

Г. А СЕНДЕРОВИЧ, О. В. ДЯЧЕНКО, Н. С. ЗАХАРЕНКО, І. Т. КАРПАЛЮК, Н. В. РУДЕВИЧ

КОМПЛЕКСНА МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСТКОВОЇ УЧАСТІ СПОЖИВАЧА В ВІДПОВІДАЛЬНОСТІ ЗА ПОРУШЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

В електроенергетиці одним з найважливіших аспектів електросбереження і екологічності є поліпшення якості електроенергії і забезпечення електромагнітної сумісності. Якість електроенергії безпосередньо пов'язана з економічністю виробництва, розподілу і споживання електричної енергії. В умовах ринкової економіки мережеве підприємство і споживач виступають як рівні комерційні партнери, суб'єкти єдиного процесу розподілу і споживання електричної енергії. Для забезпечення зацікавленості в підвищенні якості електроенергії необхідно забезпечити такі умови, при яких збитки, які несуть суб'єкти процесу розподілу електричної енергії, оплачували дійсні винуватці. У міжнародній практиці визначення відповідальності за порушення якості електроенергії домінують два принципи визначення допустимості приєднання споживача до мережі в разі порушення вимог до показників якості електроенергії, які можна висловити логічними формулами: «платить останній» і «кожен платить свою частку». Для України, країни з розвиненими електричними мережами, в яких заходів щодо дотримання якості електроенергії традиційно не достатньо, доцільно використовувати другий принцип, який передбачає індивідуальну відповідальність суб'єктів і теж широко використовуваний у світовій практиці експлуатації електричних мереж. Згідно з цим принципом кожен суб'єкт процесу розподілу електричної енергії має право на внесення своєї частки спотворень, але при цьому зобов'язаний компенсувати збитки від зниження якості електроенергії, відповідно цієї частки. Об'єктивну оцінку часткової участі в компенсації збитку доцільно покласти на детерміновані розрахунки, які позбавлені фактору впливу на їх результат з боку постачальника або споживачів електричної енергії. Запропонована методика комплексного визначення відповідальності за порушення якості електричної енергії. Методика визначення зваженого коефіцієнта відповідальності дозволяє враховувати: можливість одночасного спотворення кількох показників якості електроенергії, таких як усталене відхилення напруги, несиметрія напруги, несинусоїдальність напруги, одним суб'єктом, можливість одночасного спотворення одного показника якості електроенергії різними суб'єктами, можливість одночасного спотворення декількох суб'єктами різних показників якості електроенергії.

Ключові слова: якість електроенергії, показники якості електроенергії, усталене відхилення напруги, несиметрія напруги, несинусоїдальність напруги, зважений коефіцієнт, детерміновані розрахунки, відповідальність.

Г. А СЕНДЕРОВИЧ, А. В. ДЯЧЕНКО, Н. С. ЗАХАРЕНКО, І. Т. КАРПАЛЮК, Н. В. РУДЕВИЧ

КОМПЛЕКСНАЯ МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДОЛЕВОГО УЧАСТИЯ ПОТРЕБИТЕЛЯ В ОТВЕТСТВЕННОСТИ ЗА НАРУШЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

В электроэнергетике одним из важнейших аспектов электросбережения и экологичности является улучшение качества электроэнергии и обеспечения электромагнитной совместимости. Качество электроэнергии непосредственно связано с экономичностью производства, распределения и потребления электрической энергии. В условиях рыночной экономики сетевое предприятие и потребитель выступают как равные коммерческие партнеры, субъекты единого процесса распределения и потребления электрической энергии. Для обеспечения заинтересованности в повышении качества электроэнергии необходимо обеспечить такие условия, при которых убытки, которые несут субъекты процесса распределения электрической энергии, оплачивали истинные виновники. В международной практике определение ответственности за нарушение качества электроэнергии доминируют два принципа определения допустимости присоединения потребителя к сети в случае нарушения требований к показателям качества электроэнергии, которые можно выразить логическими формулами: «платит последний» и «каждый платит свою долю». Для Украины, страны с развитыми электрическими сетями, в которых меры по соблюдению качества электроэнергии традиционно недостаточно, целесообразно использовать второй принцип, который предполагает индивидуальную ответственность субъектов и тоже широко используемый в мировой практике эксплуатации электрических сетей. Согласно этому принципу, каждый субъект процесса распределения электрической энергии имеет право на внесение своей доли искажений, но при этом обязан компенсировать убытки от снижения качества электроэнергии, согласно этой доли. Объективную оценку долевого участия в компенсации ущерба целесообразно возложить на детерминированные расчеты, которые лишены фактора влияния на их результат со стороны поставщика или потребителей электрической энергии. Предложена методика комплексного определения ответственности за нарушение качества электрической энергии. Методика определения взвешенного коэффициента ответственности позволяет учитывать: возможность одновременного искажения нескольких показателей качества электроэнергии, таких как установившееся отклонение напряжения, несимметрия напряжения, несинусоидальность напряжения, одним субъектом, возможность одновременного искажения одного показателя качества электроэнергии различными субъектами, возможность одновременного искажения несколькими субъектами различных показателей качества электроэнергии.

Ключевые слова: качество электроэнергии, показатели качества электроэнергии, установившееся отклонение напряжения, несимметрия напряжения, несинусоидальность напряжения, взвешенный коэффициент, детерминированные расчеты, ответственность.

G. SENDEROVICH, O. DIACHENKO, N. ZAKHARENKO, I. KARPALIUK, N. RUDEVICH

COMPREHENSIVE METHODOLOGY FOR DETERMINING THE PARTIAL PARTICIPATION OF CONSUMERS IN THE RESPONSIBILITY FOR VIOLATION OF ELECTRICITY QUALITY INDICATORS

In the power industry, one of the most important aspects of energy conservation and environmental friendliness is to improve the quality of electricity and ensure electromagnetic compatibility. The quality of electricity is directly related to the efficiency of production, distribution and consumption of electric energy. In a market economy, the grid company and the consumer act as equal commercial partners, subjects of a single process of distribution and consumption of electric energy. To ensure interest in improving the quality of electricity, it is necessary to ensure conditions under which the losses incurred by the subjects of the process of electric energy distribution are paid by the true culprits. In international practice, the definition of responsibility for violation of the quality of electricity is dominated by two principles for determining the admissibility of a consumer connecting to the network in case of violation of the requirements for indicators of quality of electricity, which can be expressed in logical formulas: "pays the last" and "everyone pays his share". For Ukraine, a country with developed electric grids in which measures to comply with the quality of electric power are

© Г. А. Сендерович, О. В. Дяченко, Н. С. Захаренко, І. Т. Карпалюк, Н. В. Рудевич, 2019

traditionally insufficient, it is advisable to use the second principle, which assumes individual responsibility of entities and also widely used in the world practice of operating electric grids. According to this principle, each subject of the electric energy distribution process has the right to introduce its own share of distortions, but it is obliged to compensate for losses from the reduction in the quality of electricity, according to this share. It is advisable to assign an objective assessment of equity participation in compensation for damage to deterministic calculations, without the factor of influence on their result from the supplier or consumers of electric energy. A methodology for the comprehensive definition of liability for violation of the quality of electric energy is proposed. The methodology for determining the weighted coefficient of responsibility allows us to take into account: the possibility of simultaneous distortion of several indicators of electric power quality, such as steady-state voltage deviation, voltage unbalance, voltage non-sinusoidality, by one subject, the possibility of simultaneous distortion of one electric power quality indicator by different entities, the possibility of simultaneous distortion by several entities of various electric power quality indicators.

Key words: electric power quality, electric power quality indicators, steady-state voltage deviation, voltage unbalance, voltage non-sinusoidality, weighted coefficient, calculations are determined, responsibility.

Вступ. Багато років централізованої експлуатації електричних мереж в Україні не приділялося належної уваги питанням якості електроенергії (ЯЕ), яка залежить як від її постачальників, так і від споживачів. Підвищення ЯЕ в умовах енергетичного ринку вимагає зацікавленості в цьому суб'єктів процесу розподілу і споживання електроенергії. З метою підвищення зацікавленості в покращенні ЯЕ розроблені методи і методики детермінованого визначення часткової участі постачальників та споживачів електроенергії в порушенні вимог до показників якості електроенергії (ПЯЕ) [1–15].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Існуюча методика визначення часткової участі суб'єктів розподілу електричної енергії (ЕЕ) в відповідальності за порушення якості електроенергії ЯЕ при комплексній оцінці ПЯЕ [16] призначена для її використання в точках загального приєднання (ТЗП), якими зазвичай є збірні шини понижуючих підстанцій розподільної електричної мережі. Її реалізація в частині оцінки несиметрії вимагає одночасного вимірювання струму на різних приєднаннях до ТЗП, що здійснити в локальних пристроях обліку і контролю ЕЕ складно, а в ряді випадків практично неможливо.

Розроблена в [17] методика визначення відповідальності споживача за спотворення симетрії напруги передбачає її використання в локальних системах обліку споживання та контролю ЕЕ. Новий підхід, що використовується для аналізу несиметрії в цій методиці, вимагає його врахування при комплексній оцінці ПЯЕ. Застосування методики визначення часткової участі постачальника і споживача в порушенні вимог щодо коливання напруги (КН), яка розроблена в [17], також має бути пов'язана з методикою комплексної оцінки ПЯЕ.

Мета статті. Розробка комплексної методики визначення часткової участі споживача у відповідальності за порушення показників якості електроенергії.

Виконання розробок в даному напрямі робить визначення відповідальності за порушення ЯЕ більш повним і принциповим, що в подальшому дозволить розробити прилад, який робить облік споживання ЕЕ, контролює ЯЕ і визначає відповідальність сторін (постачальник-споживач) за її порушення згідно до чинного законодавства.

Такий прилад повинен фіксувати відхилення від допустимих значень за всіма ПЯЕ, що характеризують тривалі зміни характеристик напруги і робити узагальнений висновок про відповідальність сторін за

порушення ЯЕ.

Основні матеріали досліджень. Для можливості пред'явлення санкцій критерій узагальненої оцінки порушення вимог по ЯЕ повинен бути заснований на діючій нормативній базі [18], яка передбачає санкції у розмірі 25 % вартості ЕЕ, розподіленої з порушенням вимог по любому із з ПЯЕ. Величина санкції не залежить від кількості ПЯЕ, за якими виявлені порушення. У той же час, критерій повинен бути достатньо гнучким, щоб забезпечити можливість його зміни для використання з новою правовою базою, під якою мається на увазі, по-перше, можлива зміна ГОСТ і, по-друге, можлива законодавча зміна підходу до стимулювання суб'єктів розподілу ЕЕ з метою підвищення ЯЕ.

До ПЯЕ, що характеризують тривалі зміни характеристик напруги, слід віднести:

- усталене відхилення напруги δU_y ;
- несиметрію напруги (коефіцієнт несиметрії напруги по зворотній послідовності K_{2U} і коефіцієнт несиметрії напруги по нульовій послідовності K_{0U});
- несинусоїдальність напруги (коефіцієнт спотворення синусоїдальності кривої напруги K_U і коефіцієнт n -ї гармонійної складової напруги $K_{U(n)}$);
- коливання напруги (розмах зміни напруги δU_i і доза флікера P_i).

У зв'язку з тим, що чинна правова база передбачає однакову відповідальність за порушення вимог до ЯЕ незалежно від того, за яким конкретно і по якій кількості ПЯЕ було зафіксовано порушення, повинна бути врахована можливість одночасного порушення вимог до ЯЕ за кількома ПЯЕ. Так як аналіз параметрів режиму цифровим контрольно-вимірювальним комплексом відбувається за інтервал усереднення Δt , під одночасними маються на увазі події, зафіксовані в одному k -му інтервалі усереднення Δt .

Комплексна оцінка відповідальності суб'єктів за одночасні порушення ПЯЕ в k -му інтервалі усереднення проводиться за середньозваженими коефіцієнтами відповідальності споживача за перевищення нормально допустимих $K_{\text{від}}^{н/д}(k)$ і гранично допустимих $K_{\text{від}}^{г/д}(k)$ значень:

$$K_{\text{від}}^{н/д}(k) = \frac{W_{\text{від}U}^{н/д}(k) + W_{\text{від}2}^{н/д}(k) + W_{\text{від}0}^{н/д}(k) + W_{\text{від}U(n)}^{н/д}(k) + W_{\text{від}U}^{н/д}(k)}{\left[K_{\delta U}^{н/д}(k) + K_2^{н/д}(k) + K_0^{н/д}(k) + K_{U(n)}^{н/д}(k) + K_U^{н/д}(k) \right]} \cdot W(k), \quad (1)$$

$$K_{\text{від}}^{r/d}(k) = \frac{W_{\text{від}\delta U}^{r/d}(k) + W_{\text{від}2}^{r/d}(k) + W_{\text{від}0}^{r/d}(k) + W_{\text{від}U(n)}^{r/d}(k) + W_{\text{від}U}^{r/d}(k)}{\left[K_{\delta U}^{r/d}(k) + K_2^{r/d}(k) + K_0^{r/d}(k) + K_{U(n)}^{r/d}(k) + K_U^{r/d}(k) \right]} \cdot W(k) \quad (2)$$

Середньозважені коефіцієнти відповідальності споживача (1) і (2) не враховують порушення ЯЕ по КН. Це пояснюється тим, що перевищення допустимих значень ні за розмахом зміни напруги δU , ні за дозою флікера P_t не можуть бути виявлені за період інтервалу усереднення Δt , так як в загальному випадку період коливань перевершує $\Delta t = 3$ с. Це враховують вимоги ГОСТ [19], згідно з якими короточасна доза флікера P_{St} вимірюється в інтервалі часу 10 хв, а тривала доза флікера $P_L - 2$ год.

Методика, що розглядається, відрізняється від відомої [16] в частині оцінки часткової участі за несиметрією напруги і спрямованістю оцінки на часткову участь споживача ЕЕ. Методика з оцінки КН, розроблена в [17], не входить в комплексну оцінку, вона повинна бути виведена в окремий блок (прилад) і працювати за фактом порушення вимог до КН.

Коефіцієнт відповідальності споживача (1) може змінюватися в межах:

$$-1 \leq K_{\text{від}}^{h/d}(k) \leq 1. \quad (3)$$

При $K_{\text{від}}^{h/d}(k) = -1$ вся відповідальність за порушення вимог до ПЯЕ в k -му інтервалі усереднення покладається на постачальника ЕЕ, при $K_{\text{від}}^{h/d}(k) = 1$ - на споживача. У чисельнику формули (1) наведено суму значень ЕЕ, отриманих в k -му інтервалі усереднення з порушеннями вимог щодо кожного з ПЯЕ, в знаменнику – споживання ЕЕ $W(k)$.

Якщо має місце порушення по одному з показників, наприклад, коефіцієнту несиметрії напруги за зворотною послідовністю K_{2U} , то згідно (1):

$$K_{\text{від}}^{h/d}(k) = W_{\text{від}2}^{h/d}(k) / W(k). \quad (4)$$

Умова (3) виконується, так як в будь-якому випадку енергія, отримана з порушенням вимог, не може перевищувати загальне споживання ЕЕ:

$$\left| W_{\text{від}2}^{h/d}(k) \right| \leq W(k). \quad (5)$$

Якщо зафіксовані порушення за кількома показниками, то енергія, отримана з порушенням вимог, буде підсумовуватися стільки раз, скільки порушено вимог до ПЯЕ в k -му інтервалі усереднення. Для виконання умови (3) і отримання середньозваженого значення коефіцієнта відповідальності $K_{\text{від}}^{h/d}(k)$ в знаменник формули (1) введена сума коефіцієнтів, що враховують факт порушень за окремими ПЯЕ:

$K_{\delta U}^{h/d}(k) + K_2^{h/d}(k) + K_0^{h/d}(k) + K_{U(n)}^{h/d}(k) + K_U^{h/d}(k)$. Кожен коефіцієнт може мати два значення: нуль, якщо відповідне порушення ПЯЕ відсутнє, або одиниця, якщо відповідне порушення ПЯЕ виявлено.

У чисельнику формули (1) представлена сума значень ЕЕ по кожному з показників, відповідальність за спотворення яких лежить на споживачеві. Ці значення ЕЕ можуть бути різними за величиною і знаком в залежності від відповідальності сторін за окремими ПЯЕ. Величини ЕЕ, за якими в k -му інтервалі усереднення не виявлено перевищення допустимих значень, що відповідають ПЯЕ, приймаються рівними нулю.

Таким чином, середньозважений коефіцієнт відповідальності споживача $K_{\text{від}}^{h/d}(k)$ в k -му інтервалі усереднення Δt є відношення сум значень ЕЕ, отриманих споживачем з порушенням по окремим ПЯЕ і приведених до порушення по одному показнику, до загального споживання $W(k)$. Або, іншими словами, середньозважений коефіцієнт відповідальності споживача $K_{\text{від}}^{h/d}(k)$ в k -му інтервалі усереднення Δt - це відношення середньозваженої ЕЕ, отриманої споживачем з порушенням по всім контрольованим ПЯЕ до загального споживання $W(k)$.

Фізичний смисл середньозваженого коефіцієнта відповідальності споживача за порушення гранично допустимих значень ПЯЕ в k -му інтервалі усереднення $K_{\text{від}}^{r/d}(k)$ отриманого за формулою (2), має аналогічне пояснення.

У разі відсутності порушень вимог по ПЯЕ в k -му інтервалі формули (1), (2) дають математичну невизначеність значень середньозважених коефіцієнтів відповідальності споживача $K_{\text{від}}^{h/d}(k)$ і $K_{\text{від}}^{r/d}(k)$, що є недопустимим при побудові алгоритму реалізації даної методики. Факт виникнення порушення хоча б по одному ПЯЕ можна уявити за допомогою логічних висловлювань, що характеризують диз'юнкцію виконання умов порушення нормально і гранично допустимих значень:

$$F1 := \left[K_{\delta U}^{h/d}(k) = 1 \right] \vee \left[K_2^{h/d}(k) = 1 \right] \vee \left[K_0^{h/d}(k) = 1 \right] \vee \left[K_{U(n)}^{h/d}(k) = 1 \right] \vee \left[K_U^{h/d}(k) = 1 \right]; \quad (6)$$

$$F2 := \left[K_{\delta U}^{r/d}(k) = 1 \right] \vee \left[K_2^{r/d}(k) = 1 \right] \vee \left[K_0^{r/d}(k) = 1 \right] \vee \left[K_{U(n)}^{r/d}(k) = 1 \right] \vee \left[K_U^{r/d}(k) = 1 \right]. \quad (7)$$

Можливість використання формули (1) для визначення $K_{\text{від}}^{h/d}(k)$ визначається виконанням умов:

$$F1 = 1 \quad (8)$$

формули (2) для визначення $K_{\text{від}}^{r/d}(k)$:

$$F2 = 1. \quad (9)$$

Якщо не виконуються умови (8) або (9) ($F1 = 0$ або $F2 = 0$), то алгоритм відповідно повинен обійти формули (1) або (2).

Алгоритм роботи вимірювального приладу для обліку і контролю ЯЕ наведено на рис. 1 і рис. 2. Алгоритм здійснює комплексну оцінку часткової участі споживача у відповідальності за одночасні порушення ПЯЕ в кожному k -му інтервалі усереднення Δt і інтегрування результату за період моніторингу T .

На відміну від відомих рішень [20, 21] його використання передбачається в локальному пристрої, що вимірює параметри режиму в місці установки, і надає інформацію про споживання ЕЕ, факт порушення її якості і кількості ЕЕ, за порушення якості якої несе відповідальність споживач.

Програма розрахована на роботу з періодом повторення T , що відповідає періоду моніторингу, наприклад, один місяць.

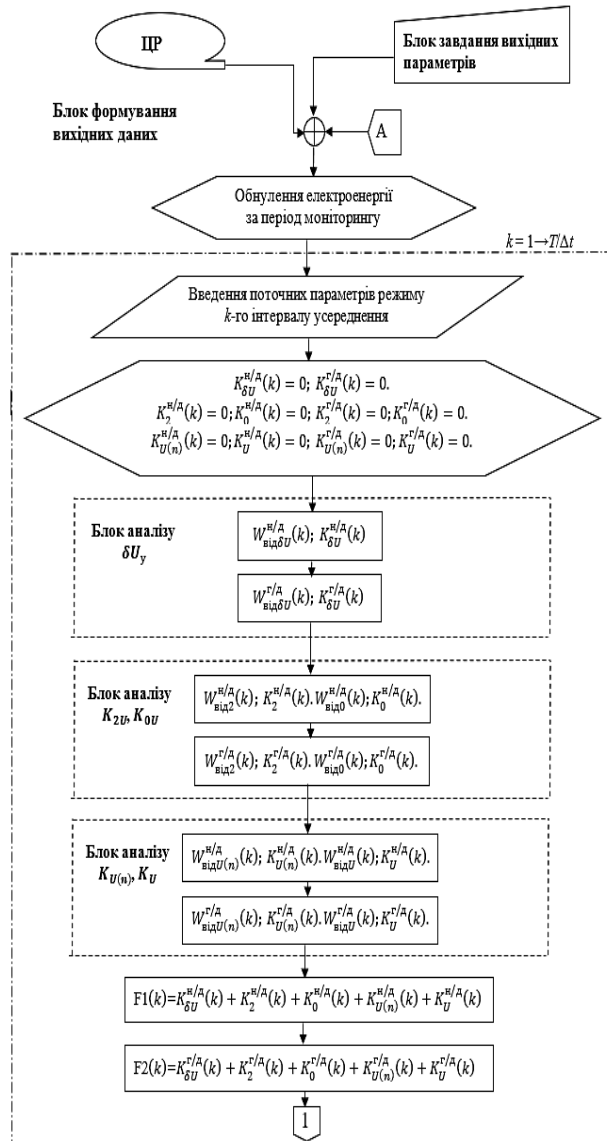


Рис. 1. Алгоритм роботи приладу для обліку і контролю якості електричної енергії (початок)

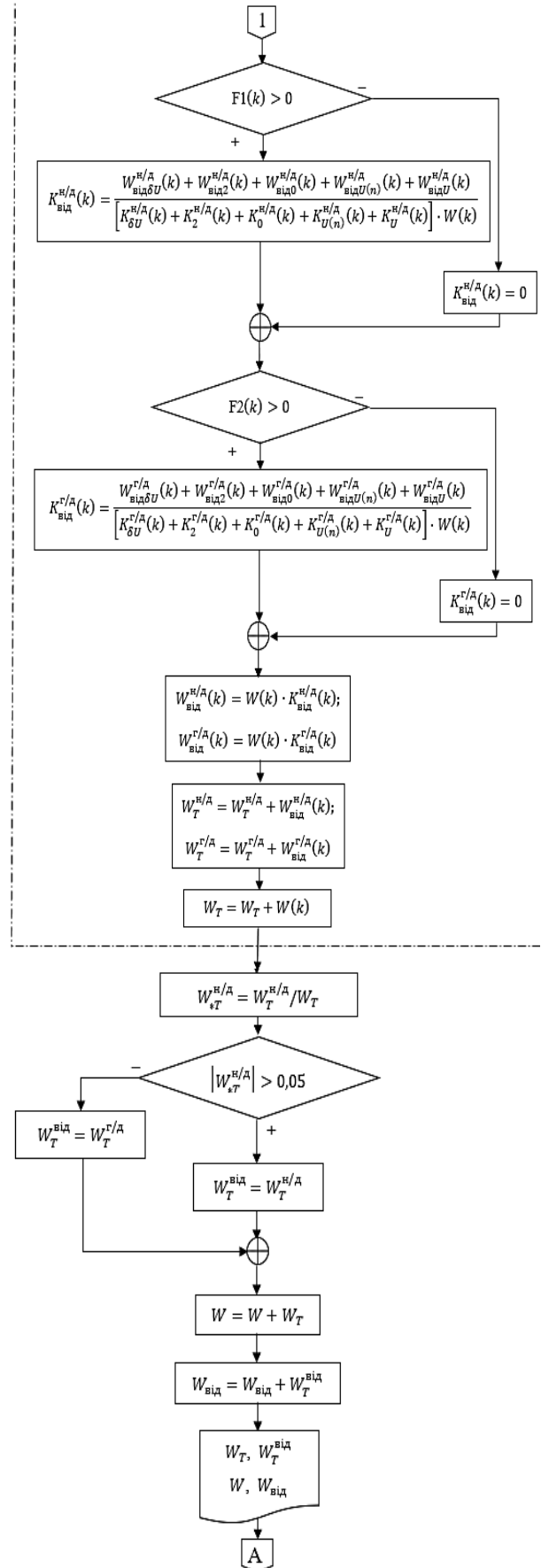


Рис. 2. Алгоритм роботи приладу для обліку і контролю якості електричної енергії (кінець)

Поза циклом працює **Блок завдання вихідних параметрів**, в якому закладена постійна інформація: параметри електричної мережі (режим нейтралі, кількість фаз), номінальні і граничні параметри режиму, нормально і гранично допустимі значення ПЯЕ. Поточна інформація про параметри режиму надходить з цифрового реєстратора **ЦР**.

На початку періоду T проводиться обнулення значень всіх видів ЕЕ, розрахованих за попередній період, а потім робиться розрахунок в циклі по $k = 1 \rightarrow T/\Delta t$. Інтервал усереднення прийнятий $\Delta t = 3$ с відповідно до [19].

Цикл по k починається з введення з ЦР параметрів режиму, поточного k -го інтервалу усереднення і обнулення коефіцієнтів, що враховують в інтервалі $k-1$ факт порушення нормально і гранично допустимих значень за окремими ПЯЕ:

$$K_{\delta U}^{h/d}(k) = 0;$$

$$K_2^{h/d}(k) = 0;$$

$$K_0^{h/d}(k) = 0;$$

$$K_{U(n)}^{h/d}(k) = 0;$$

$$K_U^{h/d}(k) = 0;$$

$$K_{\delta U}^{r/d}(k) = 0;$$

$$K_2^{r/d}(k) = 0;$$

$$K_0^{r/d}(k) = 0;$$

$$K_{U(n)}^{r/d}(k) = 0;$$

$$K_U^{r/d}(k) = 0.$$

Потім проводиться розрахунок відповідальності за показниками ПЯЕ для сталого відхилення напруги (**Блок аналізу δU_y**), несиметрії (**Блок аналізу K_{2U} , K_{0U}**) і несинусоїдальності (**Блок аналізу $K_{U(n)}$, K_U**).

На виході трьох названих блоків отримуємо інформацію про факт порушення нормально і гранично допустимих вимог і кількості ЕЕ, за порушення цих вимог несе відповідальність споживач, по кожному з ПЯЕ. Для вирішення цього завдання використовуються методики по оцінці часткової участі суб'єктів при порушенні вимог до сталого відхилення напруги [21], синусоїдальності кривої напруги [20] і методика по несиметрії напруги, розроблена в [17].

Якщо в k -му інтервалі не виявлено порушень нормально допустимих значень ні по одному з ПЯЕ, то оператор $F1(k) = 0$ і умова (6) не виконується. В цьому випадку приймаємо середньозважений коефіцієнт відповідальності споживача $K_{\text{від}}^{h/d}(k) = 0$. Якщо не виявлено порушень гранично допустимих значень, то $F2(k) = 0$ і не виконується умова (7), $K_{\text{від}}^{r/d}(k) = 0$.

При виконанні умови (6) середньозважений

коефіцієнт відповідальності споживача $K_{\text{від}}^{h/d}(k)$ розраховується за формулою (1), при виконанні умови (7) – по формулі (2).

Енергію, за яку несе відповідальність споживач при перевищенні нормально допустимих та гранично допустимих значень ПЯЕ в k -м інтервалі усереднення визначаємо по розрахованих коефіцієнтах відповідальності:

$$W_{\text{від}}^{h/d}(k) = W(k) \cdot K_{\text{від}}^{h/d}(k), \quad (10)$$

$$W_{\text{від}}^{r/d}(k) = W(k) \cdot K_{\text{від}}^{r/d}(k). \quad (11)$$

На завершення циклу по k виконується підсумовування ЕЕ, за яку несе відповідальність споживач за порушення нормально і гранично допустимих відхилень ПЯЕ протягом періоду моніторингу T ($W_T^{h/d}$, $W_T^{r/d}$) і розрахунок енергії W_T отриманої споживачем за цей час.

По закінченню періоду моніторингу T визначається енергія $W_T^{\text{від}}$, за порушення якості якої несе відповідальність споживач. ЯЕ в пункті контролю вважається відповідною встановленим вимогам [19], якщо кількість спотвореної ЕЕ по нормально допустимим значенням не перевищило 5 % від загальної кількості електроенергії. Ця вимога виражається логічною умовою:

$$F3 := \left| W_{*T}^{h/d} \right| > 0,05, \quad (12)$$

де $W_{*T}^{h/d} = W_T^{h/d} / W_T$.

Порушення по гранично допустимим значенням враховуються всі.

У разі виконання умови (12), $F3 = 1$, відповідальність визначається кількістю ЕЕ, отриманої за період T з порушенням нормально допустимих значень:

$$W_T^{\text{від}} = W_T^{h/d}. \quad (13)$$

Якщо умова (12) не виконується, $F3 = 0$, відповідальність визначається кількістю ЕЕ, отриманої за період T з порушенням гранично допустимих значень:

$$W_T^{\text{від}} = W_T^{r/d}. \quad (14)$$

В кінці періоду по T проводиться підсумовування за весь час експлуатації вимірювального приладу загальної кількості ЕЕ W , отриманої споживачем:

$$W = W + W_T \quad (15)$$

і загальної кількості ЕЕ $W_{\text{від}}$, за порушення якості якої відповідає споживач:

$$W_{\text{від}} = W_{\text{від}} + W_T^{\text{від}}. \quad (16)$$

По закінченню періоду моніторингу T розрахунок повертається на початок програми (А). Наступний період T починається з обнулення всіх значень електроенергії за попередній період моніторингу, крім W , $W_{\text{від}}$.

Висновки. Представлена в статті методика відрізняється від існуючої оцінкою часткової участі за несиметрію напруги, що дозволяє її використання в локальних пристроях обліку і контролю якості електроенергії, а також її спрямованістю на оцінку часткової участі споживача.

Але не була вирішена повністю задача по комплексній оцінці часткової участі споживача у відповідальності за порушення вимог щодо якості електроенергії. Розроблена методика не дозволяє проводити оцінку за всіма показниками якості електроенергії, які представляють тривалі зміни характеристик напруги, зокрема, за показниками коливання напруги.

Список літератури

- Железко Ю. С. Присоединение потребителей к электрическим сетям общего назначения и договорные условия в части качества электроэнергии. *Промышленная энергетика*. 2003. № 6. С. 42–50.
- Жежеленко И. В., Саенко Ю. Л. *Качество электрической энергии на промышленных предприятиях*. Москва: Энергоатомиздат, 2005. 261 с.
- Жежеленко И. В., Саенко Ю. Л. *Показатели качества электроэнергии и их контроль на промышленных предприятиях*. Москва: Энергоатомиздат, 2000. 250 с.
- Жежеленко И. В., Саенко Ю. Л. Проблемы качества электроэнергии. *Промэлектрo*. 2002. № 4. С. 13–26.
- Кузнецов В. Г., Куренный Э. Г., Лютий А. П. *Электромагнитная совместимость. Несимметрия и несинусоидальность напряжения*. Донецк: Норд-Пресс, 2005. 250 с.
- Гриб О. Г. *Контроль и регулирование несимметричных режимов в системах электроснабжения*. Харьков: ХГАГХ, 2003. 180 с.
- Трунова И. М., Черемисин Н. М. Совершенствование методики расчета размера компенсации потребителям некачественной электрической энергии. *Электрические сети и системы*. 2003. № 1. С. 48–51.
- Праховник А. В., Тесик Ю. Ф., Жаркін А. Ф., Новський В. О., Гриб О. Г., Калінчик В. П., Карасінський О. Л., Довгалюк О. М., Лазуренко О. П., Хадаківський А. М., Васильченко В. І., Светелік О. Д. *Автоматизовані системи обліку та якості електричної енергії* / ред. Гриб О. Г. Харків: Ранок-НТ, 2012. 516 с.
- Щербакoва П. Г. Моделирование коэффициентов участия субъектов в нарушении симметрии по обратной последовательности. *Світлотехніка та електроенергетика*. 2007. № 3–4. С. 53–57.
- Жежеленко И. В., Саенко Ю. Л., Бараненко Т. К. *Избранные вопросы несинусоидальных режимов в электрических сетях предприятий* / ред. Жежеленко И. В. Москва: Энергоатомиздат, 2007. 296 с.
- Щербакoва П. Г. *Развитие методов определения долевого вклада субъектов электрической системы в ухудшении качества электроэнергии: дис. ... канд. техн. наук: 05.14.02*. Харьков, 2009. 214 с.
- Куренный Э. Г., Дмитриева Е. Н., Цыганкова Н. В., Черникова Л. В. Методы нормирования колебаний напряжения в системах электроснабжения общего назначения. *Зб. наук. пр. ДонНТУ. Сер.: Електротехніка і енергетика*. Донецьк: ДонНТУ, 2001. № 28. С. 119–123.
- Железко Ю. С. О присоединении потребителей к электрическим сетям с учетом показателей качества электроэнергии. *Энергетик*. 2003. № 8. С. 8–12.
- Жежеленко И. В., Саенко Ю. Л. Практические методы расчета показателей колебаний напряжения. *Промэлектрo*. 2004. № 5. С. 19–22.
- Висящев А. Н. *Электромагнитная совместимость в электроэнергетических системах: учебн. пособ.* Иркутск: ИрГТУ, 2006. 509 с.
- Сендерович П. Г. Определение ответственности за нарушение качества в приборах учета электроэнергии. *Світлотехніка та електроенергетика*. 2006. № 7–8. С. 29–34.
- Дяченко О. В. *Развиток методів знаходження часткової участі у відповідальності за порушення якості електроенергії: дис. ... канд. техн. наук: 05.14.02*. Харків, 2017. 163 с.
- Правила користування електричною енергією*. Київ: Міністерство Юстиції України, 2002. 59 с.
- ГОСТ 13109–97. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения*. Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1999. 30 с.
- Гриб О. Г., Сендерович Г. А., Сендерович П. Г. Алгоритм реализации методики распределения ответственности за искажение синусоидальности. *Коммунальное хозяйство городов: сб. науч. тр.* Киев: Техника, 2005. Вып. 67. С. 237–246.
- Сендерович П. Г. Методика и алгоритм определения ответственности за превышение допустимого отклонения напряжения. *Вісник Харківського Національного технічного університету сільського господарства: Технічні науки*. Харків: ХНТУСГ, 2006. Вып. 43, т. 1: Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України. С. 59–65.

References (transliterated)

- Zhelezko Yu. S. Prisoedinenie potrebiteley k elektricheskim setyam obshchego naznacheniya i dogovornye usloviya v chasti kachestva elektroenerгии [Connection of consumers to general-purpose power grids and contractual terms regarding the quality of electricity]. *Promyshlennaya energetika*. 2003, no. 6, pp. 42–50.
- Zhezhelenko I. V., Saenko Yu. L. *Kachestvo elektricheskoy energii na promyshlennykh predpriyatiyakh* [The quality of electric energy in industrial enterprises]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 2005. 261 p.
- Zhezhelenko I. V., Saenko Yu. L. *Pokazateli kachestva elektroenerгии i ikh kontrol' na promyshlennykh predpriyatiyakh* [Electricity quality indicators and their control in industrial enterprises]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 2000. 250 p.
- Zhezhelenko I. V., Saenko Yu. L. Problemy kachestva elektroenerгии [Electricity quality problems]. *Promelektro*. 2002, no. 4, pp. 13–26.
- Kuznetsov V. G., Kurennyy E. G., Lyutyiy A. P. *Elektromagnitnaya sovместimost'. Nesimmetriya i nesinusoidal'nost' napryazheniya* [Electromagnetic compatibility. Voltage asymmetry and non-sinusoidality]. Donetsk, Nord-Press Publ., 2005. 250 p.
- Grib O. G. *Kontrol' i regulirovaniye nesimmetrichnykh rezhimov v sistemakh elektrosnabzheniya* [Control and regulation of asymmetric modes in power supply systems]. Kharkov, KhGAGKh Publ., 2003. 180 p.
- Trunova I. M., Cheremisin N. M. Sovershenstvovanie metodiki rascheta razmera kompensatsii potrebitelyam nekachestvennoy elektricheskoy energii [Improving the methodology for calculating the amount of compensation to consumers of low-quality electric energy]. *Elektricheskie seti i sistemy*. 2003, no. 1, pp. 48–51.
- Prakhovnyk A. V., Tesyk Yu. F., Zharkin A. F., Novskyy V. O., Hryb O. H., Kalinchyk V. P., Karasinskyy O. L., Dovhalyuk O. M., Lazurenko O. P., Khadakivskyy A. M., Vasyl'chenko V. I., Svetelik O. D. *Avtomatyzovani systemy obliku ta yakosti elektrichnoyi enerhiiyi* [Automated metering and quality systems for electricity]. Kharkiv, Ranok-NT Publ., 2012. 516 p.
- Shcherbakova P. G. Modelirovaniye koeffitsientov uchastiya sub"ektov v narushenii simmetrii po obratnoy posledovatel'nosti [Modeling the participation coefficients of subjects in symmetry breaking in the reverse order]. *Svitlotekhnika ta elektroenerhetyka*. 2007, no. 3–4, pp. 53–57.
- Zhezhelenko I. V., Saenko Yu. L., Baranenko T. K. *Izbrannyye voprosy nesinusoidal'nykh rezhimov v elektricheskikh setyakh predpriyatiy* [Selected issues of non-sinusoidal modes in electrical networks of enterprises]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 2007. 296 p.
- Shcherbakova P. G. *Razvitie metodov opredeleniya dolevogo vklada*

- sub"ektiv elektricheskoy sistemy v ukhudshenii kachestva elektroenergii: dis. ... kand. tekhn. nauk* [Development of methods for determining the share contribution of subjects of the electric system to the deterioration of the quality of electricity. Candidate eng. sci. diss. (Ph. D.)]. Kharkov, 2009. 214 p.
12. Kurennyy E. G., Dmitrieva E. N., Tsygankova N. V., Chernikova L. V. Metody normirovaniya kolebaniy napryazheniya v sistemakh elektrosnabzheniya obshchego naznacheniya [Methods for the regulation of voltage fluctuations in general-purpose power supply systems]. *Zb. nauk. pr. DonNTU. Seriya: Elektrotehnika i enerhetyka* [A collection of scientific papers of Donetsk National Technical University. Ser.: Electrical Engineering and Energy]. Donetsk, DonNTU Publ., 2001, no. 28, pp. 119–123.
 13. Zhelezko Yu. S. O prisoedinenii potrebitel'ey k elektricheskim setyam s uchetom pokazateley kachestva elektroenergii [On the connection of consumers to electric networks, taking into account indicators of the quality of electricity]. *Energetik*. 2003, no. 8, pp. 8–12.
 14. Zhezhelenko I. V., Saenko Yu. L. Prakticheskie metody rascheta pokazateley kolebaniy napryazheniya [Practical methods for calculating voltage fluctuation indicators]. *Promelektro*. 2004, no. 5, pp. 19–22.
 15. Visyashchev A. N. *Elektromagnitnaya sovmestimost' v elektroenergeticheskikh sistemakh* [Electromagnetic compatibility in electric power systems]. Irkutsk, IrGTU Publ., 2006. 509 p.
 16. Senderovich P. G. Opredelenie otvetstvennosti za narushenie kachestva v priborakh ucheta elektroenergii [Determination of liability for quality violations in electricity meters]. *Svitlotekhnika ta elektroenerhetyka*. 2006, no. 7–8, pp. 29–34.
 17. Dyachenko O. V. *Rozvytok metodiv znakhodzhennya chastkovoyi uchasti u vidpovidal'nosti za porushennya yakosti elektroenerhetyki: dys. ... kand. tekhn. nauk* [Development of methods for finding equity participation in the responsibility for violations of the quality of electricity. Candidate eng. sci. diss. (Ph. D.)]. Kharkiv, 2017. 163 p.
 18. *Pravyla korystuvannya elektrychnoyu enerhiyeu* [Rules for electric power supply]. Kyiv, Ministry of Justice of Ukraine Publ., 2002. 59 p.
 19. *GOST 13109–97. Normy kachestva elektricheskoy energii v sistemakh elektrosnabzheniya obshchego naznacheniya* [State Standard 13109–97. Quality standards for electric energy in general power supply systems]. Minsk, Interstate Council for Standardization, Metrology and Certification Publ., 1999. 30 p.
 20. Grib O. G., Senderovich G. A., Senderovich P. G. Algoritm realizatsii metodiki raspredeleniya otvetstvennosti za iskazhenie sinusoidal'nosti [Algorithm for the implementation of the methodology for the distribution of responsibility for distortion of sinusoidality]. *Kommunal'noe khozyaystvo gorodov: sb. nauch. tr.* [Public utilities of cities: a collection of scientific papers]. Kiev, Technika Publ., 2005, issue 67, pp. 237–246.
 21. Senderovich P. G. Metodika i algoritm opredeleniya otvetstvennosti za prevyshenie dopustimogo otkloneniya napryazheniya [Methodology and algorithm for determining liability for exceeding voltage tolerance]. *Visnyk Kharkivskoho Natsional'noho tekhnichnogo universytetu sil'skoho hospodarstva: Tekhnichni nauky* [Bulletin of the Kharkiv National Technical University of the State Savor: Engineering sciences]. Kharkiv, KhNTUSH Publ., 2006, issue 43, vol. 1: Problemy enerhozabezpechennya ta enerhozberezhennya v APK Ukrainy [Problems of energy saving and energy saving in the agro-industrial complex of Ukraine], pp. 59–65.

Надійшла (received) 03.09.2019

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Сендерович Генадій Аркадієвич (Сендерович Геннадий Аркадьевич, Senderovich Gennady) – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри «Автоматизація та кібербезпека енергосистем»; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4642-7325>; e-mail: sengennadii@gmail.com

Дяченко Олександр Васильович (Дяченко Александр Васильевич, Diachenko Oleksandr) – кандидат технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», старший викладач кафедри «Автоматизація та кібербезпека енергосистем»; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7232-6585>; e-mail: diachenko.a.v@ukr.net

Захаренко Наталія Сергіївна (Захаренко Наталья Сергеевна, Zakharenko Natalia) – кандидат економічних наук, доцент, Державний вищий навчальний заклад «Приазовський державний технічний університет», доцент кафедри «Економіка підприємств»; м. Маріуполь, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7963-1080>; e-mail: zakharenko.natali@gmail.com

Карпалюк Ігор Тимофійович (Карпалюк Игорь Тимофеевич, Karpaliuk Ihor) – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри «Автоматизація та кібербезпека енергосистем»; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5634-6807>; e-mail: humpway@gmail.com

Рудевич Наталія Валентинівна (Рудевич Наталья Валентиновна, Rudevich Nataliia) – доктор педагогічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри «Автоматизація та кібербезпека енергосистем»; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2858-9836>; e-mail: n.rudevich@ukr.net