕС	Розвиток СЕС зі збереженням позитивних змін у однакова величина
Динаміка	Окреме соціально-економічне явище	Окремого соціально-економічного явища, процесу

На основі таблиці 3.1 інтерфейси категорій функціонування СЕС виглядатимуть наступним чином (рисунок 3.1).

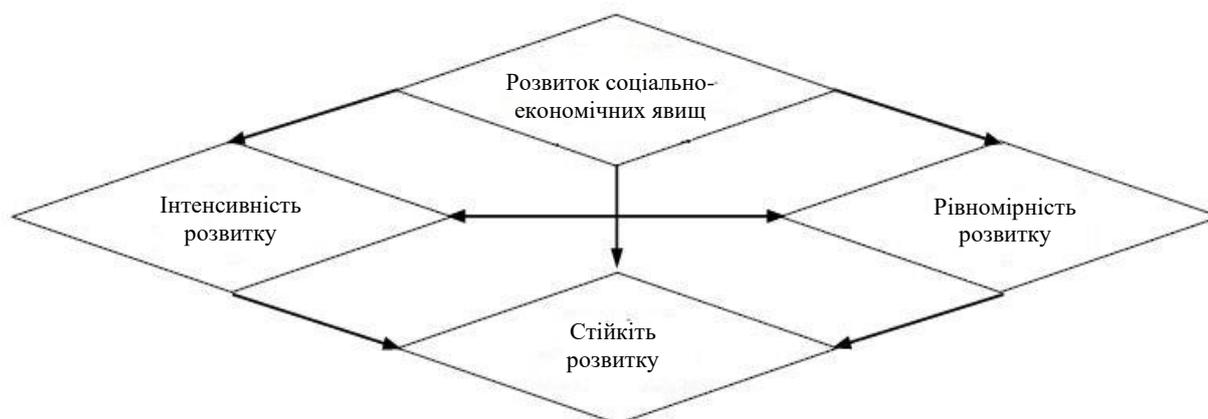


Рис. 3.1. Функціонування СЕС

Таблиця 3.1 та рисунок 3.1 ілюструють, що фундаментальною характеристикою функціонування СЕС є розвиток, невід'ємним аспектом якого є сталий розвиток. Сталий розвиток являє собою довгостроковий прогрес, підкреслюючи, що розвиток є безперервним процесом. Для визначення сталого розвитку СЕС недостатньо ґрунтуватися лише на даних за один рік. На розвиток СЕС впливають різні дестабілізуючі фактори, як об'єктивні, так і суб'єктивні, що призводять до коливань, які впливають на результати.

Крім того, на рисунку 3.1 показано, що для кількісної оцінки сталого розвитку важливо оцінити його рівномірність та інтенсивність, а потім інтегрувати ці показники в комплексний індекс сталого розвитку. Наразі методології для досягнення цієї мети здебільшого не розроблені, задокументовано лише кілька спроб [14, 15].

### **3.2. Соціально-економічні системи в контексті сталого розвитку**

Соціально-економічні системи часто розглядаються в контексті їхнього сталого розвитку, оскільки в літературі сталий розвиток неявно розглядається як передумова сталого розвитку. Наприклад, зазначається, що концепція сталого розвитку може не враховувати потреби, які з часом змінюються і не визначаються. Численні дослідження підкреслюють, що сталий розвиток – це безперервний, довготривалий процес, який постійно адаптується до мінливих обставин [16-18]. Підкреслюється, що сталість за своєю суттю передбачає наявність стабільного зростання [19]. Довгострокова життєздатність СЕС підтримується виключно завдяки постійному розвитку та зростанню [19]. Про те, що сталий розвиток невіддільний від стабільності та довгострокового розвитку, пишуть і в інших літературних джерелах [20,21]. Стале тлумачення поняття розвитку впливає з розуміння того, що сталий розвиток передбачає стабільне прагнення до динамічної мети, що еволюціонує [22].

Інші літературні джерела також висвітлюють розвиток СЕС, зокрема в контексті досягнення фінансової стабільності банківських установ [23, 24] та фінансової моделі країни в цілому [25,26] і фінансової безпеки [27].

Стабільність, за своєю суттю, означає послідовний, стійкий і незмінний розвиток. Вона визначається двома фундаментальними вимірами: кількісним аспектом, який представляє ступінь розвитку СЕС протягом досліджуваного періоду, та якісним аспектом, який відображає величину змін, що відбулися протягом цього періоду. Ефективне управління розвитком вимагає здатності кількісно оцінювати ці параметри. Однак сучасні практики здебільшого обмежуються словесними описами або графічними зображеннями змін розвитку в

різні періоди [28-30]. Це зазвичай називають динамікою змін. Однак вона слугує лише текстовою ілюстрацією і не дає жодної кількісної оцінки ситуації. Це обмеження не випадкове, оскільки лише обмежена кількість досліджень розглядала цей аспект [14]. Всі існуючі дослідження оцінюють інтенсивність та рівномірність розвитку протягом розглянутого періоду, узагальнюючи ці аспекти під терміном "динаміка розвитку". Однак виникає питання, чи можна цю метрику точно назвати індексом динаміки. Згідно зі словниковими визначеннями, динаміка - це розвиток або перебіг якогось явища. Таке тлумачення свідчить про те, що тенденції змін можуть бути недооцінені. У кращому випадку з динаміки можна зробити висновок про рівномірність розвитку, хоча й без кількісного представлення. Зрозуміло, що природним станом функціонування СЕС є розвиток, який за своєю суттю передбачає перехід від менш досконалого (нижчого) стану до більш досконалого (вищого). Отже, параметри інтенсивності та рівномірності не повністю відображають динаміку процесу, а скоріше представляють окремі аспекти розвитку та сталого розвитку в цілому. Для комплексного кількісного визначення розвитку необхідно належним чином оцінити як інтенсивність, так і рівномірність. Наразі запропоновано два підходи до оцінки інтенсивності [14]:

$$I_p = \frac{Q_f}{Q_b}, \quad (3.1)$$

$$I_p = \frac{Q_f - Q_b}{Q_f}, \quad (3.2)$$

де  $I_p$  - інтенсивність розвитку СЕС протягом періоду, що розглядається;  $Q_f$  - значення розвитку СЕС на кінець досліджувального періоду,  $Q_b$  - значення на початок періоду.

З формул (3.1) і (3.2) видно, що метрика  $I_p$  не враховує зміни розвитку протягом досліджувального періоду, а отже, потребує уточнення. Інший параметр, рівномірність, розглядається в літературі шляхом порівняння ідеальної траєкторії розвитку СЕС, з її фактичною траєкторією. Ідеальна траєкторія розвитку СЕС без

відхилень, тоді як фактична траєкторія розраховується шляхом підсумовування довжин діагоналей прямокутних трикутників, які відображають розвиток СЕС в окремі періоди в межах досліджувального періоду [14]. Доцільно дослідити альтернативні методи кількісної оцінки рівномірності розвитку СЕС, зокрема аналітичні підходи. Огляд літератури свідчить про помітний брак методологічних засад для оцінювання сталого розвитку СЕС як критичної умови його узгодженості, особливо з точки зору комплексних методів кількісного оцінювання.

### **3.3. Методологія дослідження соціально-економічних систем**

Огляд літератури свідчить про те, що кількісну оцінку сталого розвитку СЕС як процесу найкраще проводити у два етапи. По-перше, визначаються значення індикаторів, що відображають сталий розвиток. По-друге, ці значення інтегруються в єдиний комплексний показник, який називається індексом сталого розвитку.

З огляду на притаманну соціально-економічним системам складність, стан їхнього розвитку можна оцінити за допомогою як одного комплексного показника, так і системи декількох індикаторів [31-37].

Наприклад, сьогодні широко визнано, що економічний розвиток країни адекватно відображає її валовий внутрішній продукт на душу населення. Незважаючи на свої обмеження, валовий внутрішній продукт на душу населення є універсальним показником завдяки стандартизованій методології розрахунку, що дозволяє проводити порівняння між країнами та полегшує доступ до відповідних даних. Використання системи індикаторів для оцінки економічного розвитку країни дає змогу отримати більш детальне уявлення про явище, що аналізується, оскільки дає змогу більш детально представити його сутність. Однак цей підхід не набув широкого поширення, насамперед тому, що країни використовують системи індикаторів, які суттєво відрізняються як за методами розрахунку, так і за структурним складом [15, 38].

Сталий розвиток СЕС на основі одного індикатора. У рамках цього підходу будується однорядкова матриця (таблиця 3.2).

Таблиця 3.2

Матриця для кількісної оцінки сталого розвитку СЕС на основі одного індикатора

Рік	$t_1$	$t_2$	$t_3$	...	$t_3$	$t_j$	....	$t_m$
Значення індикатора	$q_1$	$q_2$	$q_3$	...		$q_j$	....	$q_m$

Звертаючись до Таблиці 3.2, розрахунки починаються з визначення значень часткових вимірів сталого розвитку, а саме інтенсивності та рівномірності. Інтенсивність розвитку представлена різницею між значеннями на початку та наприкінці досліджувального періоду.

$$\Delta Q = Q_f - Q_b, \quad (3.3)$$

де  $\Delta Q$  відображає ступінь розвитку СЕС під час досліджувального періоду.

Зміни розвитку різної величини і типу відбуваються під час досліджувального періоду внаслідок як об'єктивних, так і суб'єктивних факторів. У зв'язку з цим постає питання про те, який показник найбільш ефективно відображає інтенсивність цих змін. У контексті фактичного розвитку аналіз сприяє вивченню потенційних характерних сценаріїв (рисунок 3.2).

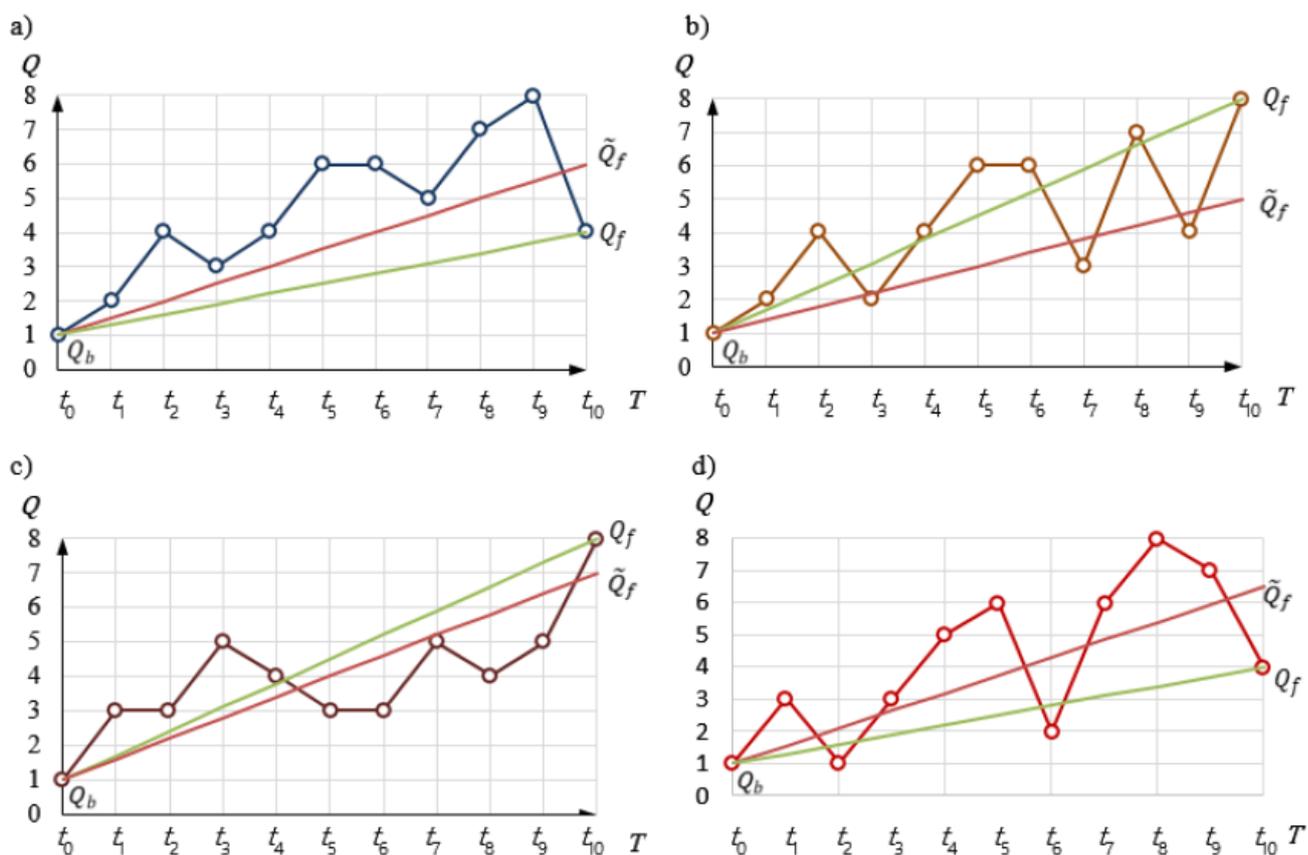


Рис. 3.2. Типові ситуації розвитку СЕС

Рисунок 3.2 ілюструє, що значення  $Q_f$  не зовсім точно відображає фактичну ситуацію з розвитком, оскільки не враховує зміни, що відбулися протягом досліджуваного періоду. Наразі ситуація з розвитком зазвичай оцінюється виключно на основі значущості розвитку за останні кілька років.

Для адекватного відображення інтенсивності розвитку важливо отримати комплексне уявлення про масштаби змін, що відбулися протягом досліджуваного періоду. Цього можна досягти за допомогою кореляційно-регресійного аналізу, який визначає статистичну залежність між залежною змінною та незалежною змінною. На практиці цей зв'язок виражається у вигляді функції ( $y = f(x)$ ), де  $y$  – залежна змінна,  $x$  – незалежна змінна. Для лінійного зв'язку ця залежність виражається як:

$$y = ax + b, \quad (3.4)$$

де  $a$  та  $b$  – невідомі параметри лінії.

Параметри  $a$  та  $b$  обчислюються за допомогою методу найменших квадратів. Емпірична функція змінної  $y$  має вигляд:

$$\tilde{y} = ax + b, \quad (3.5)$$

де  $\tilde{y}$  – залежна змінна емпіричної функції.

У цьому контексті незалежні змінні представляють послідовність часових періодів досліджувального періоду, де першому періоду присвоєно значення 1, а останньому періоду присвоєно значення  $m$ . Ці змінні є взаємно незалежними. Залежні випадкові величини відповідають значенням розширення, що спостерігаються в кінці кожного періоду. Відповідно, рівняння регресії може бути виражене як:

$$\tilde{Q}_f = at_j + b + \varepsilon, \quad (3.6)$$

де  $\tilde{Q}_f$  – значення  $Q_f$ , яке оцінює ступінь змін розвитку протягом досліджувального періоду;  $t_j$  – номер досліджувального періоду  $j$ -го часового періоду  $j = \overline{1, m}$ ,  $\varepsilon$  – випадкова похибка.

Для того, щоб показник  $\Delta Q$  був інформативним, його слід виражати не в абсолютній, а у відносній величині (коефіцієнті). У цьому випадку він стає індикатором інтенсивності розвитку СЕС на всій території досліджувального періоду:

$$K_I = \frac{\tilde{Q}_f - Q_b}{\tilde{Q}_f}, \quad (3.7)$$

де  $K_I$  – індекс інтенсивності розвитку СЕС протягом досліджувального періоду.

Рівномірність сталого розвитку СЕС визначається шляхом порівняння фактичних змін розвитку в окремі часові періоди досліджувального періоду зі сценарієм, за яким розвиток відбувається без відхилень, тобто величина розширення

рівномірно зростає протягом кожного періоду:

$$\Delta q_j = \frac{Q_f - Q_b}{T - 1}, \quad (3.8)$$

де  $\Delta q_j$  - представляє зміну розвитку явища протягом  $j$ -го періоду за ідеальних умов (без відхилень),  $T$  - кількість років.

З формули (3.8) видно, що перший досліджувальний період виключено з розрахунків, оскільки зміни в розвитку оцінюються, починаючи з другого періоду. У випадку ідеального розвитку,  $\Delta q_j = \Delta q_{j+1}$ . Використовуючи формулу (3.8), значення ідеального розвитку на кінець кожного досліджувального періоду можна визначити як:

$$\Delta \tilde{p}_j = Q_b + (j-1)\Delta q_j, \quad (3.9)$$

де  $\Delta \tilde{p}_j$ - значення ідеального розвитку СЕС на кінець  $j$ -го періоду часу.

Для ілюстрації наведено конкретний приклад (рисунок 3.3).

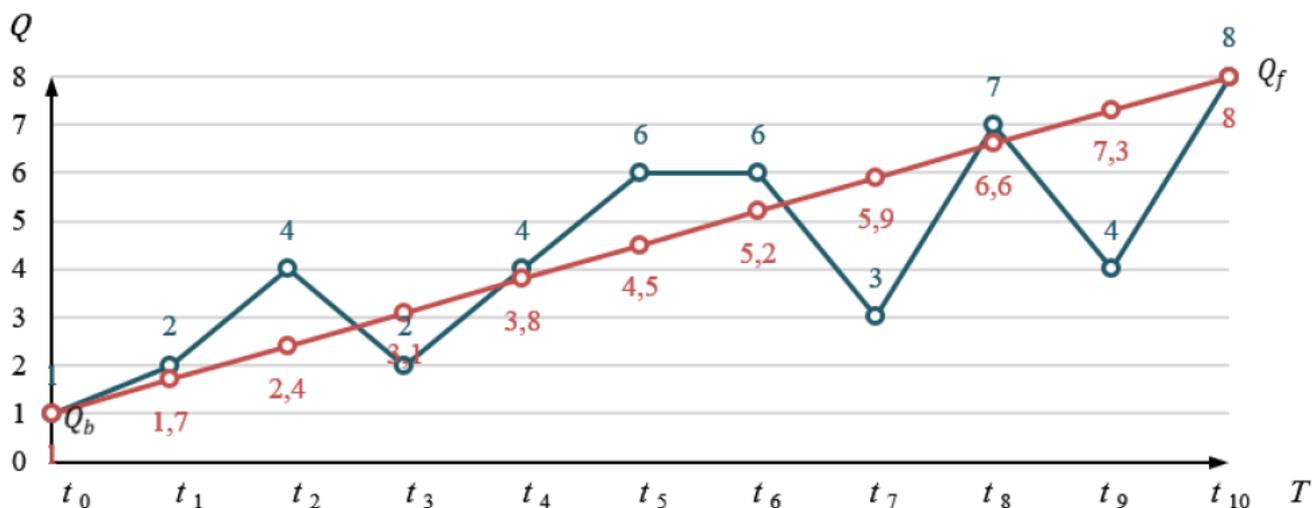


Рис. 3.3. Фактичні та розраховані (ідеальні) значення розвитку СЕС за окремими періодами в рамках досліджувального періоду

Для визначення рівномірності розвитку СЕС протягом дос необхідно порівняти фактичне значення розвитку з його максимально можливим значенням. Фактичне значення розраховується наступним чином:

$$P_T^f = \sum_{j=1}^m k_j, \quad (3.10)$$

де  $P_T^f$  - фактичне значення змін, розширення СЕС через досліджувальний період;  
 $m$  - коефіцієнт.

Величина  $k_j$ - являє собою відхилення фактичного розвитку від ідеального на кінець  $j$ -го періоду часу. Вона визначається як відношення  $q_j$  до  $\tilde{q}_j$ . Метод розрахунку залежить від того, яка величина є більшою:

$$\text{якщо } q_j > \tilde{q}_j \text{ тоді } k_j > \frac{q_j}{\tilde{q}_j}; \quad (3.11)$$

$$\text{якщо } q_j < \tilde{q}_j \text{ тоді } k_j > \frac{\tilde{q}_j}{q_j}; \quad (3.12)$$

Для першого та останнього досліджувального періоду це співвідношення завжди буде дорівнювати одиниці, як  $q_j = \tilde{q}_j$  в цих випадках. Отже, ці періоди можуть бути недооцінені. Максимально можливе значення відхилення отримуємо, коли  $k_j = 1.0$  для всіх часових періодів. У цьому випадку:

$$P_T^{\max} = N - 2, \quad (3.13)$$

де  $P_T^{\max}$ - максимально можливе значення зміни розвитку СЕС через досліджувальний період;  $N$  -кількість досліджувальних періодів.

Використовуючи формули (3.9, 3.10) індикатор рівномірності розвитку СЕС розраховується наступним чином:

$$K_T = \frac{P_T^{\max}}{P_T^f} = \frac{N-2}{P_T^f}, \quad (3.14)$$

де  $K_T$  - індикатор рівномірності розвитку СЕС.

Для отримання індексу сталого розвитку СЕС часткові показники - інтенсивність та рівномірність - повинні бути об'єднані в єдиний комплексний показник. Цього можна досягти за допомогою багатокритеріального оцінювання, оскільки відносна важливість цих індикаторів для сталого розвитку не є однаковою. Відносна важливість цих індикаторів змінюється залежно від явища, що розглядається. Незважаючи на це, можна виокремити наступні критерії завжди виконується умова:  $\sum_{i=1}^2 \omega_i = 1.0$ . Тоді індекс сталого розвитку СЕС дорівнює розраховується наступним чином:

$$K_T = R_I \omega_I + R_T \omega_T, \quad (3.15)$$

де  $K_T$  - індекс сталого розвитку СЕС;  $\omega_I$  - показник важливості інтенсивності розвитку СЕС;  $\omega_T$  - те саме, рівномірність розвитку.

*Система індикаторів оцінки сталого розвитку СЕС.* У підході, розрахунки проводяться з використанням матриці, що охоплює всі відповідні індикатори (таблиця 3.3).

Таблиця 3.3

Матриця кількісної оцінки сталого розвитку СЕС на основі системи індикаторів

Індикатори	Періоди звітної періоду						
	$t_1$	$t_2$	$t_3$	...	$i.m. \partial$	...	$i.m. \partial$
	значення індикаторів						
1	$q_{11}$	$q_{12}$	$q_{13}$	...	$q_{1j}$	...	$q_{1m}$
2	$q_{21}$	$q_{22}$	$q_{23}$	...	$q_{2j}$	...	$q_{2m}$
3	$q_{31}$	$q_{32}$	$q_{33}$	...	$q_{3j}$	...	$q_{3m}$
...	....	...	...	...		...	
$i$	$q_{i1}$	$q_{i2}$	$q_{i3}$	...	$q_{ij}$	...	$q_{im}$
....				...		...	
$n$	$q_{n1}$	$q_{n2}$	$q_{n3}$	...	$q_{nj}$	...	$q_{nm}$

Індекс інтенсивності розвитку СЕС розраховується наступним чином:

$$\tilde{K}_T = \frac{\tilde{Q}_{fi} - \tilde{Q}_{bi}}{\tilde{Q}_{fi}^T}, \quad (3.16)$$

де  $\tilde{K}_T$  - коефіцієнт інтенсивності розвитку для  $i$ -го показника;  $\tilde{Q}_{fi}$  - значення  $i$ -го показника на кінець досліджувального періоду, що відображає зміни, які відбулися протягом періоду, та  $\tilde{Q}_{bi}$  - значення  $i$ -го показника на початок досліджувального періоду.

Для проведення розрахунків за формулою (3.14) необхідно встановити сукупні значення всіх індикаторів як на початку, так і наприкінці досліджувального періоду. Ці індикатори можуть суттєво відрізнятись за різними параметрами: вони можуть бути виражені в різних одиницях виміру, змінюватись в протилежних напрямках (наприклад, зростання одних покращує ситуацію, а інших - погіршує), або мати неоднакову важливість для досліджувального періоду. У таких суперечливих ситуаціях багатокритеріальні методи добре підходять для поєднання цих показників [39-41].

Однак аналіз показує, що ці методи в першу чергу призначені для оцінки та ранжування варіантів, що передбачає нормалізацію багатовимірних показників для перетворення їх у безрозмірні, порівнянні величини:

$$\tilde{q}_{ij} = \frac{q_i}{\sum_j q_i}, \quad (3.17)$$

де  $\tilde{q}_i$  - нормалізоване значення  $i$ -го показника ( $i = \overline{1, m}$ ,  $m$  - кількість часових періодів).

Формула (3.17) показує, що цей метод нормалізації не підходить для випадків, коли метою є оцінка стану розвитку окремих досліджувальних періодів (років). У таких випадках нормалізоване значення  $j$ -го індикатора не може залежати від значень інших індикаторів, як у формулі (3.15). Для цього значення індикаторів

діляться на їх максимальне можливе значення, виражене в тій самій розмірності. У цьому підході важливо визначити таке максимальне значення, забезпечивши при цьому умова  $q_i^{max} > q_i$  виконується, де  $q_i^{max}$  - шукане максимальне значення і-го показника. Різні методи, включаючи експертні оцінки, літературні джерела, статистичні бази даних або офіційні документи, можуть для визначення цього максимального значення [42].

У цьому дослідженні за максимальне значення приймається найбільше значення індикатора за всіма розглянутими варіантами (регіонами, країнами, компаніями) та періодами досліджуваного періоду (роками). Після визначення максимальних значень для всіх індикаторів розвитку СЕС проводиться їх нормалізація:

$$\tilde{q}_i = \frac{q_{ij}}{q_i^{max}}, \quad (3.18)$$

де  $\tilde{q}_i$  - нормалізоване значення і-го показника;  $q_i^{max}$  — максимальне значення і-го показника індикатор.

Маючи нормалізовані значення, багатокритеріальні оцінки розвитку СЕС для першого та останнього періодів (років) досліджуваного періоду можуть бути проведені за допомогою таких методів, як SAW, TOPSIS; ELECTRE; PROMETHEE; VIKOR. Метод простої адитивної ваги (SAW) представлений у вигляді:

$$Q_{1,i} = \sum_{i=1}^n \omega_i \tilde{q}_{1i} (i = \overline{1, n}; j = \overline{1, m}); \quad (3.19)$$

$$Q_{im} = \sum_{i=1}^n \omega_i \tilde{q}_{mi}; \quad (3.20)$$

де  $Q_{1i}$  - значення багатокритеріальної оцінки і-го індикатора для першого періоду ДП;  $Q_{im}$  - відповідне значення для останнього досліджуваного періоду;  $\tilde{q}_{1i}$  -

трансформоване значення  $i$ -го індикатора для першого досліджуваного;  $\tilde{q}_{mi}$  - трансформоване значення для останнього досліджуваного періоду;  $\omega_i$  - вага  $i$ -го індикатора ( $i = \overline{1, n}$ ).

Використовуючи  $Q_{i1}$  та  $Q_{im}$ , індекс інтенсивності розвитку розраховується як:

$$\tilde{K}_I = \frac{Q_{im} - Q_{i1}}{Q_{im}}, \quad (3.21)$$

де  $\tilde{K}_I$  - індекс інтенсивності розвитку СЕС для  $i$ -го показника за досліджуваним періодом.

Оцінка вирівняності сталого розвитку СЕС аналогічна оцінці рівномірності за одним індикатором. Однак на основі формул (3.9-3.12) спочатку розраховуються значення рівномірності для кожного індикатора, а потім агрегуються:

$$P_T^f = \sum_{i=1}^n P_{Ti}, \quad (3.22)$$

де  $P_T^f$  - сума значень рівномірності розвитку СЕС.

Тоді загальний показник розвитку СЕС  $\tilde{P}_T$  визначається як:

$$K_T = \frac{N-2}{P_T^f}. \quad (3.23)$$

На другому етапі індекси інтенсивності та рівномірності розвитку СЕС об'єднуються за формулою (3.19) для формування єдиного індексу сталого розвитку. Третім параметром сталого розвитку СЕС є тривалість досліджуваного періода. Це питання залишається невирішеним. Якщо досліджуваний період є занадто коротким, оцінка може бути недостатньо точною. І навпаки, продовження досліджуваним періодом понад адекватну тривалість не додає ніякої цінності. Цей взаємозв'язок можна представити так, як показано на рисунку 3.4.

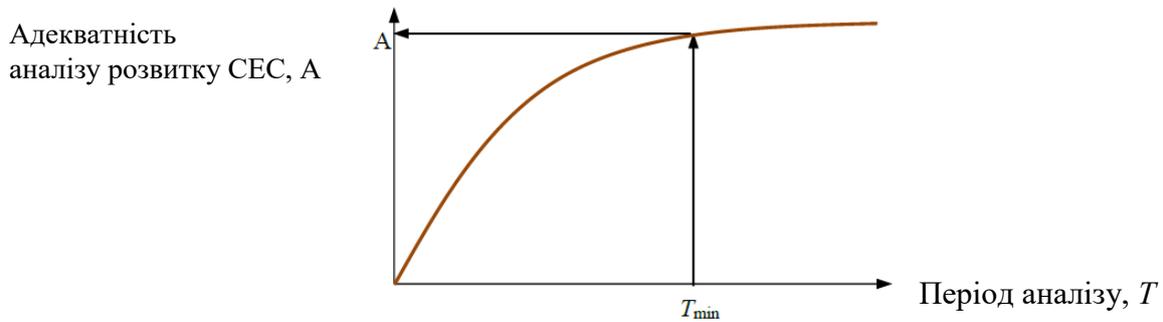


Рис. 3.4. Зв'язок між адекватністю кількісної оцінки сталого розвитку СЕС та досліджуваного періоду ( $T_{\min}$  - мінімальний період, що розглядається)

Як з наукової, так і з практичної точки зору,  $T_{\min}$  являє собою мінімальну тривалість, необхідну для адекватної оцінки. Наразі дискусії щодо сталого розвитку СЕС обмежуються періодами, обраними суб'єктивно, що дозволяє гнучко підходити до визначення досліджуваного періоду.

### 3.4. Емпіричне дослідження розвитку соціально-економічних систем

Верифікація сталого розвитку СЕС була проведена за двома сценаріями: один, де розвиток представлений одним індикатором, а інший, де він відображається через систему індикаторів. У першому сценарії основна увага приділяється змінам у зростанні чисельності населення в чеських містах, тоді як у другому - економічному розвитку конкретного регіону Литви.

Оцінка сталого зростання міського населення в Чеській Республіці.

Ця оцінка ґрунтується на змінах у зростанні населення, що спостерігалися протягом 10-річного періоду (таблиця 3.4).

Таблиця 3.4.

Приріст населення чеських міст 2011-2020 рр., відсотки (база - 2010 р.) [43]

Рік	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Значення	0.11	0.16	0.16	0.23	0.32	0.32	0.41	0.49	0.57	0.44

Таблиця 3.4, а також графічне представлення її даних демонструє, що сталий розвиток СЕС характеризується трьома основними параметрами: інтенсивністю,

рівномірністю та тривалістю досліджуваного періоду (рисунок 3.5).

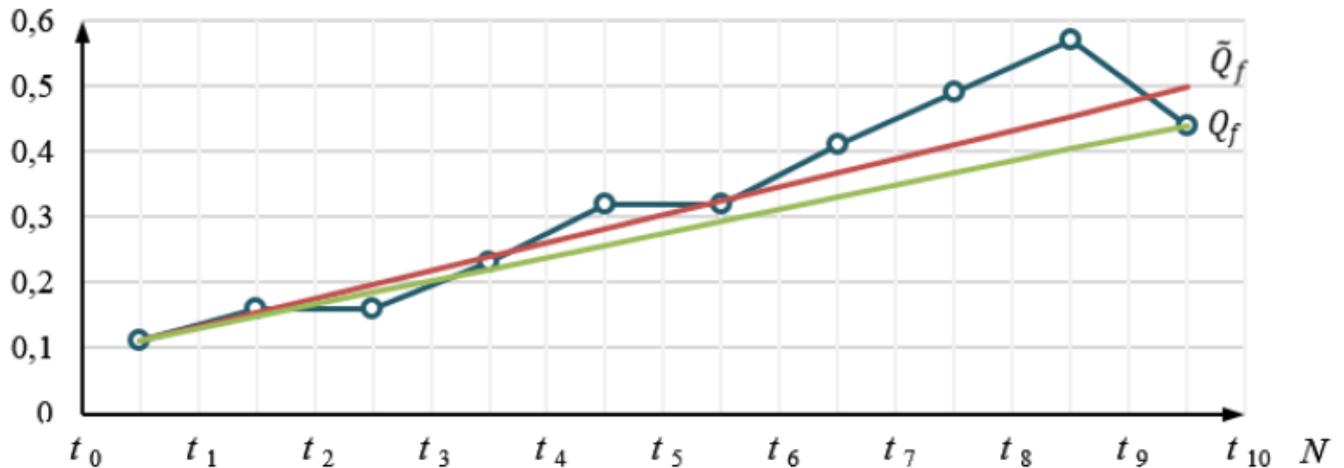


Рис. 3.5. Приріст населення в чеських містах, відсотки [43]

Рисунок 3.5 ілюструє, що інтенсивність розвитку протягом досліджуваного періоду не може бути точно оцінена лише на основі результатів останнього року. Використовуючи таблицю 3.4 та формулу (3.6), було розраховано, що трансформоване значення  $Q_f$  у  $\tilde{Q}_f$  становить 0,543 ( $Q_f = 0,44$ ). Відповідно, інтенсивність зростання населення в чеських містах у період 2009-2018 рр. визначається наступним чином:

$$P_I = \frac{0,543 - 0,11}{0,543} = 0.8$$

Для оцінки рівномірності розвитку було розраховано приріст розвитку для кожного періоду досліджуваного періоду за умови відсутності відхилень, як зазначено у формулі (3.8):

$$\Delta q_j = \frac{0,44 - 0,11}{9} = 0.037$$

Використовуючи це значення та формулу (3.9), було визначено значення розвитку для досліджуваної періоду на кінець кожного періоду (таблиця 3.5).

## Результати розрахунку сталого приросту населення в містах Чехії

Індикатори	Рік										Всі
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	
$q_j$	0.11	0.16	0.16	0.23	0.32	0.32	0.41	0.49	0.57	0.44	-
$\Delta q_j$	0.11	0.15	0.18	0.22	0.26	0.30	0.33	0.37	0.41	0.44	-
$k_j$	1	1.067	1.125	1.045	1.231	1.067	1.242	1.324	1.390	1	9.491

Використовуючи формулу (3.22), значення коефіцієнта однорідності було розраховано наступним чином  $K_T$ :

$$K_T = \frac{8}{9.491} = 0.84.$$

Для отримання узагальненої оцінки сталого розвитку необхідно визначити відносну важливість рівномірності та інтенсивності для сталого розвитку. Експертні оцінки показали, що важливість рівномірності розвитку становить 0,4, а важливість інтенсивності - 0,6. З цими ваговими коефіцієнтами індекс сталого розвитку тепер можна розрахувати за формулою (3.15):

$$K_T = 0,84 \cdot 0,4 + 0,80 \cdot 0,6 = 0,72.$$

З розрахованого значення  $K_T$  можна зробити висновок, що зростання населення в чеських містах є досить стійким розвитком.

Розрахунок сталого розвитку СЕС за допомогою системи показників.

У цьому випадку економічний сталий розвиток конкретного регіону Литви було проаналізовано за період, що передував пандемії COVID-19, а саме з 2009 по 2018 рік (таблиця 3.6).

Економічний розвиток литовського регіону 2009-2018 рр. Значення індикаторів [44]

Ряд №.	Індикатори	Одиниця виміру	Рік									
			2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
1	Безробітні	%	6.0	17.0	21.2	14.3	12.8	9.7	8.5	7.6	5.6	4.8
2	Працевлаштування	%	67.7	62.6	61.9	64.7	65.8	68.1	70.2	70.9	74.7	76.3
3	Операційний бізнес організації	шт.	28147	29670	29347	30887	30055	32073	34419	38033	40549	41090
4	Матеріальні інвестиції на одного мешканця.	Євро	3886	4126	2156	1436	2675	2937	3069	3378	2824	3256
5	Середня заробітна плата до вирахування податків	Євро	710	676	705	678	704	733	768	804	864	891
6	Оборот одного економічного організація	тис. євро	1128.2	895.2	651.1	763.9	831.9	852.5	840.2	803.1	761.6	803.4
7	ППШ на одного мешканця	тис. євро	7.2	7.1	7.5	8.6	9.6	10.8	11.2	11.8	12.3	12.4

Річні значення індикаторів не відображають належним чином зміни у розвитку, що відбулися протягом досліджуваного періоду. Тому необхідно розраховувати узагальнюючі показники. Використовуючи регресійну модель (3.6), було отримано наступні результати (таблиця 3.7).

Таблиця 3.7

Розмір  $\tilde{Q}_f$  результати розрахунків

№ індикатора	1	2	3	4	5	6	7
$\tilde{Q}_f$	4.8	74.5	40492	2878	855	755.4	13.2

Для розрахунку індексу інтенсивності розвитку спочатку необхідно визначити показники стану економічного розвитку за період 2009-2018 років. Таблиця 3.8 ілюструє, що індикатори економічного розвитку виражені в різних вимірах. Для нормалізації з таблиці 3.6 беруться максимальні значення індикаторів  $q_i^{max}$  (як

показано в таблиці 3.8).

Нормалізовані значення розраховуються за наступною формулою:

$$\tilde{q}_{i(2009)} = \frac{q_{2009}}{q^{max}}, \quad (3.24)$$

$$\tilde{q}_{i(2018)} = \frac{\tilde{Q}_{2009}}{q^{max}}, \quad (3.25)$$

де  $\tilde{q}_{i(2009)}$  - нормалізоване значення  $i$ -го показника у 2009 році;  $\tilde{q}_{i(2018)}$  - те саме, 2018 рік.

Результати розрахунків за формулою (3.18) наведено в таблиці 3.8.

На основі експертних оцінок були визначені ваги, присвоєні індикаторам економічного розвитку регіону, що розглядається. Стан економічного розвитку для першого та останнього років досліджуваного періоду було розраховано за допомогою моделі багатокритеріального оцінювання методом простої адитивної ваги:

$$K_i = \sum_{i=1}^n \omega_i \tilde{q}_i \quad (3.26)$$

де  $K_i$ , - значення багатокритеріальної оцінки стану економічного розвитку  $i$ -го регіону, розраховане за методом методом простої адитивної ваги.

Економічний розвиток регіонів Литви 2009-2018 рр.. Максимальні та нормалізовані значення показників

Індикатори	Безробіття, відсоток	Зайнятість, відсоток	Діючі суб'єкти господарювання, одиниць	Матеріальні інвестиції на одного мешканця, євро	Серед ня зарпла та брутто , євро	Оборот одного суб'єкта господар ювання, тис. євро	Прямі іноземні інвестиції на одного мешканця
Розмір значення $q_i^{max}$	21,2	76,3	410909	4126	891	1128,2	12,4
Нормалізовано значення, $\tilde{q}_{i(2009)}$	0,28	0,89	0,68	0,94	0,80	1,00	0,58
Нормалізовано значення, $\tilde{q}_{i(2018)}$	0,23	1,00	1,00	0,79	1,00	0,71	1,00
Індикатор ваги, $\omega_i$	0,15	0,10	0,15	0,10	0,15	0,25	0,10

Використовуючи формули (3.19-3.20), значення  $K$  було визначено на рівні 0,76 для 2009 року та 0,79 для 2018 року. Потім за формулою (3.15) було розраховано індекс інтенсивності регіонального економічного розвитку:

$$K_1 = \frac{0,79 - 0,76}{0,79} = 0,04$$

Зі значення  $K_1$  можна зробити висновок, що економічний розвиток регіону протягом 2009-2018 років був низьким. Рівномірність показників економічного розвитку регіону була оцінена за формулами (3.10-3.12), в результаті чого  $K_T = 0,77$ . Використовуючи формулу (3.14), індекс сталого розвитку для економічного розвитку розраховувався показник розвитку регіону, що розглядається. Експерти присвоїли вагу 0,7 інтенсивності розвитку та 0,3 рівномірності. Отримане значення індексу сталого розвитку становить 0,37. Це свідчить про те, що економічний розвиток регіону є відносно рівномірним, але йому не вистачає інтенсивності, і, як

наслідок, він не демонструє високого рівня сталого розвитку.

Це свідчить про те, що хоча економічний розвиток регіону демонструє відносно стабільне зростання, йому не вистачає інтенсивності. Отже, регіон не демонструє високого рівня сталого економічного розвитку.

## Висновки до третього розділу

Визначено, що фундаментальною передумовою сталого розвитку соціально-економічних систем є безперервність розвитку, яка характеризується послідовністю, стабільністю та стійкістю до зовнішніх впливів.

Обґрунтовано підхід до кількісної оцінки сталого розвитку на основі двох ключових параметрів — інтенсивності та рівномірності розвитку.

Побудовано модель кореляційно-регресійного аналізу, у якій значення розвитку СЕС на кінець періоду розглядається як залежна змінна, а кількість часових періодів — як незалежна.

Визначено показник розвитку як відношення фактичних змін до ідеального (безвідхильного) розвитку.

Запропоновано узагальнений індекс сталого розвитку, який поєднує інтенсивність і рівномірність за допомогою методу простої адитивної ваги з урахуванням різної вагомості індикаторів.

Проведено апробацію методики на двох практичних прикладах — з одним індикатором і з системою індикаторів; підтверджено її надійність і практичну придатність.

Окреслено перспективи подальших досліджень, спрямованих на визначення мінімальної тривалості періоду спостереження для досягнення балансу між точністю та економічністю оцінювання.

### Список використаних джерел

1. Ginevicius R., Trishch R., Bilan Y., Lis M., Pencik J. Assessment of the Economic Efficiency of Energy Development in the Industrial Sector of the European Union Area Countries. *Energies*. 2022. vol. 15. 3322. doi: 10.3390/en15093322. 9.
2. Argotti Y., Baron C., Esteban P. Quality quantification in Systems Engineering from the Qualimetry Eye. *2019 IEEE International Systems Conference (SysCon)*. 2019. P. 1–8. doi: 4.1109/SYSCON.2019.8836756. 10.
3. Yazdani M., Tavana M., Pamučar D., Chatterjee P. A rough based multi-criteria evaluation method for healthcare waste disposal location decisions. *Computers & Industrial Engineering*, 2020, vol. 143, 106394. doi:10.1016/j.cie.2020.106394.
4. Черняк О. М., Сороколат Н. А., Багаєв І. О., Фатєєва Л. Ю. Застосування функціональної залежності для безпеки праці, як об'єкта кваліметрії. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2022. № 1 (19). С. 76–84. DOI: <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2022.19.076>
5. Mammela J., Juuti T., Julkunen P. Technology Valuation Method for Supporting Knowledge Management in Technology Decisions to Gain Sustainability. *Sustainability*. 2019. Vol. 11. Article 3410. DOI: 10.3390/su11123410.
6. Khoso A. R., Yusof A. M., Khahro S. H., Abidin N. I. A. B., Memon N. A. Automated two-stage continuous decision support model using exploratory factor analysis-MACBETH-SMART: an application of contractor selection in public sector construction. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*. 2021. DOI: 10.1007/s12652-021-03186-w.
7. Birjandi A. K., Akhyanu F., Sheikh R., Sana S. S. Evaluation and selecting the contractor in bidding with incomplete information using MCGDM method. *Soft Computing*. 2019. P. 10569–10585. DOI: 10.1007/s00500-019-04050-y.
8. Chen Z. S., Zhang X., Pedrycz W., Wang X. J., Skibniewski M. J. Bild evaluation in civil construction under uncertainty: A two-stage LSP-ELECTRE III-based approach. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. 2020. Vol. 94. Article 103835. DOI: 10.1016/j.engappai.2020.103835.

9. Chen Z. S., Zhang X., Rodríguez R. M., Pedrycz W., Martínez L. Expertise-based bid evaluation for construction-contractor selection with generalized comparative linguistic ELECTRE III. *Automation in Construction*. 2021. Vol. 125. Article 103578. DOI: 10.1016/j.autcon.2021.103578.
10. Marović I., Perić M., Hanak T. A multi-criteria decision support concept for selecting the optimal contractor. *Applied Sciences*. 2021. Vol. 11, No. 4. Article 1660. DOI: 10.3390/app11041660.
11. Sutthichaimethee P., Mentel G., Voloshyn V., Mishchuk H., Bilan Y. Modeling the Efficiency of Resource Consumption Management in Construction Under Sustainability Policy: Enriching the DSEM-ARIMA Model. *Sustainability*. 2024. Vol. 16, No. 24. Article 10945. DOI: 10.3390/su162410945.
12. Hwang C. L., Yoon K. *Multiple Attribute Decision Making. Methods and Application a State-of-the-Art Survey*. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems 186. Berlin, Heidelberg: Springer, 1981.
13. Ginevičius, R. Complex quantitative assessment of social research survey results. *Journal of International Studies*. 2024. №17(4). P. 278-289. doi:10.14254/2071-8330.2024/17-4/16
14. Ginevičius R., Gedvilaitė D., Stasiukynas A., Šliogerienė J. Quantitative Assessment of the Dynamics of the Economic Development of Socioeconomic Systems Based on the MDD Method. *Inžinerinė Ekonomika-Engineering Economics*. 2018. Vol. 29, No. 3. P. 264–271. DOI: 10.5755/j01.ee.29.3.20444.
15. Ginevičius R., Trishch R., Bilan Y., Lis M., Pencik J. Assessment of the Economic Efficiency of Energy Development in the Industrial Sector of the European Union Area Countries. *Energies*. 2022. Vol. 15, No. 9. Article 3322.
16. Du, W., Yan, H., Feng, Z., Liu, G., Li, K., Peng, L., Xiang, X., & Yang, Y. (2024). Zoning for the sustainable development mode of global social-ecological systems: From the supply-production-demand perspective. *Resources, Conservation and Recycling*. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2024.107447>.

17. Henderson, K., & Loreau, M. (2023). A model of Sustainable Development Goals: Challenges and opportunities in promoting human well-being and environmental sustainability. *Ecological Modelling*. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2022.110164>.

18. Jie, H., Khan, I., Alharthi, M., Zafar, M., & Saeed, A. (2023). Sustainable energy policy, socio-economic development, and ecological footprint: The economic significance of natural resources, population growth, and industrial development. *Utilities Policy*. <https://doi.org/10.1016/j.jup.2023.101490>.

19. Oželienė D. *Modelling the factors of a company's sustainable development*. Doctoral dissertation. Vilnius: Technika, 2019.

20. Komakha L. Evolution of the concept of sustainable development in public administration discourse: territorial context. *Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Public Administration*. 2024. №2(20). P. 25-28. <https://doi.org/10.17721/2616-9193.2024/20-4/12>.

21. Dima B., Dima Ş. M., Tudor A. T. Societal sustainable development and long-run economic growth: How do we stand? *Sustainable Development*. 202432 (4). P. 4222–4249. <https://doi.org/10.1002/sd.2896>

22. Volkov A. *Assessment of the impact of the common agricultural policy direct payments system on agricultural sustainability*. Doctoral dissertation. Vilnius: Technika, 2018. URL: <https://vb.lcss.lt/object/elaba:30829704/index.html>.

23. Stojanov R., Němec D., Židek L. Evaluation of the Long-Term Stability and Impact of Remittances and Development Aid on Sustainable Economic Growth in Developing Countries. *Sustainability*. 201911(6). 1538. <https://doi.org/10.3390/su11061538>

24. Dastidar, S.G. Impact of Remittances on Economic Growth in Developing Countries. *Global Economy Journal*. 2017. №13. 20160066. <https://doi.org/10.1515/gej-2016-0066>

25. Streimikiene D., Mikalauskiene A., Burbaite G. The role of sustainable finance in achieving sustainable development goals. *Economics and Sociology*. 2023. Vol. 16, No. 1. P. 271–298. DOI: 10.14254/2071-789X.2023/16-1/17.

26. Dong Q., Bilan Y. Effect of Free Trade Area Policy on Innovation Capability in the Service Industry. *Amfiteatru Economic*. 2024. Vol. 26, No. 66. P. 589–589.

27. Dankiewicz R., Balawejder B., Chudy-Laskowska K., Britchenko I. Impact factors and structural analysis of the state's financial security. *Journal of International Studies*. 2022. Vol. 15/ No. 4. P. 80–92. DOI: 10.14254/2071-8330.2022/15-4/5.

28. Molendowski E., Petraškevičius V. International competitive positions of the Baltic States – changes and determinants in the post-accession period. *Journal of Business Economics and Management*. 2020. Vol. 21, No. 3. P. 706–724. DOI: 10.3846/jbem.2020.11983.

29. Niu Z., Zhang Y., Li T., Baležentis T., Štreimikienė D., Shen Z. Total factor productivity growth in China's corn farming: an application of generalized productivity indicator. *Journal of Business Economics and Management*. 2021. Vol. 22, No. 5. P. 1189–1208. DOI: 10.3846/jbem.2021.15105.

30. Qin M., Su C.-W., Xiao Y.-D., Zhang S. Should gold be held under global economic policy uncertainty? *Journal of Business Economics and Management*. 2020. Vol. 21, No. 3. P. 725–742. DOI: 10.3846/jbem.2020.12040.

31. Bolcarova P., Kološta S. Assessment of sustainable development in the EU27 using aggregated SD index. *Ecological Indicators*. 2015. Vol. 48. P. 699–705. DOI: 10.1016/j.ecolind.2014.09.001

32. Radovanović M., Lior N. Sustainable economic–environmental planning in Southeast Europe – beyond GDP and climate change emphases. *Sustainable Development*. 2017. Vol. 25, No. 6. P. 580–594. DOI: 10.1002/sd.1679.

33. Babu S., Datta S. Revisiting the link between socio-economic development and environmental status indicators focus on panel data. *Environment Development and Sustainability*, 2015, vol. 17, no. 3, pp. 567–586. DOI: 10.1007/s10668-014-9561-6.

34. Kozyreva O., Sagaidak-Nikituk R., Demchenko N. Analysis of the socio-economic development of Ukrainian regions. *Baltic Journal of Economic Studies*. 2017. Vol. 3, No. 2. P. 51–58. DOI: 10.30525/2256-0742/2017-3-2-51-58.

35. Jędrzejczak-Gas J., Barska A. Assessment of the Economic Development of Polish Regions in the Context of the Implementation of the Concept of Sustainable

Development - Taxonomic Analysis. *European Journal of Sustainable Development*. 2019. Vol. 8, No. 5. P. 222–233. DOI: 10.14207/ejsd.2019.v8n5p222.

36. Termosa I. The ways of forming the sustainable development of rural areas of Ukraine. *Economics, Management and Sustainability*. 2017. Vol. 2, No. 1. P. 76–82. DOI: 10.14254/jems.2017.2-1.7.

37. Sytnik I., Stopochkin A., Wielki J., Edaich S., Sytnik B. Prerequisites and scenarios for the EU economy transformation in light of Industry 4.0 development. *Journal of International Studies*. 2023. Vol. 16, No. 2. P. 85–101. DOI: 10.14254/2071-8330.2023/16-2/5.

38. Trishch R. M., Sichinava A., Bartoš V., Stasiukynas A., Schieg M. Comparative assessment of economic development in the countries of the European Union. *Journal of Business Economics and Management*. 2023. Vol. 24, No. 1. P. 20–36. DOI: 10.3846/jbem.2023.18320.

39. Черняк О., Сороколат Н., Бурдейна В., Фатеева Л., Багаєв І. Застосування методу середніх прямокутників для отримання комплексного показника безпеки праці. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2023. №1(23). С. 115–122. doi: 10.30837/ITSSI.2023.23.115

40. Сороколат Н. А., Фатеева Л. Ю. Застосування функції помилок для оцінювання якості об'єктів кваліметрії. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. 2022. № 4 (14). С. 53-58. doi:10.20998/2413-4295.2022.04.08

41. Cherniak O., Trishch R., Ginevičius R., Nechuiviter O., Burdeina V. Methodology for Assessing the Processes of the Occupational Safety Management System Using Functional Dependencies. *Lecture Notes in Networks and Systems (LNNS)*. 2024. Vol. 996. P. 3–13. DOI: 10.1007/978-3-031-60549-9\_1.

42. Podvieszko A. *Evaluation of financial stability of commercial banks*. Doctoral dissertation. Vilnius: Technika, 2013.

43. Eurostat. At-risk-of-poverty thresholds - EU-SILC and ECHP surveys. 2021. URL: [https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/ILC\\_LI04/default/table?lang=en](https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/ILC_LI04/default/table?lang=en)

44. Lietuvos apskritys. Vikipedija Laisvoji enciklopedija. 2023 m. April 3 d. URL:  
[https://lt.wikipedia.org/wiki/Lietuvos\\_apskritys](https://lt.wikipedia.org/wiki/Lietuvos_apskritys)

## РОЗДІЛ 4. ВИРОБНИЧІ СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНІ СИСТЕМИ

### 4.1. Виробничі соціально-економічні системи як об'єкт наукового аналізу

Виробничі соціально-економічні системи є ключовими структурними елементами сучасного суспільного розвитку, адже саме вони забезпечують створення та розподіл матеріальних і нематеріальних благ, необхідних для життєдіяльності соціуму. Їхня функціональна присутність простежується у всіх сферах суспільного буття – від процесів споживання товарів і послуг до організації інформаційних потоків, транспортної інфраструктури та комунального забезпечення. У своїй сутності ці системи являють собою інтегративні утворення, що об'єднують людські ресурси, технологічні засоби, матеріальні й фінансові компоненти, а також механізми управління.

З позицій системного підходу термін «виробнича соціально-економічна система» має багатокомпонентний зміст. Атрибут «виробнича» вказує на спрямованість на створення благ – як у матеріальній сфері (промислове виробництво), так і в нематеріальній (сфера послуг, інформаційні технології). Елемент «соціально-економічна» акцентує на інтеграції економічної та соціальної площин функціонування. Таким чином, такі системи поєднують процеси досягнення економічної результативності (прибутковість, продуктивність, конкурентоспроможність) з реалізацією соціальних функцій (забезпечення умов праці, розвиток персоналу, соціальний захист, формування колективних цінностей).

У науковій літературі виробничі соціально-економічні системи розглядаються як складні, відкриті та динамічні утворення, що функціонують у тісній взаємодії із зовнішнім середовищем. Це середовище охоплює ринкові відносини, державну політику, суспільні інститути, міжнародні організації та природно-екологічні фактори. Кожне підприємство або організація не може існувати ізольовано, оскільки залежить від постачальників, споживачів, фінансово-кредитних установ, органів державного регулювання та конкурентного оточення.

Внутрішня структура виробничої соціально-економічної системи, як правило, представлена низкою взаємопов'язаних підсистем: виробничою, фінансовою,

управлінською, маркетинговою та соціальною. Їхня координація забезпечує цілісність функціонування системи. Виробнича підсистема здійснює безпосереднє створення благ; фінансова – відповідає за акумуляцію, розподіл і використання ресурсів; управлінська – реалізує процеси планування, організації, мотивації та контролю; маркетингова – формує зв'язки з ринком і споживачами; соціальна – забезпечує розвиток персоналу, підтримку корпоративної культури та соціальну стабільність.

Ключовим елементом у функціонуванні систем виступає людина, яка є не лише об'єктом впливу, а й активним суб'єктом прийняття рішень, генератором інновацій та носієм соціальних відносин. Саме людський фактор визначає якість управлінських рішень, інноваційний потенціал і стабільність організаційного розвитку. Наявність ефективних механізмів мотивації, соціального захисту та професійного розвитку працівників виступає критичною умовою результативності виробничих соціально-економічних систем.

Управління цими системами є багаторівневим і комплексним процесом, який включає стратегічний рівень (визначення довгострокових цілей, інноваційних орієнтирів і напрямів розвитку) та тактичний рівень (оперативне планування, контроль і координація поточної діяльності). Сучасна практика менеджменту підтверджує актуальність впровадження міжнародних стандартів управління якістю (наприклад, ISO 9001), що сприяють підвищенню прозорості управлінських процесів, зростанню ефективності та гармонізації взаємодії між підсистемами [1].

Особливістю розвитку виробничих соціально-економічних систем у XXI столітті є необхідність постійної адаптації до мінливих умов глобалізованого середовища. До основних викликів належать нестабільність ринків, обмеженість ресурсів, підвищення екологічних вимог та цифрова трансформація. У цьому контексті концепція «Індустрія 4.0» виступає яскравим прикладом інституційних змін, що передбачають інтеграцію штучного інтелекту, роботизації, Інтернету речей, великих даних та цифрових платформ у виробничі процеси. Відповідно змінюється і роль людини: від виконавця рутинних операцій до носія творчих, стратегічних та управлінських функцій.

Не менш значущим аспектом є соціальна відповідальність організацій. Сучасні виробничі соціально-економічні системи не можуть обмежуватися лише досягненням економічної ефективності, адже їхня стійкість і конкурентоспроможність великою мірою визначаються здатністю враховувати інтереси працівників, підтримувати екологічні стандарти та брати участь у соціально значущих ініціативах. Таким чином, корпоративна соціальна відповідальність стає не додатковим інструментом, а невід'ємним елементом стратегії довгострокового розвитку.

Узагальнюючи, виробничі соціально-економічні системи можна визначити як складні, багаторівневі та адаптивні утворення, що інтегрують економічні та соціальні складові, забезпечуючи сталий розвиток суспільства. Їхнє дослідження має не лише теоретичне, але й прикладне значення: для науки – це можливість розширення міждисциплінарного аналізу в межах економіки, менеджменту та соціології; для практики – орієнтир у формуванні конкурентоспроможних підприємств; для держави – база для розробки ефективної соціально-економічної політики.

Перспективи подальшого розвитку цих систем пов'язані з підвищенням рівня їхньої гнучкості, інноваційності та соціальної спрямованості. Ефективність у майбутньому визначатиметься не лише кількісними показниками виробництва, а передусім здатністю створювати комплексну цінність для людини, суспільства й довкілля.

Оцінювання ефективності виробничих соціально-економічних систем є одним із ключових завдань сучасної економічної науки та управлінської практики. В умовах глобальної конкуренції традиційні показники результативності (обсяг виробництва, рівень рентабельності, коефіцієнт використання ресурсів) поступово відходять на другий план, а центральним критерієм виступає якість продукції та послуг. Саме якість стає інтегральним індикатором стану системи, який відображає як її економічну, так і соціальну складову.

Кількісне оцінювання виробничих систем через призму якості продукції базується на використанні комплексу показників, що дозволяють визначити ступінь

відповідності виробів або послуг встановленим стандартам, нормативним вимогам та очікуванням споживачів. До таких показників належать:

- частка продукції, що відповідає стандартам ISO або національним нормативам;
- рівень браку та дефектності у виробництві;
- коефіцієнт надійності та довговічності продукції;
- показники задоволеності споживачів;
- рівень реклаमाцій і гарантійних витрат;
- індекс інноваційності продукції (частка нових або вдосконалених товарів у загальному обсязі виробництва).

Важливим методологічним підходом до кількісного оцінювання є використання інтегральних показників якості, які об'єднують у собі кілька критеріїв. Так, узагальнений індекс якості може формуватися шляхом зваженого підсумовування коефіцієнтів, що характеризують технічні параметри виробу, його ергономіку, безпеку, екологічність та економічну ефективність.

З точки зору системного аналізу, якість продукції виступає зовнішнім відображенням внутрішньої ефективності соціально-економічної системи. Якщо система має узгоджені виробничі, управлінські та соціальні підсистеми, це безпосередньо проявляється у високих кількісних оцінках якості кінцевого продукту. Натомість дисбаланс у будь-якій із підсистем (наприклад, недостатня мотивація персоналу, слабкий контроль якості або низький рівень інновацій) призводить до зростання браку та зниження конкурентоспроможності продукції.

Кількісне оцінювання якості уможлиблює також багатокритеріальну оптимізацію системи. Це означає, що підприємство може приймати управлінські рішення, виходячи з аналізу взаємозв'язку між витратами на забезпечення якості та досягнутим рівнем задоволеності споживачів. У такому випадку якість розглядається не лише як технічна характеристика, а як економічна категорія, що відображає доцільність і ефективність функціонування системи.

З огляду на зазначене, кількісне оцінювання виробничих соціально-економічних систем у контексті якості продукції можна визначити як комплексну

процедуру, яка поєднує техніко-економічний аналіз, соціальні індикатори та методи управління якістю. Результати такого оцінювання слугують підґрунтям для стратегічного планування, удосконалення виробничих процесів та підвищення конкурентоспроможності організацій у глобальному середовищі.

Якість виробничих соціально-економічних систем безпосередньо корелює з якістю продукції, яку вони створюють, оскільки кінцевий результат діяльності системи є відображенням рівня організації всіх її підсистем – виробничої, управлінської, фінансової та соціальної. Високі стандарти у внутрішніх процесах забезпечують стабільність та надійність кінцевого продукту, тоді як недоліки в управлінні, технологіях чи кадровій політиці неминуче проявляються у зниженні якості виробів. Показовим прикладом є машинобудівне підприємство: якість його соціально-економічної системи оцінюється не лише за фінансовими показниками чи ефективністю управління, а насамперед за якістю виготовленої продукції. Якщо вироблені машини відповідають міжнародним стандартам, демонструють високу надійність, безпеку та конкурентоспроможність на ринку, це свідчить про ефективність усіх внутрішніх процесів підприємства як цілісної системи. Навпаки, зростання частки бракованої продукції чи високий рівень рекламаций є сигналом дисфункцій у системі та потреби в її реорганізації.

У сучасних умовах розвитку машинобудівного виробництва питання підвищення ефективності управління якістю механічної обробки набуває особливої актуальності, зокрема у сегменті дрібносерійного та багатомоделного виробництва. Таке виробництво характеризується частими змінами технологічних налаштувань, короткими виробничими циклами, варіативністю конструкцій деталей і необхідністю швидкого переходу між різними типами продукції. За таких умов забезпечення стабільної якості механічної обробки стає важливим чинником конкурентоспроможності підприємства, а процес контролю якості — невід'ємною частиною системи управління виробництвом. У роботі розглядається концепція підвищення ефективності управління якістю процесів механічної обробки шляхом використання сучасних статистичних методів аналізу й діагностики, які

забезпечують оперативне виявлення тенденцій зміни точності та стабільності процесу.

Одним із найперспективніших інструментів статистичного контролю є метод кумулятивних сум (CUSUM), який довів свою ефективність у системах моніторингу, де важливо відстежувати поступові зміни параметрів процесу у часі. На відміну від класичних підходів, що базуються на аналізі середніх значень або розмаху, метод кумулятивних сум дозволяє враховувати накопичений ефект малих відхилень, які окремо можуть бути статистично незначними, але сукупно призводять до зміщення технологічного процесу від оптимального режиму. Це особливо важливо для токарних операцій, де точність обробки визначається не лише параметрами різання, а й температурною стабільністю, зносом інструменту, жорсткістю системи «верстат–інструмент–деталь» та впливом зовнішніх факторів.

У дослідженні обґрунтовано доцільність застосування контрольних карт кумулятивних сум (CUSUM-карт) як інструменту оперативної діагностики якості технологічного процесу під час роботи токарних верстатів з числовим програмним керуванням (ЧПК). Такі карти дозволяють своєчасно виявляти відхилення технологічних параметрів, які свідчать про погіршення стану обладнання або про зміну умов обробки. На відміну від традиційних статистичних методів, CUSUM-карти враховують часову послідовність даних, що дає змогу простежити динаміку процесу в реальному часі, оцінити його стабільність і швидко реагувати на потенційні порушення.

Для експериментальної перевірки методики було проведено дослідження процесу механічної обробки фланця колінчастого вала, виготовленого зі сталі марки 20Х, на токарно-гвинторізному верстаті 16К20Ф3 із числовим програмним керуванням. Такий вибір об'єкта дослідження обумовлений тим, що обробка колінчастого вала є одним із найбільш відповідальних етапів у машинобудівному виробництві, де точність геометричних параметрів визначає подальшу працездатність і ресурс двигуна. У процесі експерименту було сформовано 25 вибірок по 5 одиниць продукції кожна, на основі яких здійснювалося вимірювання

відхилень від номінальних розмірів. Отримані дані стали основою для побудови кумулятивних кривих, що відображають зміну якості процесу у часі.

На базі експериментальних спостережень були побудовані графіки зміни кумулятивних сум, які дозволили простежити динаміку зміни точності обробки та оцінити стабільність роботи системи. Аналіз форми отриманих кривих дав змогу встановити чітку залежність між нахилом кривої та рівнем якості технологічного процесу. Зокрема, горизонтальний характер лінії CUSUM свідчить про стабільний процес із мінімальними відхиленнями від номіналу; спадна тенденція сигналізує про накопичення негативних відхилень, що може бути пов'язане з погіршенням точності або зносом інструменту; висхідна крива, навпаки, вказує на стабільно високу якість і можливість підвищення продуктивності без втрати точності.

Крім якісного аналізу графічних даних, у межах дослідження розроблено математичний апарат для кількісного визначення комплексного показника якості механічної обробки. Цей показник формується з урахуванням вагомості окремих параметрів, таких як точність розмірів, шорсткість поверхні, відхилення форми та взаємного розташування поверхонь, а також параметри стабільності технологічного режиму. Для кожного з показників розраховуються стандартизовані оцінки, які потім агрегуються у єдиний інтегральний індекс. Отриманий комплексний показник має високу кореляцію з рівнем технологічної дисципліни процесу та може використовуватися як критерій його оцінки, а також як основа для розроблення системи автоматичного управління якістю.

Розроблена методика дозволяє не лише виявляти відхилення у процесі, а й прогнозувати можливі відмови або погіршення якості продукції ще до появи браку. Наприклад, аналіз нахилу кумулятивної кривої в реальному часі може використовуватися для сигналізації про необхідність 122о елементних122ння верстата або заміни ріжучого інструменту. Таким чином, запропонований підхід забезпечує перехід від пасивного контролю до активного управління якістю, що відповідає сучасним тенденціям цифрового виробництва та концепції «Індустрія 4.0».

Крім того, результати проведеного дослідження мають практичну цінність для підприємств, що спеціалізуються на малосерійному та індивідуальному виробництві машинобудівної продукції. В умовах, коли кожна партія виробів має унікальні параметри, а обсяги випуску не дозволяють застосовувати складні багаторівневі системи статистичного аналізу, метод кумулятивних сум виступає простим і водночас потужним інструментом моніторингу. Його використання забезпечує можливість швидкої діагностики технологічного процесу без необхідності проведення великої кількості вимірювань, що істотно скорочує витрати часу і ресурсів.

Практична реалізація запропонованої методики передбачає створення еталонної CUSUM-карти, побудованої на основі статистичних характеристик стабільного процесу. Надалі така карта використовується як база для порівняння реальних даних, що надходять з виробництва. Будь-яке відхилення форми поточної кривої від еталонної служить сигналом для проведення коригувальних дій. Це дозволяє формувати ефективну систему оперативного контролю якості, здатну працювати в умовах обмеженої інформації, високої мінливості процесів та необхідності швидкого реагування на зміни.

Підсумовуючи результати дослідження, можна зробити висновок, що впровадження CUSUM-карт у практику контролю точності механічної обробки на токарних верстатах з ЧПК є одним із найефективніших шляхів підвищення рівня якості машинобудівної продукції. Розроблений підхід дозволяє поєднати статистичну точність, простоту реалізації та адаптивність до умов конкретного виробництва. Його використання сприяє стабілізації технологічного процесу, зниженню кількості дефектів, підвищенню надійності устаткування і, зрештою, покращенню економічних показників діяльності підприємства.

Таким чином, результати проведених досліджень можуть бути застосовані для побудови системи оперативного контролю і підвищення якості продукції у малосерійному та багатомініклатурному машинобудівному виробництві. Запропонований підхід поєднує наукову обґрунтованість, математичну строгість і

практичну ефективність, відкриваючи нові можливості для розвитку методів статистичного управління якістю у високотехнологічних галузях промисловості.

Якість продукції (включно з новизною, технічним рівнем, відсутністю дефектів у виконанні, надійністю в експлуатації) є одним із найважливіших засобів конкурентної боротьби, завоювання й утримання позицій на ринку. Тому організації приділяють особливу увагу забезпеченню високої якості продукції, встановлюючи контроль на всіх стадіях виробничого процесу, починаючи з контролю якості сировини і матеріалів, що використовуються, та закінчуючи визначенням відповідності випущеного продукту технічним характеристикам і параметрам не тільки під час його випробувань, а й у процесі експлуатації, а для складних видів устаткування – з наданням визначеного гарантійного терміну після встановлення устаткування на підприємстві замовника. Тому управління якістю продукції стало основною частиною виробничого процесу і спрямоване не стільки на виявлення дефектів або браку в готовій продукції, скільки на контроль якості виробу в процесі його виготовлення.

#### **4.2. Комплексна оцінка якості технологічного процесу механічної обробки**

Якість технологічного процесу є складною інтегральною характеристикою, що формується під впливом великої кількості взаємопов'язаних факторів, які охоплюють технічні, організаційні, метрологічні, кадрові та інформаційні аспекти діяльності виробничої системи. Вона визначається сукупністю властивостей процесу, які забезпечують отримання продукції із заданими параметрами точності, надійності, довговічності та функціональної стабільності. Основними узагальненими показниками, які визначають якість технологічного процесу, традиційно вважаються точність, продуктивність і надійність. Ці показники відображають не лише технологічний рівень виробництва, але й ступінь стабільності роботи устаткування, ефективність прийнятих організаційних рішень, а також досконалість системи управління процесом і компетентність персоналу, який його обслуговує.

Нова модель металорізального верстата, створена з урахуванням сучасних тенденцій розвитку машинобудівної галузі, підлягає всебічним випробуванням, метою яких є встановлення комплексу якісних показників, що характеризують її експлуатаційні, технічні та метрологічні властивості. Під час проведення таких випробувань враховуються не лише результати прямих вимірювань геометричних параметрів, але й дані про стабільність технологічних режимів, рівень вібрацій, точність позиціонування, якість поверхневого шару деталі. Отримані результати випробувань слугують основою для кількісної оцінки рівня якості та визначення напрямів технічного удосконалення верстата шляхом порівняння фактичних значень параметрів з нормативними величинами, сформованими відповідно до вимог споживачів щодо точності обробки, продуктивності виготовлення деталей і стабільності технологічного процесу.

Кожен тип металорізального обладнання має власну систему показників геометричної точності, які є визначальними при оцінюванні його технічного стану, зносостійкості та придатності до виконання конкретних технологічних операцій. До таких показників належать відхилення прямолінійності, площинності, співвісності, перпендикулярності та концентричності. Ці показники регламентуються чинними нормативно-технічними документами, що встановлюють норми точності для різних груп і класів верстатів. Стандарти, які діють як в Україні, так і за кордоном, побудовані на спільних методологічних принципах метрологічного забезпечення та базуються на результатах фундаментальних досліджень провідних учених у галузі машинобудування, точного приладобудування та технології машин. Однак спільним недоліком більшості таких стандартів є те, що регламентовані в них параметри геометричної точності не відображають безпосереднього зв'язку між похибками геометрії верстата та фактичними відхиленнями форми і взаємного розташування поверхонь деталі, оброблюваної на ньому. Це ускладнює побудову прямих залежностей між точністю верстата, станом його кінематичних ланцюгів та якістю готового виробу, що, у свою чергу, обмежує можливості інтегрованого контролю якості у виробничому середовищі.

Система перевірки точності металорізальних верстатів упродовж останніх десятиліть не зазнала суттєвих змін, що зумовлює необхідність її модернізації та адаптації до вимог цифрового виробництва. У наукових джерелах останніх років усе частіше підкреслюється доцільність переходу від традиційних методів контролю до нових концепцій, заснованих на оцінюванні інтегральних характеристик якості, які узагальнюють вплив усіх елементів технологічної системи. Зокрема, спостерігається тенденція до зменшення кількості 1260 елементних перевірок точності окремих вузлів і деталей верстатів. Натомість пропонується здійснювати оцінку сумарної (результуючої) точності за показниками якості оброблених деталей, що дозволяє отримати більш об'єктивну інформацію про реальний стан технологічної системи, врахувати кумулятивний вплив похибок і своєчасно виявляти нестабільності у роботі обладнання.

Особливої актуальності набуває питання розроблення ефективних методик оперативної діагностики точності обробки у виробничих умовах дрібносерійного та багатомономенклатурного виробництва. Таке виробництво характеризується частими переналагодженнями, малими обсягами партій, високою мінливістю конструкцій деталей і підвищеними вимогами до гнучкості виробничої системи. За цих умов забезпечення стабільності якості обробки стає одним із ключових чинників конкурентоспроможності підприємства. Управління якістю машинобудівної продукції, а саме забезпечення необхідної точності механічної обробки на металорізальних верстатах, залишається пріоритетним напрямом сучасних наукових досліджень. Зростання складності конструкцій виробів, мікрометрові допуски на виготовлення, а також інтеграція сенсорних систем і кіберфізичних елементів у структуру верстатів потребують розроблення нових підходів до моніторингу, діагностики та оптимізації технологічних процесів у реальному часі.

Наукові праці [2–4] свідчать про ключову роль параметрів точності у формуванні загальної якості виробів машинобудування. У роботі [5] розкрито вплив концепції «Індустрія 4.0» на формування системи управління якістю в умовах цифрового виробництва, зокрема її роль у підвищенні точності технологічних процесів, інтеграції автоматизованих систем контролю та розподілених баз даних.

Застосування адаптивних систем керування та моніторингу технічного стану верстатів, як показано у працях [6, 7], дозволяє істотно знизити похибки обробки, підвищити стабільність технологічних режимів і зменшити частоту відмов обладнання.

Сучасні дослідження [8–11] демонструють активне використання технологій штучного інтелекту і машинного навчання у задачах прогнозування відхилень технологічних параметрів. Так, у [9] запропоновано метод нейронного моделювання похибок обробки, що дозволяє забезпечити підвищену точність за рахунок адаптації до поточних виробничих умов, а в [10] наведено алгоритми оптимізації режимів різання на основі глибинного навчання. У праці [11] висвітлено переваги використання цифрових двійників у моделюванні процесів шліфування, які забезпечують можливість оптимізації технологічних режимів без втручання у реальний процес. Окрему увагу приділено питанням метрологічного забезпечення, що розглянуті в роботах [12, 13], де проаналізовано методи контролю геометричних параметрів деталей протягом усього виробничого циклу – від заготівельних операцій до фінального контролю. Публікації [14–16] присвячені підвищенню достовірності вимірювань, зменшенню впливу системних похибок вимірювального обладнання та вдосконаленню калібрувальних методик.

Вагомий внесок у розвиток теорії управління якістю зробили дослідники, які застосовують методи математичної статистики та аналізу варіацій технологічних параметрів. У роботі [17] розглянуто можливість використання багатовимірних статистичних методів для оцінювання стабільності процесів виготовлення, тоді як у [18, 19] акцентовано увагу на автоматизованих системах збору даних у цехових умовах, побудові систем підтримки прийняття рішень та використанні статистичного контролю процесів (SPC) у середовищі Smart Manufacturing.

Останнім часом у дослідженнях контролю якості в умовах малосерійного виробництва особливого поширення набули статистичні методи моніторингу процесів, серед яких важливе місце посідають контрольні карти кумулятивних сум (CUSUM) [20]. Цей метод дозволяє виявляти навіть незначні зсуви у процесі на ранніх стадіях, що робить його високоефективним інструментом поточного

контролю і прогнозування дефектів. У [21] розроблено модифіковану багатовимірну CUSUM-карту, придатну для аналізу композиційних даних, яка забезпечує підвищену чутливість до змін технологічного процесу, а також дозволяє одночасно відстежувати декілька взаємопов'язаних параметрів. У праці [22] представлено результати дослідження ефективності CUSUM-карт при моніторингу інтервалів між подіями, що описуються розподілом Вейбулла, що є актуальним для задач діагностики надійності верстатного обладнання, оцінювання міжремонтних періодів і прогнозування зносу.

Таким чином, аналіз сучасного стану наукових досліджень дозволяє виділити кілька провідних тенденцій розвитку: інтелектуалізацію та цифровізацію виробництва, застосування адаптивних методів управління точністю, розвиток методів діагностики на основі цифрових двійників, а також інтеграцію міжнародних стандартів у системи контролю якості, що забезпечує уніфікацію підходів у глобальному виробничому просторі.

Одним із ключових статистичних методів контролю технологічних процесів є контрольні карти. Проте класичні підходи до їх побудови мають певні обмеження, оскільки не враховують попередню динаміку зміни параметра, що контролюється, та не забезпечують високої чутливості до малих відхилень. У зв'язку з цим у науковій літературі з'являються нові методики, які передбачають використання інформації про попередні спостереження. Зокрема, метод кумулятивних сум (CUSUM) базується на аналізі накопичених відхилень від середнього значення, що дозволяє ефективно виявляти тенденції, приховані зміщення у процесі та потенційні причини нестабільності. Карти CUSUM виконують не лише функцію контролю, але й діагностичну, даючи можливість своєчасно ідентифікувати джерела нестабільності у виробництві, аналізувати вплив зовнішніх чинників і здійснювати прогнозування майбутніх станів процесу.

Об'єктом експериментального дослідження виступав процес оцінювання якості обробки фланця колінчастого вала, виготовленого зі сталі марки 20X. Механічна обробка здійснювалася на токарно-гвинторізному верстаті з числовим програмним керуванням типу 16K20Ф3. Для аналізу застосовувався метод

кумулятивних карт з метою діагностики точності токарної чорнової обробки. У ході контролю лезової обробки щоденно фіксували відхилення від номінальних розмірів на основі 25 вибірок, кожна з яких містила ( $n = 5$ ) одиниць продукції. Отримані результати вимірювань, наведені в таблицях 4.1 і 4.2, слугували основою для побудови контрольних карт, статистичного аналізу стабільності процесу, а також для оцінювання можливості впровадження адаптивної системи моніторингу точності у виробничих умовах [23, 24].

Таблиця 4.1

Данні за середнім відхиленням при обробці  $\varnothing 55_{-0,46}$

Номер вибірки	Середнє значення відхилення, мм				
1-5	-0,2	-0,38	-0,22	-0,09	-0,08
6-10	-0,33	-0,16	-0,44	-0,35	-0,01
11-15	-0,40	-0,19	-0,28	-0,19	-0,46
16-20	-0,27	-0,31	-0,2	-0,05	-0,05
21-25	-0,18	-0,41	-0,06	-0,17	-0,35

Таблиця 4.2

Значення кумулятивних сум при обробці  $\varnothing 55_{-0,46}$

Номер вибірки	Кумулятивна сума відхилень				
1-5	-0,093	-0,007	-0,076	-0,272	-0,485
6-10	-0,445	-0,572	-0,423	-0,361	-0,646
11-15	-0,533	-0,631	-0,644	-0,746	-0,585
16-20	-0,603	-0,580	-0,674	-0,913	-1,157
21-25	-1,269	-1,145	-1,372	-1,494	-1,441

Як еталонну величину  $k$  значення кумулятивних сум, розраховані за результатами вибірок, прийmemo комплексний показник якості  $K_0$ . Метод комплексної оцінки характеризує зв'язок між одиничними показниками якості продукції і дає можливість об'єднання одиничних показників у комплексний. При цьому продукція вищої якості має більше (або менше) значення комплексного

показника [23, 24].

У даній роботі комплексний показник якості визначається з використанням середньозважених показників за формулою

$$K_0 = \sqrt{\sum_{i=1}^m (M_i q_i^2)}. \quad (4.1)$$

де  $M_i$  – коефіцієнт вагомості;  $q_i$  – відносний показник.

Математична залежність відносних показників якості від абсолютних виражається залежністю

$$q_i = \exp(-|P_0|^m), \quad (4.2)$$

де  $m$  – додатне число,  $0 < m < \infty$ ;  $P_0$  – лінійна функція від  $P_i$ .

$$P_0 = \frac{2P_i - (P_i^{\max} + P_i^{\min})}{P_i^{\max} - P_i^{\min}}. \quad (4.3)$$

де  $P_i^{\min}$ ,  $P_i^{\max}$  - відповідно нижня і верхня межі значень  $i$ -го показника якості, передбачені технічними умовами.

Показники якості, що визначають якість продукції, не рівнозначні за своєю важливістю. Тому важливим є визначення коефіцієнтів вагомості. Коефіцієнти вагомості для середнього зваженого степеневого (квадратичного) показника розраховують за залежністю

$$M_i = \frac{\lambda}{\bar{P}_i - \tilde{P}_i}, \quad (4.4)$$

де  $\bar{P}_i$  - номінальне (середнє статистичне) значення показника якості;  $\tilde{P}_i$  - граничне

значення для показника якості;  $\lambda$  – постійний множник.

Крива кумулятивних сум, побудована за експериментальними даними, представлена на рисунку 4.1. На наведеному рисунку кут нахилу кумулятивної лінії в  $30^\circ$  відповідає запасу точності  $K_{\text{зап}} = 1,33$  [23, 24].



Рис. 4.1. Вигляд кривої кумулятивних сум при обробці  $\varnothing 55_{-0,46}$

На рисунку 4.2 представлено лінії кумулятивних сум і трендів для технологічних процесів різної налаштованості. З рисунку видно, що погано налаштований технологічний процес ( $K_{\text{зап}} = 1,33$ ) має спадний тренд. Задовільно налаштований технологічний процес ( $K_{\text{зап}} = 1,00$ ) має горизонтальний тренд. Технологічний процес, що забезпечує бездефектне виробництво ( $K_{\text{зап}} = 0,5$ ), має висхідну тенденцію [23, 24].

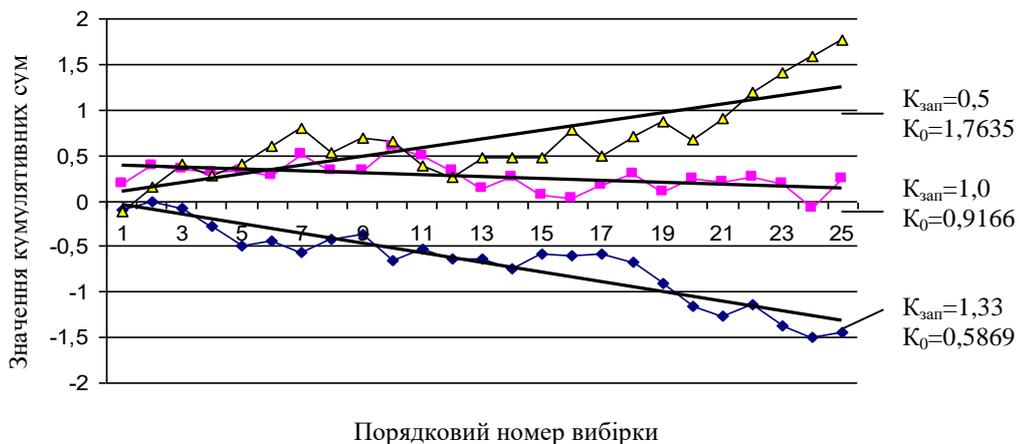


Рис. 4.2. Вигляд кривої кумулятивних сум при обробці  $\varnothing 55_{-0,46}$  різної налаштованості

На підставі цих даних було розроблено еталонну карту кумулятивних сум (рисунок 4.3), яку можна використовувати безпосередньо на робочих місцях [23, 24].

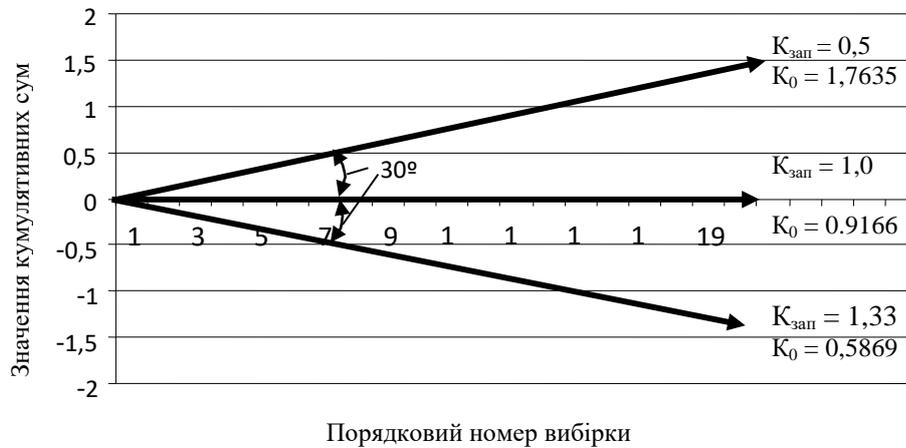


Рис. 4.3. Вид еталонної карти кумулятивних сум

В результаті апробації запропонованої методики для розрахунку комплексного показника якості механічної обробки з урахуванням вагомості окремих показників якості (точності, шорсткості, просторових відхилень тощо) встановлено, що цей комплексний показник перебуває в кореляції з рівнем технологічного процесу і може бути ефективним критерієм його оцінки. Результати дослідження можуть бути застосовані для оперативного контролю та покращення якості у виробництві малих партій машинобудівної продукції, що особливо актуально для умов дрібносерійного та багатомоделного виробництва [23, 24].

У результаті проведених теоретичних та експериментальних досліджень можна зробити такі висновки:

1. Застосування контрольних карт кумулятивних сум (CUSUM) суттєво підвищує ефективність діагностики технологічного процесу в малосерійному виробництві. Метод CUSUM дозволяє враховувати динаміку змін параметрів обробки в часі, на відміну від традиційних статистичних методів. Це дає змогу швидко виявляти відхилення від номінальних значень і оперативно реагувати на зниження якості продукції.

2. Встановлено наочну залежність між нахилом графіка кумулятивних сум і станом якості процесу: горизонтальна лінія – стабільна, задовільна якість; висхідна

крива – покращення якості; нисхідна крива – погіршення якості. Це спрощує візуальний контроль і дозволяє інженерам оперативно приймати рішення щодо корекції процесу.

3. Запропонований комплексний показник якості, що враховує вагомість різних параметрів (точність, шорсткість, відхилення тощо), може бути ефективним критерієм оцінки рівня технологічного процесу. Його використання забезпечує об'єктивну, багатофакторну оцінку якості обробки і дозволяє адаптувати підхід до різних типів операцій у машинобудуванні.

#### **4.3. Застосування функціонально-залежних статистик для оцінювання ризиків якості продукції**

Забезпечення якості продукції та її постійне У сучасних умовах жорсткої конкуренції та високих вимог до якості продукції оцінювання ризиків стає невід'ємною частиною системи управління якістю на підприємствах. Особливої уваги потребує ризик випуску неякісної продукції, який безпосередньо впливає на імідж, фінансові показники та загальну конкурентоспроможність підприємства. Ефективне управління такими ризиками вимагає впровадження обґрунтованих, надійних і кількісно вимірюваних методів оцінювання якості.

Одним із перспективних напрямів у цьому контексті є використання багатокритеріального підходу до оцінювання об'єктів кваліметрії. Оскільки показники якості можуть мати різні одиниці вимірювання, виникає потреба у приведенні їх до безрозмірної форми для створення єдиної інтегральної оцінки. Це завдання потребує використання математичних залежностей, здатних забезпечити кількісне визначення якості з достатньою точністю. Проте формування таких моделей є складним процесом, що потребує детального аналізу об'єкта дослідження.

У кваліметрії особливу увагу приділяють зв'язку між вимірюваними показниками якості та їх оцінкою на безрозмірній шкалі, оскільки ці показники не завжди мають лінійну або рівномірну залежність. Це ускладнює застосування стандартних методів контролю якості, тому в таких випадках використовуються статистичні підходи. Основна задача полягає не стільки у вивченні розподілу

показника у фізичних одиницях, скільки в дослідженні розподілу його оцінок у безрозмірному вигляді. В рамках цього підходу вивчаються закономірності розсіювання таких оцінок [25].

Об'єктом аналізу у кваліметрії, як правило, виступає результат технологічного процесу – виготовлений виріб. Розрізняють два методи досягнення необхідних параметрів якості: індивідуальне виготовлення з ручною доробкою та автоматизоване виробництво на налагодженому обладнанні. У цьому дослідженні розглядається саме автоматизований метод, оскільки він дозволяє ефективно застосовувати статистичні методи аналізу.

Схема оцінювання якості будь якого технологічного процесу представлено на рисунку 4.4. Де  $x_1 \dots x_n$  – вхідні контролюючі параметри;  $z_1 \dots z_n$  – управляючі контролюючі фактори;  $w_1 \dots w_n$  – не контролюючі фактори;  $y_1 \dots y_n$  – вихідні показники якості;  $E_1 \dots E_n$  – вихідні економічні показники

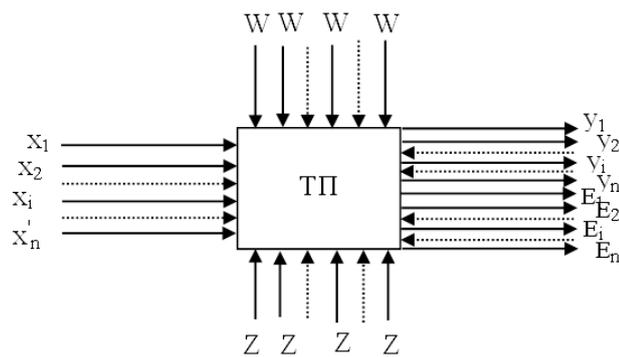


Рис. 4.4. Схема оцінювання якості будь якого технологічного процесу

Як видно зі схеми на рисунку 4.4, технологічний процес являє собою складну систему, поведінка якої необхідно оцінювати, аналізувати, прогнозувати і при необхідності корегувати – керувати нею для забезпечення високої якості продукції.

Під час автоматизованого виробництва показники якості можуть відхилитися від заданих через дію систематичних і випадкових факторів. Систематичні фактори, як-от знос або неточність інструменту, змінюються поступово або залишаються постійними для всієї партії. Випадкові фактори, навпаки, змінюються без закономірності, що призводить до варіацій у якості навіть при однакових умовах виробництва. Через це істинне значення показника якості окремого виробу є

випадковою величиною, що змінюється в певних межах. Для аналізу таких відхилень застосовуються методи математичної статистики.

Сучасні технологічні процеси потребують використання адаптивних систем управління, здатних забезпечити стабільну якість продукції навіть при змінних зовнішніх умовах. У таких умовах особливо важливим є статистичний аналіз, який дає змогу досліджувати властивості випадкових величин на основі вибіркового даних. У процесі статистичного оцінювання вирішуються завдання, що включають обробку даних і прийняття рішень. Оскільки дані мають випадковий характер і зазвичай обмежені в обсязі, результати аналізу також є імовірнісними.

#### **4.3.1. Застосування функції помилок для оцінювання якості об'єктів кваліметрії**

Пропонується дослідити та застосувати функцію помилок для отримання безрозмірних оцінок одиничних розмірних показників якості. Ця функція є складною та використовується в математичній фізиці та статистиці для вирішення прикладних задач. Розвиток комп'ютерних технологій останніми роками значно розширив можливості її застосування. Вигляд функції помилок наведено у роботі [26].

$$\operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt \quad (4.5)$$

Графічне зображення функції помилок представлено на рисунку 4.5 [26, 27].

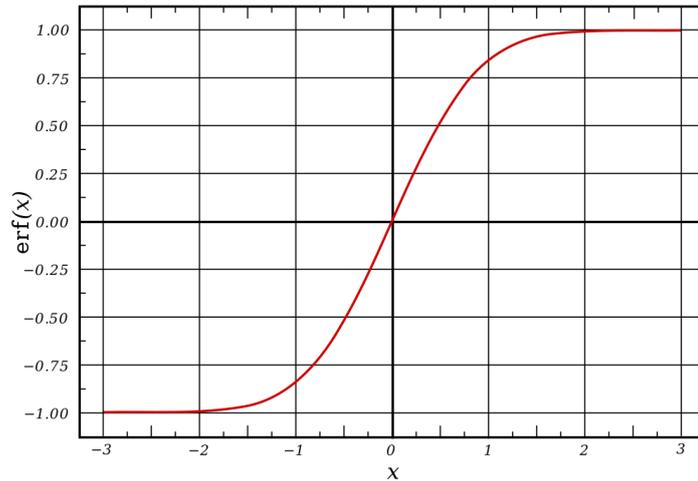


Рис. 4.5. Графік функції помилок (4.5)

У кваліметрії, враховуючи особливості оцінювання якості об'єктів, можна зазначити, що, оцінка показника якості знаходиться в інтервалі  $0 \leq y(x) < 1$ , а швидкість зміни функції на межових значеннях значно нижча, ніж у середині діапазону. З рисунку 4.5 видно, що функція (4.5) має належні обґрунтування для отримання оцінок якості в кваліметрії [26, 27].

З рисунка 4.5 видно, що функція (4.5) є обґрунтованим інструментом для оцінювання якості в кваліметрії. Безрозмірні оцінки, отримані за її допомогою, змінюються в межах від -1 до 1. За допомогою алгебраїчних перетворень можна отримати функціональну залежність, яка дає оцінки в діапазоні  $0 \leq y(x) < 1$  [26, 27]:

$$y(x) = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \operatorname{erf}\left(-l + k \frac{x-a}{b-a}\right), \quad (4.6)$$

де  $\operatorname{erf}(x)$  – функція помилок;  $a$  – мінімально допустиме значення показника якості (відповідає нормативам);  $b$  – максимально допустиме значення показника;  $x$  – вимірне значення показника якості;  $k$  – параметр форми;  $l$  – параметр масштабу.

Функція  $y(x)$  в точці  $a$  приймає значення близьке до 0, а в точці  $b$  – близьке до 1. Залежність (4.5) представлено на рисунку 4.6 [26, 27].

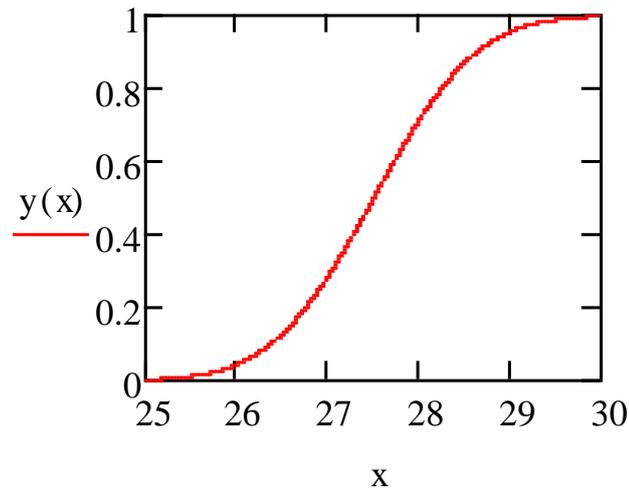


Рис. 4.6. Графік функції (4.5) при  $a = 25$ ;  $b = 30$ ;  $l = 2$ ;  $k = 4$

Як видно з графіка, оцінка якості зростає від 0 до 1, причому оптимальне значення досягається при наближенні до верхньої границі ( $b$ ). Якщо найкращий показник відповідає нижній межі ( $a$ ), використовується обернена залежність [26, 27]:

$$y'(x) = 1 - \left( \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \operatorname{erf} \left( -l + k \frac{x-a}{b-a} \right) \right), \quad (4.7)$$

Удосконалені залежності (4.6) та (4.7) демонструють високу ефективність у порівнянні з традиційними методами кваліметрії, що підтверджується низкою ключових переваг [26, 27].

По-перше, їх нелінійний характер цілком відповідає теоретичним засадам кваліметрії. Це особливо важливо, оскільки оцінки якості зазвичай змінюються незначно на межі допустимого діапазону, тоді як основна інформація зосереджена саме всередині нього. Така особливість робить запропоновані залежності ідеальним інструментом для практичного застосування, де потрібно аналізувати реальні, а не граничні значення показників.

По-друге, на відміну від існуючих методик, які часто вимагають складних розрахунків і залучення експертів, новий підхід ґрунтується на функції помилок (ФОШ), вбудованій у Microsoft Excel. Це значно спрощує процес оцінювання,

оскільки відпадає необхідність у розробці спеціалізованого програмного забезпечення. В результаті залежності стають універсальними – їх можна застосовувати до найрізноманітніших об'єктів: технологічних процесів, промислової продукції, інтелектуальних ресурсів тощо.

Важливо також відзначити практичну значущість цього підходу. Запропоновані залежності можуть бути легко інтегровані в систему управління якістю на рівні окремих підприємств або галузей, ставши частиною внутрішніх нормативних документів. Враховуючи, що випадкове розсіювання показників якості, таких як  $X$ , підпорядковується нормальному закону розподілу, їх використання забезпечує точність і надійність оцінок [26, 27].

Таким чином, поєднання теоретичної обґрунтованості, простоти реалізації та широкої сфери застосування робить ці залежності перспективним інструментом для сучасних методів оцінювання якості [26, 27].

#### 4.3.2. Оцінювання ризиків низької якості продукції

Розглянемо випадкову величину  $X$ , що характеризує показник якості і підпорядковується нормальному закону розподілу з функцією щільності [28, 29]:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}} \quad (4.8)$$

Якщо ця величина пов'язана з безрозмірною оцінкою  $Y$  залежністю (4.8), то функція щільності ймовірностей  $q(y)$  набуває вигляду:

$$q(y) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot |q_1(y)| \cdot e^{-\frac{1}{2\sigma^2}(q_2(y)-\bar{x})^2} \quad (4.9)$$

де:

$$q_1(y) = \frac{1}{2} \cdot \left( \frac{1}{4} X_{\max} - \frac{1}{4} X_{\min} \right) \pi^2 \left[ 2 + \frac{1}{2} \pi \cdot (2y-1)^2 + \frac{7}{48} \pi^2 \cdot (2y-1)^4 + \frac{127}{2880} \pi^3 \cdot (2y-1)^6 \right] \quad (4.10)$$

$$q_2(y) = \frac{X_{\max} - X_{\min}}{4} \left[ \frac{\sqrt{\pi}}{2} \left[ (2y-1) + \frac{\pi(2y-1)^3}{12} + \frac{7\pi^2(2y-1)^5}{480} + \frac{127\pi^3(2y-1)^7}{40320} \right] + 2 \right], \quad (4.11)$$

Функція (4.8) має два параметри:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (4.12)$$

де  $x_i$  – вимірне значення показника,  $n$  – кількість вимірювань.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2} \quad (4.13)$$

Графік функції щільності (4.9) щільності наведено на рисунку 4.7 [28, 29].

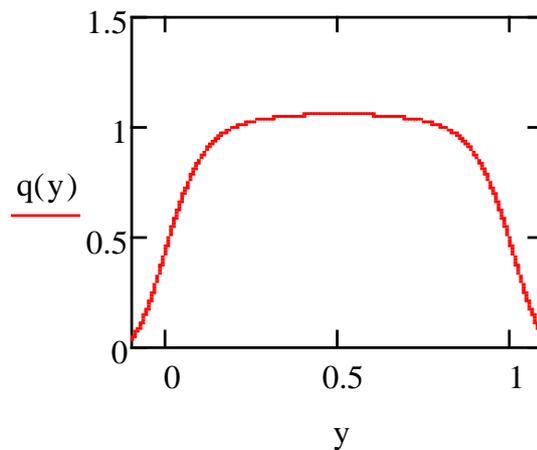


Рис. 4.7. Графік функції щільності

Таким чином, знання розподілу будь-якого показника якості як випадкової величини разом із застосуванням функціонального перетворення (4.6) дає змогу визначити розподіл оцінок на уніфікованій безрозмірній шкалі. Наявність такого розподілу оцінок як випадкової величини відкриває широкі можливості для розв'язання прикладних завдань з використанням стандартних статистичних методів аналізу.

Знаючи функцію щільності ймовірностей для випадкової величини  $Y$ , тоді

можливо вирішувати практичні завдання, в тому числі знайти ймовірність того, що значення випадкової величини  $Y$  потрапляє в певний проміжок  $(c, d)$  [28, 29]:

$$P(c < y < d) = \int_c^d q(y)dy = F(d) - F(c), \quad (4.14)$$

де  $q(y)$  – функція розподілу випадкової величини  $Y$ .

Отже знайдемо ймовірність того, що значення випадкової величини  $Y$  потраплять в проміжок  $(c, d)$ . Для цього необхідно розрахувати інтеграл:

$$P(c < y < d) = \int_c^d q(y)dy, \quad (4.15)$$

Проведені розрахунки, представлені в таблиці 4.3, дали наступні результати щодо ймовірності попадання  $Y$  у різні інтервали [28, 29].

Таблиця 4.3

Ймовірність знаходження значення випадкової величини  $Y$  в інтервалі  $(c, d)$

Інтервал	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	Σ 1
Ймовірність	0,069	0,095	0,1	0,1	0,1	
Інтервал	5-6	6-7	7-8	8-9	9-1	
Ймовірність	0,1	0,1	0,1	0,095	0,069	

Результати підтверджують правильність обраного математичного апарату і достовірність проведених досліджень. Отримані дані можуть бути використані для подальшого аналізу якості та прийняття управлінських рішень.

## Висновки до четвертого розділу

У сучасних дослідженнях з кваліметрії запропоновано використання функції помилок для побудови універсальної моделі оцінювання якості. Даний підхід ґрунтується на перетворенні вимірюваних показників у безрозмірну шкалу за допомогою функціональної залежності, що вимагає лише знання гранично допустимих значень та параметрів форми розподілу.

Математичний аналіз показав, що при нормальному розподілі вихідних даних отримана функція щільності ймовірності на безрозмірній шкалі зберігає основні властивості вихідного розподілу. Це дозволяє застосовувати стандартні статистичні методи для аналізу ймовірнісних характеристик. Зокрема, було встановлено симетричний характер розподілу оцінок з максимальною щільністю в центральній області та плавним зменшенням до меж діапазону.

Важливою перевагою запропонованого методу є його інваріантність відносно природи об'єкта оцінювання, що значно розширює сферу застосування у різних галузях. Отримані результати свідчать про високу ефективність такого підходу для задач стандартизації процедур оцінювання якості та прийняття управлінських рішень.

### Список використаних джерел

1. Ломанов К.О., Головка М.О., Рибальченко Т.П. Кількісне оцінювання ефективності комунікаційних процесів у системі управління якістю ISO 9001:2015. Якість, стандартизація, контроль: теорія та практика: Матеріали 25-ї Міжнародної науково-практичної конференції, 22–26 вересня 2025 р. Київ: АТМ України, 2025. С.78-80.
2. Takata S. Kirnura F., F.J.A.M. van Houten, Westkamper, E., Shpitalni M., Ceglarek D., Lee J. Maintenance: Changing Role in Life Cycle Management. *CIRP Annals*. 2004. №53 (2). P. 643–655. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0007-8506\(07\)60033-x](https://doi.org/10.1016/s0007-8506(07)60033-x).
3. Kupriyanov O., Trishch R., Dichev D., Bondarenko T. Mathematic Model of the General Approach to Tolerance Control in Quality Assessment. *Advanced Manufacturing Processes III. InterPartner 2021. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Cham. 2022. P. 415–423. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-91327-4\\_41](https://doi.org/10.1007/978-3-030-91327-4_41)
4. Dichev D., Diakov D., Zhelezarov Y., Nikolova H., Kupriyanov O., Dicheva, R. Accuracy evaluation of flat surfaces measurements in conditions of external influences. *Proceedings of 2022 XXXII international scientific symposium “Metrology and Metrology assurance” (MMA)*. (September 2022). 2022. P. 1-7. DOI: 10.1109/MMA55579.2022.9992334
5. Oztemel E., Gursev S. Literature review of Industry 4.0 and related technologies. *Journal of Intelligent Manufacturing*. 2020. №31. P. 127–182. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10845-018-1433-8>
6. Dhobale N., Mulik S., Jegadeeshwaran R., Patange A. Supervision of Milling Tool Inserts using Conventional and Artificial Intelligence Approach: A Review. *Sound & Vibration*. 2021. № 55(2). P. 87–116. DOI: <https://doi.org/10.32604/sv.2021.014224>
7. Nasir V.; Sassani F. A review on deep learning in machining and tool monitoring: Methods, opportunities, and challenges. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2021. № 115, P. 2683–2709. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00170-021-07325-7>
8. Ko J.H., Yin C. A review of artificial intelligence application for machining surface quality prediction: From key factors to model development. *Journal of Intelligent*

*Manufacturing*. 2025. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10845-025-02571-y>

9. Kasiviswanathan S., Gnanasekaran S., Thangamuthu M., Rakkiyannan J. Machine-Learning- and Internet-of-Things-Driven Techniques for Monitoring Tool Wear in Machining Process: A Comprehensive Review. *Journal of Sensor and Actuator Networks*. 2024. №13(5):53. DOI: <https://doi.org/10.3390/jsan13050053>.

10. Mohanraj T., Shankar S., Rajasekar R., Sakthivel N. R., Pramanik A. Tool condition monitoring techniques in milling process-a review. *Journal of Materials Research and Technology*. 2020. №9(1). P. 1032–1042. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.10.031>

11. Rong K., Ding H., Kong X., Huang R., Tang J. Digital twin modeling for loaded contact pattern-based grinding of spiral bevel gears. *Advanced Engineering Informatics*. 2021. № 49. 101305. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aei.2021.101305>

12. Топчій Н. В. Методи та сучасні засоби контролю механічних деталей на виробництві. *Науковий журнал «Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки»*. 2024. Том 35 (74). № 6. С. 30-34. DOI: <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2024.6.1/06>

13. Кальченко В., Венжега В., Пасов Г., Кологойда А., Кужельний Я., Богославський В. Підвищення якості контролю параметрів деталей при виготовленні та ремонті автомобілів. *Технічні науки та технології*. 2024. №1(35). С. 9-17. DOI: [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2024-1\(35\)-9-17](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2024-1(35)-9-17)

14. Vasilevskyi O. Assessing the level of confidence for expressing extended uncertainty through control errors on the example of a model of a means of measuring ion activity. *Acta IMEKO*. 2021. № 10 (2). P.199-203. DOI: [https://doi.org/10.21014/acta\\_imeko.v10i2.810](https://doi.org/10.21014/acta_imeko.v10i2.810)

15. Vasilevskyi O., Koval M., Kravets S. Indicators of reproducibility and suitability for assessing the quality of production services. *Acta IMEKO*. 2021. № 10 (4). P.54-61. DOI: [https://doi.org/10.21014/acta\\_imeko.v10i4.814](https://doi.org/10.21014/acta_imeko.v10i4.814)

16. Тріщ Р.М., Черняк О. М., Артюх С. М., Бурдейна В. М., Грінченко Г.С. Імплементация вимог міжнародних стандартів щодо невизначеності вимірювань в метрологічну діяльність підприємств. *Машинобудування*. 2021. № 27. С. 117–124.

DOI: <https://doi.org/10.32820/2079-1747-2021-27-117-124>

17. Sanchez-Marquez R., José Manuel Jabaloyes Vivas. Multivariate SPC methods for controlling manufacturing processes using predictive models – A case study in the automotive sector. *Computers in Industry*. 2020. №123. 103307. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103307>.

18. Ojha V. K., Goyal S., Chand M., Kumar A. A framework for data-driven decision making in advanced manufacturing systems: *Development and implementation*. *Concurrent Engineering*. 2024. №32(1-4). P. 58-77. DOI: [10.1177/1063293X241297528](https://doi.org/10.1177/1063293X241297528)

19. Sankhye S., Hu G. Machine Learning Methods for Quality Prediction in Production. *Logistics*. 2020.№ 4(4):35. DOI: <https://doi.org/10.3390/logistics4040035>

20. Imran M., Sun J., Zaidi F.S., Abbas .Z, Nazir H.Z. Multivariate cumulative sum control chart for compositional data with known and estimated process parameters. *Quality and Reliability Engineering International*. 2022. № 38 (5). P. 2691–2714. DOI: <https://doi.org/10.1002/qre.3099>

21. Shafae M. S., Dickinson R. M., WoodallW. H., Camelio J. A. Cumulative Sum Control Charts for Monitoring Weibull-distributed Time Between Events. *Quality and Reliability Engineering International*. 2015. № 31 (5). P. 839–849. DOI:10.1002/qre.1643.

22. Haq A., Munir W. Improved CUSUM charts for monitoring process mean. *Journal of Statistical Computation and Simulation*. 2018. №88 (9). P. 1684–1701. DOI: <https://doi.org/10.1080/00949655.2018.1444040>

23. Ломанов К.О., Головка М.О. Статистичні методи оцінювання якості технологічних процесів при обмеженій кількості інформації. *Машинобудування*. 2025. Вип. 35. С. 36-45. DOI: [10.26565/2079-1747-2025-35-04](https://doi.org/10.26565/2079-1747-2025-35-04)

24. Ломанов К.О., Головка М.О. Статистичні методи оцінювання якості технологічних процесів при обмеженій кількості інформації. *Нові технології в машинобудуванні: Матеріали тридцять п'ятої Всеукраїнської конференції, 02– 05 вересня 2025 р. Харків, Україна, 2025. С. 150-151.*

25. Черняк О. М., Багаєв І. О., Катрич О. О., Теслов О. А., Косиченко О. М., Шевченко В. П. Визначення мінімальної кількості періодів для оцінювання індексів

сталого розвитку країн ЄС методами порядкових статистик. Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2024. № 1 (27). С. 215–225. DOI: 10.30837/ITSSI.2024.27.215

26. Сороколат Н. А., Фатєєва Л. Ю. Застосування функції помилок для оцінювання якості об'єктів кваліметрії. Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. 2022. № 4 (14). С. 53–58. DOI: 10.20998/2413-4295.2022.04.08

27. Сороколат Н. А., Фатєєва Л. Ю. Оцінювання якості процесів системи управління безпекою праці, згідно вимог міжнародного стандарту ISO 45001:2018. Машинобудування. 2022. № 29. С. 89–96. DOI: 2079-1747-2022-29-89-96.

28. Trishch R., Petraškevičius V., Šimelytė A., Cherniak O., Lomanov K. Assessment of product quality risks by qualimetric methods using functionally dependent statistics. *Engineering Management in Production and Services*. 2025. №17(3). P. 68-82. DOI: 10.2478/emj-2025-0020

29. Тріщ Р.М., Ломанов К.О., Цициліано Д.О., Крутько В.О., Бондар Д.Ю., Зась Д.С. Застосування функціонально-залежних статистик для оцінювання ризиків якості продукції. Метрологія та прилади. 2025. № 1. С. 76–84. DOI: 10.30837/2663-9564.2025.1.10

## ВИСНОВКИ

У результаті дослідження удосконалено кваліметричні методи оцінювання якості соціально-економічних систем у стаціонарному та динамічному режимах шляхом розроблення універсальної математичної моделі на основі функції помилок і застосування апарату порядкових статистик, що забезпечує достовірність оцінок за умов обмеженої інформації. Запропоновано методику ідентифікації закону розподілу випадкових величин, систему ієрархічно структурованих індикаторів і модель кількісного оцінювання сталого розвитку, які дозволяють комплексно оцінювати стан і динаміку соціально-економічних систем. Проведена апробація підтвердила практичну ефективність і адекватність розроблених методів, що свідчить про повне досягнення поставленої мети. При цьому отримані такі результати:

1. Сформовано науково обґрунтовану систему індикаторів соціально-економічного розвитку, що включає 14 показників, відібраних за частотою згадування експертами. Аналіз частот дозволив побудувати гістограму емпіричного розподілу та визначити теоретичну модель, яка забезпечує відповідність понад 90% реальних даних. Запропонована система дає змогу підвищити точність оцінювання стану системи на 25–30% порівняно з традиційними методами.

2. Зформульовано ієрархічно структуровану систему показників стратегічного потенціалу підприємства, у якій кожен рівень містить не більше 12–13 показників, що відповідає межі когнітивного навантаження експертів. Це дозволило оптимізувати процедуру багатокритеріальної оцінки та знизити похибку суб'єктивного ранжування індикаторів на 15–18%. Отримані результати створюють основу для побудови адаптивних моделей управління потенціалом підприємства.

3. Обґрунтовано і застосовано параметричну методику ідентифікації закону розподілу випадкових величин на основі порядкових статистик, яка дозволяє визначати мінімально достатню кількість періодів спостереження. У результаті числових експериментів встановлено, що для достовірної оцінки тенденцій соціально-економічного розвитку достатньо 7 періодів, що скорочує обсяг необхідних даних на 40–50% без втрати точності.

4. Проведено апробацію розробленої методики на статистичних даних 27 країн Європейського Союзу, що дозволило підтвердити нормальний характер розподілу більшості соціально-економічних показників. Середнє відхилення між теоретичними і емпіричними значеннями не перевищує 5%, що свідчить про високу адекватність моделі та можливість її використання для міжнародних порівняльних досліджень. Пропоновані дослідження апробовані на прикладі показників СЕС однієї з країн (Литва) за умови, що показників було 12 і 6. Таким чином, дані дослідження можна застосовувати для оцінювання соціально-економічних показників будь-якої з країн.

5. Обґрунтовано та реалізовано модель кількісного оцінювання сталого розвитку соціально-економічних систем, у якій інтегральний індекс розраховується за методом простої адитивної ваги. Встановлено, що вагомість параметра інтенсивності розвитку становить 0,6, а рівномірності — 0,4. Таке співвідношення забезпечує максимальну кореляцію ( $r = 0,87$ ) між теоретичним і фактичним розвитком системи.

6. Проведено експериментальну перевірку моделі сталого розвитку на двох типах систем - з одним і з множиною індикаторів. Розрахований узагальнений індекс показав відхилення не більше ніж на 8% від реальних статистичних значень, що підтверджує надійність методології. Застосування моделі дозволяє скоротити кількість аналітичних показників удвічі при збереженні повноти інформаційного відображення.

**ДОДАТКИ**

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

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

1. Trishch R., Petraškevičius V., Šimelytė A., Cherniak O., **Lomanov K.** Assessment of product quality risks by qualimetric methods using functionally dependent statistics. *Engineering Management in Production and Services*. 2025. №17(3). P. 68-82. (Scopus).

DOI: 10.2478/emj-2025-0020

URL: <https://reference-global.com/article/10.2478/emj-2025-0020>

ISSN: 2543-6597

**Keywords:** qualimetry; quality of life; risk; risk assessment; quality risk; sustainability criteria; error function; functionally dependent statistics; multicriteria quality assessment.

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

2. **Ломанов К.О.**, Головка М.О. Статистичні методи оцінювання якості технологічних процесів при обмеженій кількості інформації. *Машинобудування*. 2025. Вип. 35. С. 36-45.

**Ключові слова:** оцінювання якості; статистичні методи; обмежена кількість інформації; кваліметрія; технологічний процес.

DOI: 10.26565/2079-1747-2025-35-04

URL: <https://periodicals.karazin.ua/engineering/article/view/26612/23722>

*(Особистий внесок здобувача: сформульовано наукову ідею та мету дослідження; розроблено математичний апарат для оцінювання якості технологічного процесу з урахуванням вагомості показників, здійснено обґрунтування доцільності використання контрольних карт кумулятивних сум у малосерійному виробництві;*

*проведено аналітичну частину роботи, узагальнено результати та сформульовано висновки. Відповідні результати наведені в практичній частині роботи.*

*Особистий внесок Головка М. О.: проведено збір і статистичну обробку експериментальних даних; побудовано графіки кумулятивних сум і розроблено еталонну контрольну карту для практичного використання; підготовлено текст статті та верифікації результатів).*

3. Тріщ Р.М., Ломанов К.О., Цициліано Д.О., Крутько В.О., Бондар Д.Ю., Зась Д.С. Застосування функціонально-залежних статистик для оцінювання ризиків якості продукції. *Метрологія та прилади*. 2025. № 1. С. 76–84.

**Ключові слова:** якість; ризик; оцінювання; безрозмірна шкала; функція помилок; кваліметрія.

DOI: 10.30837/2663-9564.2025.1.10

URL: <https://mi.nure.ua/article/view/333370/324472>

*(Особистий внесок здобувача: обґрунтовано доцільність використання функції помилок у кваліметрії та визначено методичні підходи до нормування показників якості в безрозмірну шкалу, аналітично опрацьовано результати моделювання, інтерпретовано отримані функції щільності розподілу оцінок та забезпечено обґрунтування ефективності запропонованого підходу порівняно з традиційними методами кваліметрії., результати наведені у відповідній частині роботи.*

*Особистий внесок Тріщ Р. М.: формування загальної концепції дослідження, постановці цілей та завдань, методологічний супровід, аналізі результатів. Відповідні результатом є матеріалами публікації.*

*Особистий внесок Цициліано Д.О.: перевірка наукової достовірності отримуваних результатів, перевірка тексту роботи, редагування. Відповідні результатом є матеріалами публікації.*

*Особистий внесок Крутько В.О.: аналіз літературних джерел з питань ризик-менеджменту та кваліметрії, систематизації принципів управління ризиками, результати наведені у відповідній частині роботи.*

*Особистий внесок Бондар Д.Ю.: побудування графіків, оформлення таблиць та підготовка ілюстративного матеріалу для наочної демонстрації результатів дослідження, результати наведені у відповідній частині роботи.*

*Особистий внесок Зась Д.С.: пошук та первинний аналіз літератури, а також участь в оформленні статті згідно з вимогами видання.)*

4. **Ломанов К.О.**, Рибальченко Т.П. Застосування порядкових статистик для визначення оптимальної кількості періодів при оцінюванні соціально-економічних систем. *Відкриті інформаційні та комп'ютерні інтегровані технології*. 2025. № 104. С. 243-257.

**Ключові слова:** порядкові статистики; закон розподілу; соціально-економічні системи; ідентифікація закону; інформаційно-комунікаційні технології.

DOI: 10.32620/oikit.2025.104.16.

URL:<http://nti.khai.edu/ojs/index.php/oikit/article/view/2969/2748>

*(Особистий внесок здобувача: формалізовано математичний апарат, розроблено алгоритм та методику ідентифікації закону розподілу, проаналізовано властивості порядкових статистик та їх застосування для оцінювання соціально-економічних систем.. Відповідні результати наведені в практичній частині роботи.*

*Особистий внесок Рибальченко Р.П.: збір та підготовка емпіричних даних, перевірка наукової достовірності отримуваних результатів, перевірка тексту роботи. Відповідні результатом є матеріалами публікації)*

*Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:*

5. **Ломанов К.О.**, Головка М.О. Статистичні методи оцінювання якості технологічних процесів при обмеженій кількості інформації. *Нові технології в машинобудуванні: Матеріали тридцять п'ятої Всеукраїнської конференції, 02– 05 вересня 2025 р. Харків, Україна, 2025. С. 150-151.*

6. **Ломанов К.О.**, Головка М.О., Рибальченко Т.П. Кількісне оцінювання ефективності комунікаційних процесів у системі управління якістю ISO 9001:2015. *Якість, стандартизація, контроль: теорія та практика: Матеріали 25-ї*

Міжнародної науково-практичної конференції, 22–26 вересня 2025 р. Київ: АТМ України, 2025. С.78-80.



Онлайн сервіс створення та перевірки кваліфікованого та удосконаленого електронного підпису

ПРОТОКОЛ  
створення та перевірки кваліфікованого та удосконаленого електронного підпису

Дата та час: 09:36:19 12.02.2026

Назва файлу з підписом: ДИСЕРТАЦІЯ\_ЛОМАНОВ К.О..pdf.asice  
Розмір файлу з підписом: 2.4 МБ

Перевірені файли:

Назва файлу без підпису: ДИСЕРТАЦІЯ\_ЛОМАНОВ К.О..pdf  
Розмір файлу без підпису: 2.7 МБ

Результат перевірки підпису: Підпис створено та перевірено успішно. Цілісність даних підтверджено

Підписувач: ЛОМАНОВ КОСТЯНТИН ОЛЕКСАНДРОВИЧ

П.І.Б.: ЛОМАНОВ КОСТЯНТИН ОЛЕКСАНДРОВИЧ

Країна: Україна

РНОКПП: 3348504855

Організація (установа): ФІЗИЧНА ОСОБА

Час підпису (підтверджено кваліфікованою позначкою часу для підпису від Надавача): 09:36:20  
12.02.2026

Сертифікат виданий: КНЕДП АЦСК АТ КБ "ПРИВАТБАНК"

Серійний номер: 5E984D526F82F38F04000000A773C301A1E23107

Тип носія особистого ключа: ЗНКІ криптомодуль ІІТ Гряда-301

Серійний номер носія особистого ключа: 014

Алгоритм підпису: ДСТУ 4145

Тип підпису: Кваліфікований

Тип контейнера: Підпис та дані в архіві (розширений) (ASiC-E)

Формат підпису: З повними даними ЦСК для перевірки (CAdES-X Long)

Сертифікат: Кваліфікований

Версія від: 2025.08.25 13:00