

DOI 10.32820/2079-1747-2022-30-73-84
УДК 658.562

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ КВАЛІМЕТРІЇ ДЛЯ ОЦІНКИ КОМПЛЕКСНИХ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ БАГАТОПАРАМЕТРИЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

© Буданов П.Ф., Бойко Т.Г., Грінченко Г.С., Нечуйвітер О.П., Цихановська І.В.

Українська інженерно-педагогічна академія

Інформація про авторів:

Буданов Павло Феофанович (Budanov Pavlo): ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1542-9390>; e-mail: pavelfeofanovich@ukr.net, кандидат технічних наук, доцент, Українська інженерно-педагогічна академія, доцент кафедри фізики, електротехніки і електроенергетики, вул. Університетська 16, м. Харків, 61003, Україна.

Бойко Тарас Георгійович (Boyko Taras): ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0882-2637>; e-mail: tgbo@ukr.net, доктор технічних наук, професор, Національний університет «Львівська політехніка», професор кафедри інтелектуальної мехатроніки та робототики, вул. Кн. Романа 1/3, м. Львів, 79005, Україна.

Грінченко Ганна Сергіївна (Grinchenko Hanna): ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6498-6142>; e-mail: a.kirogenko@ukr.net, кандидат технічних наук, доцент, Українська інженерно-педагогічна академія, доцент кафедри автоматизації метрології та енергоефективних технологій, вул. Університетська 16, м. Харків, 61003, Україна.

Нечуйвітер Олеся Петрівна (Olesia Petrivna): ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2775-8471>; e-mail: olesya@email.com, доктор фізико-математичних наук, професор, Українська інженерно-педагогічна академія, завідувач кафедри інформаційних комп'ютерних технологій і математики, вул. Університетська 16, м. Харків, 61003, Україна.

Цихановська Ірина Василівна (Tsykhanovska Iryna): ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9713-9257>; e-mail: cikhanovskaja@gmail.com, доктор технічних наук, професор, Українська інженерно-педагогічна академія, професор кафедри харчових та хімічних технологій, вул. Університетська 16, м. Харків, 61003, Україна.

У статті показано, що для кількісного оцінювання якості об'єктів, практичне застосування знаходять різні методи кваліметрії, які можна представити у вигляді сукупності кількісних методів оцінювання і дають змогу ухвалювати найточніші, найбільш обґрунтовані рішення щодо підвищення якості об'єкта на основі оцінювання комплексних показників якості. Визначено, що в основі методів кваліметрії, для оцінки якості багатопараметричного об'єкта, мають бути закладені способи отримання інформації (інструментальний, розрахунковий, органолептичний і реєстраційний метод) та джерела отримання інформації (традиційний, експертний і соціологічний метод). Виявлено основні складнощі, пов'язані з визначенням комплексного показника оцінювання якості багатопараметричного об'єкта електроенергетики, які проявляються в особливості технологічного процесу виробництва (генерації), передачі та споживання електроенергії в режимі реального часу, а саме з теоретичними та практичними труднощами визначення реальних кількісних показників оцінювання якості обладнання технологічного процесу з виробництва електроенергії. Визначено, що при визначенні комплексного показника оцінки якості багатопараметричного об'єкту електроенергетики, важливо оцінити якість усіх процесів, що застосовуються для виробництва електроенергії, а саме: виробничий процес, як сукупність усіх дій оперативного персоналу електростанції, технічних систем та технологічного обладнання; технологічний процес, як частина виробничого процесу, що містить цілеспрямовані дії зі зміни або визначення стану електричної енергії; технологічний процес, як частина виробничого процесу, що містить цілеспрямовані дії зі зміни або визначення стану електричної енергії; технологічний процес; технологічне обладнання. Запропоновано, для визначення комплексного показника у вигляді об'єднання сукупності одиничних кількісних показників якості багатопараметричного об'єкта

електроенергетики, використати адитивний метод кваліметрії, який базується на додаванні різних властивостей оцінюваної якості об'єкта та дає змогу у математичній моделі комплексного показника відображати ієрархічну структуру врахованих властивостей, що характеризують технічний рівень та якість технологічного обладнання, виробничого та технологічного процесів. Представлено вдосконалену адитивну математичну модель у вигляді факторного аналізу, який запропоновано використовувати у випадку, коли досліджуваний (результативний показник) являє собою алгебраїчну суму факторних показників якості. Зазначено, що складність адитивної математичної моделі залежить від кількості ієрархічних рівнів обраної системи показників якості багатопараметричного об'єкта електроенергетики.

Ключові слова: оцінка, якість, процес оцінки якості, комплексний показник якості, адитивний метод кваліметрії

Budanov P., Grinchenko H., Nechuyviter O., Tsykhanovska I. “Application of qualimetry methods to evaluate complex quality indicators of multi-parameter objects”

The article shows that for the quantitative assessment of the quality of objects, various methods of qualimetry are used in practice, which can be represented as a set of quantitative assessment methods and allow making the most accurate, most informed decisions on improving the quality of an object based on the assessment of complex quality indicators. It is determined that the basis of qualimetry methods for assessing the quality of a multi-parameter object should be the methods of obtaining information (instrumental, calculation, organoleptic and registration methods) and sources of information (traditional, expert and sociological methods). The main difficulties associated with the definition of a comprehensive indicator for assessing the quality of a multi-parameter electric power facility, which are manifested in the peculiarities of the technological process of production (generation), transmission and consumption of electricity in real time, namely the theoretical and practical difficulties in determining real quantitative indicators for assessing the quality of technological equipment of the technological process of electricity production, are identified. Findings prove that when determining a comprehensive indicator for assessing the quality of a multi-parameter electric power facility, it is important to assess the quality of all processes used for electricity generation, namely production process as a set of all actions of the power plant's operational personnel, technical systems and technological equipment; technological process as part of the production process containing purposeful actions to change or determine the state of electric energy; technological process as part of the production process containing purposeful actions to change or determine the state of electric energy; technological process as part of the production process containing purposeful actions to change or determine the state of electric energy. It is proposed to use the additive method of qualimetry to determine a complex indicator in the form of a combination of a set of single quantitative indicators of the quality of a multi-parameter electric power facility, which is based on the addition of various properties of the assessed quality of the facility and allows the mathematical model of the complex indicator to reflect the hierarchical structure of the taken into account properties that characterize the technical level and quality of technological equipment, production and technological processes. The article presents an improved additive mathematical model in the form of factor analysis, which is proposed to be used for the case when the studied performance indicator is an algebraic sum of factor quality indicators. It is noted that the complexity of the additive mathematical model depends on the number of hierarchical levels of the selected system of quality indicators of a multi-parameter power engineering facility.

Keywords: assessment, quality, quality assessment process, comprehensive quality indicator, additive qualimetric method

Вступ

Нині комплексні кількісні оцінки якості дедалі більше впроваджуються в різні сфери промисловості та енергетичного комплексу. У вітчизняній [1-10] і зарубіжній [11-29] науково-технічній (науково-популярній) літературі дедалі частіше зачіпають проблеми комплексного оцінювання якості різного роду об'єктів або оцінювання якості перебігу різних процесів.

Для кількісного оцінювання якості об'єкта (продукції, систем, процесів, предметів, властивостей), практичне застосування знаходять різні методи кваліметрії [1-29].

Кваліметричні методи оцінювання якості продукції являють собою сукупність кількісних методів оцінювання і дають змогу ухвалювати найточніші, рішення щодо підвищення якості об'єкта (продукції, систем, процесів, предметів, властивостей),

Як відомо [1-29], до завдань кваліметрії належать:

- обґрунтування номенклатури показників якості;
- розробка методів визначення показників якості продукції та їх оптимізації;
- оптимізація типорозмірів і параметричних рядів виробів;
- розробка принципів побудови узагальнених показників якості;
- обґрунтування умов використання узагальнених показників якості в задачах стандартизації та управління якістю.

Кваліметрія використовує математичні методи: лінійне, нелінійне та динамічне програмування, теорію оптимального управління, теорію масового обслуговування тощо.

Кінцевою метою кваліметрії є розробка та вдосконалення методик, за допомогою яких якість конкретного оцінюваного об'єкта може бути виражена одним числом, яке характеризує ступінь задоволення даним об'єктом виробничої потреби.

Існуючі зараз методики оцінювання якості (незважаючи на те, що об'єкт оцінювання у них найрізноманітніший) характеризуються внутрішньою єдністю. Вона полягає в тому, що ці методики базуються на загальних принципах кваліметрії. Отже, з точки зору теоретичної кваліметрії, ці методики однорідні та можуть бути описані одним алгоритмом.

Тому, для удосконалення існуючих методик з оцінки якості багатопараметричних об'єктів, необхідно включати комплексні показники з урахуванням усіх процесів виробництва електроенергії, а саме: виробничий процес, як сукупність усіх дій оперативного персоналу електростанції, технічних систем і технологічного обладнання; технологічний процес, як частина виробничого процесу, яка містить цілеспрямовані дії зі зміни або визначення стану електричної енергії; технологічна система, як сукупність функціонально взаємопов'язаних засобів технологічного оснащення і предметів виробництва, що дасть змогу визначити чисельні значення кількісних показників якості для оцінки якості багатопараметричного об'єкта електроенергетики.

Постановка проблеми та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Об'єктом дослідження методами кваліметрії може бути практично будь-який конструктивний і технологічний об'єкт, якщо його якість потрібно піддати кваліметричному аналізу. Однак певну актуальну проблему в оцінюванні якості викликають багатопараметричні об'єкти, які мають безліч поодиноких кількісних показників якості (наприклад, на ТЕС і АЕС від 5000 до 50000 технологічних параметрів), що ускладнює оцінювання якості об'єкта в цілому.

Актуальність проблеми ускладнюється тим, що під час оцінювання рівня якості об'єктів електроенергетики необхідно враховувати оцінку якості протікання безперервного виробничого процесу із генерування, передавання та розподілу електроенергії в режимі реального часу.

Для розв'язання цієї проблеми, у статті запропоновано розглянути застосування адитивного методу кваліметрії для оцінки комплексного показника якості багатопараметричного об'єкта електроенергетики.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

У роботах [1-3] розглянуто: аналіз положень міжнародних документів, що містять вимоги до процесу оцінювання якості та методів вимірювань з метою визначення їхньої практичної реалізації; залежності для оцінювання показників якості промислової продукції; функції бажаності, що дає змогу враховувати максимально та мінімально допустимі значення показника якості процесу, а також його найкраще значення.

У роботах [4-6] розглянуто: сукупність залежностей між одиничними показниками якості процесів та їхніми значеннями, у безрозмірній шкалі; структурно-аналітичні моделі якості продукції як багатопараметричного об'єкта оцінювання та вимірювання для процесів формування якості виробів; переваги нейромережевого моделювання для кількісного оцінювання та інформаційного забезпечення якості; розглянуто процес оцінювання якості промислової продукції.

У роботах [7-8] розглянуто: процес оцінювання параметрів точності вимірювань не тільки за невизначеністю вимірювань, а й за іншими показниками точності; підхід до аналізу технології виробництва, що ґрунтується на близькості отриманої точності до прогнозованих параметрів, для оцінювання якості промислової продукції;

Роботу [9] присвячено розгляду математичної моделі чисельного визначення значення показника якості, що дає змогу отримувати безрозмірні значення в діапазоні від мінус нескінченності до 1.

У роботах [10-14] розглянуто: покрокову методику визначення комплексного показника оцінювання якості в галузях промисловості; фізичний сенс і розрахунки якості енергії та енергетичного класу; адаптований обчислювальний метод енергетичного рівня, що описує якість енергії з теплового та механічного погляду; підхід "TReQ" для покращення дослідницької практики в галузі енергетики та досягнення більшої прозорості, відтворюваності та якості; інструментарій для підвищення якості, прозорості та відтворюваності оцінок; методику розрахунку вартості просадки напруги [15]. Розглянуто метод для розрахунку вартості просідання напруги [15].

У роботі [16] розглянуто важливість статистичних методів для контролю якості. На оцінці параметрів і перевірці гіпотез визначено користь таких методів у вирішенні проблем при розгляді дефектних виробів.

Під час оцінювання якості електроенергії, у роботі [17], розглянуто та застосовано спрощений метод оцінювання параметрів енергетичної якості, а в роботі [18] розглянуто оптимальний алгоритм одночасного відстеження подій якості електроенергії в розподільчих системах за наявності розподіленої генерації на базі інвертора та нелінійного навантаження, а також розглянуті процедури M&V для кількісного оцінювання та порівняння енергоефективності та якості електроенергії [19].

У роботі [20] розглянуто аналіз наукових робіт, пов'язаних з оцінкою якості продукції, їхні недоліки, можливі межі застосування. Розглянуто використання математичних залежностей для отримання оцінок показників якості продукції в безрозмірному масштабі, а також запропоновано метод оцінки ризиків низької якості продукції.

Під час оцінювання якості, у роботі [21] розглянуто новий метод оцінювання якості з останнім агрегуванням для розв'язання промислових задач на основі м'яких обчислень, а в роботі [22], з урахуванням вимог міжнародної організації зі стандартизації, розглянуті вимоги до ефективного застосування системи оцінювання якості промислової продукції.

У роботах [23-24] розглянуто результати досліджень з розроблення нової методології оцінки якості визначення індивідуального ресурсу будь-яких технічних систем, а також для оцінки якості промислової продукції розглянуто застосування методу Taguchi SNR.

Під час оцінювання якості електроенергії в роботі [25] розглянуто метод, що ґрунтується на нечіткій логіці для визначення показників якості електроенергії для різних категорій споживачів електроенергії, а також розглянуто питання комплексного управління якістю електроенергії через наукову, точну та стандартизовану оцінку якості електроенергії [26] та запропоновано метод комплексного оцінювання якості електроенергії [27].

У роботі [28] розглянуто якість електроенергії в енергосистемі на основі стандартів EN-50160 та EN-61000. Представлено огляд основних методів визначення місця виникнення перешкоди в електричній мережі, а в роботі [29] розглянуто методику точного оцінювання показників якості електроенергії та підкреслено важливість послуг моніторингу якості електроенергії на різних рівнях напруги.

Метою роботи є розгляд і аналіз методів кваліметрії для їхнього застосування в наявних методиках з оцінки комплексних показників якості багатопараметричних об'єктів електроенергетики.

Виклад основного матеріалу

1. Дослідження методів кваліметрії для оцінки кількісних комплексних показників якості багатопараметричних об'єктів.

Розглянемо і проаналізуємо основні вимоги до методів кваліметрії для визначення кількісних комплексних показників якості багатопараметричних об'єктів енергетики.

Методи кваліметрії, під час визначення чисельних значень показників якості для оцінювання об'єктів (продукції, систем, процесів, предметів, властивостей), можна розділити на дві групи:

- за способами отримання інформації (інструментальний, розрахунковий, органолептичний, реєстраційний);
- за джерелами отримання інформації (традиційний, експертний, соціологічний).

Інструментальний метод визначення чисельних значень показників якості ґрунтується на інформації, одержуваній під час використання технічних засобів вимірювань (вимірвальних приладів, систем контролю систем діагностики, інформаційно-вимірвальних систем та ін.). Вимірвальним методом визначають більшість показників якості під час оцінювання електричної енергії (наприклад, електричну напругу, електричний струм, потужність споживання, частоту напруги тощо). Основними перевагами вимірвального методу є його об'єктивність і точність, а також одержання легко відтворюваних числових значень показників якості, які виражаються в конкретних одиницях (наприклад, у ватах, вольтах, амперах). До недоліків цього методу слід віднести складність і тривалість деяких вимірювань, необхідність спеціальної підготовки оперативного персоналу.

Органолептичний метод ґрунтується на використанні інформації, одержуваної в результаті аналізу відчуттів і сприйнятів за допомогою органів чуття людини – зору, нюху, слуху, дотику, смаку. Органолептичний метод простий, завжди використовується першим, часто виключає необхідність використання вимірвального методу, як більш дорогого, вимагає малих витрат часу. Крім доступності та простоти цей метод незамінний під час оцінки таких показників якості, як запах, смак. Різновидом органолептичного методу є сенсорний, дегустаційний та інші методи.

Реєстраційний метод ґрунтується на спостереженні та підрахунку числа певних витрат (наприклад, витрат кількості електроенергії на власні потреби електростанції). Цим методом можна визначати, наприклад, кількість відмов або помилкових спрацювань

технологічного обладнання за певний період експлуатації енергоблока електростанції. Недоліком цього методу є тривалість проведення спостережень, проте дає змогу визначити показники довговічності, безвідмовності, збережуваності та ремонтпридатності.

Розрахунковий метод заснований на використанні теоретичних і емпіричних залежностей для розрахунку чисельних показників якості електроенергії, які можуть бути використані для визначення надійності, продуктивності, трудомісткості та ін.

Експертний метод визначення показників якості під час оцінки об'єкта електроенергетики, заснований на опрацюванні та аналізі інформації, яку отримано від фахівців-експертів. Сутність такого методу полягає в тому, що в основу аналізу якості електроенергії закладається думка фахівців, яка ґрунтується на їхньому професійному та практичному досвіді і виражена шляхом виставлення ними кількісних оцінок. Цей метод можна застосовувати в тих випадках, коли показники якості не можуть бути визначені іншими методами через недостатню кількість інформації або в разі необхідності розроблення спеціальних технічних засобів (наприклад, експертну групу формує всесвітня організація МАГАТЕ для вивчення та оцінки стану критичних аварійних процесів на атомній електростанції в разі важких аварій).

Соціологічний метод визначення показників якості ґрунтується на зборі та аналізі думок споживачів електроенергії. Збирання думок споживачів електроенергії здійснюється різними способами: усне опитування; поширення анкет-опитувальників, організація виставок-продажів, конференцій, аукціонів. Соціологічний метод широко використовують на стадії виконання маркетингових досліджень, під час вивчення попиту, для визначення показників якості електроенергії, оцінки якості електроенергії.

Традиційний метод передбачає отримання інформації про кількісну оцінку показників якості електроенергії з традиційних джерел інформації на електростанції (наприклад, випробувальні стенди на електростанціях, відділ технічного контролю).

Таким чином, аналіз основних методів кваліметрії засвідчив, що в якості об'єктів кваліметрії для оцінювання якості об'єкта електроенергетики слід вибирати такі процеси:

- виробничий процес: сукупність усіх дій оперативного персоналу електростанції, технічних систем і технологічного обладнання енергоблока, що необхідні на атомній або тепловій електростанції для виробництва електроенергії;
- технологічний процес: частина виробничого процесу, що містить цілеспрямовані дії зі зміни та/або визначення стану електричної енергії, на які оперативний персонал, технічні системи і технологічне обладнання впливає в процесі виробництва електроенергії;
- технологічна система: сукупність функціонально взаємопов'язаних засобів технологічного оснащення (наприклад, технологічне обладнання; засоби механізації та автоматизації технологічного процесу енергоблока); предметів виробництва і виконавців для виконання в регламентованих умовах виробництва електроенергії, заданих технологічних процесів або операцій.

Таким чином, виходячи з вище викладеного, в якості предмет кваліметрії, може бути прийнята оцінка якості електроенергії в кількісному її вираженні.

Розглянемо принципи і підходи до визначення кількісних показників оцінювання якості електроенергії, яка виробляється на об'єктах електроенергетики.

Під час вибору методів кваліметрії для оцінювання якості електроенергії, необхідне дотримання і виконання таких методологічних принципів:

- методи кваліметрії повинні давати достовірну кваліфіковану і кількісну оцінку якості багатопараметричного об'єкта дослідження;
- під час вибору кількісних показників для оцінювання якості електроенергії, необхідно завжди використовувати і враховувати пріоритет на стороні споживачів електроенергії (наприклад, величина заявленої споживаної потужності, похибки у відхиленні величини електричної напруги і струму);

- кваліметрична оцінка якості електроенергії може бути отримана тільки з урахуванням базових значень показників визначальних властивостей і якості електроенергії загалом;
- інтегрований вищий кількісний показник у разі будь-якого узагальнення, під час оцінювання якості електроенергії, зумовлюється відповідними показниками попереднього ієрархічного рівня (наприклад, під найнижчим ієрархічним рівнем показників слід приймати одиничні показники найпростіших властивостей, що формують якість електроенергії);
- під час використання методу комплексного оцінювання якості електроенергії всі різнорозмірні показники властивостей мають бути перетворені та приведені до однієї розмірності або виражені в безрозмірних одиницях виміру;
- при визначенні комплексного показника якості електроенергії, кожен показник окремої властивості якості електроенергії має бути скоригований коефіцієнтом його вагомості (наприклад, значення коефіцієнтів вагомості запропоновано визначати на основі таких методів: вартісних регресивних залежностей; граничних і номінальних значень; еквівалентних співвідношень; статистичних; кореляційних, регресивних та експертних);
- сума числових значень коефіцієнтів вагомостей усіх показників якості на будь-яких ієрархічних етапах оцінювання має однакове значення;
- якість цілого об'єкта кваліметрії зумовлена якістю його складових частин;
- під час кількісної оцінки якості електроенергії неприпустиме використання взаємообумовлених і, отже, дублюючих показників однієї і тієї ж властивості якості електроенергії;
- оцінка якості електроенергії обов'язково має проводитися за функціями відповідно до основного її призначення.

Таким чином, усі перелічені вище методологічні принципи кваліметрії є основоположними під час розв'язання загальних і окремих науково-технічних завдань, пов'язаних із методами оцінювання якості електричної енергії, зокрема, й об'єктів електроенергетики загалом.

2. Дослідження комплексного показника оцінки якості об'єкта електроенергетики.

Комплексний показник якості дає змогу в цілому охарактеризувати якість об'єкта або групу його властивостей.

Комплексний показник якості ділиться на:

- груповий показник якості (належить до групи властивостей об'єкта);
- інтегральний показник якості (комплексний показник якості, який відображає відношення сумарного корисного ефекту від використання об'єкта за призначенням до витрат на створення і використання об'єкта за призначенням);
- узагальнений показник якості (належить до такої сукупності властивостей об'єкта, за якою ухвалено рішення оцінювати його якість загалом).

У роботі для визначення комплексного показника, тобто для об'єднання сукупності одиничних показників оцінювання якості об'єкта електроенергетики, запропоновано використовувати найпоширеніший метод кваліметрії – адитивний, який ґрунтується на додаванні різних властивостей оцінюваної якості об'єкта.

Адитивну математичну модель можна уявити як різновид факторного аналізу, що використовується в тих випадках, коли досліджуваний (результативний показник) являє собою алгебраїчну суму факторних показників.

Адитивний метод кваліметрії дає змогу в математичній моделі комплексного показника відобразити ієрархічну структуру врахованих властивостей, які характеризують технічний рівень і якість технологічного обладнання об'єкта електроенергетики.

Складність адитивної математичної моделі залежить від кількості ієрархічних рівнів обраної системи показників якості об'єкта електроенергетики.

Виходячи з цього, для об'єднання властивостей і одиничних показників оцінки якості об'єкта в групі, математична модель комплексного показника, як середньозваженої арифметичної величини, матиме вигляд, відповідно до виразу (1):

$$K = \sum_{j=1}^i M_j \cdot \sum_{i=1}^{n_j} m_{ij} \cdot K_{ij} \quad (1)$$

де t – кількість груп показників якості технологічного обладнання об'єкта електроенергетики;

M_j – коефіцієнт вагомості j -ої групи показників якості технологічного обладнання об'єкта електроенергетики;

n_j – кількість одиничних показників якості технологічного обладнання об'єкта електроенергетики, що входять до j -ї групи;

m_{ij} – коефіцієнт вагомості i -го показника j -ої групи;

K_{ij} – відносне значення i -го показника якості технологічного обладнання об'єкта електроенергетики, що входить до j -ї групи.

Якщо всередині груп властивості (показники якості технологічного обладнання об'єкта електроенергетики) розділені на підгрупи, то комплексний показник якості об'єкта електроенергетики має вже обчислюватися за формулою (2):

$$K_o = \sum_{k=1}^z M_k \cdot \sum_{j=1}^{t_k} M_{jk} \cdot \sum_{i=1}^{n_{jk}} m_{ijk} \cdot K_{ijk} \quad (2)$$

де z – кількість груп показників якості об'єкта електроенергетики;

t_k – кількість підгруп у k -ій групі показників якості об'єкта електроенергетики;

n_{jk} – кількість одиничних показників якості, що входять до j -ї підгрупи k -ої групи показників якості об'єкта електроенергетики.

Окремим випадком комплексного показника оцінки якості може виступати інтегральний показник, який визначають як відношення сумарного корисного ефекту від споживання промислової продукції до сумарних витрат на її виробництво та експлуатацію обладнання для процесу виробництва промислової продукції.

Інтегральний показник якості обчислюють за формулою (3):

$$Y = \frac{E}{(S_c + S_e)} \quad (3)$$

де E – сумарний корисний ефект від споживання промислової продукції;

S_c – сумарні витрати на придбання промислової продукції;

S_e – сумарні витрати на процес виробництва промислової продукції.

Виходячи з виразу (3), у роботі запропоновано інтегральним методом оцінювати рівень якості об'єкта електроенергетики за її інтегральним показником у тих випадках, коли встановлюють сумарний корисний ефект від споживання електроенергії та сумарні витрати на виробництво електроенергії на об'єкті електроенергетики.

Інтегральний показник оцінки рівня якості оцінюваного процесу виробництва електроенергії можна визначити як частку від ділення значення інтегрального показника якості оцінюваного процесу виробництва електроенергії на відповідне базове значення, тобто визначається виразом (4):

$$Y_{in} = \frac{P_{in}}{P_{in.b}} \quad (4)$$

де Y_{in} – інтегральний показник рівня якості оцінюваного процесу виробництва електроенергії, що оцінюється;

P_{in} – інтегральний показник якості оцінюваного процесу виробництва електроенергії, що оцінюється;

$P_{in.b}$ – базове значення інтегрального показника якості оцінюваного процесу виробництва електроенергії, що оцінюється.

Підсумковим показником рівня якості об'єкта електроенергетики, зокрема й технічного рівня процесу виробництва електроенергії, може бути не тільки інтегральний показник, а й узагальнений або комплексний, який враховує кілька різних за суттю показників, а також і головний (визначальний) показник, тобто підсумковий показник – це показник, за яким дається загальна оцінка рівня якості процесу виробництва електроенергії на об'єкті електроенергетики.

Виходячи з цього, інтегральний показник якості електроенергії можна представити як відношення сумарного показника ефекту від споживання електроенергії W до сумарних витрат на її виробництво або споживання за весь термін експлуатації об'єкта електроенергетики, тобто визначається виразом (5):

$$P_{in.ee.} = \frac{W}{(K_c + S_e)} \quad (5)$$

або як зворотне відношення цих витрат до корисного ефекту, визначається виразом (6):

$$P_{in.ee.} = \frac{(K_c + S_e)}{W} \quad (6)$$

де W – корисний ефект, тобто кількість виробленої електроенергії на об'єкті електроенергетики за певний термін експлуатації;

K_c – сумарні капіталовкладення, що включають оптову ціну, а також витрати на установку, налагодження та інші роботи на технологічному обладнанні для забезпечення процесу виробництва електроенергії за певний термін експлуатації об'єкта електроенергетики;

S_e – експлуатаційні витрати за визначений строк експлуатації об'єкта електроенергетики;

З виразу (5) випливає, що інтегральний показник для оцінювання якості багатопараметричного об'єкта характеризується корисним ефектом, що припадає на одну грошову одиницю сумарних витрат, а з виразу (6) – сумою витрат грошових одиниць, що припадають на одиницю корисного ефекту.

Висновки

Обґрунтовано основні вимоги до методів кваліметрії для визначення кількісних комплексних та інтегральних показників оцінювання якості багатопараметричного об'єкта електроенергетики та визначено способи одержання інформації для інструментального, розрахункового, органолептичного та реєстраційного методу, а також джерела одержання інформації для традиційного, експертного та соціологічного методу.

Проведено вибір адитивного методу кваліметрії, який дає змогу в математичній моделі комплексного показника відобразити ієрархічну структуру врахованих властивостей, що характеризують технічний рівень і якість процесу виробництва електроенергії на об'єктах електроенергетики.

Список використаних джерел:

1. Analysis of the requirements of international and national standards for measurement methods and metrological equipment / R. Trishch [et. al.] // *Innovative technologies and scientific solutions for industries*. – 2020. – № 1 (11). – P. 156–162. doi: 10.30837/2522-9818.2020.12.075
2. Quantitative assessment of working conditions in the workplace / O. Cherniak [et. al.] // *Engineering management in production and services*. – 2020. – № 12 (2). – P. 99–106. Doi: 10.2478/emj-2020-0014.
3. Development of qualimetric approaches to the processes of quality management system at enterprises according to international standards of the iso 9000 series / R. Trishch [et. al.] // *Eastern-european journal of enterprise technologies*. – 2016. – № 4/3 (82). – P. 18–24. Doi: 10.15587/1729-4061.2016.75503.
4. Ginevičius G. Quantitative assessment of quality management systems' processes / G. Ginevičius, R. Trishch, V. Petraškevičius // *Economic research-ekonomska istraživanja*. – 2015. – № 28 (1). – P. 1096–1110. doi: 10.1080/1331677X.2015.1087676.
5. Зубрецкая Н. А. Структурное моделирование качества продукции как многомерного объекта измерения и управления / Н. А. Зубрецкая // *Технологический аудит и резервы производства*. – 2015. – № 2/3 (22). – С. 44–48. DOI: 10.15587/2312-8372.2015.41541
6. Muelaner J. Metrology and quality assurance in industry 4.0 jody muelaner. An introduction to metrology and quality in manufacturing [Electronic resource] / J. Muelaner. – Access mode: <https://www.engineering.com/AdvancedManufacturing/ArticleID/14896/An-Introduction-to-Metrology-and-Quality-in-Manufacturing.aspx> (Last accessed 02.02.2023).
7. Trishch R. Development and validation of measurement techniques according to iso/iec 17025:2017 / R. Trishch, O. Maletska, H. Hrinchenko // *Proceedings of the 8th international conference on advanced optoelectronics and lasers*. – 2019. – P. 715–720. DOI:10.1109/CAOL46282.2019.9019539
8. A general approach for tolerance control in quality assessment for technology quality analysis / O. Kupriyanov [et. al.] // *Lecture notes in mechanical engineering*. – 2022. – P. 330–339. DOI:10.1007/978-3-031-16651-8_31
9. Mathematic model of the general approach to tolerance control in quality assessment / O. Kupriyanov [et. al.] // *Lecture notes in mechanical engineering* this link is disabled. – 2022. – P. 415–423. DOI:10.1007/978-3-030-91327-4_41
10. Trishch R. Methodology for multi-criteria assessment of working conditions as an object of qualimetry / R. Trishch, O. Kupriyanov, O. Cherniak // *Engineering management in production and services* this link is disabled. – 2021. – № 13 (2). – P. 107–114. DOI: <https://doi.org/10.2478/emj-2021-0016>
11. Ruihua C. Energy quality and energy grade: concepts, applications and prospects / C. Ruihua, X. Weicong, D. Shuai // *Oxford open energy*. – 2022. – Vol. 1. – P. 12–20. <https://doi.org/10.1093/ooenergy/oiac001>
12. Jiang X. Adapted computational method of energy level and energy quality evolution for combined cooling, heating and power systems with energy storage units / X. Jiang, X. Wang, L. Feng // *Energy*. – 2017. – P. 209–216. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.12.124>
13. Huebner G. Improving energy research practices: guidance for transparency, reproducibility and quality / G. Huebner, M. Fell, N. Watson // *Buildings and cities*. – 2021. – Vol. 2. – P. 1–20. DOI: <http://doi.org/10.5334/bc.67>
14. Huebner G. Are we heading towards a replicability crisis in energy efficiency research? A toolkit for improving the quality, transparency and replicability of energy efficiency impact evaluations [Electronic resource] / G. Huebner, M. Nicolson, M. Fell // *Proceedings of the european council for an energy efficient economy ecee 2017 summer study on energy efficiency: consumption, efficiency and limits*. – London : UKERC, 2017. – Access mode: <https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/1561512/> (Last accessed 30.01.2023).
15. Sharma A. A review on economics of power quality: Impact, assessment and mitigation / A. Sharma, B. Rajpurohit, S. Singh // *Renewable and sustainable energy reviews*. – 2018. – Vol. 88. – P 363–372. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.02.011>
16. Francisco J. Importance of quality control implementation in the production process of a company / J. Francisco, E. Rosillo, F. Javier // *European Journal of Economics and Business Studies*. – 2018. – Vol. 4, no. 1. – P. 2–6. DOI: <https://doi.org/10.26417/ejes.v10i1.p248-252>
17. Lucchi E. Simplified assessment method for environmental and energy quality in museum buildings / E. Lucchi // *Energy and buildings*. – 2016. – Vol. 117. – P. 216–229. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.02.037>
18. Karimian A. Novel method based on Teager Energy Operator for online tracking of power quality disturbances / A. Karimian, S. Hosseinian // *Electric power systems research*. – 2022. – Vol. 13. – P. 108747. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2022.108747>
19. Energy and power quality measurement for electrical distribution in AC and DC microgrid buildings / L. Daniel [et. al.] // *Applied energy*. – 2022. – Vol. 308. – P. 118308. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.118308>
20. Qualimetric method of assessing risks of low quality products / R. Trishch [et. al.] // *MM science journal*. – 2021. – № 10. – P. 4769–4774. <https://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/87679>

21. Gitinavard H. Soft computing-based new interval-valued hesitant fuzzy multicriteria group assessment method with last aggregation to industrial decision problems / H. Gitinavard, S. Mousavi, B. Vahdani // *Soft comput.* – 2017. – Vol. 21. – P. 3247–3265. DOI: 10.1007/s00500-015-2006-9
22. ISO 9001:2015 quality management systems. Requirements. International organization for standardization [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.iso.org/standard/62085.html> (Last accessed 10.02.2023).
23. Development of the method for predicting the resource of mechanical systems / A. Panda [et. al.] // *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology.* – 2019. – Vol. 105. – P. 1563–1571. <https://doi.org/10.1007/s00170-019-04252-6>
24. Tang M. An improved Taguchi multi-criteria decision-making method based on the hesitant fuzzy correlation coefficient and its application in quality evaluation / M. Tang, T. Wang, D. Peng // *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing.* – 2020. – № 12. – P. 8241–8254. <https://doi.org/10.1007/s12652-020-02558-y>
25. Jiansheng H. Power quality assessment of different load categories / H. Jiansheng, J. Zhuhan // *CPESE : 4th international conference on power and energy systems engineering.* – 2017. – Vol. 141. – P. 345–351. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.11.041>
26. Research on power quality evaluation method for high energy-consuming enterprises / Y. Liu [et. al.] // *Journal of physics: conference series. International conference on mechanical engineering, intelligent manufacturing and automation technology (memat).* – 2021. – Vol. 1820. – P. 15–17. DOI 10.1088/1742-6596/1820/1/012005
27. Canran S. Power quality comprehensive evaluation method based on fuzzy mathematics and cloud theory / S. Canran, H. Lanxin // *Journal of physics: conference series. International conference on mechanical engineering, intelligent manufacturing and automation technology (memat).* – 2020. – Vol. 1684. – P. 18–20. DOI 10.1088/1742-6596/1684/1/012136
28. Techniques to locate the origin of power quality disturbances in a power system: a review / R. Martínez [et. al.] // *Sustainability.* – 2022. – Vol. 14. – P. 7428. <https://doi.org/10.3390/su14127428>
29. Panagiotis A. Power quality monitoring and evaluation in power systems under non-stationary conditions using wavelet packet transform / A. Panagiotis, S. Pavlos // *Selected papers from the 2018 IEEE international conference on high voltage engineering and application.* – 2018. – P. 186–196. doi: 10.1049/hve.2019.0062.

References

1. Trishch, R, Maletska, O, Cherniak, O, Semionova, Ju & Jancis, V 2020, ‘Analysis of the requirements of international and national standards for measurement methods and metrological equipment’, *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, no. 1 (11), pp. 156-162. doi: 10.30837/2522-9818.2020.12.075
2. Cherniak, O, Trishch, R, Kim, N & Ratajczak, S 2020, ‘Quantitative assessment of working conditions in the workplace’, *Engineering Management in Production and Services*, no. 12 (2), pp. 99-106. doi: 10.2478/emj-2020-0014.
3. Trishch, R, Gorbenko, E, Dotsenko, N, Kim, N & Kiporenko, A 2016, ‘Development of qualimetric approaches to the processes of quality management system at enterprises according to international standards of the ISO 9000 series’, *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, no. 4/3 (82), pp. 18-24. doi: 10.15587/1729-4061.2016.75503.
4. Ginevičius, R, Trishch, H & Petraškevičius, V 2015, ‘Quantitative assessment of quality management systems’ processes’, *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, no. 28 (1), pp. 1096-1110. doi: 10.1080/1331677X.2015.1087676.
5. Zubretskaya, N 2015, ‘Structural modeling of product quality as a multidimensional object of measurement and management’, *Technological Audit and Production Reserves*, no. 2/3 (22), pp. 44-48. DOI: 10.15587/2312-8372.2015.41541
6. Muelaner, J 2017, *Metrology and Quality Assurance in Industry 4.0 Jody Muelaner. An Introduction to Metrology and Quality in Manufacturing*, viewed 02 February 2023, <<https://www.engineering.com/AdvancedManufacturing/ArticleID/14896/An-Introduction-to-Metrology-and-Quality-in-Manufacturing.aspx>>.
7. Trishch, R, Maletska, O & Hrinchenko, H 2019, ‘Development and validation of measurement techniques according to ISO/IEC 17025:2017’, *Proceedings of the 8th International Conference on Advanced Optoelectronics and Lasers*, pp. 715-720. DOI:10.1109/CAOL46282.2019.9019539
8. Kupriyanov, O et. al. 2022, ‘A general approach for tolerance control in quality assessment for technology quality analysis’, *Lecture notes in mechanical engineering*, pp. 330-339. DOI:10.1007/978-3-031-16651-8_31
9. Kupriyanov, O et. al. 2022, ‘Mathematic Model of the General Approach to Tolerance Control in Quality Assessment’, *Lecture Notes in Mechanical Engineering* *this link is disabled*, pp. 415-423. DOI:10.1007/978-3-030-91327-4_41
10. Trishch, R, Kupriyanov, O & Cherniak, O 2021, ‘Methodology for multi-criteria assessment of working conditions as an object of qualimetry’, *Engineering Management in Production and Services* *this link is disabled*, no. 13 (2), pp. 107-114. DOI: <https://doi.org/10.2478/emj-2021-0016>

11. Ruihua, C, Weicong, X & Shuai, D 2022, 'Energy quality and energy grade: concepts, applications and prospects', *Oxford open energy*, vol. 1, pp. 12-20. <https://doi.org/10.1093/ooenergy/oiac001>
12. Jiang, X, Wang, X & Feng, L 2017, 'Adapted computational method of energy level and energy quality evolution for combined cooling, heating and power systems with energy storage units', *Energy*, pp. 209-216. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.12.124>
13. Huebner, G, Fell, M & Watson, N 2021, 'Improving energy research practices: guidance for transparency, reproducibility and quality', *Buildings and cities*, vol. 2 (1), pp. 1-20. DOI: <http://doi.org/10.5334/bc.67>
14. Huebner, G, Nicolson, M & Fell, M 2017, 'Are we heading towards a replicability crisis in energy efficiency research? A toolkit for improving the quality, transparency and replicability of energy efficiency impact evaluations', *Proceedings of the european council for an energy efficient economy eceee 2017 summer study on energy efficiency: consumption, efficiency and limits*, UKERC, London, viewed 30 January 2023, <<https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/1561512/>>.
15. Sharma, A, Rajpurohit, B & Singh, S 2018, 'A review on economics of power quality: Impact, assessment and mitigation', *Renewable and sustainable energy reviews*, vol. 88, pp. 363-372. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.02.011>
16. Francisco, J, Rosillo, E & Javier, F 2018, 'Importance of quality control implementation in the production process of a company', *European Journal of Economics and Business Studies*, vol. 4, no. 1. pp. 2-6. DOI: <https://doi.org/10.26417/ejes.v10i1.p248-252>
17. Lucchi, E 2016, 'Simplified assessment method for environmental and energy quality in museum buildings', *Energy and buildings*, vol. 117, pp. 216-229. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.02.037>
18. Karimian, A & Hosseinian, S 2022, 'Novel method based on Teager Energy Operator for online tracking of power quality disturbances', *Electric power systems research*, vol. 13, pp. 108747. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2022.108747>
19. Daniel, L, Omkar, A, Moazzam, N & Willy, G 2022, 'Energy and power quality measurement for electrical distribution in AC and DC microgrid buildings', *Applied energy*, vol. 308, pp. 118308. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.118308>
20. Trishch, R, Nechuviter, O, Dyadyura, K, Vasilevskyi, O, Tsykhanovska, I & Yakovlev, M 2021, 'Qualimetric method of assessing risks of low quality products', *MM science journal*, no. 10, pp. 4769-4774. <https://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/87679>
21. Gitinavard, H, Mousavi, S & Vahdani, B 2017, 'Soft computing-based new interval-valued hesitant fuzzy multicriteria group assessment method with last aggregation to industrial decision problems', *Soft comput*, vol. 21, pp. 3247-3265. DOI: 10.1007/s00500-015-2006-9
22. International Organization for Standardization 2015, *Quality management systems. Requirements. International organization for standardization*, ISO 9001:2015, viewed 10 February 2023, <<https://www.iso.org/standard/62085.html>>
23. Panda, A et al. 2019, 'Development of the method for predicting the resource of mechanical systems', *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 105, pp. 1563-1571. <https://doi.org/10.1007/s00170-019-04252-6>
24. Tang, M, Wang, T & Peng, D 2020, 'An improved Taguchi multi-criteria decision-making method based on the hesitant fuzzy correlation coefficient and its application in quality evaluation', *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, no. 12, pp. 8241-8254. <https://doi.org/10.1007/s12652-020-02558-y>
25. Jiansheng, H & Zhuhan, J 2017, 'Power quality assessment of different load categories', *CPESE 4th international conference on power and energy systems engineering*, vol. 141, pp. 345-351. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.11.041>
26. Liu, Y, Junde, L, Yang, B, Liaoyi, N, Xiangbo, Z, Xue, W & Shenghua, B 2021, 'Research on power quality evaluation method for high energy-consuming enterprises', *Journal of physics: conference series. International conference on mechanical engineering, intelligent manufacturing and automation technology (memat)*, Guilin, vol. 1820, pp. 15-17. DOI 10.1088/1742-6596/1820/1/012005
27. Canran, S & Lanxin, H 2020, 'Power quality comprehensive evaluation method based on fuzzy mathematics and cloud theory', *Journal of physics: conference series. International conference on mechanical engineering, intelligent manufacturing and automation technology (memat)*, Shanghai, vol. 1684, pp. 1-20. DOI: 10.1088/1742-6596/1684/1/012136
28. Martínez, R, Castro, P, Mañana, M & Arroyo, A 2022, 'Techniques to locate the origin of power quality disturbances in a power system: a review', *Sustainability*, vol. 14, pp. 7428. <https://doi.org/10.3390/su14127428>
29. Panagiotis, A & Pavlos, S 2018, 'Power quality monitoring and evaluation in power systems under non-stationary conditions using wavelet packet transform', *Selected papers from the 2018 IEEE international conference on high voltage engineering and application*, pp. 186-196. doi: 10.1049/hve.2019.0062.

Стаття надійшла до редакції 03 лютого 2023 року