

УДК 621.311

П. Д. ЛЕЖНЮК (д-р техн. наук, проф.), **В. О. КОМАР** (канд. техн. наук, доц.)
Вінницький національний технічний університет
kvo76@mail.ru

ВИКОРИСТАННЯ ЗАСОБІВ КВАЛІМЕТРІЇ ДЛЯ АНАЛІЗУ ЯКОСТІ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ З РОЗОСЕРЕДЖЕНИМ ГЕНЕРУВАННЯМ

В роботі запропоновано застосувати математичний апарат кваліметрії для розв'язання задачі оцінювання якості систем електропостачання з розосередженим генеруванням. Показано переваги та недоліки такого підходу оцінювання якості, запропоновані шляхи вдосконалення цього процесу.

Ключові слова: системи електропостачання, розосереджені джерела енергії, якість електричної енергії, надійність електропостачання, кваліметрія.

Вступ. Зміна відносин на ринку електричної енергії, зумовлена переходом від державної власності до приватної, стала причиною зростання відповідальності за недотримання умов договорів з електропостачання. Особливу роль в дотриманні договірних умов відіграють розосереджені джерела енергії, широке впровадження яких в розподільні електричні мережі зумовило перехід від централізованого до децентралізованого електропостачання, що безперечно вплинуло на його якість та надійність [1].

На кожному з етапів процесу електропостачання електрична енергія є товаром, який володіє певними властивостями, що забезпечують на кінцевому етапі її ефективне перетворення в інші види енергії. Саме тому оцінювання і аналіз якості електричної енергії, як продукту, на кожному з етапів електропостачання дозволить однозначно визначити роль кожного з учасників енергоринку. Відповідно до [2] якість продукту можна оцінювати за якістю технологічного процесу, результатом якого є продукт. Отже, метою статті є оцінювання якості систем електропостачання шляхом аналізу процесу електропостачання засобами кваліметрії.

Характеристика об'єкта дослідження. Якість – це сукупність властивостей, які зумовлюють придатність продукції (об'єкту, процесу, явища) задовольняти певні потреби у відповідності з її (його) призначенням [3]. Електрична енергія це той вид енергії, який набув широкого застосування завдяки зручності під час передавання на значні відстані і перетворення в інші види енергії. Для економічного і ефективного перетворення в інші види енергії електроенергія повинна відповідати ряду вимог, які зазначені в міждержавному стандарті [4]. Особливість електроенергії і неможливість її акумулювання в промислових об'єктах зумовила жорсткі умови до надійності її постачання. Електрична енергія, як будь-який продукт, має свою вартість, яка визначається за економічними законами. В сучасних умовах саме економічна складова властивостей електроенергії спонукає деяких споживачів піти на послаблення вимог до якості і надійності її постачання.

До останнього часу аналіз властивостей електроенергії проводився розрізнено, оскільки задачі, які розв'язувались, не вимагали комплексного вирішення. Крім цього математичний апарат, який розроблявся, будувався для розв'язання задач проектування і експлуатації електроенергетичної системи, тобто технологічного процесу. Тому в подальшому будемо аналізувати якість процесу генерування, передавання та розподілу – якість електропостачання. Розглянемо властивості електроенергії через призму процесу електропостачання.

Надійність. Особливості процесу виробництва й розподілу електроенергії (швидкоплинність процесів, що протікають, неможливість створення значних її запасів) перетворюють надійність електропостачання в одну з найважливіших умов ефективної й ритмічної роботи споживачів.

На початкових етапах електрифікації збиток від перерв в електропостачанні був незначним, тому що електрифікувалися лише окремі технологічні процеси. При перервах в електропостачанні завжди можна було замінити роботу електроустановок ручною працею. У міру розвитку комплексної механізації й автоматизації виросла продуктивність праці й суттєво скоротилася чисельність обслуговуючого персоналу. На підприємствах «ціна» перерви в електропостачанні зі зростанням автоматизації зростає.

Надійність електропостачання напряму залежить від силового обладнання, релейного захисту і автоматики, схемних рішень, які застосовуються в електроенергетичній системі. Очевидно, що поняття надійності досить широке, яке включає в себе безперервність, живучість, тощо.

Якість електроенергії. Якість електроенергії характеризують такі показники: відхилення частоти й напруги, розмах коливань частоти й зміни напруги, а також коефіцієнти викривлення кривої напруги, зворотної й нульової послідовності напруг.

Розглянемо один з головних показників – відхилення напруги. Відхилення напруги залежить від завантаження елементів мережі, режиму навантаження і компенсуючих пристроїв, тощо. Найбільш чутливими до величини напруги є асинхронні двигуни. При значному зниженні напруги погіршуються умови їх пуску, можливе перекидання двигуна.

При зниженій напрузі збільшуються активні втрати, скорочується термін служби двигуна, підвищення рівня напруги збільшує реактивну потужність двигуна й створює додаткові втрати потужності.

Очевидним є безпосередня залежність відхилення напруги від процесу електропостачання. Схожі висновки можна зробити і щодо решти показників якості електроенергії.

Економічність електропостачання. Економічність електропостачання характеризують витрати на технологічні втрати електроенергії в елементах мережі, щорічні відрахування на амортизацію мережі, поточний ремонт і утримання обслуговуючого персоналу.

Підвищення якості електропостачання вимагає додаткових витрат, і напрямок капітальних вкладень повинен бути економічно виправданим з урахуванням взаємного впливу системи електропостачання й споживача.

Отже, за характеристикою об'єкту дослідження можна зробити однозначний висновок щодо можливості і доцільності заміни аналізу властивостей електроенергії під час оцінювання її якості на оцінювання якості процесу, тобто електропостачання.

Аналіз якості процесу електропостачання засобами кваліметрії. Задачі з визначення якості процесів або об'єктів виникали і виникають практично завжди. Починаючи з середини ХХ століття був започаткований такий напрямок дослідження як кваліметрія. Останнім часом напрацювання в області кваліметрії набувають все більшого розповсюдження. Однак в галузі енергетики і зокрема електроенергетики дослідження в цьому напрямку не ведуться. Тому в роботі зроблено спробу використати класичні підходи кваліметрії для оцінювання якості систем електропостачання з розосередженим генеруванням.

Для оцінювання якості систем електропостачання скористаємось методом розгортання функції якості (Quality Function Deployment) [3]. Цей метод об'єднує в собі декілька підходів і дозволяє зробити перехід від побажань потенційних споживачів продукту до проектування технологічного процесу отримання цього продукту.

Розгортання функції якості QFD здійснюється з використанням матричної діаграми (див. рис. 1), названої у відповідності зі своєю формою "Будинок якості" (House of Quality).

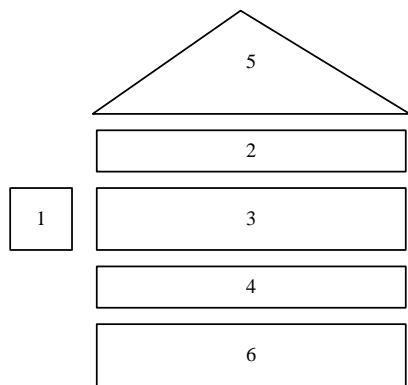


Рисунок 1 – Структура "Будинку якості"

Центральна частина будинку (3) – це таблиця, стовпці якої відповідають технічним характеристикам (2), а рядки вимогам споживачів (1). В клітинах відмічається рівень залежності, якщо вона має місце. Дах будинку (5) представляє дані щодо кореляції між технічними характеристиками.

Ліва кімната (1) включає стовпці важливості вимог для споживача. Рівень (4) включає оцінку виконання вимог (з точки зору споживача) для існуючих на ринку виробників подібної продукції.

Нижній рівень (6) містить результати аналізу технічних характеристик продукції, цільове значення характеристик продукції, оцінки абсолютної і відносної важливості характеристик.

Класично процес розгортання функції якості складається з чотирьох етапів. На кожному з етапів виконується побудова відповідного "будинку якості". Цільова роль кожного з етапів показана на рисунку 2.

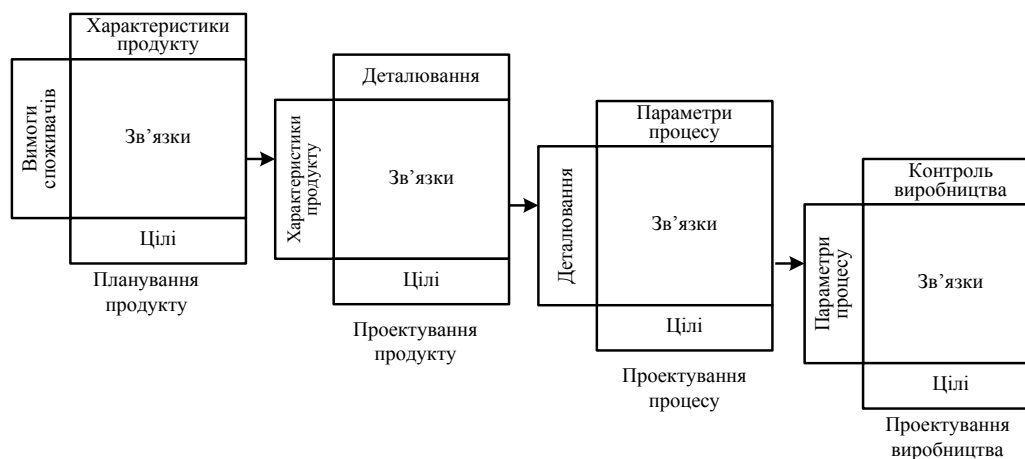
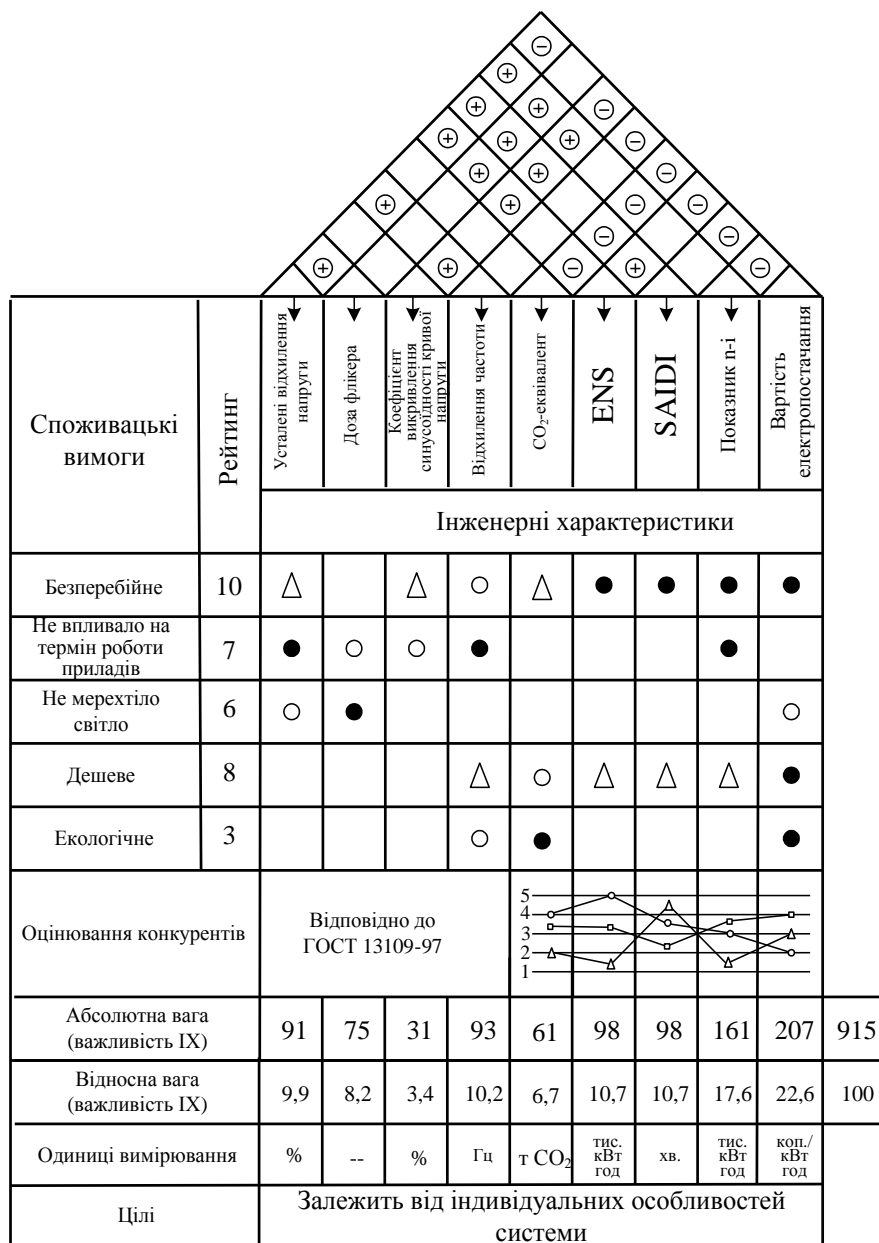


Рисунок 2 – Чотири етапи QFD

Електрична енергія має певні свої особливості, які не можуть не відобразитись на етапах розгортання функції якості. Так етап проектування продукції, який полягає у визначенні характеристик елементів продукції, відсутній. З врахуванням цього виконаємо розгортання функції якості електроенергії.

На першому етапі визначаються характеристики продукту. В якості прикладу розроблено вид «будинку якості» див. рис. 3.

Зазвичай під час заповнення частини таблиці «споживацькі вимоги» виконують опитування потенційних користувачів майбутньої продукції. Оскільки пересічний користувач не має спеціальної освіти, то і характеристики мають абстрактний характер. У випадку з електричною енергією завдяки значній її ролі в будь-якому споживацькому процесі з роками у споживачів склались вимоги за характером досить близькі до спеціальних технічних характеристик, тому етап визначення «інженерних характеристик», який проводиться експертами, не вимагає значних затрат.



- Сильні зв'язки - 9 ● Зростання характеристики ⊕
 Середні зв'язки - 3 ○ Зменшення характеристики ⊖
 Слабкі зв'язки - 1 △

Рисунок 3 – Етап проектування продукту

Очевидним є набір споживацьких вимог, однак вагові коефіцієнти можуть коливатись досить в широких межах в залежності від типу споживача, характеру технологічного процесу, тощо. За класичним підходом до побудови «будинку якості» область зміни вагових коефіцієнтів визначаються в межах від 0 до 10. Оцінювання зв'язків виконується цифрами 9, 3 та 1. В прикладі, який розглядається, все зроблено за класичним підходом. Однак можна організувати, враховуючи особливості електричної енергії, характеристики, які будуть мати більш офіційні значення.

В прикладі розглядається розподільна електрична мережа з розосередженим генерування, яке в основному складається з відновлюваних джерел енергії. «Оцінювання конкурентів», в цьому випадку, проводилось шляхом аналізу схожих розподільних мереж об'єднаної електричної системи України. При цьому показники, які прописані в стандартах порівнювались з нормативними значеннями.

Завершується етап проектування продукту, як і всі наступні етапи, визначенням цілей. Тобто визначаються приблизні значення інженерних характеристик, які б гарантували забезпечення вимог споживачів. У випадку систем електропостачання цілі можна оцінити лише з певною імовірністю, або певним діапазоном, оскільки режими останньої мають імовірнісний характер.

Інженерні характеристики	Рейтинг	Режимні параметри									
		Потужність навантаження	Потужність генерування	Потужність резерву	Спільність системи dQ/dU	Напруга у вузлах навантаження	Струм у елементах мережі	Потужність джерел спотворення синусоїди напруги	Частка ВДЕ в балансі потужності	Втрати електроенергії	
Усталені відхилення напруги	8	○	○		●	●	●		○	△	
Доза флікера	6	△	△			○					
Коефіцієнт викривлення синусоїдності кривої напруги	3						●	○	○		
Відхилення частоти	6					○			○	○	
CO ₂ -еквівалент	6		○	○					●		
ENS	8			●	○				○		
SAIDI	8			●	○						
Показник n-i	9			●	●				○		
Вартість електропостачання	10		○	○			○		●	●	
Абсолютна вага (важливість РП)		30	48	474	108	108	102	27	246	125	1268
Відносна вага (важливість РП)		2,4	3,8	37,4	8,5	8,5	8	2	19,4	9,9	100
Одиниці вимірювання		кВт, квар	кВт, квар	кВт, квар	--	кВ	А	кВт	кВт	кВт год	
Цілі		Залежить від індивідуальних особливостей системи									

Рисунок 4 – Етап проектування процесу

Етап проектування процесу починається з рейтингування інженерних характеристик і визначення режимних параметрів системи електропостачання. Решта кроків цього етапу повторює кроки описані вище. На крокові "цілі" отримати детерміновані значення режимних параметрів також не вдається по причині значної кількості стохастичної природи процесів в системі електропостачання.

На останньому етапі "проектування виробництва" виконується аналіз системних параметрів системи електропостачання (див. рис. 5).

В результаті проведеного аналізу можна отримати відповідь на питання: "якою повинна бути система

електропостачання для того щоб забезпечити вимоги споживачів". Однак застосування лише класичного підходу для аналізу якості систем електропостачання не дозволяє відповісти на всі питання і вимагає проведення додаткових розрахунків, які дозволили врахувати індивідуальні особливості систем електропостачання, особливо коли вони містять відновлювані джерела енергії.

Режимні параметри	Рейтинг	Активні параметри ЛЕП	Реактивні параметри ЛЕП	Активні параметри трансформаторів	Реактивні параметри трансформаторів	Параметри компенсувальних пристроїв	Параметри регулювальних пристроїв	Інтенсивність відмов елементів системи	Інтенсивність відновлень елементів системи	Конфігурація мережі	
		Системні параметри									
Потужність навантаження	3	●	●	●	●						
Потужність генерування	6	●	●	●	●						
Потужність резерву	10							●	●		
Стійкість системи dQ/dU	8					△	○	●	●		
Напруга у вузлах навантаження	8	○	○	○	○	●	●			○	
Струм у елементах мережі	6	●	●	●	●	○	○			○	
Потужність джерел спотворення синусоїди напруги	3	○	○	○	○						
Частка ВДЕ в балансі потужності	10	●	●	●	●	●	●			●	
Втрати електроенергії	9	●	●	●	●	●	●			●	
Абсолютна вага (важливість СП)		339	339	339	339	269	285	162	162	213	2447
Відносна вага (важливість СП)		13,9	13,9	13,9	13,9	11	11,6	6,6	6,6	8,7	100
Одиниці вимірювання		Ом	Ом	Ом	Ом	--	--	відм/рік	відн/рік	--	
Цілі		Залежить від індивідуальних особливостей системи									

Рисунок 5 – Етап проектування виробництва

Крім того, для порівняння систем електропостачання за якістю не достатньо мати масив параметрів. Необхідно мати інтегральний показник якості. Кваліметрія не пропонує нічого кращого окрім як для кожного параметра отримати ваговий коефіцієнт. А такий підхід не дозволяє уникнути суб'єктивності.

В роботі [5] запропоновані загальні вимоги, яким має відповідати такий показник: відображення об'єктивної реальності; оцінка ефективності, якості та оптимальності; можливість фізичного та абстрактного тлумачення; можливість обчислення, хоча б з використанням ЕОМ; нормування і відображення "крайніх" станів системи з урахуванням потенційно та реально можливих; повинен бути до певної міри узагальнюючим (характеризувати окремі підсистеми і системи в цілому в усіх життєвих циклах); повинен легко розкладатись на часткові показники та об'єднуватись в узагальнені; повинен мати теоретичну основу і дозволяти розробляти нову теорію або розвивати стару; володіти евристичністю, дозволяти приймати рішення на підставі досвіду та інтуїції тощо. Виходячи з цього можна говорити про перспективність використання теорії подібності.

Висновки. Приведений розрахунок системи електропостачання методом розгортання функції якості показав, що використання засобів кваліметрії є перспективним. Оскільки навіть аналіз абсолютних і відносних значень вагомості параметрів на кожному з етапів розгортання дозволяють сформулювати напрямок розвитку системи.

Однак, для забезпечення необхідного рівня довіри результатам аналізу необхідно вдосконалення методу розгортання функції якості засобами, які б дозволили врахувати особливості систем електропостачання: особливості споживачів, характер графіків споживання, наявність розосередженого генерування, особливо відновлюваних джерел енергії.

Залишається також відкритим питання, щодо оцінювання інтегрального показника якості системи електропостачання.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Кириленко О.В. Технічні аспекти впровадження джерел розподіленої генерації в електричних мережах / О.В. Кириленко, В.В. Павловський, Л.М. Лук'яненко // Технічна електродинаміка. 2011. – №1. – С. 46 – 53.
2. Управление качеством продукции. Основные понятия термины и определения: ГОСТ 15467–79. – [Чинний від 1979-07-01]. – М.: Стандартиформ, 2009. – 22 с. – (Міждержавний стандарт).
3. Кане М.М., Иванов Б.В., Корешков В.Н., Схиртладзе А.Г. Системы, методы и инструменты менеджмента качества: Учебное пособие. – СПб.: Питер, 2008. – 560 с.
4. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения: ГОСТ 13109–97. – [Чинний від 2000-01-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2000. – 33 с. – (Міждержавний стандарт).
5. Кузьмін І.В. Критерії оцінки ефективності, якості та оптимальності складних систем. // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – №1(2). – 1994. – С. 5 - 9.

REFERENCES

1. Kyrylenko O.V. Technical aspects of introduction of the sources of distributed generation in electric networks / O. V. Kyrylenko, V. V. Pavlovskiy, L.M. Lukijanenko.. // Technical electrodynamics. 2011. – №1. – P. 46 – 53.
2. Production quality control. Basic notions, terms and definitions: GOST(State Standard)15467–79. – [Valid since 1979-07-01]. – M.: Standardinform, 2009. – 22 p. – (International standard).
3. Kane M. M., Ivanov B.V., Koreshkov V. N., Skhirtladze A. G. Systems, methods and tools of quality management: Manual. –SPb.: Piter, 2008. – 560 p.
4. Electric energy. Electromagnetic compatibility of technical means . Norms of electric energy quality in general purpose systems of energy supply: GOST(Stare Standard) 13109–97. – [Valid since 2000-01-01]. – K.: Stateconsumestandard of Ukraine , 2000. – 33 p. – (Interstate standard).
5. Kuzmin I.V. Evaluation criteria of efficiency, quality and optimality of complex systems. // Visnyk of Vinnytsia Polytechnic Institute. – №1(2). – 1994. – P. 5 - 9.

Надійшла до редколегії 01.12.2015

Рецензент: Сивокобиленко В.Ф.

П. Д. ЛЕЖНЮК, В. О. КОМАР
Вінницький національний технічний університет

Использование средств кваліметрії для анализа качества систем электроснабжения с распределенным генерированием. В работе предложено использовать математический аппарат кваліметрії для решения задачи оценивания качества систем электроснабжения с распределенной генерацией. Показаны преимущества и недостатки такого подхода оценивания качества, предложены пути совершенствования этого процесса.
Ключевые слова: система электроснабжения, распределенные источники энергии, качество электрической энергии, надежность электроснабжения, кваліметрія.

P. D. LEZHNIUK, V. O. KOMAR
Vinnytsia National Technical University

Usage of qualimetry tools for the analysis of the quality of electric energy supply systems with distributed generation. The paper considers distributed electric networks, enabling to provide with electric energy considerable amount of consumers. Characteristic feature of modern distributed networks is availability of the sources of distributed generation. However, the quality of electric energy supply does not always meet the requirements of the consumers. That is why there appears the necessity to evaluate the quality of electric energy supply. The paper suggests using mathematical tooling of qualimetry, namely, the method of quality function deployment. Calculation, carried out, showed the possibility to use the qualimetry for the analysis of electric energy supply quality, however, certain improvements are to be made due to the peculiarities of electric energy, energy supply systems and distributed sources of energy.
Key words: electric energy supply system, distributed sources of energy, quality of electric energy, reliability of electric energy supply, qualimetry.