

## ДЕТЕРМІНОВАНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСТКОВОЇ УЧАСТІ ПОСТАЧАЛЬНИКІВ І СПОЖИВАЧІВ У ВІДПОВІДАЛЬНОСТІ ЗА ПОРУШЕННЯ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ: ДОСЯГНЕННЯ ТА НАПРЯМКИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Гриб О. Г., Сендерович Г. А., Щербакова П. Г.

*Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"*

*У статті проведено аналіз відомих рішень з детермінованого визначення часткової участі постачальників і споживачів у відповідальності за порушення якості електричної енергії та дана оцінка перспектив розвитку досліджень у цьому напрямку.*

**Постановка проблеми.** Зниження якості електроенергії (ЯЕ) спричинює збільшення втрат електричної енергії, зменшення строку служби електротехнічного устаткування, зменшенню ефективності, а в деяких випадках – до порушення технологічного процесу споживачів.

В умовах ринкової економіки енергопостачальне підприємство і споживач виступають як рівні комерційні партнери, суб'єкти єдиного процесу розподілу і споживання електроенергії. Для забезпечення зацікавленості в підвищенні ЯЕ необхідно забезпечити такі умови, за яких збитки суб'єктів цього процесу через низьку ЯЕ, оплачували фактичні винуватці.

Насамперед йдеться про показники якості електроенергії (ПЯЕ), що представляють тривалі зміни характеристик напруги: порушення симетрії напруг (коефіцієнти несиметрії напруг зворотної  $K_{2U}$  і нульової  $K_{0U}$  послідовностей), синусоїдності кривої напруги (коефіцієнт спотворення синусоїдності кривої напруги  $K_U$  і коефіцієнт  $n$ -го гармонічного складника напруги  $K_{U(n)}$ ), сталого відхилення напруги ( $\delta U_U$ ).

**Аналіз досліджень і публікацій.** У практиці експлуатації електричних мереж і науково-технічній літературі можна виділити два основних напрямки, за якими вирішується питання визначення участі суб'єктів процесу розподілу електроенергії у розподілу відповідальності за порушення ЯЕ: нормативне і параметричне.

Нормативний підхід [1] передбачає введення стосовно суб'єктів розподілу електроенергії штрафних санкцій у випадку порушення ЯЕ, обговорених відповідним договором або законодавчим актом. Методики нормативних підходів базуються на статистичних дослідженнях і носять імовірнісний характер.

Параметричний підхід припускає визначення відповідальності відповідно до науково обґрунтованої методики, яка дає змогу розрахувати часткову участь суб'єктів у порушенні ЯЕ за параметрами конкретного режиму і діючої схемі електричної мережі. Параметричний підхід [2], у випадку його математично коректної реалізації, може забезпечити детерміноване визначення часткової участі суб'єктів у відповідальності за вихід значень ПЯЕ з області припустимих відхилень, визначених у ДСТУ 13109-97 або в інших документах, що будуть діяти надалі. Використання параметричного підходу дає змогу виключити суб'єктивний фактор з оцінки часткової участі суб'єктів у відповідальності за порушення ЯЕ.

**Метою статті** є аналіз відомих рішень з детермінованого визначення часткової участі постачальників і споживачів електроенергії у відповідальності за порушення вимог до ПЯЕ, пов'язаних із тривалими змінами характеристик напруги, і оцінка перспектив розвитку досліджень у цьому напрямку.

**Основні матеріали дослідження.** Задача визначення часткової участі в загальному виді зводиться до наступного. Суб'єктами процесу розподілу електроенергії в точці загального приєднання (ТЗП) є споживачі 1, 2, ...  $n$ , які одержують живлення зі збірних шин, і постачальник електроенергії, який забезпечує живлення через знижувальний трансформатор (рис. 1). Якщо в ТЗП зафіксовано відхил ПЯЕ від припустимих значень, потрібно визначити ту часткову участь, що вніс кожний із суб'єктів у це порушення.

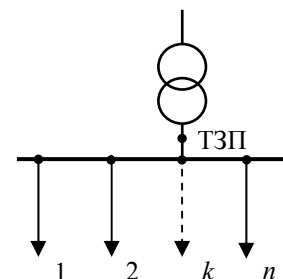


Рисунок 1 - Підключення суб'єктів процесу розподілу електроенергії до ТЗП

Залежно від використовуваної в методиці вихідної інформації можна виділити два типи параметричного підходу: за параметрами режиму та за параметрами схеми заміщення.

Методи, що використовують *параметри режиму*, в переважно оперують поняттям вторинної потужності, відповідно до якого в місці, де відбувається спотворення синусоїдності кривої напруги або симетрії напруг, перебуває джерело напруг (струмів) вищих гармонік або зворотної і нульової послідовностей. Це джерело генерує потужності відповідних частот або послідовностей, які і називають вторинними. Енергію ці джерела одержують за основною частотою або прямою послідовністю (первинні потужності).

Використання як критерій відповідальності напрямку і величини вторинної потужності лягло в основу методу розрахунку фактичного вкладу суб'єктів у порушення ЯЕ, затвердженого Держенергонаглядом

міністерства енергетики Російської Федерації [3]. Щодо визначення відповідальності за порушення ЯЕ в цьому методі є два недоліки:

- по-перше, метод не враховує взаємного складника вторинної потужності, що може вносити похибку в оцінку часткової участі суб'єктів;

- по-друге, не враховують зміни ЯЕ і відповідальності за ці зміни протягом усього строку моніторингу (тиждень, мінімум доба відповідно до ДСТУ або постійний моніторинг);

Параметричний підхід з використанням параметрів схеми заміщення у принципі дозволяє реалізувати детерміноване рішення задачі. Але саме визначення параметрів схеми заміщення є приблизне і не враховує поточних змін режиму.

Наявність сучасних контрольно-вимірювальних комплексів, виконаних на базі ЕОМ, дає змогу виконувати вимірювання миттєвих значень сили струмів і напруг, виконувати із заданим інтервалом усереднення розрахунки комплексних значень усіх необхідних параметрів режиму (сила струмів, напруги, потужності, а також симетричні й гармонійні складові цих параметрів, та інші необхідні параметри), розраховувати параметри схеми заміщення. Використовуючи ці можливості автори знайшли детерміноване рішення для визначення часткової участі суб'єктів у випадку порушення симетрії напруг [4].

Застосовано параметричний підхід з використанням параметрів схеми заміщення, які отримані за параметрами поточного режиму. Усунуто основний недолік застосування схем заміщення – приблизне визначення їхніх параметрів. Часткову участь суб'єктів розраховують в рамках кожного інтервалу усереднення. Знайдено рішення без застосування вторинної потужності.

На відміну від несиметрії напруг, для спотворення синусоїдності кривої напруги виявлено ознаку розташування джерел струмів вищих гармонік по один бік від межі балансової належності (МБН). Визначення розташування джерел ґрунтується на тому, що розкладання в ряд Фур'є несинусоїдної кривої призводить до появи пакета кривих вищих гармонік. Якщо джерело струмів вищих гармонік одне, то потужності всіх гармонічних складників мають однаковий напрям:

$$\text{sign } P(n) = \text{const.} \quad (1)$$

Використання ознаки (1) дозволило вирішувати задачу визначати часткову участь суб'єктів у порушенні синусоїдності кривої напруги як інтегральну за великою кількістю інтервалів усереднення, у часі, тривалість якого визначається видом моніторингу [5]. Інтегральний підхід до оцінювання потужності є перехід до оцінювання енергії.

Інтегральний підхід дає змогу сполучити з рішенням цієї задачі виправлення другого недоліку відомого методу, зазначеного вище, а саме, враховувати зміни ПЯЕ протягом моніторингу ЯЕ.

Визначення відповідальності саме за потужністю й у рамках одного інтервалу усереднення не є необхідністю. Фінансові розрахунки між суб'єктами розподілу та споживання електроенергії виконують не за

потужністю, а за кількістю електроенергії. Задачею є визначення тієї частини електроенергії, що отримана з порушенням вимог ЯЕ, і визначення відповідальності суб'єктів за це порушення.

Відповідальність суб'єктів за відхилення напруги визначається у відповідності з наступними принципами, в основу яких покладені умови договору [6]. Якщо умови договору виконуються, то у випадку перевищення припустимих значень відхилення напруги, вся відповідальність повинна бути за мережним підприємством, яке не забезпечує необхідне регулювання напруги. Якщо споживання активної або реактивної потужності виходить за межі договірних зобов'язань, то відповідальність покладається на споживача.

Авторами розроблено методики розрахунку часткової участі суб'єктів у відповідальності за порушення ЯЕ, що визначають відповідальність лише за ту частину електроенергії, яка отримана з порушенням вимог до розглянутих ПЯЕ. Розроблена комплексна методика оцінки відповідальності за порушення ЯЕ. Методика зорієнтована на чинне законодавство і забезпечує об'єднання методик по всім ПЯЕ, що враховуються. Для кожного  $k$ -го інтервалу усереднення розраховується зважений коефіцієнт відповідальності суб'єкта розподілу електроенергії, який  $\varepsilon$  побудований на принципі однакової відповідальності за порушення врахованих ПЯЕ:

$$K_{\text{відп}}(k) = \frac{2W_{\Delta U} + W_{2U} + W_{0U} + W_{U(n)} + W_U}{(2K_{\Delta U}^{\text{відп}} + K_{2U}^{\text{відп}} + K_{0U}^{\text{відп}} + K_{U(n)}^{\text{відп}} + K_U^{\text{відп}}) \cdot W(k)}, \quad (2)$$

де  $K_{\Delta U}^{\text{відп}}, K_{2U}^{\text{відп}}, K_{0U}^{\text{відп}}, K_{U(n)}^{\text{відп}}, K_U^{\text{відп}}$  – коефіцієнти відповідальності за порушення ЯЕ з показників  $K_{\Delta U}^{\text{відп}}, K_{2U}^{\text{відп}}, K_{0U}^{\text{відп}}, K_{U(n)}^{\text{відп}}, K_U^{\text{відп}}$ .

$W_{\Delta U}, W_{2U}, W_{0U}, W_{U(n)}, W_U$  – електроенергія, яка спожита за умови порушення ЯЕ з цих показників;

$W_k$  – електроенергія, яка спожита на  $k$ -му інтервалі усереднення.

Що до окремо взятого споживача або постачальника результат розрахунку по формулі (2) може бути позитивним або негативним у залежності від знака коефіцієнтів відповідальності і кількості розподіленої електроенергії в інтервалах усереднення.

На сьогоднішній день можна говорити про те, що розроблені методи і методики визначення часткової участі суб'єктів розподілу електроенергії у відповідальності за порушення ЯЕ в трифазних силових мережах за такими ПЯЕ: симетрія напруг ( $K_{\Delta n}, K_{\text{РН}}$ ), синусоїдність кривої напруги ( $K_U, K_{U(n)}$ ) і сталий відхил напруги ( $\delta U_r$ ). Розроблено також комплексну методику, що поєднує три зазначені методики.

Не розглянуто показники, що характеризують коливання напруги: розмах зміни напруги ( $\delta U_t$ ) і доза флікера ( $P_f$ ). Ці показники, так саме як і розглянуті, представляють тривалі зміни характеристик напруги, що припускає потенційну можливість для вивчення закономірностей їхнього виникнення і детерміновано розподілу відповідальності за ці порушення між суб'єктами. Виконання розробок у цьому напрямку зробить визначення відповідальності за порушення ЯЕ повнішим і принциповішим.

Інший, мабуть найбільш важливий напрямок подальших досліджень, пов'язано з доведенням розробок до рівня, що забезпечує їхнє впровадження в практику експлуатації електричних мереж. На сьогоднішній день є розробки, що дають змогу у разі їхнього успішного завершення спростити визначення часткової участі за порушення симетрії та зробити його незалежним від схеми мережі. У разі вирішення цієї задачі можна переходити до розроблення недорогих лічильників електроенергії, що будуть надавати таку інформацію за звітний період:

1) облік споживання електроенергії (звичайна функція);

2) облік споживання електроенергії, яка була розподілена з порушеннями вимог до ПЯЕ;

3) визначення часткової участі споживача у відповідальності за перевищення припустимих відхилень ПЯЕ.

Промислове виробництво таких лічильників з наступним їхнім впровадженням у практику експлуатації електричних мереж можна вважати створенням технічної бази для забезпечення обліку електроенергії з контролем її якості.

Третім напрямком є використання методик щодо визначення участі суб'єктів у відповідальності за порушення вимог до ЯЕ в автоматизованих системах контролю й обліку електроспоживання (АСКОЕ). Розвиток сучасних комп'ютерних інформаційних технологій в енергетиці дає змогу вже сьогодні розробляти АСКОЕ з використанням геоінформаційних систем (ГІС), що є універсальним інструментальним середовищем реалізації просторово-часових співвідношень і взаємозалежних подій на заданій території.

**Висновки.** Є підстави стверджувати, що виконано великий обсяг роботи з розроблення методів і методик детермінованого визначення часткової участі постачальників і споживачів електроенергії у відповідальності за порушення ЯЕ в електричних мережах.

Разом з тим, доцільно продовжити дослідження і розробки у даній області знань за такими напрямками:

1) завершення розробок методів і методик детермінованого розподілу відповідальності за порушення ЯЕ за показниками, що представляють тривалі зміни характеристик напруги (коливання напруги);

2) проведення досліджень щодо розроблення автономних лічильників електроенергії з уведенням додаткових опцій: облік споживання електроенергії, яку було розподілено з порушеннями вимог до ПЯЕ; визначення часткової участі споживача у відповідальності за порушення ЯЕ.

3) використання розробок з визначення часткової участі постачальників і споживачів електроенергії в АСКОЕ і ГІС технологіях.

#### Список використаних джерел

1. Гриб О. Г. Анализ договорного подхода к определению ответственности субъектов за нарушение качества электрической энергии / О. Г. Гриб, Г. А. Сендерович, П. Г. Щербакова // Світлотехніка та електроенергетика – 2007. – №1(9) – С. 77-81.

2. Гриб О. Г. Анализ параметрического подхода к определению ответственности субъектов за наруше-

ние качества электрической энергии / О. Г. Гриб, Г. А. Сендерович, П. Г. Щербакова // Світлотехніка та електроенергетика – 2007. – №2(10) – С. 64-73.

3. Методические указания по контролю и анализу качества электрической энергии в системах электропитания общего назначения. Часть 2. Анализ качества электрической энергии РД 153-34.0-15.501-01. Разработано научно-методическим центром 000 "Научный центр ЛИНВИТ". – Москва: Энергосервис, 2001. – 23 с.

4. Сендерович Г. А. Анализ влияния потребителей на несимметрию по обратной последовательности в точке общего присоединения / Г. А. Сендерович // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2005. – № 1/2 (13). – С. 89 – 94.

5. Гриб О. Г. Визначення відповідальності суб'єктів розподілу електроенергії за викривлення синусоїдності кривої напруги // О. Г. Гриб, Г. А. Сендерович, П. Г. Щербакова // Вісник Харківського Національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка: "Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України". – 2013. – Вип. 141. – С. 75 – 77.

6. Щербакова П. Г. Методика и алгоритм определения ответственности за превышение допустимого отклонения напряжения // П. Г. Щербакова // Вісник Харківського Національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка: "Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України". – 2006. – Вип. 43, том 1. – С. 59 – 65.

#### Аннотация

#### ДЕТЕРМИНИРОВАННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОЛЕВОГО УЧАСТИЯ ПОСТАВЩИКОВ И ПОТРЕБИТЕЛЕЙ В ОТВЕТСТВЕННОСТИ ЗА НАРУШЕНИЕ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ: ДОСТИЖЕНИЯ И НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Гриб О. Г., Сендерович Г. А., Щербакова П. Г.

*В статье проведен анализ известных решений по детерминированному определению долевого участия поставщиков и потребителей в ответственности за нарушение качества электрической энергии и дана оценка перспектив развития исследований в этом направлении.*

#### Abstract

#### DEFINITIONS DETERMINED EQUITY SUPPLIERS AND CONSUMERS IN RESPONSIBILITIES FOR VIOLATION OF POWER QUALITY: ACHIEVEMENTS AND RESEARCH

O. Grib, G. Senderovych, P. Shcherbakova

*There analyze the known solutions to the deterministic definition of the equity providers and consumers in the responsibility for violation of the quality of electric power was made and an assessment of prospects for the development of research in this direction at the article.*