

УДК 658.562:004.9

doi:10.20998/2413-4295.2023.01.04

МЕТОДОЛОГІЧНІ ПІДХОДИ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ БАГАТОПАРАМЕТРИЧНИХ ОБ'ЄКТІВ ЕНЕРГЕТИКИ

П. Ф. БУДАНОВ^{1*}, Г. С. ГРІНЧЕНКО², О. П. НЕЧУЙВІТЕР³, І. В. ЦИХАНОВСЬКА⁴

¹ кафедра фізики, електротехніки і електроенергетики, Українська інженерно-педагогічна академія, м. Харків, УКРАЇНА

² кафедра автоматизації метрології та енергоефективних технологій, Українська інженерно-педагогічна академія, м. Харків, УКРАЇНА

³ кафедра інформаційних комп'ютерних технологій і математики, Українська інженерно-педагогічна академія, м. Харків, УКРАЇНА

⁴ кафедра харчових та хімічних технологій, Українська інженерно-педагогічна академія, м. Харків, УКРАЇНА

* e-mail: pavelfeofanovich@ukr.net

АНОТАЦІЯ Проаналізовано комплексне оцінювання якості складних багатопараметричних об'єктів дослідження. Акцентовано увагу на те, що діюча на теперішній час методологія оцінки якості багатопараметричних об'єктів, незважаючи на різноманітність цих об'єктів, базується на єдиних принципах та методах кваліметрії, які пов'язані з певною системою чи групою систем, що входять до складу даного об'єкту і несуть інформацію щодо кількісних параметрів технологічного процесу та властивостей об'єкту, проте не дає змоги визначити єдиний інтегрований критерій для оцінювання якості об'єкту. Виявлено, що під час оцінювання якості об'єкта енергетики, в основних інформаційно-вимірних системах, відсутній процес формування комплексних та інтегральних кількісних та якісних показників оцінювання якості об'єкта. Запропоновано вдосконалити інформаційно-вимірну систему програмно-технічного комплексу автоматизованої системи управління технологічними процесами енергоблока електростанції, яка на основі аналізу поодиноких кількісних та якісних показників якості керуючих та інформаційних потоків (сигналів) про технологічні параметри дозволяє встановити та наочно зобразити взаємозв'язки між структурними елементами об'єкта і процесом формування якості електричної енергії як основного кількісного та інтегрального показника оцінки якості об'єкта. Проведено обґрунтування застосування методів оцінювання рівня якості електроенергії, які можуть застосовуватися як окремо, так і в різних поєднаннях і дають змогу: забезпечувати одержання кінцевого економічного результату, який дозволяє ухвалити економічно обґрунтоване рішення під час виробництва електроенергії, та більш точно оцінювати рівень якості електроенергії під час вимірювання різними приладами або під час розрахунку на основі формул, що відображають об'єктивні закономірності. Визначено етапи послідовності робіт з організації та проведення кваліметричного оцінювання якості електроенергії, що здатні: визначити мету оцінювання рівня якості електроенергії; здійснити вибір номенклатури одиничних і базових показників оцінювання якості електроенергії, а також вибір кваліметричного методу для оцінки рівня якості електроенергії. Розглянуто та обґрунтовано застосування інструментального (вимірального), розрахункового та статичного методів кваліметрії, що дають змогу провести обчислення за значеннями кількісних параметрів електричної енергії та можуть мати практичне використання при проведенні розрахунку економічних витрат на виробництво електроенергії на об'єкті енергетики.

Ключові слова: якість; оцінка; метод кваліметрії; процес оцінювання якості об'єкта

METHODOLOGICAL APPROACHES FOR ASSESSING THE QUALITY OF MULTI-PARAMETER ENERGY FACILITIES

P. BUDANOV¹, H. GRINCHENKO², O. NECHUYVITER³, I. TSYKHANOVSKA⁴

¹ Department of Physics, Electrical Engineering and Power Engineering, Ukrainian Engineering and Pedagogical Academy, Kharkiv, UKRAINE

² Department of Automation of Metrology and Energy Efficient Technologies, Ukrainian Engineering and Pedagogical Academy, Kharkiv, UKRAINE

³ Department of Information Computer Technologies and Mathematics, Ukrainian Engineering and Pedagogical Academy, Kharkiv, UKRAINE

⁴ Department of Food and Chemical Technologies, Ukrainian Academy of Engineering and Pedagogy, Kharkiv, UKRAINE

ABSTRACT The complex quality assessment of complex multivariate research objects is analyzed. It is emphasized that the current methodology for assessing the quality of multi-parameter objects, despite the heterogeneity of these objects, is based on common principles and methods of qualimetry associated with a particular system or group of systems that are part of this object and carry information on the quantitative parameters of the technological process and properties of the object but does not allow to determine a single integrated criterion for assessing the quality of the object. It has been found that when assessing the quality of a power facility, the main information and measurement systems do not have a process for forming comprehensive and integrated quantitative and qualitative indicators for assessing the quality of the facility. It is proposed to improve the information-measuring system of the software and hardware complex of the automated process control system of a power plant power unit, which, based on the analysis of individual quantitative and qualitative indicators of the quality of control and information flows (signals) on technological parameters, allows to establish and present the relationships between the structural elements of the facility and the

process of forming the quality of electricity as the main quantitative and integral indicator of the facility quality assessment. The article substantiates the use of methods for assessing the level of electricity quality, which can be used both separately and in various combinations and allow: to ensure the obtaining of the final economic result, which allows making an economically sound decision in the production of electricity, and to more accurately assess the level of electricity quality when measured by various devices or when calculated are based on formulas that reflect objective laws. The stages of the sequence of work on the organization and conduct of qualimetric assessment of electricity quality are determined, which allows: to determine the purpose of assessing the level of electricity quality; to select the nomenclature of single and basic indicators for assessing the quality of electricity, as well as the choice of a qualimetric method for assessing the level of electricity quality. The application of instrumental (measuring), computational, and static methods of qualimetry, which allow calculations based on the values of quantitative parameters of electricity and can be used in practice when calculating the economic costs of electricity production at a power facility, is considered and substantiated.

Keywords: quality; assessment; method of qualimetry; process of assessing the quality of an object

Вступ

У вітчизняній і зарубіжній літературі постійно порушуються питання комплексного оцінювання якості різних об'єктів дослідження. Так 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.

Процес оцінювання якості промислової продукції; сукупність залежності 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; а також переваги нейромережевого моделювання для кількісного оцінювання та інформаційного забезпечення якості, розглянуто в дослідженнях [4-6].

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

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

У публікаціях [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 у галузі енергетики та досягнення більшої прозорості, відтворюваності та якості; інструментарій для підвищення якості, прозорості та відтворюваності оцінок; методику розрахунку вартості просадки

напруги. У роботі [15] розглянуто метод для розрахунку вартості просідання напруги, а у статті [16] 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], проаналізовано та застосовано спрощений метод оцінювання параметрів енергетичної якості, а в дослідженні [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]. Автори роботи [20] провели аналіз наукових робіт, пов'язаних з оцінкою якості продукції, їхні недоліки, а також можливі межі застосування.

Доволі повно розглянуто використання математичних залежностей для отримання оцінок показників якості продукції в безрозмірному масштабі, а також запропоновано метод оцінки ризиків низької якості продукції у наступних публікаціях: 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 у дослідженні [22], з урахуванням вимог міжнародної організації зі стандартизації, розглянуті вимоги до ефективного застосування системи оцінювання якості промислової продукції.

У роботах [23,24] представлено результати досліджень з розробки 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 проаналізовано питання комплексного управління якістю електроенергії через наукову, точну та стандартизовану оцінку якості електроенергії [26] та запропоновано

метод комплексного оцінювання якості електроенергії [27].

У статті [28] аналізується 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.

Слід акцентувати увагу на тому, що методики оцінювання якості, що діють нині, незважаючи на різноманітність цих об'єктів, базуються на єдиних принципах кваліметрії. Для оцінювання якості об'єктів промисловості та енергетики (наприклад, атомні та теплові електростанції, нафтогазові та паливно-енергетичні комплекси тощо), на сьогоднішній день, здебільшого, пропонуються методи кваліметрії, що пов'язані з певною системою або групою систем об'єкта, та не завжди дають змогу визначити єдиний кількісний критерій оцінювання якості всього об'єкта. Об'єкти енергетики є, як правило, багатопараметричними об'єктами (наприклад, на тепловій та атомній електростанціях, у режимі реального часу, контролюється від 5000 до 50000 технологічних параметрів різними інформаційно-вимірювальними системами), що ускладнює процес оцінювання якості об'єкта в цілому. Актуальність розв'язання цієї науково-технічної задачі ускладнюється тим, що на даних багатопараметричних об'єктах енергетики процес вироблення (генерації), розподілу і споживання електричної енергії відбувається одночасно, в режимі реального часу. У цих умовах, необхідно розглянути підходи і принципи застосування методів кваліметрії до оцінки якості багатопараметричних об'єктів енергетики.

Мета роботи

Розробити методологічний підхід щодо визначення кількісного та якісного показника оцінки якості багатопараметричного об'єкта енергетики з використанням методів кваліметрії.

Виклад основного матеріалу

Під час оцінювання якості багатопараметричного об'єкта енергетики насамперед необхідно враховувати різні завдання та функції інформаційно-вимірювальних систем в автоматизованому режимі, визначити кількісний та якісний показник, що дасть змогу інтегровано оцінити якість кожної з цих систем та об'єкта в цілому. Проаналізуємо та дослідимо підходи до вибору одного або декількох параметрів об'єкта, що можна використати для оцінювання якості інформаційно-вимірювальних систем і багатопараметричного

об'єкта в цілому. Для цього запропоновано розглянути узагальнену структурну схему оцінювання якості багатопараметричного об'єкта на основі аналізу критерію оцінювання якості інформаційно-вимірювальних систем під час опрацювання параметрів, що надходять із багатопараметричного об'єкта.

Узагальнену структурну схему оцінювання якості багатопараметричного об'єкта, як такого, що розглядають атомну або теплову електростанцію, показано на рис. 1.

З рис. 1 видно, що до складу багатопараметричного об'єкта можуть входити такі інформаційно-вимірювальні системи:

1. Інформаційно-вимірювальна система контролю критичних (відповідальних) параметрів (ІВС ККТП) виконує функцію контролю та вимірювання параметрів технологічного процесу енергоблока електростанції та дає змогу оцінити якість об'єкта на основі індивідуальних засобів вимірювань при збереженні мінімального об'єму контролю та реєстрації інформації у разі відмови ЕОМ – параметр оцінки x_1 .

2. Інформаційно-вимірювальна система технологічної сигналізації (ІВС ТС) проводить оцінку якості об'єкта за результатами виконання функцій індивідуальної та групової сигналізації за допомогою первинних перетворювачів і пристроїв, що порівнюють аналогові сигнали із заданими значеннями. У низці випадків ІВС ТС не має власних первинних перетворювачів, а використовує інформацію з ІВС ККТП – параметр оцінки x_2 .

3. Інформаційно-вимірювальна система дистанційного керування (ІВС ДК), що забезпечує кількісне оцінювання якості об'єкта під час дистанційного керування регулювальними, запірними органами та механізмами, а також за результатами виконання функцій сигналізації стану керованих механізмів, автоматичних блокувань і введення інформації про стан органів до ЕОМ – параметр оцінювання x_3 .

4. Інформаційно-вимірювальна система автоматичних захистів (ІВС АЗ) виконує кількісне оцінювання якості об'єкта за результатами автоматичного спрацьовування захистів та автоматичних блокувань із застосуванням первинних перетворювачів, схем вироблення аварійних сигналів, виконавчих органів аварійного захисту та пристроїв світлового й звукового сповіщення оператора про факти спрацьовування захистів і першопричини аварій – параметр оцінювання x_4 .

5. Інформаційно-вимірювальна система автоматичного регулювання (ІВС АР) проводить оцінювання якості об'єкта за результатами виконання функцій логічного керування та регулювання технологічних параметрів за допомогою індивідуальних регуляторів, а також контролю регулювальних органів під час дистанційного

керування при вимкнених регуляторах – параметр оцінювання x_5 .

6. Інформаційно-вимірювальна система функціонально-групового керування (ІВС ФГК) дає змогу оцінити якість об'єкта в процесі виконання однієї команди для подальшого автоматичного керування під час запуску або зупинки агрегату, керуваного ФГУ – параметр оцінки x_6 .

7. Інформаційно-вимірювальна система управління, захисту, автоматичного регулювання і контролю реактора (ІВС СУЗ) забезпечує оцінку якості об'єкта під час управління потужністю реактора в усіх режимах його роботи та їх допоміжним обладнанням – параметр оцінки x_7 ;

8. Інформаційно-вимірювальна система керування турбіною (ІВС КТ) проводить оцінку якості об'єкта під час автоматизованого керування турбіною енергоблоку електростанції – параметр оцінки x_8 ;

9. Інформаційно-вимірювальна система внутрішньореакторного контролю (ІВС ВРК) проводить оцінку якості об'єкта за результатами контролю значень тепловиділення, температур та інших параметрів усередині активної зони ядерного реактора – параметр оцінки x_9 ;

10. Інформаційно-вимірювальна система радіаційного контролю (ІВС СРК), виконує оцінку якості об'єкта за результатами контролю радіаційної обстановки технологічного обладнання, приміщень АЕС і навколишньої території – параметр оцінки x_{10} ;

11. Інформаційно-вимірювальна система контролю герметичності оболонок твєлів (ІВС КГО) і контролю цілісності технологічних каналів (КЦТК), проводить оцінку якості об'єкта за контролем стану (цілісності) оболонок ТВЕЛів і технологічних каналів на основі аналізу даних про активність теплоносія та інших параметрів реактора – параметр оцінки x_{11} ;

12. Інформаційно-вимірювальна система управління перевантаженням і транспортом палива (ІВС УПП) дає змогу оцінити якість об'єкта за результатами управління всіма механізмами, які здійснюють переміщення палива від надходження на АЕС до відправки на переробку відпрацьованого палива – параметр оцінки x_{12} ;

13. Інформаційно-вимірювальна система управління швидкістю головних циркуляційних насосів (ІВС УГЦН) забезпечує оцінку якості об'єкта за результатами контролю та управління електрообігрівом контурів ядерного реактора і управління швидкістю головних циркуляційних насосів з перекачування теплоносія – параметр оцінки x_{13} .

Таким чином, результати аналізу і дослідження параметрів оцінки ($x_1 \div x_{13}$), що надходять з інформаційно-вимірювальних систем, для оцінки якості багатопараметричного об'єкта, наприкладі об'єкта енергетики – атомної електростанції –

показали, що розглянуті вище ІВС призначені переважно для оцінювання якості під час виконання якоїсь однієї інформаційної або керувальної функції за окремими блоками, а не загалом об'єкту, а також для виконання комплексу функцій із керування будь-яким агрегатом або технологічною системою.

Отже, така система оцінювання якості об'єкта, за використання параметрів оцінювання ($x_1 \div x_{13}$), що надходять з ІВС, які входять до складу об'єкта, не дає змоги виробити узагальнений інтегральний критерій оцінювання якості багатопараметричного об'єкта у цілому.

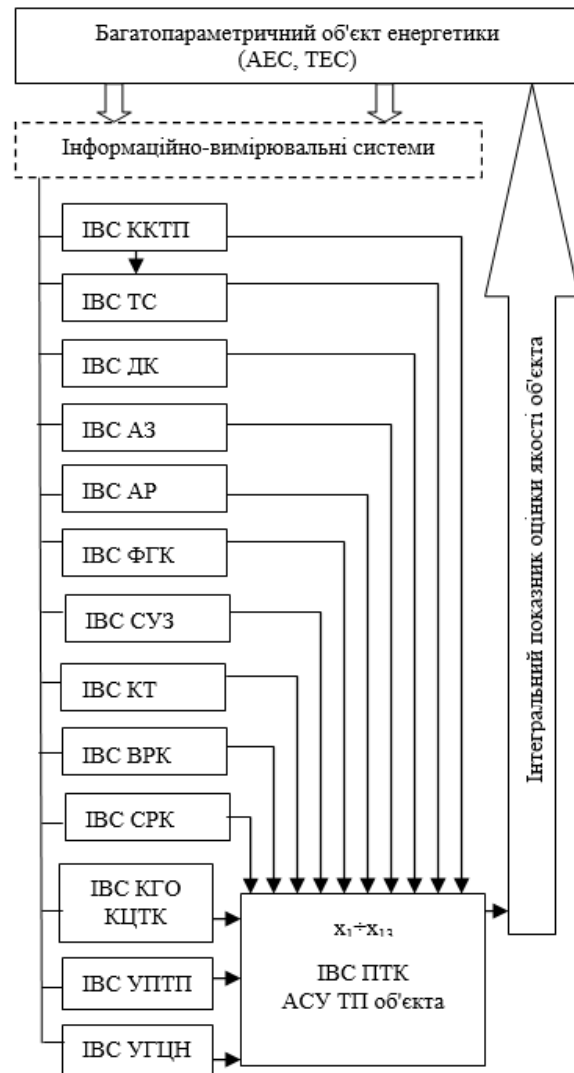


Рис. 1 – Узагальнена структурна схема оцінювання якості багатопараметричного об'єкта

Для розв'язання цієї науково-технічної задачі було запропоновано вдосконалити інформаційно-вимірювальну систему програмно-технічного комплексу (ІВС ПТК) автоматизованої системи управління технологічними процесами (АСУ ТП)

енергоблока в складі автоматизованої системи управління електростанції (АСУ ЕС), яка дасть змогу виробити єдиний узагальнений інтегрований критерій оцінювання багатопараметричного об'єкта, на основі інтеграції всіх поодиноких показників оцінювання якості ($x_1 \div x_{13}$), які надходять з ІВС об'єкта оцінювання (рис. 1).

У ролі інтегрованого критерія оцінки багатопараметричного об'єкта (АЕС, ТЕС), запропоновано розглянути кількісні та якісні параметри електричної енергії (ЕЕ).

Розглянемо підходи до застосування методів кваліметрії для кількісної оцінки якості виробничого процесу з вироблення ЕЕ.

Практично неможливо ефективно управляти якістю виробничого процесу об'єкта енергетики без визначення кількісних значень показників його властивостей. Оцінка якості виробничого процесу об'єкта за одним, навіть вирішальним, показником дає однобічну, обмежену характеристику процесу, зазвичай з великою кількістю ознак. Тому практично для будь-якого процесу, особливо для складних і багатопараметричних об'єктів енергетики (АЕС, ТЕС), необхідно проводити комплексну оцінку за кількома параметрами. У зв'язку з цим показник якості виробничого процесу об'єкта може бути комплексним показником, що залежить від одиничних показників окремих властивостей процесу. До таких належать такі показники: безперервності; спеціалізації; виконання плану; бездефектного виробництва; прогресивності; техніко-економічної ефективності.

Було запропоновано для кількісного оцінювання якості виробничого процесу багатопараметричного об'єкта енергетики (АЕС, ТЕС) обрати кількісні та якісні параметри ЕЕ, якій притаманні специфічні властивості одночасного процесу генерації, розподілу та споживання в режимі реального часу.

Аналіз методів кваліметрії показав, що для кількісного оцінювання якості ЕЕ, найдоцільнішим є застосування:

– інструментального (вимірювального) методу, який базується на використанні технічних засобів вимірювань і за його допомогою визначають такі параметри ЕЕ, як: величина напруги, струму, потужності, частоти тощо;

– розрахункового методу, застосування якого дасть змогу провести обчислення за значеннями кількісних параметрів ЕЕ, знайденими інструментальним (вимірювальним) методом, а також використовуватиметься при визначенні продуктивності ЕЕ на об'єкті енергетики;

– статистичного методу, який, використовуючи правила прикладної математичної статистики, дасть змогу проводити розрахунок економічних витрат на виробництво ЕЕ.

Розглянемо показники якості ЕЕ, під якими, згідно з [30], слід розуміти кількісну характеристику

властивостей, що входять до складу якості ЕЕ, розглянуту стосовно певних умов виробництва ЕЕ.

Показники якості – одне з найважливіших понять кваліметрії [30]. Під час оцінювання якості ЕЕ деякі показники якості можуть виступати як аргументи, інші – як функції.

З погляду кількості властивостей, що відображаються, показники якості можуть бути одиничними (що відносяться до однієї властивості) або комплексними (що відносяться до кількох властивостей одночасно).

Для об'єктивного оцінювання якості ЕЕ, необхідно охарактеризувати її властивості кількісно. Для цього доцільно застосувати в якості показника якості ЕЕ – кількісну характеристику властивості ЕЕ, що входить до її складу. Це необхідно розглядати стосовно певних умов процесу вироблення (генерації), розподілу і споживання ЕЕ, в режимі реального часу.

Доцільно використовувати комплексні показники якості ЕЕ, за кількістю властивостей, що характеризуються. Комплексний показник якості – показник якості ЕЕ, що стосується кількох її властивостей, який дає змогу загалом характеризувати якість ЕЕ або групу її властивостей.

Таким чином, узагальнений показник якості ЕЕ – це показник якості, що належить до такої сукупності властивостей ЕЕ, за якою ухвалено рішення оцінювати її якість загалом. Як правило, це так звані суттєві властивості, наприклад, встановлена або споживана потужність ЕЕ для споживачів.

Розглянемо застосування методів оцінки рівня якості ЕЕ. Аналіз показав, що найбільш доцільним є застосування таких методів:

– метод прямого рахунку, який забезпечує отримання кінцевого економічного результату, що дає змогу прийняти економічно обґрунтоване рішення при виробництві ЕЕ.

– розрахунковий метод, що дає змогу точніше оцінювати рівень якості ЕЕ, проте його можна застосувати для оцінювання так званих жорстких параметрів ЕЕ, які можна виміряти відповідними приладами та розрахувати на основі формул, що відображають об'єктивні закономірності.

Слід зазначити, що рекомендовані методи оцінювання рівня якості ЕЕ, можуть застосовуватися як окремо, так і в різних поєднаннях.

З урахуванням вище викладених підходів, у роботі запропоновано основні етапи з оцінювання рівня якості ЕЕ (рис. 2), як інтегрованого узагальненого показника оцінювання якості багатопараметричного об'єкта енергетики.

Послідовність робіт з організації та проведення оцінки рівня якості об'єктів запропоновано поділити на такі етапи:

Етап № 1 – підготовчий, передбачає:

– визначення мети оцінювання рівня якості ЕЕ. Залежно від мети оцінювання змінюються підходи до

вибору показників якості ЕЕ, базових показників, тощо (н-д: визначити найбільш доцільні еталонні показники якості ЕЕ).

– вибір номенклатури одиничних показників якості оцінюваної ЕЕ. Якість ЕЕ містить у собі значну кількість показників, більшість з яких незначно впливає на загальну оцінку якості ЕЕ. Причому, залежно від цілей, набір таких показників може істотно змінюватися. Під час оцінювання якості ЕЕ рекомендується показники для оцінювання якості ЕЕ обирати з технічної документації (технічне завдання, проект, технічне удосконалення, стандарт та інший нормативно-технічний документ).

– вибір базових показників якості ЕЕ.

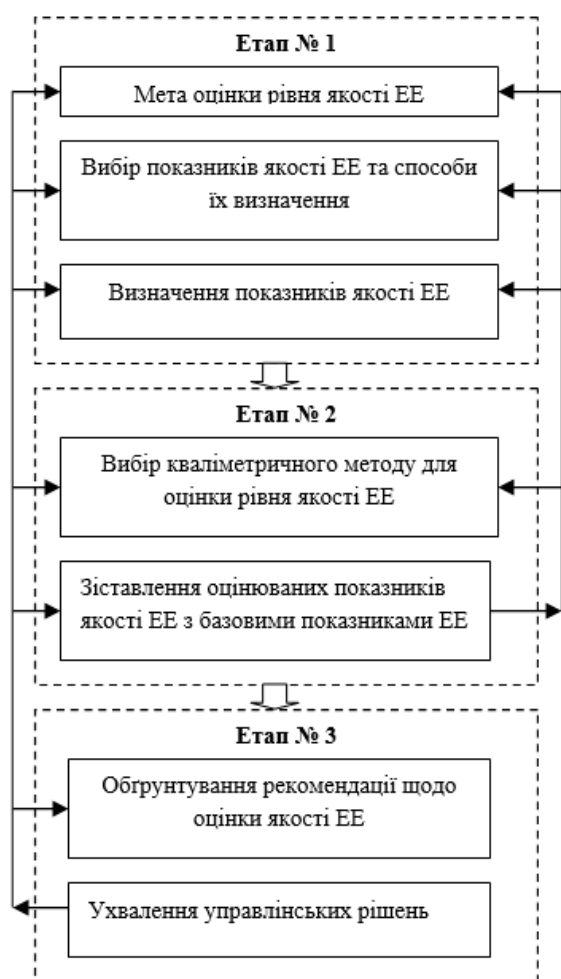


Рис. 2 – Схема послідовності виконання основних етапів з проведення кількісної та якісної оцінки якості електроенергії

Етап № 2 – вимірювально-оцінювальний, включає:

- вибір кваліметричного методу для оцінки рівня якості ЕЕ;
- зіставлення оцінюваних показників якості ЕЕ з базовими показниками ЕЕ

Етап № 3 – результативний (заключний), передбачає прийняття управлінських рішень при плануванні підвищення якості ЕЕ, вимагає кількісної оцінки якості ЕЕ.

Оцінка якості ЕЕ може розглядатися як основа формування всього механізму управління якістю виробництва ЕЕ на всіх стадіях процесу генерації, розподілу і споживання ЕЕ.

Слід зазначити, що заключний етап, який логічно впливає з мети оцінювання якості ЕЕ, тобто необхідно вирішити, наскільки прийнятним є результат (чи припустима точність і достовірність оцінювання якості ЕЕ).

Якщо результати цього етапу не відповідають висунутим вимогам, може бути ухвалено рішення про проведення повторного оцінювання якості ЕЕ, додаткових досліджень для отримання нової інформації (зворотній зв'язок показано на рис. 2).

Висновки

Для проведення процесу оцінювання якості багатопараметричного об'єкта енергетики запропоновано вдосконалену інформаційно-вимірювальну систему програмно-технічного комплексу автоматизованої системи управління технологічними процесами енергоблока у складі автоматизованої системи управління електростанції, яка показує структуру керуючих та інформаційних потоків (сигналів) про технологічні параметри і дає змогу встановити й наочно уявити взаємозв'язки між структурними елементами об'єкта та процесом оцінювання якості електроенергії.

Визначено та обгрунтовано етапи послідовності робіт з організації та проведення кваліметричного оцінювання якості електроенергії, що може виступати основним інтегрованим кількісним і якісним показником оцінювання якості багатопараметричного виробничого процесу електричної станції.

Список літератури

1. Trishch R., Maletska O., Cherniak O., Semionova Ju., Jancis V. Analysis of the requirements of international and national standards for measurement methods and metrological equipment. *Innovative technologies and scientific solutions for industries*. 2020. № 1 (11). P. 156–162. doi: 10.30837/2522-9818.2020.12.075.
2. Cherniak O., Trishch R., Kim N., Ratajczak S. Quantitative assessment of working conditions in the workplace. *Engineering management in production and services*. 2020. № 12 (2). P. 99–106. doi: 10.2478/emj-2020-0014.
3. Trishch R., Gorbenko E., Dotsenko N., Kim N., Kiporenko A. 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*. 2016. № 4/3 (82). P. 18–24. doi: 10.15587/1729-4061.2016.75503.

4. Ginevičius G., Trishch R., Petraškevičius V. Quantitative assessment of quality management systems' processes. *Economic research-ekonomska istraživanja*. 2015. № 28 (1). P. 1096–1110. doi: 10.1080/1331677X.2015.1087676.
5. Зубрещкая Н. А. Структурное моделирование качества продукции как многомерного объекта измерения и управления. *Технологический аудит и резервы производства*. 2015. № 2/3 (22). С. 44–48. doi: 10.15587/2312-8372.2015.41541.
6. Metrology and quality assurance in industry 4.0 jody muelaner. An introduction to metrology and quality in manufacturing. URL: <https://www.engineering.com/AdvancedManufacturing/ArticleID/14896/An-Introduction-to-Metrology-and-Quality-in-Manufacturing.aspx> (дата звернення: 03.12.2022).
7. Trishch R., Maletska O., Hrinchenko H. Development and validation of measurement techniques according to iso/iec 17025:2017. *Proceedings of the 8th international conference on advanced optoelectronics and lasers*. 2019. P. 715–720. doi:10.1109/CAOL46282.2019.9019539.
8. Kupriyanov O., et. al. A general approach for tolerance control in quality assessment for technology quality analysis. *Lecture notes in mechanical engineering*. 2022. P. 330–339. doi:10.1007/978-3-031-16651-8_31.
9. Kupriyanov O., et. al. Mathematic model of the general approach to tolerance control in quality assessment. *Lecture notes in mechanical engineering*. 2022. P. 415–423. doi:10.1007/978-3-030-91327-4_41.
10. Trishch R., Kupriyanov O., Cherniak O. Methodology for multi-criteria assessment of working conditions as an object of qualimetry. *Engineering management in production and services*. 2021. № 13 (2). P. 107–114. doi: 10.2478/emj-2021-0016.
11. Ruihua C., Weicong X., Shuai D. Energy quality and energy grade: concepts, applications and prospects. *Oxford open energy*. 2022. Vol. 1. P. 12–20. doi: 10.1093/ooenergy/oiac001.
12. Jiang X., Wang X., Feng L. Adapted computational method of energy level and energy quality evolution for combined cooling, heating and power systems with energy storage units. *Energy*. 2017. P. 209–216. doi: 10.1016/j.energy.2016.12.124.
13. Huebner G., Fell M., Watson N. Improving energy research practices: guidance for transparency, reproducibility and quality. *Buildings and cities*. 2021. Vol. 2. P. 1–20. doi: 10.5334/bc.67.
14. Huebner G., Nicolson M., Fell M. 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. In: *proceedings of the european council for an energy efficient economy ECEEE 2017 summer study on energy efficiency: consumption, efficiency and limits*. UKERC: London, UK. URL: <https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/1561512/> (дата звернення: 03.12.2022).
15. Sharma A., Rajpurohit B., Singh S. A review on economics of power quality: Impact, assessment and mitigation. *Renewable and sustainable energy reviews*. 2018. Vol. 88. P. 363–372. doi: 10.1016/j.rser.2018.02.011.
16. Francisco J., Rosillo E., Javier F. Importance of quality control implementation in the production process of a company. *European Journal of Economics and Business Studies*. 2018. Vol. 4, no. 1. P. 2–6. doi: 10.26417/ejes.v10i1.p248–252.
17. Lucchi E. Simplified assessment method for environmental and energy quality in museum buildings. *Energy and buildings*. 2016. Vol. 117. P. 216–229. doi: 10.1016/j.enbuild.2016.02.037.
18. Karimian A., Hosseinian S. Novel method based on Teager Energy Operator for online tracking of power quality disturbances. *Electric power systems research*. 2022. Vol. 13. P. 108747. doi: 10.1016/j.epsr.2022.108747.
19. Daniel L., Omkar A., Moazzam N., Willy G. Energy and power quality measurement for electrical distribution in AC and DC microgrid buildings. *Applied energy*. 2022. Vol. 308. P. 118308. doi: 10.1016/j.apenergy.2021.118308.
20. Trishch R., Nechuviter O., Dyadyura K., Vasilevskiy O., Tsykhanovska I., Yakovlev M. Qualimetric method of assessing risks of low quality products. *MM science journal*. 2021. P. 4769–4774.
21. Gitinavard H., Mousavi S., Vahdani B. Soft computing-based new interval-valued hesitant fuzzy multicriteria group assessment method with last aggregation to industrial decision problems. *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, 2015. URL: <https://www.iso.org/standard/62085.html> (дата звернення: 03.12.2022).
23. Panda A., et. al. Development of the method for predicting the resource of mechanical systems. In *j. of advanced manufacturing technology*. 2019. Vol. 105. P. 1563–1571. doi: 10.1007/s00170-019-04252-6.
24. Tang M., Wang T., Peng D. An improved Taguchi multi-criteria decision-making method based on the hesitant fuzzy correlation coefficient and its application in quality evaluation. *J ambient intell human comput*. 2020. doi: 10.1007/s12652-020-02558-y.
25. Jiansheng H., Zhuhan J. Power quality assessment of different load categories. 4th international conference on power and energy systems engineering. *CPESE*. 2017. P. 25–29. doi: 10.1016/j.egypro.2017.11.041.
26. Liu Y., Junde L., Yang B., Liaoyi N., Xiangbo Z., Xue W., Shenghua B. 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)*. 2021. Vol. 1820. P. 15–17. doi:10.1088/1742-6596/1820/1/012005.
27. Canran S., Lanxin H. 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)*. 2020. Vol. 1684. P. 18–20. doi: 10.1088/1742-6596/1684/1/012136.
28. Martínez R., Castro P., Mañana M., Arroyo A. Techniques to locate the origin of power quality disturbances in a power system: a review. *Sustainability*. 2022. Vol. 14. P. 7428. doi: 10.3390/su14127428.
29. Panagiotis A., Pavlos S. Power quality monitoring and evaluation in power systems under non-stationary conditions using wavelet packet transform. *Special issue: selected papers from the 2018 IEEE international conference on high voltage engineering and application*. 2018. P. 186–196. doi: 10.1049/hve.2019.0062.

30. ДСТУ ISO 9000:2015 (ISO 9000:2015, IDT). Системи управління якістю. Основні положення та словник термінів. Чинний від 2016-07-01. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2015. С. 35.

References (transliterated)

- Trishch R., Maletska O., Cherniak O., Semionova Ju., Jancis V. Analysis of the requirements of international and national standards for measurement methods and metrological equipment. *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, 2020, no. 1 (11), pp. 156–162, doi: 10.30837/2522-9818.2020.12.075.
- Cherniak O., Trishch R., Kim N., Ratajczak S. Quantitative assessment of working conditions in the workplace. *Engineering Management in Production and Services*, 2020, no. 12 (2), pp. 99–106, doi: 10.2478/emj-2020-0014.
- Trishch R., Gorbenko E., Dotsenko N., Kim N., Kiporenko A. 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*, 2016, no. 4/3 (82), pp. 18–24, doi: 10.15587/1729-4061.2016.75503.
- Ginevičius, R., Trishch, H. Petraškevičius, V. Quantitative assessment of quality management systems' processes. *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, 2015, no. 28 (1), pp. 1096–1110, doi: 10.1080/1331677X.2015.1087676.
- Zubretskaya N. Structural modeling of product quality as a multidimensional object of measurement and management. *Technological Audit and Production Reserves*, 2015, 2/3 (22), pp. 44–48, doi: 10.15587/2312-8372.2015.41541.
- Metrology and Quality Assurance in Industry 4.0 Jody Muelaner. An Introduction to Metrology and Quality in Manufacturing. Available at: <https://www.engineering.com/AdvancedManufacturing/ArticleID/14896/An-Introduction-to-Metrology-and-Quality-in-Manufacturing.aspx> (accessed 03.12.2022).
- Trishch R., Maletska O., Hrinchenko H. Development and validation of measurement techniques according to ISO/IEC 17025:2017. *Proceedings of the 8th International Conference on Advanced Optoelectronics and Lasers*, 2019, pp. 715–720, doi:10.1109/CAOL46282.2019.9019539.
- Kupriyanov O., et. al. A general approach for tolerance control in quality assessment for technology quality analysis. *Lecture notes in mechanical engineering*, 2022, pp. 330–339, doi:10.1007/978-3-031-16651-8_31.
- Kupriyanov O., et. al. Mathematic Model of the General Approach to Tolerance Control in Quality Assessment. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, 2022, pp. 415–423, doi:10.1007/978-3-030-91327-4_41.
- Trishch R., Kupriyanov O., Cherniak O. 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, doi: 10.2478/emj-2021-0016.
- Ruihua C., Weicong X., Shuai D. Energy quality and energy grade: concepts, applications and prospects. *Oxford open energy*, 2022, vol. 1, pp. 12–20, doi: 10.1093/ooenergy/oiac001.
- Jiang X., Wang X., Feng L. Adapted computational method of energy level and energy quality evolution for combined cooling, heating and power systems with energy storage units. *Energy*, 2017, pp. 209–216, doi: 10.1016/j.energy.2016.12.124.
- Huebner G., Fell M., Watson N. Improving energy research practices: guidance for transparency, reproducibility and quality. *Buildings and cities*, 2021, vol. 2 (1), pp. 1–20, doi: 10.5334/bc.67.
- Huebner G., Nicolson M., Fell M. 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. In: *proceedings of the european council for an energy efficient economy eceee 2017 summer study on energy efficiency: consumption, efficiency and limits*. UKERC: London, UK. Available at: <https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/1561512/> (accessed 03.12.2022).
- Sharma A., Rajpurohit B., Singh S. A review on economics of power quality: Impact, assessment and mitigation. *Renewable and sustainable energy review*, 2018, vol. 88, pp. 363–372, doi: 10.1016/j.rser.2018.02.011.
- Francisco J., Rosillo E., Javier F. Importance of quality control implementation in the production process of a company. *European Journal of Economics and Business Studies*, 2018, vol. 4, no. 1, pp. 2–6, doi: 10.26417/ejes.v10i1.p248-252.
- Lucchi E. Simplified assessment method for environmental and energy quality in museum buildings. *Energy and buildings*, 2016, vol. 117, pp. 216–229, doi: 10.1016/j.enbuild.2016.02.037.
- Karimian A., Hosseinian S. Novel method based on Teager Energy Operator for online tracking of power quality disturbances. *Electric power systems research*, 2022, vol. 13, pp. 108747, doi: 10.1016/j.epr.2022.108747.
- Daniel L., Omkar A., Moazzam N., Willy G. Energy and power quality measurement for electrical distribution in AC and DC microgrid buildings. *Applied energy*, 2022, vol. 308, pp. 118308, doi: 10.1016/j.apenergy.2021.118308.
- Trishch R., Nechuiviter O., Dyadyura K., Vasilevskyi O., Tsykhanovska I., Yakovlev M. Qualimetric method of assessing risks of low quality products. *MM science journal*, 2021, pp. 4769–4774.
- Gitinavard H., Mousavi S., Vahdani B. Soft computing-based new interval-valued hesitant fuzzy multicriteria group assessment method with last aggregation to industrial decision problems. *Soft comput*, 2017, vol. 21, pp. 3247–3265, doi: 10.1007/s00500-015-2006-9.
- ISO 9001:2015 quality management systems. Requirements. International organization for standardization, 2015. Available at: <https://www.iso.org/standard/62085.html> (accessed 03.12.2022).
- Panda A., et al. Development of the method for predicting the resource of mechanical systems. *Int j of advanced manufacturing technology*, 2019, vol. 105, pp. 1563–1571, doi: 10.1007/s00170-019-04252-6.
- Tang M., Wang T., Peng D. An improved Taguchi multi-criteria decision-making method based on the hesitant fuzzy correlation coefficient and its application in quality evaluation. *J ambient intell human comput*, 2020, doi: 10.1007/s12652-020-02558-y.
- Jiansheng H., Zhuhan J. Power quality assessment of different load categories. 4th international conference on power and energy systems engineering. *CPSE*, 2017, pp. 25–29, doi: 10.1016/j.egypro.2017.11.041.
- Liu Y., Junde L., Yang B., Liaoyi N., Xiangbo Z., Xue W., Shenghua B. 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)*, 2021, vol. 1820, pp. 15–17, doi: 10.1088/1742-6596/1820/1/012005.
27. Canran S., Lanxin H. 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)*, 2020, vol. 1684, pp. 18–20, doi: 10.1088/1742-6596/1684/1/012136.
28. Martinez R., Castro P., Mañana M., Arroyo A. Techniques to locate the origin of power quality disturbances in a power system: a review. *Sustainability*, 2022, vol. 14, pp. 7428, doi: 10.3390/su14127428.
29. Panagiotis A., Pavlos S. Power quality monitoring and evaluation in power systems under non-stationary conditions using wavelet packet transform. *Special issue: selected papers from the 2018 IEEE international conference on high voltage engineering and application*, 2018, pp. 186–196, doi: 10.1049/hve.2019.0062.
30. DSTU ISO 9000:2015 (ISO 9000:2015, IDT). *Quality management systems. Main provisions and glossary of terms*. Valid from 2016-07-01. Published by the official. Kyiv. State Committee of Ukraine for Consumer Protection, 2015, p. 35.

Відомості про авторів (About authors)

Буданов Павло Феофанович – кандидат технічних наук, доцент, Українська інженерно-педагогічна академія, доцент кафедри фізики електротехніки та електроенергетики; м. Харків, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1542-9390>; e-mail: pavelfeofanovich@ukr.net.

Budanov Pavlo Feofanovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Ukrainian Engineering and Pedagogical Academy, Associate Professor of the Department of Physics of Electrical Engineering and Power Engineering; Kharkiv, Ukraine; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1542-9390>; e-mail: pavelfeofanovich@ukr.net.

Грінченко Ганна Сергіївна – кандидат технічних наук, доцент, Українська інженерно-педагогічна академія, доцент кафедри автоматизації метрології та енергоефективних технологій; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6498-6142>; e-mail: a.kiporenko@ukr.net.

Grinchenko Hanna Sergiivna – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Ukrainian Engineering and Pedagogical Academy, Associate Professor of the Department Automation of Metrology and Energy Efficient Technologies; Kharkiv, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6498-6142>; e-mail: a.kiporenko@ukr.net.

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

Nechuyviter Olesia Petrivna – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Ukrainian Engineering and Pedagogical Academy, Head of the Department of Information Computer Technologies and Mathematics; Kharkiv, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2775-8471>; e-mail: olesya@email.com.

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

Tsykhanovska Iryna Vasyilivna – Doctor of Technical Sciences, Professor, Ukrainian Academy of Engineering and Pedagogy, Professor of the Department of Food and Chemical Technologies; Kharkiv, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9713-9257>; e-mail: cikhanovskaja@gmail.com.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Буданов П. Ф., Грінченко Г. С., Нечуйвітер О. П., Цихановська І. В. Методологічні підходи для оцінювання якості багатопараметричних об'єктів енергетики. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: *Нові рішення в сучасних технологіях*. – Харків: НТУ «ХПІ». 2023. № 1 (15). С. 27-35. doi:10.20998/2413-4295.2023.01.04.

Please cite this article as:

Budanov P., Grinchenko H., Nechuyviter O., Tsykhanovska I. Methodological approaches for assessing the quality of multi-parameter energy facilities. *Bulletin of the National Technical University "KhPI"*. Series: *New solutions in modern technology*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2023, no. 1(15), pp. 27-35, doi:10.20998/2413-4295.2023.01.04.

*Надійшла (received) 16.01.2023
Прийнята (accepted) 28.02.2023*