

І. Т. КАРПАЛЮК, М. О. БОНДАРЕНКО, Я. Д. ДЕГТЯР, О. В. ПИШНИЙ

ВТРАТИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ З ПРИЧИНИ ЇЇ НИЗЬКОЇ ЯКОСТІ НА НАСОСНИХ СТАНЦІЯХ ПІДПРИЄМСТВ ТЕПЛОВИХ МЕРЕЖ

Розглядається питання щодо підвищення надійності роботи об'єктів в енергетичній системі України. Зазначається, що в Україні бракує джерел електричної енергії, внаслідок ворожих дій. До того ж рівень втрат електричної енергії є дуже відчутним. Навіть за довоєнними даними статистики рівень втрат перевищував 10 % всієї виробленої енергії. І це було наслідком зносу і електричного обладнання і недостатньої якості електричної енергії. І внаслідок ворожих дій, руйнування енергетичного обладнання призвело до ще гіршого зниження параметрів якості електроенергії. В пріоритеті стає підтримання працездатності енергетичної системи, в той час як якісні показники відходять на другу чергу. Для більшості електроспоживаючого обладнання погіршення якості електричної енергії може мати мультиплікативний ефект. Який проявляє себе як різке збільшення втрат. Для підприємств, робота яких забезпечує життєві потреби населення – якість електричної енергії не є критерієм. Основна мета підтримати працездатність. До таких підприємств відносяться і підприємства теплових мереж. Майже всі прилади і обладнання теплових підприємств працюють на електриці. Примусовий рух теплоносія в мережі створюється тільки за допомогою електричних насосів, які отримують обертальний момент від асинхронних електричних двигунів. Для таких двигунів характерні втрати електричної енергії за умови її неякості. Були проведені заміри якості електричної енергії на двох різних підприємствах теплопостачання. В статті наведені результати проведених замірів. Не зважаючи на те, що підприємства теплопостачання дуже відрізняються (перше обслуговує понад 30 тисяч мешканців, друге понад 8 тисяч мешканців), результати замірів показують спорідненість проблем із якістю електричної енергії. Переважна кількість показників якості електричної енергії не відповідає вимогам до якості електричної енергії. Найбільш критичні відхилення величини середньої напруги і середньої напруги прямої послідовності, що може не відповідати нормі в 100 замірах із 100. Відхилення коефіцієнту несиметрії напруг за нульовою послідовністю також перевищує нормативні значення. Автори звертають увагу на наявність відхилення середнього коефіцієнту n -ї гармонічної складової напруги у всіх фазах. Специфіка роботи обладнання теплопостачаючих підприємств полягає в тому, що їх режими роботи є безперервними протягом всього опалювального сезону. І втрати в мережі можуть накопичуватися. До того ж одним із наслідків використання неякості електроенергії є зменшення строку роботи електричного обладнання. Автори пропонують загальні методи виправлення ситуації і наголошують на проведенні дослідження електричного обладнання теплопостачаючих підприємств з метою вироблення заходів щодо покращення їх роботи і зменшення втрат енергії.

Ключові слова: втрати електричної енергії, параметри якості електричної енергії, електричне обладнання теплопостачаючих підприємств, зменшення втрат, підвищення надійності.

І. KARPALIUK, M. BONDARENKO, Y. DEHTIAR, O. PYSHNYI

LOSSES OF ELECTRICAL ENERGY DUE TO ITS LOW QUALITY AT PUMPING STATIONS OF HEATING NETWORK ENTERPRISES

The issue of increasing the reliability of the facilities in the energy system of Ukraine is considered. It is noted that Ukraine lacks sources of electric energy as a result of hostile actions. In addition, the level of electric energy losses is very noticeable. Even according to pre-war statistics, the level of losses exceeded 10 % of all energy produced. And this was a consequence of the wear and tear of both electrical equipment and insufficient quality of electric energy. And as a result of hostile actions, the destruction of energy equipment led to an even worse decrease in the parameters of the quality of electricity. The priority is to maintain the operability of the energy system, while quality indicators are relegated to the second place. For most electricity-consuming equipment, deterioration in the quality of electricity can have a multiplier effect. Manifesting itself as a sharp increase in losses. For enterprises whose work provides for the vital needs of the population, the quality of electric energy is not a criterion. The main goal is to maintain operability. Such enterprises also include enterprises of heating networks. Almost all devices and equipment of heating companies operate on electricity. Forced movement of the coolant in the network is created only by electric pumps receiving torque from asynchronous electric motors. Such motors are characterized by increased losses of electrical energy if its quality is poor. Measurements of the quality of electrical energy were made at two different heat supply enterprises. The article presents the results of the measurements. Despite the fact that the heat supply enterprises are very different (the first serves more than 30 thousand residents, the second – more than 8 thousand residents), the results of the measurements show the affinity of problems with the quality of electrical energy. The overwhelming majority of electrical energy quality indicators do not meet the requirements for the quality of electrical energy. The most critical deviations are in the values of average voltage and average positive sequence voltage, which may not meet the standard in 100 measurements out of 100. The deviation of the voltage asymmetry coefficient for zero sequence also exceeds the standard values. The authors draw attention to the presence of a deviation of the average coefficient of the n -th harmonic component of voltage in all phases. The specificity of the operation of heat supply enterprises' equipment is that their operating modes are continuous throughout the entire heating season. And losses in the network can accumulate. In addition, one of the consequences of using low-quality electricity is a reduction in the service life of electrical equipment. The authors propose general methods for correcting the situation and emphasize the need to conduct a study of electrical equipment of heat supply enterprises in order to develop measures to improve their operation and reduce energy losses.

Keywords: electrical energy losses, electrical energy quality parameters, electrical equipment of heat supply enterprises, loss reduction, reliability improvement.

Постановка проблеми. За умови недостатньої потужності джерел електричної енергії в Україні, рівень втрат цієї електричної енергії дуже відчутний для підприємств і господарства країни в цілому. Руйнування енергетичної системи злочинними діями країни агресора, призводить до погіршення керованості енергетичної системи. Така ситуація не дозволяє використовувати можливості схемних рішень для вирівнювання якісних показників. В

пріоритеті стає підтримання працездатності енергетичної системи, в той час як якісні показники відходять на другу чергу. І це також призводить до зростання втрат в енергетичній системі. За довоєнною статистикою «Втрати електричної енергії в електромережах у 2020 році зросли до 10,4 %, що коштувало країні та споживачам десятки мільярдів гривень» [1]. За останні два роки величина втрат електроенергії в мережах збільшилася майже на

© І. Т. Крапалюк, М. О. Бондаренко, Я. Д. Дегтяр, О. В. Пишний, 2024

2 % [1]. Зрозуміло, що рівень втрат під час військової агресії тільки зростає. Сама величина втрат електричної енергії може розглядатися як додатковий маркер ступеня розвинутості країни [2].

Для більшості електроспоживачого обладнання погіршення якості електричної енергії може мати мультиплікативний ефект. Який проявляє себе як різке збільшення втрат. Низька якість електричної енергії, що живить електричне обладнання, призводить до ще більшого погіршення якості від роботи обладнання. [3; 4].

Для підприємств, робота яких забезпечує життєві потреби населення – погана якість електричної енергії не є критерієм. Основна мета підтримати працездатність. До таких підприємств відносяться і підприємства теплових мереж. Постачання тепла в оселі громадян під час холодного сезону дуже відповідальна задача. А майже всі прилади і обладнання теплових підприємств працюють на електриці. Примусовий рух теплоносія в мережі створюється тільки за допомогою електричних насосів. І якщо конструкції насосів для перекачки теплоносія можуть відрізнятися, то обертальний момент вони отримують від асинхронних електричних двигунів.

Параметри асинхронних двигунів і їх вплив на електричну мережу добре вивчений. Проте, попри зручність підключення і надійність роботи, такі двигуни мають низку недоліків. Наприклад, потребують складних (дорогих) приладів регулювання швидкістю обертання. Також для таких двигунів характерні підвищені втрати електричної енергії за умови її неякісності. Тому для таких споживачів критерій якості електричної енергії є однією із обов'язкових умов.

В тепловій мережі використовуються насоси, такі як, наприклад (рис. 1, 2).

Для постачання теплоносієм району міста із щільною забудовою використовують декілька таких насосів. Напруга живлення насосів трифазна 0,4 кВ. Для зручності використання насоси встановлюють в спеціальних будівлях – насосних підстанціях. Електричне живлення для таких підстанцій береться із електричної мережі мікрорайону міста з підстанції 10/0,4 кВ. Саме міська електрична мережа має найбільший вплив на якісні показники. Тому і вплив неякісної електричної енергії на циркуляційні насоси теплової мережі є безпосереднім.



Рис. 1. Насос Atmos GIGA-I 50/85-1,5/2

Параметри насоса Atmos GIGA-I 50/85-1,5/2:
 - максимальна продуктивність – 42 м³/годину;
 - максимальний натиск – 14 метрів;
 - номінальна напруга – 3~400 В;
 - номінальний струм – 3,2 А;
 - номінальна потужність – 1,5 кВт.



Рис. 2. Насос Atmos GIGA-N 100/160-30/2

Параметри насоса Atmos GIGA-I 50/85-1,5/2:
 - максимальна продуктивність – 390 м³/годину;
 - максимальний натиск – 42 метра;
 - номінальна напруга – 3~400 В;
 - номінальний струм – 54,5 А;
 - номінальна потужність – 30 кВт / 3-х полюсний.

Для визначення рівня якісних параметрів були проведені заміри на котельній теплопостачальному підприємстві міста із населенням 30 тисяч мешканців.

Також були проведені заміри на котельній теплопостачальному підприємстві міста із населенням 9 тисяч мешканців.

Результати вимірювань якості електричної енергії. Якість електроенергії залежить не тільки від умов електропостачання, але і від електроукомплектування, що експлуатується, та від самих умов експлуатації обладнання. Зрозуміло, що відповідальність за якість електроенергії несуть всі суб'єкти системи електропостачання. [5–7].

Вимогами ДСТУ EN 50160:2014 [8] встановлено такі показники якості електроенергії (ПЯЕ):

- відхилення напруги від свого номінального значення;
- коливання напруги від номіналу;
- несинусоїдальність напруги;
- несиметрія напруги;
- відхилення частоти від свого номінального значення;
- тривалість провалу напруги;
- імпульс напруги;
- тимчасове перенапруження.

Визначення параметрів якості електричної енергії були проведені в різних точках електричних мереж. Вимірювання виконувалися на межі балансової належності постачальника і споживачів [9–13].

Вимірювання якості електроенергії виконувалися на приєднання ПС магістральних мереж і ПС що живлять насоси теплових підстанцій за допомогою мікропроцесорних аналізаторів напруг і струмів в електричних мережах типу АНТЕС АК-3Ф (рис. 3) відповідно до ДСТУ EN 50160:2014.

Вимірювання якості електричної енергії включали:



Рис. 3. Зовнішній вигляд приладу АНТЕС АК-3Ф

Протокол вимірів: фіксація подій та виходів ПЯЕ за нормально та гранично допустимі значення.

Протоколи вимірювань:

- відхилення напруги, що встановилася, у фазі А, В, С;

- середні значення відхилення напруги фази А, фази В, фази С.

Графіки:

- середня напруга за фазами А, В, С.

Протоколи вимірювань:

- відхилення напруги, що встановилося, по прямій послідовності.

Графіки:

- середня напруга прямої послідовності.

Протоколи вимірювань:

- коефіцієнт спотворення синусоїдальності кривої напруги у фазі А, В, С;

- коефіцієнт n -ї гармонічної складової напруги у фазі А, В, С.

Графіки:

- середній коефіцієнт n -ї гармонічної складової напруги у фазі А, В, С.

Протоколи вимірів:

- коефіцієнт несиметрії напруг за зворотною послідовністю;

- коефіцієнт несиметрії напруг за нульовою послідовністю.

Графік:

- коефіцієнт несиметрії напруг за зворотною послідовністю;

- коефіцієнт несиметрії напруг за нульовою послідовністю.

Протокол вимірів: відхилення частоти.

Графік: середня частота.

Протокол вимірів: журнал провалів напруги.

Протокол вимірів: журнал тимчасових перенапруг.

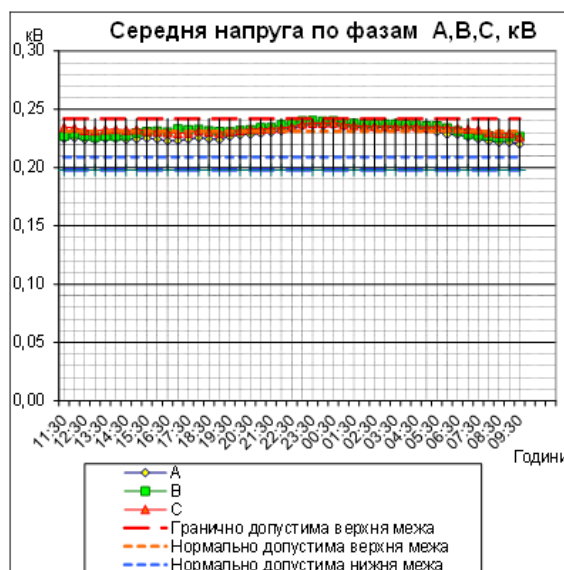
Наводимо результати вимірювань для двох об'єктів. Вимірювання проводилися на котельних мережі тепlopостачання міст.

Вимірювання відхилення напруги, що встановилося, у фазі А, В, С дозволило отримати наступні результати (рис. 4, *a* – для першого об'єкта і рис. 4, *б* – для другого об'єкта).

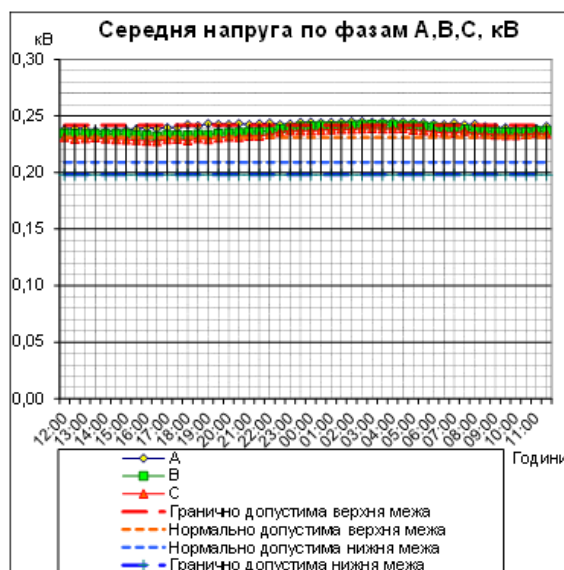
Число проведених вимірів для першого об'єкта становило 1350, число виходів за нормальне

допустиме значення: фаза А – 510 (37,8 %), В – 930 (68,9 %), С – 1200 (88,9 %).

Число вимірів для другого об'єкта: 1440, число виходів за допустиме значення: фаза А – 1440 (100 %), В – 1440 (100 %), С – 1020 (70,8 %).



a



б

Рис. 4. Результати замірів відхилення напруги, що встановилося, у фазах А, В, С:

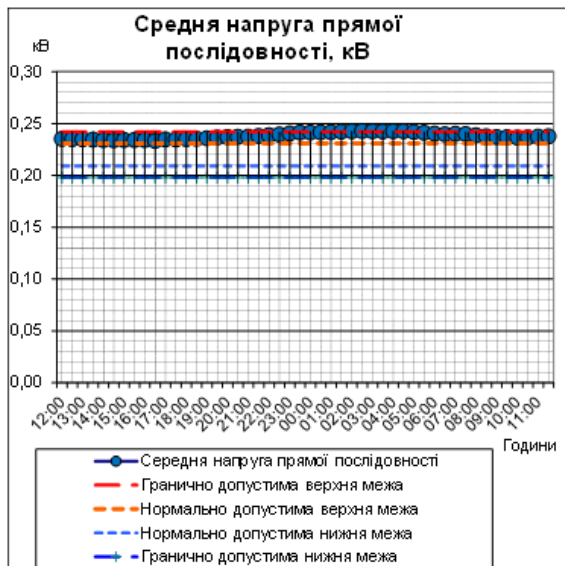
a – для першого об'єкта; *б* – для другого об'єкта

Проміжний висновок: відхилення напруги в мережі за час проведення вимірювання НЕ відповідає вимогам до якості електричної енергії.

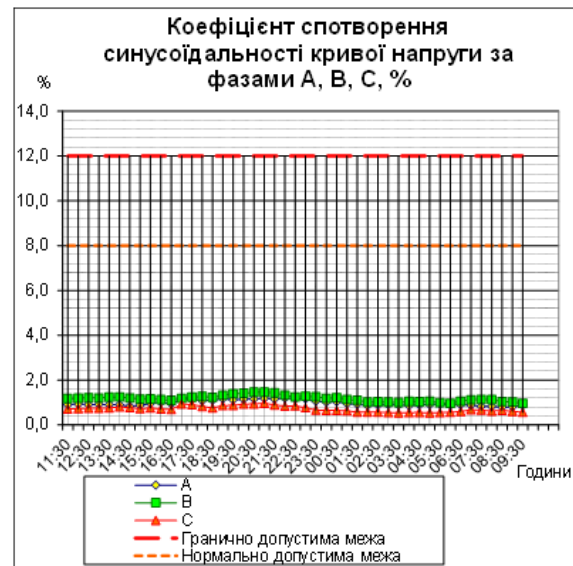
Результати вимірювання середньої напруги прямої послідовності наведені на рис. 5, *a* – для першого об'єкта і рис. 5, *б* – для другого об'єкта.

Число вимірів для першого об'єкта: 1350, число виходів за нормальне допустиме значення: 780 (57,8 %).

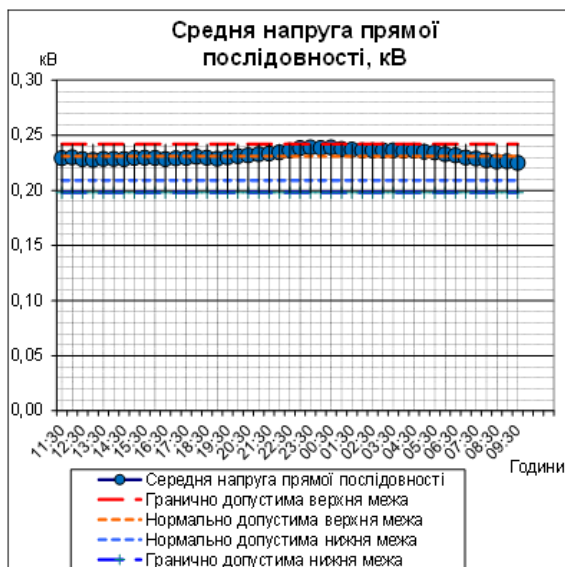
Число вимірів для другого об'єкта: 1440, число виходів за нормальне допустиме значення: 1440 (100 %).



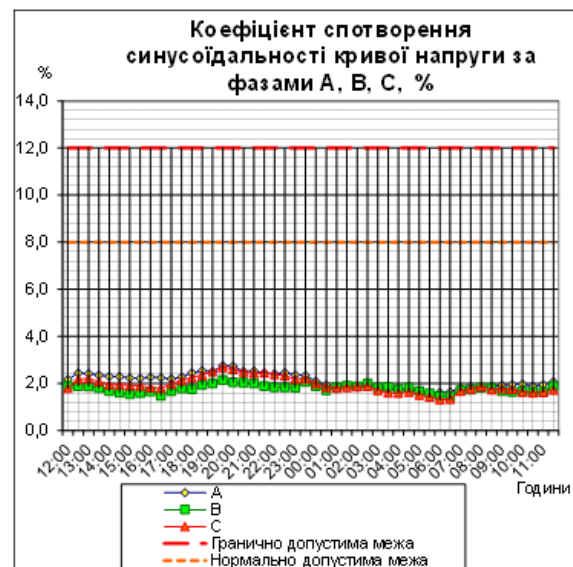
a



a



б



б

Рис. 5. Результати замірів відхилення напруги, що встановилося, по прямій послідовності:
a – для першого об'єкта; б – для другого об'єкта

Рис. 6. Результати вимірювання коефіцієнту спотворення синусоїдальності кривої напруги у фазі А, В, С:
a – для першого об'єкта; б – для другого об'єкта

Проміжний висновок: відхилення середньої напруги прямої послідовності в мережі за час проведення вимірювання НЕ відповідає вимогам до якості електричної енергії.

Результати вимірювання середнього коефіцієнту n -ї гармонічної складової напруги у фазі А, В, С наведені на рис. 7, a – для першого об'єкта і рис. 7, б – для другого об'єкта.

Результати вимірювання коефіцієнту спотворення синусоїдальності кривої напруги у фазі А, В, С наведені на рис. 6, a – для першого об'єкта і рис. 6, б – для другого об'єкта.

Проміжний висновок: відхилення середнього коефіцієнту n -ї гармонічної складової напруги у фазі А, В, С в мережі за час проведення вимірювання відповідає вимогам до якості електричної енергії.

Число вимірів для першого об'єкта: 27000, число виходів за нормальне допустиме значення: 0 (0,00 %).

Результати вимірювання коефіцієнту несиметрії напруг за зворотною послідовністю наведені на рис. 8, a – для першого об'єкта і рис. 8, б – для другого об'єкта.

Число вимірів для другого об'єкта: 287990, число виходів за нормальне допустиме значення: 0 (0,00 %).

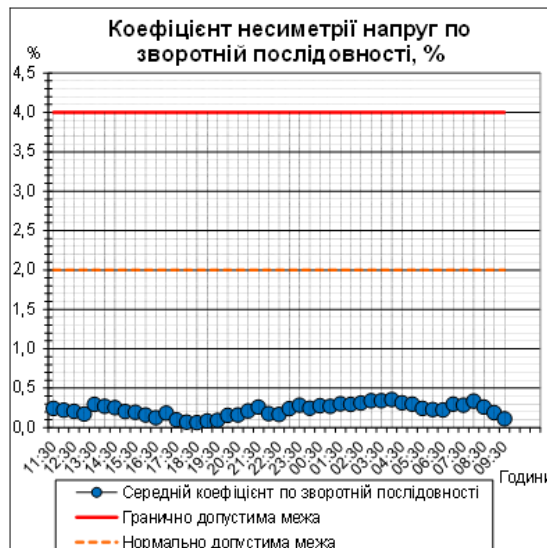
Число вимірів для першого об'єкта: 27000, число виходів за нормальне допустиме значення: 0 (0,00 %).

Проміжний висновок: відхилення коефіцієнту спотворення синусоїдальності кривої напруги у фазі А, В, С в мережі за час проведення вимірювання відповідає вимогам до якості електричної енергії.

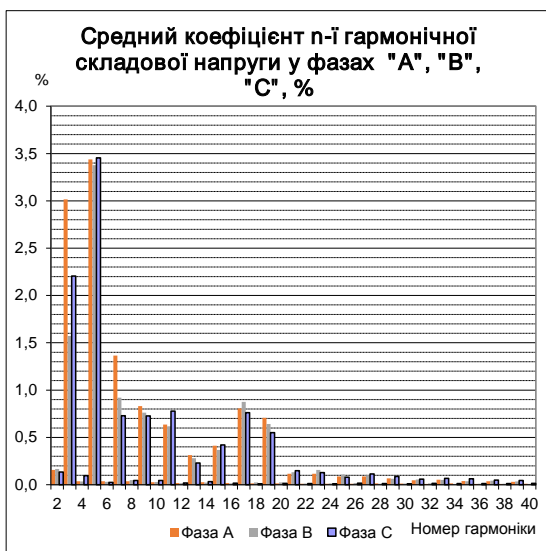
Число вимірів для другого об'єкта: 287990, число виходів за нормальне допустиме значення: 0 (0,00 %).



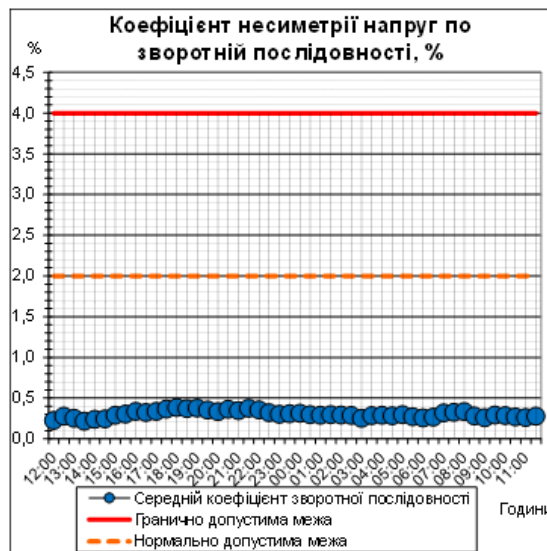
а



а



б



б

Рис. 7. Результати вимірювання середнього коефіцієнту n-ї гармонічної складової напруги у фазі А, В, С: а – для першого об'єкта; б – для другого об'єкта

Рис. 8. Результати вимірювання коефіцієнту несиметрії напруг по зворотній послідовності: а – для першого об'єкта; б – для другого об'єкта

Проміжний висновок: відхилення коефіцієнту несиметрії напруг за зворотною послідовністю в мережі за час проведення вимірювання відповідає вимогам до якості електричної енергії.

Результати вимірювання коефіцієнту несиметрії напруг за нульовою послідовністю наведені на рис. 9, а – для першого об'єкта і рис. 9, б – для другого об'єкта.

Число вимірів для першого об'єкта: 1350, число виходів за нормальне допустиме значення: 14999 (55,6 %).

Число вимірів для другого об'єкта: 28799, число виходів за нормальне допустиме значення: 11399 (39,6 %).

Проміжний висновок: відхилення коефіцієнту несиметрії напруг за нульовою послідовністю в мережі за час проведення вимірювання НЕ відповідає вимогам до якості електричної енергії.

Результати вимірювання відхилення середньої частоти наведені на рис. 10, а – для першого об'єкта і рис. 10, б – для другого об'єкта.

Число вимірів для першого об'єкта: 4050, кількість виходів за нормальне допустиме значення: 0 (0,00 %).

Число вимірів для другого об'єкта: 4320, кількість виходів за нормальне допустиме значення: 0 (0,00 %).

Проміжний висновок: відхилення середньої частоти в мережі за час проведення вимірювання відповідає вимогам до якості електричної енергії.

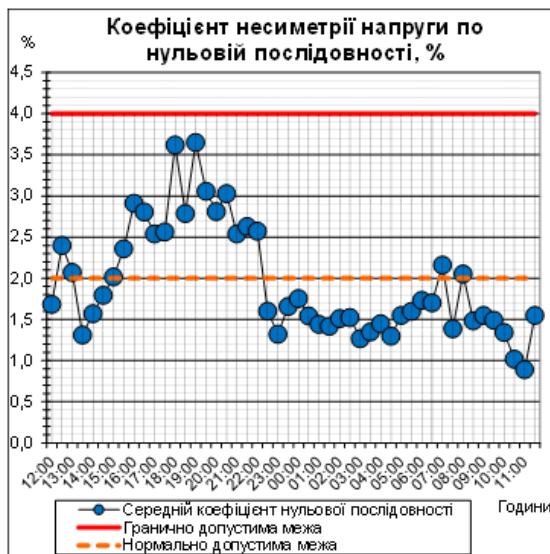
Висновки: Проведення вимірювань показників якості електричної енергії на двох підприємствах теплопостачання громадським споживачам дозволило зробити наступний висновок. Переважна кількість показників якості електричної енергії не відповідає вимогам до якості електричної енергії. Причому не

зважаючи на територіальну віддаленість двох об'єктів проблеми електропостачання для них дуже споріднені. Найбільш критичні відхилення величини середньої напруги і середньої напруги прямої послідовності, що може не відповідати нормі в 100 замірах із 100, що призводить до втрат потужності. Відхилення коефіцієнту несиметрії напруг за нульовою послідовністю також перевищує нормативні значення, що впливає на похибку приладів обліку, впливає на втрати в мережі.

Також слід звернути увагу на наявність відхилення середнього коефіцієнту n -ї гармонічної складової напруги у фазі А, В, С. Хоча самі величини відхилення не перевищують нормативних значень, в той же час характерна для асинхронних двигунів наявність непарних n -ї гармонічної складової напруги призводить до похибки приладів обліку і додаткових втрат в мережі.



а

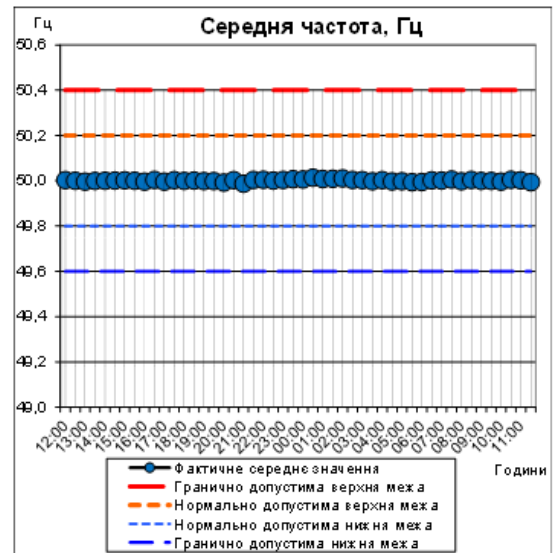


б

Рис. 9. Результати вимірювання коефіцієнту несиметрії напруг за нульовою послідовністю: а – для першого об'єкта; б – для другого об'єкта



а



б

Рис. 10. Результати вимірювання відхилення середньої частоти:

а – для першого об'єкта; б – для другого об'єкта

Специфіка роботи обладнання теплопостачаючих підприємств полягає в тому, що їх режими роботи є безперервними протягом всього опалювального сезону, і втрати в мережі можуть накопичуватися. До того ж одним із наслідків використання неякісної електроенергії є зменшення строку роботи електричного обладнання (насосів теплоносія, систем керування тощо).

Для зменшення такого впливу рекомендується встановлення фільтрів гармонічних складових різного типу і систем стабілізації рівня напруги. Так як теплоенергетика є стратегічною галуззю, то дослідження її елементів з метою покращення роботи і зменшення втрат енергії доцільно продовжити.

Список літератури

1. Гурковська Н. Втрати електроенергії в українських мережах у 2020 році перевищили 10 %. URL: <https://www.rbc.ua/rus/news/poteri-elektroenerгии-ukrainskih-setyah-2020-1627646052.html>

- (дата звернення: 08.08.2024).
- Гриб О. Г., Карпалюк І. Т., Швець С. В., Донецька Т. С., Дяченко О. В. Втрати електричної енергії в енергетичній системі України та їх зниження за рахунок впровадження постійного струму. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Hydraulic machines and hydraulic units*. Kharkiv: NTU "KhPI". 2023. No. 1. P. 72–77. doi: 10.20998/2411-3441.2023.1.12
 - Аналітичний центр досліджень енергетики. URL: <http://eircenter.com/> (дата звернення: 08.08.2024).
 - Онищенко В. А., Самойленко І. А., Гриб О. Г., Жаркин А. Ф., Васильченко В. И., Ушаповский К. В., Сендерович Г. А., Светелик А. Д., Кондратенко К. И., Довгалюк О. Н., Щербакова П. Г., Захаренко Н. С. *Анализ и оценка экономических ущербов от низкого качества электрической энергии*. Харьков: ПП «Граф-Ікс», 2013. 329 с.
 - Гриб О. Г., Сендерович Г. А., Щербакова П. Г. Особенности использования параметров режима сети для определения участия субъектов в искажении синусоидальности кривой напряжений. *Восточно-европейский журнал передовых технологий*. 2007. Т. 5, № 4 (29). С. 73–76.
 - Гриб О. Г., Сендерович Г. А., Щербакова П. Г. Актуальні завдання визначення пайової участі у відповідальності за порушення якості електричної енергії. *Наукові праці ДонНТУ – Електротехніка і енергетика*. 2013. № 1 (14). С. 77–82.
 - Ковальов В. М. Про визначення відповідального за несинусоїдальний струм в електромережі. *Комуніальне господарство міст: наук.-техн. зб. Харківської нац. акад. міськ. госп.-ва*. Харків: ХНАМГ, 2012. Вип. 105. С. 365–369.
 - ДСТУ EN 50160:2014. *Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загальної призначеності (EN 50160:2010, IDT)* / Нац. стандарт України. Київ: Мінекономрозвитку України, 2014. 27 с.
 - ДСТУ ISO 9000:2015. *Системи управління якістю. Основні положення та словник термінів (ISO 9000:2015, IDT)* / Нац. стандарт України. Київ: УкрНДНЦ, 2016. 45 с.
 - Прохоров Ю. К. *Управління якістю*. 2007. 144 с.
 - Реагування напруги в електричних мережах*. 1968. 605 с.
 - Баталов А. Г., Бородин Д. В., Васильченко В. И., Гриб О. Г., Громадский Ю. С., Довгалюк О. Н., Калюжный Д. Н., Манов И. А., Сендерович Г. А., Рожков П. П. *Качество электрической энергии в системах электроснабжения*. Харьков: ХНАГХ, 2006. 272 с.
 - Гриб О. Г., Сокол Е. И., Жаркин А. Ф., Васильченко В. И., Тесик Ю. Ф. *Качество электрической энергии. Том 2. Контроль качества электрической энергии*. Харьков: ПП «Граф-Ікс», 2014. 244 с.
 - Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Hydraulic machines and hydraulic units*. Kharkiv, NTU "KhPI" Publ., 2023, no. 1, pp. 72–77. doi: 10.20998/2411-3441.2023.1.12
 - Analytichnyy tseentr doslidzhen' enerhetyky* [Analytical Centre for Energy Studies]. Available at: <http://eircenter.com/> (accessed 08.08.2024).
 - Onishchenko V. A., Samoilenko I. A., Grib O. G., Zharkin A. F., Vasilchenko V. I., Ushchapovskiy K. V., Senderovich G. A., Svetelik A. D., Kondratenko K. I., Dovgalyuk O. N., Shcherbakova P. G., Zakharenko N. S. *Analiz i otsenka ekonomicheskikh ushcherbov ot nizkogo kachestva elektricheskoy energii* [Analysis and assessment of economic damage from poor quality electricity]. Kharkov, PP "Graf-Iks" Publ., 2013. 329 p.
 - Hryb O. H., Senderovych H. A., Shcherbakova P. H. Osobennosti yspol'zovannya parametrov rezhyma sety dlya opredelenyya uchastyaya sub'ektov v yskazheniyu synusoidal'nosty kryvoy napryazheniyu [Peculiarities of the use of network mode parameters to determine the participation of sub-objects in the distortion of sinusoidality of the voltage curve]. *Vostochno-Evropeyskiy zhurnal peredovykh tekhnologiy*. 2007, vol. 5, no. 4 (29), pp. 73–76.
 - Hryb O. H., Senderovych H. A., Shcherbakova P. H. Aktual'ni zavdannya vyznachennya payovoyi uchasti u vidpovidal'nosti za porushennya yakosti elektrychnoyi enerhiyi [Actual problems of determining the share in the liability for violation of the quality of electrical energy]. *Naukovi pratsi DonNTU – Elektrotekhnika i enerhetyka*. 2013, no. 1 (14), pp. 77–82.
 - Koval'ov V. M. Pro vyznachennya vidpovidal'nogo za nesynusoidal'nyy strum v elektromerezhii [On determining the person responsible for non-sinusoidal current in the power grid]. *Komunal'ne hospodarstvo mist: nauk.-tekh. zb. Kharkivskiy nats. akad. mis'k. hosp.-va* [Municipal economy of cities: scientific and technical collection of Kharkiv National Academy of Municipal Economy]. Kharkiv, KhNAMH Publ., 2012, issue 105, pp. 365–369.
 - DSTU EN 50160:2014. *Kharakterystyky napruhy elektropostachannya v elektrychnykh merezhakh zahal'noyi pryznachenosti* [State standart EN 50160:2014. Voltage characteristics of electricity supplied by public electricity networks]. Kyiv, Ministry of Economic Development and Trade of Ukraine Publ., 2014. 27 p.
 - DSTU ISO 9000:2015. *Systemy upravlinnya yakystyu. Osnovni polozhennya ta slovnyk terminiv* [State standart 9000:2015. Quality management systems – Fundamentals and vocabulary]. Kyiv, UkrNDNTS Publ., 2016. 45 p.
 - Prokhorov Yu. K. *Upravlinnya yakystyu* [Quality management]. 2007. 144 p.
 - Reahuvannya napruhy v elektrychnykh merezhakh* [Voltage response in power grids]. 1968. 605 p.
 - Batalov A. G., Borodin D. V., Vasilchenko V. I., Grib O. G., Gromadskiy Yu. S., Dovgalyuk O. N., Kalyuzhnyi D. N., Manov I. A., Senderovich G. A., Rozhkov P. P. *Kachestvo elektricheskoy energii v sistemah elektrosnabzheniya* [Quality of electric energy in power supply systems]. Kharkov, KhNAHKh Publ., 2006. 272 p.
 - Grib O. G., Sokol E. I., Zharkin A. F., Vasilchenko V. I., Tesik Yu. F. *Kachestvo elektricheskoy energii. Tom 2. Kontrol' kachestva elektricheskoy energii* [Quality of electrical energy. Vol. 2. Quality control of electrical energy]. Kharkov, PP "Graf-Iks" Publ., 2014. 244 p.

Надійшло (received) 11.09.2024

Відомості про авторів / About the Authors

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

Бондаренко Михайло Олександрович (Bondarenko Mykhailo) – Державний біотехнологічний університет, аспірант кафедри «Електромеханіка, робототехніка, біомедична інженерія та електротехніка»; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3317-4982>; e-mail: miwanya2008@gmail.com

Дегтяр Ярослав Дмитрович (Dehtiar Yaroslav) – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», аспірант кафедри «Автоматизація та кібербезпека енергосистем»; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-5367-2611>; e-mail: Yaroslav.Dehtiar@ieee.khpi.edu.ua

Пишний Олександр Володимирович (Pyshnyi Oleksandr) – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», аспірант кафедри «Автоматизація та кібербезпека енергосистем»; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-8318-3912>; e-mail: oleksandr.pyshnyi@ieee.khpi.edu.ua