

О. Г. ГРИБ, Г. А. СЕНДЕРОВИЧ, О. В. ДЯЧЕНКО, І. Т. КАРПАЛЮК, С. В. ШВЕЦЬ

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСТКОВОЇ УЧАСТІ СУБ'ЄКТІВ У ВІДПОВІДАЛЬНОСТІ ЗА ПОРУШЕННЯ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ПО СИНУСОЇДАЛЬНОСТІ КРИВОЇ НАПРУГИ

Впровадження в експлуатацію електронних лічильників електричної енергії дозволяє використовувати можливості сучасної елементної бази, в тому числі для їх використання в локальних засобах обліку. Сучасна елементна база дозволяє використовувати локальні засоби обліку, які крім основної функції визначення кількості, переданої електроенергії на границі розділу балансової приналежності можуть виконувати ряд функцій, не властивих лічильникам електричної енергії. Одне з основних доповнень, які вводять в ці пристрої - оцінка електромагнітної сумісності шляхом вимірювання показників якості електроенергії. У зв'язку з цим актуальною стала задача розробки методів, використання яких можливе в пристроях, що працюють локально. В статті проводиться аналіз методів і методик детермінованого визначення часткової участі суб'єктів у відповідальності за порушення якості електричної енергії по синусоїдальності кривої напруги на можливість використання їх в локальних засобах обліку.

Ключові слова: якість електроенергії, показники якості електроенергії, синусоїдальність напруги, локальний засіб обліку, гармоніка, параметричний підхід, детерміновані розрахунки, відповідальність.

О. Г. ГРИБ, Г. А. СЕНДЕРОВИЧ, А. В. ДЯЧЕНКО, И. Т. КАРПАЛЮК, С. В. ШВЕЦ

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДОЛЕВОГО УЧАСТИЯ СУБЪЕКТОВ В ОТВЕТСТВЕННОСТИ ЗА НАРУШЕНИЕ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПО СИНУСОИДАЛЬНОСТИ КРИВОЙ НАПРЯЖЕНИЯ

Внедрение в эксплуатацию электронных счётчиков электрической энергии позволяет использовать возможности современной элементной базы, в том числе для их использования в локальных средствах учёта. Современная элементная база позволяет использовать локальные средства учёта, кроме основной функции определения количества, передаваемой электроэнергии на границе раздела балансовой принадлежности они могут выполнять ряд функций, не свойственных счётчикам электрической энергии. Одно из основных дополнений, которые вводят в эти устройства - оценка электромагнитной совместимости путём измерения показателей качества электроэнергии. В связи с этим актуальной стала задача разработки методов, использование которых возможно в устройствах, работающих локально. В статье проводится анализ методов и методик детерминированного определения долевого участия субъектов в ответственности за нарушение качества электрической энергии по синусоидальности кривой напряжения на возможность использования их в локальных средствах учёта.

Ключевые слова: качество электроэнергии, показатели качества электроэнергии, синусоидальность напряжения, локальное средство учёта, гармоника, параметрический подход, детерминированы расчёты, ответственность.

О. Н. HRYB, G. A. SENDEROVICH, O. V. DIACHENKO, I. T. KARPALIUK, S. V. SHVETS

ANALYSIS OF METHODS OF DETERMINATION OF PARTIAL PARTICIPATION OF SUBJECTS IN RESPONSIBILITY FOR VIOLATION OF ELECTRICITY QUALITY ON SINUSOID CURRENT VOLTAGE

In power engineering, one of the most important aspects of power saving and environmental friendliness is improving the quality of electricity and ensuring electromagnetic compatibility. Electricity quality is directly related to the cost-effectiveness of electricity production, distribution, and consumption, since the output of electricity quality indicators beyond the acceptable values leads to increased power losses in the elements of the electrical network, shortens the life of electrical equipment and impairs the operating conditions of electric receivers. Electricity quality affects the production process and product quality, as the violation of the requirements for electricity quality indicators leads directly to the disruption of technological processes. Electricity quality is also associated with some social problems. For example, unacceptable voltage deviations in lighting networks cause a decrease in illumination, which affects the organs of vision. Existing methodologies that determine responsibility for the violation of the quality of electricity based on the calculation of the partial participation of subjects in violation of the requirements for the quality of electricity, focused on the use of digital software and hardware complex, made on the basis of electronic computers and installed at the point of common connection. The introduction of electronic energy meters allows the use of modern element base, including for use in local metering facilities. The modern elemental base allows the use of local metering tools which, in addition to the basic function of determining the amount of transmitted electricity at the boundary of the balance section, can perform a number of functions that are not characteristic of electricity meters. One of the main additions to these devices is the evaluation of electromagnetic compatibility by measuring the quality of electricity. In this regard, the urgent task was to develop methods that can be used in devices that work locally. The article analyzes the methods and techniques of deterministic determination of the partial participation of subjects in the responsibility for the violation of the quality of electrical energy on the sine wave of the voltage curve for the possibility of using them in local accounting tools.

Keywords: electricity quality, electricity quality indicators, sinusoidal voltage, local metric, harmonic, parametric approach, deterministic calculations, responsibility.

Вступ. В умовах ринкової економіки мережеве підприємство і споживач виступають як рівні комерційні партнери, суб'єкти єдиного процесу розподілу і споживання електричної енергії (ЕЕ). Для забезпечення зацікавленості в підвищенні якості електроенергії (ЯЕ) необхідно забезпечити такі умови, при яких збитки, які несуть суб'єкти процесу розподілу ЕЕ, оплачували дійсні винуватці.

У міжнародній практиці визначення відповідальності за порушення ЯЕ домінують два принципи визначення допустимості приєднання споживача до мережі в разі порушення вимог до показників якості електроенергії (ПЯЕ), які можна висловити логічними формулами: «платить останній» і «кожен платить свою частку» [1].

Відповідно до першого принципу приєднання споживачів здійснюється практично без обмежень до тих пір, поки ПЯЕ не вийдуть за межі допустимих значень. Споживачі, приєднані згодом, несуть додаткові витрати, зумовлені необхідністю компенсації внесених спотворень, що призводять до порушення стандарту. Цей принцип характерний для електричних мереж, в яких вимоги до ПЯЕ враховувалися протягом всього часу їх розвитку та експлуатації.

Для України, країни з розвиненими електричними мережами, в яких заходів щодо дотримання ЯЕ традиційно не достатньо, доцільно використовувати другий принцип, який передбачає індивідуальну відповідальність суб'єктів і теж широко використовувався у світовій практиці експлуатації електричних мереж. Згідно з цим принципом кожен суб'єкт процесу розподілу ЕЕ має право на внесення своєї частки спотворень, але при цьому зобов'язаний компенсувати збитки від зниження ЯЕ, відповідно цієї частки. Об'єктивну оцінку часткової участі в компенсації збитку доцільно покласти на детерміновані розрахунки, позбавлені фактору впливу на їх результат з боку постачальника або споживачів електричної енергії.

Виділяють два основних підходи визначення участі постачальників та споживачів електричної енергії в відповідальності за порушення ЯЕ: договірний і параметричний.

Договірний підхід [2] передбачає в разі порушення ЯЕ введення по відношенню до суб'єктів розподілу ЕЕ штрафних санкцій, обумовлених відповідним договором або законодавчим актом. Договірний підхід знайшов основне застосування в практиці експлуатації електричних мереж у всіх країнах. Українськими [3] і закордонними [4] вченими розроблені різні методики для розрахунку відповідальності суб'єктів за порушення ЯЕ, що стимулюють підвищення їх зацікавленості в дотриманні вимог до ПЯЕ. Методики договірних підходів базуються на статистичних дослідженнях і носять імовірнісний характер.

Дані методики, спираючись на пакет правових документів, дають важелі впливу на суб'єкти процесу розподілу ЕЕ з метою підвищення її якості. При всій їх обґрунтованості, десть дійсний, десть удаваний, нор-

мативний підхід не визначає дійсної участі суб'єктів в порушенні ПЯЕ, носить імовірнісний характер і дозволяє мати місце суб'єктивним тенденціям превалювання інтересів природних монополістів енергетиків, з одного боку, або споживачів, які захищені законодавством, з іншого.

Для реалізації параметричного підходу потрібна науково обґрунтована методика, що дозволяє розрахувати дійсну участь суб'єктів в порушенні ЯЕ за параметрами конкретного режиму і схеми експлуатованої електричної мережі. Цей підхід лежить в основі відомих методів детермінованого визначення часткової участі суб'єктів у відповідальності за порушення ЯЕ [5].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. З аналізу параметричного підходу [5] випливає, що першими спробами детермінованого рішення можна вважати роботи [6, 7], в яких визначення часткової участі здійснюється за параметрами режиму електричної мережі. Як критерій часткової участі в відповідальності за порушення вимог ЯЕ по синусоїдальності кривої напруги і симетрії напруги використано напрямок і значення вторинних потужностей в точці загального приєднання (ТЗП). Параметричний підхід з використанням параметрів режиму електричної мережі ліг в основу методу [8]. Метод визначає фактичний внесок (ФВ) суб'єктів, що мають спотворювальні приймачі, які зумовлюють невідповідність ПЯЕ вимогам ГОСТ, і виходить з наступних положень:

- ФВ визначається для тих суб'єктів, які на даному інтервалі усереднення мають джерела струму спотворень;

- схема електропостачання будь-якого k -ого суб'єкта, приєданого до ТЗП, на інтервалі усереднення, що дорівнює 3 с, може бути представлена у вигляді дво полюсника, що складається з джерела струму спотворень і паралельно сполученого внутрішнього опору (рис. 1). Такою схемою можуть бути представлені схеми споживачів, так і схеми електропостачальних організацій;

- якщо джерело зневажливо мале, то схема електропостачання такого суб'єкта представляється тільки пасивним елементом – опором;

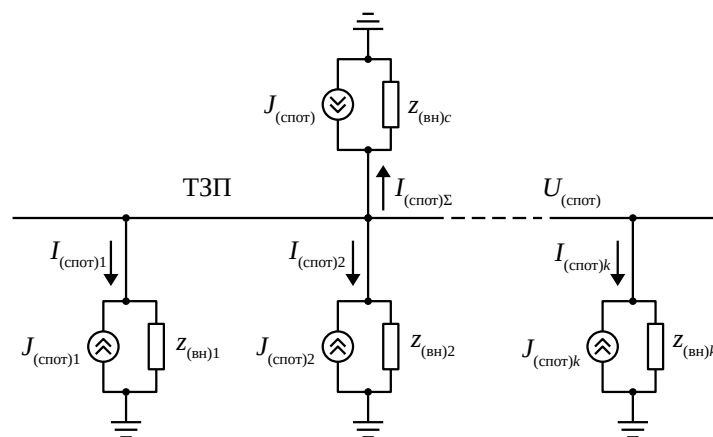


Рисунок 1 – Схема заміщення суб'єктів підключених до ТЗП

– якщо на інтервалі усереднення 3τ спотворення струму виявляється меншою в порівнянні з іншими джерелами струму, внаслідок чого струми спотворень, вимірювані на головній ділянці k -ї лінії, спрямовані до суб'єкта, то схема електропостачання такого суб'єкта також може бути представлена пасивним елементом – опором;

– якщо на інтервалі усереднення 3τ струми спотворень, вимірювані на головній ділянці k -ї лінії, мають направлення від суб'єкта до ТЗП, схема електропостачання k -го суб'єкта представляється джерелом струму спотворень.

Метод передбачає одночасне вимірювання параметрів режиму на всіх приєднаннях до ТЗП. При неможливості реалізації одночасних вимірювань слід провести попереднє виявлення споживачів, що містять спотворювальне навантаження. Виявляються фідери, які є джерелами спотворювальних струмів ($I_{(n)k}$, I_{2k}) і проводиться векторне підсумовування струмів що генеруються. Визначається модуль діючого значення струму еквівалентного джерела ($I_{\Sigma(n)}$, $I_{\Sigma 2}$) на даному інтервалі часу. Решта суб'єктів усереднення представляються еквівалентним пасивним елементом з опором ($Z_{\text{вх}(n)}$, $Z_{\text{вх}2}$), модуль якого визначають за формулами:

$$Z_{\text{вх}(n)} = \frac{U_{(n)}^{\text{ТЗП}}}{I_{\Sigma(n)}} \quad (1)$$

$$Z_{\text{вх}2} = \frac{U_2^{\text{ТЗП}}}{I_{\Sigma 2}} \quad (2)$$

де $U_{(n)}^{\text{ТЗП}}$, $U_2^{\text{ТЗП}}$ – спотворювальна напруга в ТЗП.

Модуль вектора n -ї гармонійної складової напруги, створюваного k -м джерелом струму гармонійних спотворень на розглянутому інтервалі усереднення визначається за формулою:

$$U_{(n)k}^{\text{ФВ}} = I_{(n)k} \cdot Z_{\text{вх}(n)} \quad (3)$$

Аналогічно модуль вектора напруги зворотної послідовності, створюваного k -м джерелом струму зворотної послідовності:

$$U_{2k}^{\text{ФВ}} = I_{2k} \cdot Z_{\text{вх}2} \quad (4)$$

Методи, які використовують визначення часткової участі за параметрами режиму електричної мережі [6, 7] і за параметрами схеми заміщення мережі [9], призначені для використання при обох видах порушень і мають загальні недоліки:

по-перше, недостовірність визначення місця положення джерел спотворень по вторинній потужності в силу наявності взаємних перетоків;

по-друге, використання розрахункових значень параметрів схем заміщення симетричних і гармонійних складових;

по-третє, відсутність обліку зміни рівня спотворень і часткової участі суб'єктів протягом часу експлуатації.

Усунення першого недоліку для визначення часткової участі при порушенні симетрії напруги забез-

печив метод, що використовує розрахункову модель, виконану в фазних координатах [10]. При цьому другий недолік, характерний для роботи з параметрами схем заміщення, усувається за рахунок визначення параметрів схеми по параметрам поточного режиму шляхом використання цифрового програмно-апаратного комплексу, виконаного на базі ЕОМ. Третій недолік усунутий за рахунок методики [11], в якій оцінка часткової участі проводиться за кількістю ЕЕ, розподіленої між суб'єктами з порушенням вимог до ЯЕ.

Мета статті. Аналіз методів і методик детермінованого визначення часткової участі суб'єктів у відповідальності за порушення ЯЕ по показникам синусоїдальності кривої напруги, на можливість використання їх в локальних засобах обліку.

Виклад основного матеріалу. Для порушення синусоїдальності кривої напруги виявлена ознака наявності джерел струмів вищих гармонік по одну сторону границі розділу балансової приналежності, яка заснована на тому, що розкладання в ряд Фур'є несинусоїдальної кривої призводить до появи кривих вищих гармонік. Якщо джерело струмів вищих гармонік одне, то всі їх потужності мають однаковий напрямок [12]. Саме ця особливість є ознакою наявності одного джерела струмів вищих гармонік:

$$\text{sign } P(n) = \text{const}. \quad (5)$$

Дослідження несинусоїдальності на фізичній моделі електричної мережі [13] експериментально підтвердили критерій розташування джерела струмів вищих гармонік (5). Досліди моніторингу ЯЕ [14] показали, що наявність одного джерела генерації струмів вищих гармонік зустрічається досить часто, якщо навіть не в більшості випадків порушення синусоїдальності напруги. Методика визначення відповідальності за спотворення синусоїдальності кривої напруги [15, 16] передбачає, що в разі порушення вимог до ЯЕ по синусоїдальності за час інтервалу усереднення проводиться вимірювання потужності $P_{(n)}$ по кожній n -й гармоніці і перевіряється виконання умови (5).

Для локального виявлення часткової участі споживача в відповідальності за порушення синусоїдальності кривої напруги контрольно-вимірювальний комплекс встановлюється на його фідері. Прилад здійснює контроль ЯЕ і зберігає в пам'яті інформацію про параметри режиму по кожному інтервалу усереднення, в якому було виявлено будь-яке порушення вимог ГОСТ [17] протягом проведення моніторингу. Першим завданням, яке повинна вирішити програма розрахунку відповідальності, є відбір тих інтервалів усереднення, в яких, хоча б для однієї гармоніки, коефіцієнт n -ї гармонійної складової перевищив нормально допустиме значення:

$$K_{U(n)} > K_{U(n)}^{\text{н/д}}. \quad (6)$$

Для кожної гармоніки визначається напрямок активної потужності. Споживання потужності n -ї гармоніки буде в тому випадку, якщо вона збігається за напрямком з потужністю основної гармонійної складової, що можна визначити з умови:

$$P_{(n)} \cdot P_{(1)} \geq 0 \quad (7)$$

Якщо у всіх виявлених гармоніках спостерігається споживання активної потужності, то робиться висновок про те, що джерело порушення синусоїдальності знаходиться в системі, коефіцієнт відповідальності споживача $K_{\text{від}} = -1$ – виконання умов (5) і (7). При генерації активної потужності всіх гармонійних складових відповідальність покладається на споживача ($K_{\text{від}} = 1$) виконання (5) і не виконання (7). Виконання умови (7) означає, що відповідальність визначається на рівні одного інтервалу усереднення, що дає детерміноване рішення.

У разі невиконання умови (5) задача розподілу відповідальності не має математично коректного рішення в рамках одного інтервалу усереднення. При підсумовуванні результатів за час моніторингу отримують наближене рішення статистичного характеру. Для інтервалу усереднення коефіцієнт відповідальності розраховується за формулою:

$$K_{\text{від}} = \sum_{n=2}^{n=40} \frac{K_{\text{від}(n)}}{k_n}, \quad (8)$$

де $K_{\text{від}(n)}$ – коефіцієнт відповідальності n -ї гармоніки, визначений за направленням її активної потужності;

k_n – кількість гармонік, за якими виконано умову (6).

Гармоніки, за якими коефіцієнт n -ї гармонійної складової не перевищив нормально допустиме значення, тобто умова (6) не виконується, враховуються у формулі (8) з $K_{\text{від}(n)} = 0$.

Перевірка порушень гранично допустимих значень проводиться для тих гармонік, в яких виявлено порушення нормально допустимих значень. Порушення гранично допустимих значень визначаються умовою:

$$K_U(n) > K_U^{r/d}(n). \quad (9)$$

Перевищення коефіцієнтом спотворення синусоїдальності кривої напруги K_U нормально і гранично допустимих значень фіксується для кожного інтервалу усереднення, виходячи з умов:

$$K_U > K_U^{w/d}, \quad (10)$$

$$K_U > K_U^{r/d}. \quad (11)$$

Участь у відповідальності, що визначена порушенням по коефіцієнту n -ї гармонійної складової $K_{U(n)}$, поширюється і на участь в відповідальності за порушення по коефіцієнту спотворення синусоїдальності кривої напруги K_U .

В кожному k -м інтервалі усереднення визначається кількість ЕЕ, за яку споживач повинен отримати компенсацію, або понести штрафні санкції. Електроенергія яка споживається навантаженням враховується по фазно з коефіцієнтом відповідальності $K_{\text{від}}$ і підсумовується по трьох фазах ($f = 3$), якщо підключення трифазне.

Енергія, отримана споживачем з порушеннями по синусоїдальності, що вимагає визначення відповід-

альності, підсумовується за час моніторингу за всіма інтервалами усереднення:

$$W_{\text{від}} = \sum_{k=1}^{k=\frac{T}{\Delta t}} \left[\sum_{i=1}^{i=f} W(k, i) \cdot k_{\text{від}}(k, i) \right] \quad (12)$$

де T – тривалість моніторингу;

Δt – тривалість інтервалу усереднення.

Залежно від знаків коефіцієнтів відповідальності і від величини навантаження споживача в інтервалах усереднення розрахунок по формулі (12), виконаний за час моніторингу, може дати позитивний або негативний результат. Якщо енергія, що вимагає визначення відповідальності за порушення синусоїдальності, позитивна ($W_{\text{від}} > 0$), то споживач повинен бути підданий штрафним санкціям, пропорційним $W_{\text{від}}$. У випадку, коли $W_{\text{від}} < 0$, споживач має право на отримання компенсації, пропорційній $W_{\text{від}}$.

Методика дозволяє визначити кількість ЕЕ, отриманої споживачем за час моніторингу з порушеннями за коефіцієнтом n -ї гармонійної складової $K_{U(n)}$, а також по коефіцієнту спотворення синусоїдальності кривої напруги K_U . Окремо вказується кількість ЕЕ, отриманої при порушенні нормально і гранично допустимих значень. Представляється також можливість оцінювати відносну величину енергії, що вимагає визначення відповідальності:

$$W_{\text{від}*} = \frac{W_{\text{від}}}{W}, \quad (13)$$

де W – загальна кількість електроенергії, яку споживач отримав за час моніторингу.

Методика була використана при розробці комплексної методики визначення часткової участі споживача у відповідальності за порушення показників ЯЕ [18].

Висновки. При аналізі існуючих розробок визначення часткової участі суб'єктів у відповідальності за порушення синусоїдальності кривої напруги були виявлені метод і методика та алгоритм їх реалізації, які розроблені таким чином, що можуть бути використані як в централізованих, так і в локальних контрольно-вимірювальних приладах.

Список литературы

1. Железко Ю.С. Влияние потребителя на качество электрической энергии в сети и технические условия на его присоединение. *Промышленная энергетика*. Москва: ЗАО НТФ «Энергопрогресс». 1991, № 8. С. 39 – 41.
2. Гриб О.Г., Сендерович Г.А., Щербакова П.Г. Анализ договорного подхода к определению ответственности субъектов за нарушение качества электрической энергии. *Світлотехніка та електроенергетика*. Харків: ХНУМГ ім. О.М. Бекетова. 2007, №1(9). С. 77 – 81.
3. Трунова И.М., Черемисин Н.М. Совершенствование методики расчета размера компенсации потребителям некачественной электрической энергии. *Электрические сети и системы*. Київ: Редакція журналу Електричні мережі та системи. 2003, №1. С.48 – 51.
4. Железко Ю.С. Присоединение потребителей к электрическим сетям общего назначения и договорные условия в части качества электроэнергии. *Промышленная энергетика*. Москва: ЗАО НТФ «Энергопрогресс». 2003. № 6. С. 42 – 50.

5. Гриб О.Г., Сендерович Г.А., Сендерович П.Г. Анализ параметрического подхода к определению ответственности субъектов за нарушение качества электрической энергии. *Світлотехніка та електроенергетика*. Харків: ХНУМГ ім. О.М. Бекетова. 2007, №2(10). С. 64 – 73.
6. Зыкин Ф.А., Коханович В.С. *Измерение и учет электрической энергии*. Москва: Энергоиздат, 1990. 104 с.
7. Зыкин Ф.А. Определение степени участия нагрузок в снижении качества электрической энергии. *Электричество*. Москва: Энергоатомиздат. 1992, №11. С. 13 – 19.
8. Методические указания по контролю и анализу качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Часть 2. Анализ качества электрической энергии: РД 153-34.0-15.501-01. [введен в действие от 01.08.2002]. Москва: Энергосервис, 2001. 23 с.
9. Майер В.Я., Зения. Методика определения вкладов потребителей в ухудшение качества электроэнергии. *Электричество*. Москва: Энергоатомиздат. 1994. № 9. С. 19 – 24.
10. Сендерович Г.А. Оценка влияния потребителя на искажение симметрии в точке общего присоединения. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Харків: НТУ «ХПІ», 2005, №45. С. 416 – 417.
11. Сендерович Г.А. Определение ответственности субъектов распределения электрической энергии за нарушение симметрии на сборных шинах. *Комунальне господарство міст. Сер.: Економічні науки*. Харків: ХНУМГ ім. О.М. Бекетова. 2005, Вип. 63. С. 255 – 259.
12. Гриб О.Г., Сендерович Г.А., Щербак П.Г. Особенности использования параметров режима сети для определения участия субъектов в искажении синусоидальности кривой напряжений. *Енергетика та електрифікація*. Київ: ТОВ «Технічний центр «Енергія». 2014, №10. С. 37 – 40.
13. Гриб О.Г., Довгалюк О.Н., Сендерович Г.А., Васильченко В.И., Манов И.А., Щербак П.Г. Исследования несинусоидальности на физической модели электрической сети. *Электрические сети и системы*. Київ: Редакція журналу Електричні мережі та системи. 2011, №1. С. 46 – 50.
14. Гриб О.Г., Сендерович Г.А., Довгалюк О.М., Калюжний Д.М. Оценка качества электроэнергии в сельских электрических сетях. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка Сер.: Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України*. Харків: ХНТУСГ, 2005, Т. 2, Вип. 37. С. 42 – 46.
15. Сендерович Г.А. Методика распределения ответственности за искажение синусоидальности в точке общего присоединения. *Східно-Європейський журнал передових технологій*. Харків: ПП «Технологічний Центр». 2005, Том 6, № 2(18). С. 139 – 143.
16. Гриб О.Г., Сендерович Г.А., Сендерович П.Г. Алгоритм реализации методики распределения ответственности за искажение синусоидальности. *Комунальне господарство міст. Сер.: Економічні науки*. Харків: ХНУМГ ім. О.М. Бекетова. 2006, Вип. 67. С. 237 – 246.
17. *Электрическая энергия. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения*: ГОСТ 13109-97. [введен в действие от 01.01.2000]. Киев: Изд-во стандартов, 1998; Госстандарт Украины, с доп. и попр., 1999. 31 с.
18. Сендерович Г.А., Дяченко О.В., Захаренко Н.С., Карпалюк І.Т. Комплексна методика визначення часткової участі споживача в відповідальності за порушення показників якості електроенергії. *Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» Сер.: Гідрравлічні машини та гідроагрегати*. Харків: НТУ «ХПІ», 2019, №2. С. 90 – 96.
- [Lighting Engineering and Power Engineering]. Kharkiv: KhNUMH im. O.M. Beketova. 2007, №1(9). pp. 77 – 81.
3. Trunova I.M., Chermisin N.M. *Sovershenstvovanie metodiki rascheta razmera kompensacii potrebitelam nekachestvennoj elektricheskoy energii* [Improving the methodology for calculating the amount of compensation to consumers of low-quality electric energy]. *Elektricheskie seti i sistemy* [Electricity grid and system]. Kyiv: Redaktsiia zhurnala Elektrichni merezhi ta systemy. 2003, №1. pp. 48 – 51.
4. ZHelezko YU.S. *Prisoedinenie potrebitel' k elektricheskim setyam obshchego naznacheniya i dogovornye usloviya v chasti kachestva elektroenergii* [Consumer connection to general-purpose electric grids and contractual terms regarding electric power quality]. *Promyshlennaya energetika* [Industrial power]. Moskva: ZAO NTF «Energoprogress». 2003, № 6. pp. 42 – 50.
5. Hryb O.H., Senderovich G.A., Senderovich P.G. *Analiz parametricheskogo podhoda k opredeleniyu otvetstvennosti sub'ektov za narusheniye kachestva elektricheskoy energii* [Analysis of the parametric approach to determining the responsibility of subjects for violation of the quality of electric energy]. *Svitlotekhnika ta elektroenerhetyka* [Lighting Engineering and Power Engineering]. Kharkiv: KhNUMH im. O.M. Beketova. 2007, №2(10). pp. 64 – 73.
6. Zykin F.A., Kohanovich V.S. *Izmerenie i uchet elektricheskoy energii* [Measurement and accounting of electric energy]. Moskva: Energoizdat, 1990. 104 p.
7. Zykin F.A. *Opredeleniye stepeni uchastiya nagruzok v snizhenii kachestva elektricheskoy energii* [Determination of the degree of participation of loads in reducing the quality of electric energy]. *Elektrichestvo* [Electrical Technology Russia]. Moskva: Energotomizdat. 1992, №11. pp. 13 – 19.
8. *Metodicheskie ukazaniya po kontrolyu i analizu kachestva elektricheskoy energii v sistemah elektroobrazovaniya obshchego naznacheniya*. CHast' 2. Analiz kachestva elektricheskoy energii: RD 153-34.0-15.501-01. [vveden v dejstvie ot 01.08.2002] [Procedural Guidelines for Monitoring and Analysis of Electric Power Quality in Public Electrical Networks. Part 2. Analysis of Electric Power Quality: RD 153-34.0-15.501-01 from 01.08.2002]. Moskva: Energoservis, 2001. 23 p.
9. Majer V.YA., Zeniya. *Metodika opredeleniya vkladov potrebitel' v uuhudsheniye kachestva elektroenergii* [Methodology for determining consumer contributions to the deterioration of electricity quality]. *Elektrichestvo* [Electrical Technology Russia]. Moskva: Energotomizdat. 1994. № 9. pp. 19 – 24.
10. Senderovich G.A. *Ocenka vliyaniya potrebitelya na iskazheniye simmetrii v toчке obshchego prisoedineniya* [Assessment of consumer influence on the distortion of symmetry at the point of common connection]. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «KhPI»*. [Bulletin of the National Technical University «KhPI»]. Kharkiv: NTU «KhPI», 2005, №45. pp. 416 – 417.
11. Senderovich H.A. *Opredeleniye otvetstvennosti sub'ektov raspredeleniya elektricheskoy energii na narusheniye simmetrii na sbornykh shynakh* [Determining the liability of subjects of the distribution of electrical energy for breaking symmetry on busbars]. *Komunalne hospodarstvo mist. Ser.: Ekonomichni nauky* [Communal economy of cities. Series: Economic sciences]. Kharkiv: KhNUMH im. O.M. Beketova. 2005, Vyp. 63. pp. 255 – 259.
12. Grib O.G., Senderovich G.A., SHCHerbakova P.G. *Osobennosti ispol'zovaniya parametrov rezhima seti dlya opredeleniya uchastiya sub'ektov v iskazhenii sinusoidal'nosti krivoj napryazhenij* [Features of the use of network mode parameters to determine the participation of subjects in the distortion of the sinusoidality of the voltage curve]. *Enerhetyka ta elektryfikatsiia* [Energy and Electrical]. Kyiv: TOV «Tekhnichniy tsentr «Enerhiia». 2014, №10. pp. 37 – 40.
13. Grib O.G., Dovgalyuk O.N., Senderovich G.A., Vasil'chenko V.I., Manov I.A., SHCHerbakova P.G. *Issledovaniya nesinusoidal'nosti na fizicheskoy modeli elektricheskoy seti* [Studies of non-sinusoidality on a physical model of an electric network]. *Elektricheskie seti i sistemy* [Electricity grid and system]. Kyiv: Redaktsiia zhurnala Elektrichni merezhi ta systemy. 2011, №1. pp. 46 – 50.
14. Hryb O.H., Senderovich H.A., Dovgaliuk O.M., Kaliuzhnyi D.M. *Otsinka yakosti elektroenerhii v sil'skykh elektrichnykh merezhakh* [Estimation of the quality of electricity in rural electric networks]. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu sil'skoho hospodarstva imeni Petra Vasylenka Ser.: Problemy enerhozabezpechennia ta enerhozberezhennia v APK Ukrainy* [Journal of Kharkov National Technical University of Agriculture Petro Vasi-

References (transliterated)

1. ZHelezko YU.S. *Vliyaniye potrebitelya na kachestvo elektricheskoy energii v seti i tekhnicheskie usloviya na ego prisoedineniye* [Influence of the consumer on the quality of electric energy in the network and technical conditions for its connection]. *Promyshlennaya energetika* [Industrial power]. Moskva: ZAO NTF «Energoprogress». 1991, № 8. pp. 39 – 41.
2. Hryb O.H., Senderovich H.A., Shcherbakova P.H. *Analiz dogovornogo podkhoda k opredeleniyu otvetstvennosti sub'ektov za narusheniye kachestva elektricheskoy energii* [Analysis of the contractual approach to determining the liability of entities for violation of the quality of electric energy]. *Svitlotekhnika ta elektroenerhetyka*

- lenko. Series: Problems of energy supply and energy saving in the agro-industrial complex of Ukraine]. Kharkiv: KhNTUSH, 2005. T. 2, Vyp. 37. pp. 42 – 46.
15. Senderovich G.A. *Metodika raspredeleniya otvetstvennosti za iskazhenie sinusoidal'nosti v tochke obshchego prisoedineniya* [Methodology for the distribution of responsibility for distortion of sinusoidality at the point of common connection]. *Skhidno-Yevropeyskiy zhurnal peredovykh tekhnologiy* [Eastern-European Journal of Enterprise Technologies]. Kharkiv: PP «Tekhnologichnyi Tsentr». 2005. Tom 6, № 2(18). pp. 139 – 143.
 16. 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]. *Kommunalne hospodarstvo mist. Ser.: Ekonomichni nauky* [Communal economy of cities. Series: Economic sciences]. Kharkiv: KhNUMH im. O.M. Beketova. 2006. Vyp. 67. pp. 237 – 246.
 17. *Elektricheskaya energiya. Normy kachestva elektricheskoy energii v sistemah elektrosnabzheniya obshchego naznacheniya: GOST 13109-97*. [vveden v dejstvie ot 01.01.2000] [Electric Energy. Power quality limits in public electrical systems: GOST 13109-97 from 01.01.2000]. Kiev: Izd-vo standartov, 1998; Gosstandart Ukrainy, s dop. i popr., 1999. 31 p.
 18. Senderovych H.A., Diachenko O.V., Zakharenko N.S., Karpaliuk I.T. *Kompleksna metodyka vyznachennia chastkovoi uchasti spozhyvacha v vidpovidalnosti za porushennia pokaznykiv yakosti elektroenerhii* [Comprehensive methodology for determining the partial participation of consumers in the responsibility for violation of electricity quality indicators]. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «Kharkivskyi politekhnichnyi instytut» Ser.: Hidravlichni mashyny ta hidroahrehaty* [Bulletin of the National Technical University «KhPI». Series: Hydraulic machines and hydraulic units]. Kharkiv: NTU «KhPI», 2019. №2. pp. 90 – 96.

Надійшла 15.01.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Гриб Олег Герасимович (Гриб Олег Герасимович, Hryb Oleh Herasymovych) – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», завідувач кафедри автоматизації та кібербезпеки енергосистем; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4758-8350>; e-mail: oleg47gryb@gmail.com

Сендерович Геннадій Аркадієвич (Сендерович Геннадій Аркадьевич, Senderovich Gennady Arkadievich) – доктор технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри автоматизації та кібербезпеки енергосистем; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5823-5692>; e-mail: sengennadii@gmail.com

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

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

Швець Сергій Вікторович (Швец Сергей Викторович, Shvets Serhii Viktorovich) – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри автоматизації та кібербезпеки енергосистем; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3716-141X>; e-mail: se55sh32@gmail.com