

**АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖАХ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ****Мірошник О. О.***Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка*

*Виконано аналіз існуючих методів та підходів оцінки якості електричної енергії в умовах невизначеності вихідної інформації. Показані недоліки використання апарата теорії імовірностей і математичної статистики. Описані переваги використання теорії нечітких множин при розкритті невизначеності.*

**Постановка проблеми.** Електрична енергія є товаром і використовується у всіх сферах життєдіяльності людини, а також безпосередньо бере участь при створенні інших видів продукції, впливаючи на їхню якість. Особливість електричної енергії полягає в тому, що її якість на місці виробництва не гарантує якості на місці споживання. Якість електричної енергії до та після підключення електроприймача до системи електропостачання також може бути різною. Тому належна якість електричної енергії – це один з головних показників ефективності виробництва, передачі, розподілу та споживання електричної енергії в розподільних мережах (РМ).

Низька якість електричної енергії в РМ [1] приводить до порушення працездатності встаткування та відключенню відповідальних навантажень, що приводить до матеріального збитку, порушує оптимальні економічні режими роботи обладнання, що приводить до збільшення споживання електричної енергії і є прихованим підвищенням вартості електричної енергії.

При оцінці якості електричної енергії можливі помилки за рахунок спотворення показів приладів, різночасності зняття показів, порушення їх роботи, низької якості електричної енергії та ряду інших причин. Таким чином, апаратна реалізація оцінки якості електричної енергії приводить до невизначеності вихідної інформації, що використовується при розрахунках і аналізі електромагнітного збитку.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** З аналізу літературних даних [1, 2] випливає, що на практиці при оцінці якості електричної енергії в РМ на різних часових і територіальних рівнях виникає необхідність у визначенні інтегральних (імовірнісних) характеристик параметрів режиму. Це пов'язане з тим, що інформації, яка спеціально призначена для дослідження якості електричної енергії, в умовах експлуатації та проектування не існує. Доводиться використовувати інформацію, призначення якої – вирішення завдань оперативного керування, розрахунок за відпущену та спожиту електроенергію і т.д. Ця інформація для розглянутого кола завдань за підтримки прийняття рішень у РМ є неповною, найчастіше недостовірною або неоднозначною, що приводить до необхідності введення цілого ряду допущень при формалізації алгоритмів рішення традиційними методами. У свою чергу такий підхід збільшує похибку оцінки якості електричної енергії. При цьому, чим складніша РМ, тим вищий ступінь невизначеності, а, отже, і погіршеність прийнятої моделі. Точність моделей, що

використовуються у задачах дослідження якості електричної енергії в РМ, суттєво залежить від достовірності предствлення інформації.

Вимірювальна інформація від систем обліку містить помилки, які включають випадкові та систематичні складові. Дані обставини слід мати на увазі з урахуванням того, що різні вимірювальні комплекси мають неоднакову відносну точність навіть при однакових класах точності елементів, що входять у вимірювальний комплекс (трансформатори струму, напруги, лічильники активної та реактивної енергії). Усі помилки вимірювань розділені на статичні та динамічні [3]. Можливі грубі помилки, обумовлені несправностями елементів вимірювального комплексу, випадковими перешкодами, допущені персоналом при знятті та оформленні показів лічильників електричної енергії.

**Мета статті.** Для підтримки прийняття рішень по оцінці якості електричної енергії у РМ проаналізувати існуючі методи предствлення інформації з урахуванням її класифікації.

**Основні матеріали дослідження.** Усунення негативного впливу похибок вимірювань на оцінку параметрів режиму та електричних навантажень вузлів здійснюється статистичними методами обробки імовірнісної інформації. Вирази, що описують параметри режиму для оцінки якості електричної енергії, містять математичні сподівання та дисперсії. Дисперсії характеризують відхилення показників якості електричної енергії (ПЯЕ) від середніх значень протягом розрахункового інтервалу часу. Разом з математичними сподіваннями дисперсії змінюються графіки зміни в часі показників якості електричної енергії.

Математичні сподівання ПЯЕ на інтервалі часу  $T$  можна одержати на основі вимірювань. Основним способом одержання дисперсій є обробка архівів телевимірювань у РМ. Дана група параметрів має значну похибку [3]. До 10 – 20% усіх телевимірювань можуть містити грубі помилки. Враховуючи той факт, що РМ, як правило, не оснащені системами телемеханіки, доводиться заповнювати ці дані з використанням апріорної інформації, або, якщо це можливо, визначати розрахунковим шляхом. Усе це говорить про доцільність аналізу різних підходів до моделювання параметрів режиму та електричних навантажень вузлів.

Традиційно невизначеність в електроенергетичних задачах моделюється за допомогою методів теорії імовірностей.

Усі методи імовірнісного аналізу можна розділити на два класи: аналітичні та методи статистичних випробувань. Аналітичні методи дають більш широке представлення про залежність імовірнісних характеристик від параметрів і умов, однак їх застосування має певні математичні труднощі.

Методи статистичних випробувань вимагають великого обсягу обчислень для одержання достатнього рішення та прийнятні тільки при повному та достовірному інформаційному потоці.

Найчастіше застосовують наступні групи імовірнісних методів:

- використання числових характеристик функції розподілу випадкових величин;
- лінеаризоване перетворення числових характеристик – використання методів статистичних випробувань;
- нелінійні перетворення числових характеристик випадкових величин;
- регресійний аналіз;
- моделювання випадкових процесів;
- моделювання електричних навантажень.

Досить точно описує природу формування процесів зміни якості електричної енергії при повному обсязі вихідної інформації метод імовірнісного моделювання, показаний в [4]. Його доцільно застосовувати для повних достовірних інформаційних потоків, опираючись на представлення показників якості електричної енергії випадковим процесом і використовуючи його імовірнісні характеристики. Важливе значення в теорії електричних навантажень мають стаціонарні та ергодичні випадкові процеси.

У якості вихідної інформації при підборі аналітичного виразу для кореляційної функції, як правило, використовуються дискретні значення кореляційних моментів, що обумовлені певним кроком квантування за часом для масиву значень досліджуваного випадкового процесу. Питання систематизації підбору кореляційних функцій розглянуті в [4], а їх вирази, що описують моделювання електричних навантажень промислових установок показані в [5].

Для підтримки прийняття рішень також широке поширення одержали регресійні методи, засновані на теорії планування експерименту. Підвищення точності наближеної математичної моделі пов'язане із застосуванням методу статистичної лінеаризації.

Нелінійна характеристика замінюється еквівалентною в імовірнісному змісті лінеаризованою функціональною залежністю випадкових величин.

Універсальним методом для аналізу якості електричної енергії є метод статистичних випробувань, що дозволяє чисельно визначати функції розподілу випадкових величин, що описують параметри режиму.

До недоліків усіх розглянутих імовірнісних методів можна віднести необхідність знаходження центральних моментів високих порядків і знаходження складних похідних при їх визначенні. Необхідно залучати статистичний підхід, тобто використовувати сукупність даних, що фіксуються протягом деякого проміжку часу. У цьому випадку процес повинен бути стаціонарним протягом часу вимірювань, а вибірка – досить великою.

Таким чином, інформацію, яку можна одержати за допомогою вимірювальних комплексів і приладів у РМ, досить добре описує теорія ймовірностей. Однак інформацію, недоступну для вимірювань, описати не можна. Звідси використання імовірнісно-статистичного апарату не приводить до розкриття невизначеності стану енергосистеми повною мірою, що суттєво знижує якість вирішення розглянутої проблеми. У тих випадках, коли вимірювання не можливе по технічних умовах експлуатації, або воно дає свідомо невірний і грубий результат, доцільно використовувати теорію нечітких множин [6, 7].

Велика розгалуженість і довжина систем електропостачання, нестабільний і неоднорідний характер навантаження, низька спостережність, відсутність інформації про топологію та навантаження за розглянутий період часу не дозволяють експлуатаційному персоналу достовірно оцінити якість електричної енергії та відповідні економічні показники. Усе це знижує ефективність заходів щодо економії електричної енергії та свідчить про те, що загальноприйняті підходи до вирішення розглянутої проблеми виявилися неспроможними.

Таким чином, традиційні підходи до розробки заходів щодо оцінки та підвищення якості електричної енергії в РМ виявляються неефективними, а доцільність таких заходів у значній мірі губиться.

Основними причинами ситуації, що склалася є:

- застосування неефективних методів;
- використання некоректної та недостовірної інформації при оцінці якості електричної енергії;
- неврахування невизначеності вихідної інформації, що використовується при оцінці якості електричної енергії в РМ – інформації про навантаження вузлів;
- відсутність точних інженерних методів оцінки якості електричної енергії при неповній вихідній інформації;
- відсутність методів оцінки чутливості похибки цільової функції до різних способів представлення вихідної інформації;
- застосування математичних моделей, що описують якість електричної енергії у вигляді випадкових величин;
- неврахування низької якості електричної енергії при розрахунках і аналізі втрат електричної енергії.

Відповідно останнім міжнародним вимогам в області метрології та стандартизації основною оцінкою якості результату вимірювань рекомендується вважати його невизначеність [6]. У випадку, якщо процес вимірювання якості електричної енергії характеризується складністю, невизначеністю, необхідністю ухвалювати рішення в невизначених умовах з використанням експертних знань, зручно в якості математичної основи представляти невизначеності вимірювань використовуючи теорію нечітких множин.

На сьогодні переважають системи вимірювань якості електричної енергії з детермінованими параметрами або параметрами, які описуються за допомогою апарату теорії ймовірностей і математичної статистики. Однак перші непридатні навіть при незначних змінах умов вимірювань, а другі досить громіздкі. Проблеми ж прийняття рішень у складних умовах, що

характеризуються невизначеністю, фактично не були вирішені. Через неточність одержання режимних параметрів електромережі практичне впровадження класичних методів вимірювань в умовах невизначеності приводить до некоректного використання рівностей, умов, балансових співвідношень. Застосування методів теорії імовірності у таких ситуаціях також не завжди є правильним і приводить до значного ускладнення математичного опису об'єкта оцінки.

Згідно [6] розробка теорії нечітких множин дала можливість коректно математично представити невизначеність вимірювань фізичних величин, що обумовлена недосконалістю методів і технічних засобів вимірювань.

Невизначеність вимірювань складається із двох компонентів, які у роботі [6] називаються невизначеністю категорії *A* і невизначеністю категорії *B*. Невизначеність результату вимірювань режимного параметра рекомендується описувати або середнім квадратичним відхиленням, або симетричними границями. Це має на увазі корекцію систематичних похибок (наприклад, на підставі багаторазових вимірювань), тому похибку результату вимірювань не розділяють на систематичну та випадкову складові.

Поділ невизначеності вимірювань на компоненти категорії *A* і компонента категорії *B* виконується по способу їх оцінювання, а не по можливій причині виникнення похибки. Компоненти категорії *A* оцінюють на основі відомих методів математичної статистики та теорії імовірностей, базуючись на проведенні багаторазових вимірювань параметрів з наступним їх аналізом. Компоненти категорії *B* одержують за допомогою інших операцій, наприклад, ґрунтуючись на документах виробника, апріорних відомостях або оцінках і т.п. Таким чином, якщо до категорії *A* відносять об'єктивні імовірнісні оцінки ряду вимірювань, то при пошуку компонентів категорії *B* можливе використання суб'єктивних знань, математично формалізованих із застосуванням теорії нечітких множин.

Таким чином, заострення проблеми дослідження та підвищення якості електричної енергії в розподільних мережах потребує пошуку нових шляхів її вирішення, нових підходів до математичного опису схемної та режимної інформації, що використовується в РМ. Ці шляхи та підходи повинні вибиратися та реалізовуватися з урахуванням істотних змін у системі господарської діяльності, що також підсилює ступінь невизначеності в аналізі та оцінці якості електричної енергії.

**Висновок.** Для прийняття рішень при оцінці якості електричної енергії доцільніше використовувати теорію нечітких множин, а не класичні методи теорії імовірностей, оскільки нечітке представлення дає більш простий опис об'єкта та, як наслідок, підвищує швидкість прийняття рішень.

#### Список використаних джерел

1. Карташев И. И. Качество электрической энергии в системах электроснабжения. Способы его контроля и обеспечения / Под ред. М. А. Калугиной. – М.: МЭИ, 2000. – 120 с.

2. Мирошник А. А. Анализ состояния проблемы качества электроэнергии в сельских сетях / А. А. Мирошник // Вісник НТУ "ХПІ" – Харків : НТУ «ХПІ», 2011. – №41. – С. 100–104.

3. Паздерин А. В. Способы повышения достоверности измерительной информации систем учета электрической энергии / А. В. Паздерин // Известия вузов. Проблемы энергетики. – 2004. – № 11–12. – С. 79–87.

4. Жежеленко, И. В. Методы вероятностного моделирования в расчетах характеристик электрических нагрузок потребителей / И. В. Жежеленко, Ю. Л. Саенко, В. П. Степанов. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 128 с.

5. Богатырев, Л. Л. Математическое моделирование режимов ЭЭС в условиях неопределенности / Л. Л. Богатырев, В. З. Манусов, Д. Содномдорж. – Улан-Батор : Изд-во типографии МГТУ, 1999. – 348 с.

6. Раскин Л. Г. Нечеткая математика. Основы теории. Приложения / Лев Григорьевич Раскин, Оксана Владимировна Серая. – Х.: Парус, 2008. – 352 с.

7. Мирошник А. А. Оценка качества электроэнергии для разных видов загрузки с помощью нечеткого обобщенного показателя / С. А. Тимчук, А. А. Мирошник // Materiály XI Mezinárodní Vědecko – Praktická Konference "MODERNÍ VYMOŽENOSTI VĚDY – 2015". – Praha, 2015. – С. 3–10.

#### Аннотация

### АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Мирошник А. А.

*Выполнен анализ существующих методов и подходов к оценке качества электрической энергии в условиях неопределенности исходной информации. Показанные недостатки использования аппарата теории вероятностей и математической статистики. Описаны преимущества использования теории нечетких множеств при раскрытии неопределенности.*

#### Abstract

### ANALYSIS METHODS OF QUALITY ASSESSMENT OF ELECTRICAL ENERGY DISTRIBUTION NETWORKS IN THE CONDITIONS OF UNCERTAINTY

O. Miroshnyk

*The analysis of existing methods and approaches to the evaluation of the quality of electric power in the conditions of uncertainty of the initial information. The drawbacks of using the apparatus of probability theory and mathematical statistics. The advantages of using the theory of fuzzy sets of the disclosure of uncertainty.*