

УДК 621.311

О. Г. ГРИБ (д-р техн. наук, проф.), О. М. ДОВГАЛЮК (канд. техн. наук, доц.),  
О. П. ЛАЗУРЕНКО (канд. техн. наук, проф.)

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»  
dovgaljuk@mail.ru

## ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ НА СПОРТИВНОМУ КОМПЛЕКСІ «МЕТАЛІСТ»

Зроблено аналіз показників якості електричної енергії в системі електропостачання стадіону «Металіст», запропоновано критерій вибору заходів для забезпечення якості електроенергії в електричній мережі та з його використанням обґрунтовано заходи для поліпшення якості електроенергії в досліджуваній мережі.

**Показник якості, напруга, електрична енергія, система електропостачання, критерій, приведені витрати, економічний збиток.**

Проблема забезпечення якості електричної енергії (ЯЕ) набула актуальності останніми роками. Особливої уваги потребує вирішення цього питання для обласного спортивного комплексу «Металіст», у зв'язку із проведенням у м. Харкові чемпіонату Європи з футболу у 2012 р. Для гідного проведення спортивних змагань одним з важливих аспектів є забезпечення ЯЕ в межах, зазначених вимогами ГОСТ 13109-97 [1]. Для цього передбачається проведення робіт з реконструкції системи внутрішнього електропостачання стадіону, які повинні ґрунтуватися на економічній доцільності заходів та враховувати всі технічні особливості функціонування об'єкту.

Аналізу показників якості електричної енергії (ПЯЕ) в електричних мережах завжди приділялось багато уваги, тому що рішення даного питання має велике практичне значення. Серед найбільш суттєвих розробок у даній області слід відмітити роботи Мельникова Н.А., Солдаткіної Л.А., Маркушевича Н.С., Жежеленко І.В., Фокіна Ю.А., Яндутьського А.С. й інших [2-6].

Дослідження останніх років показали, що ЯЕ в електричних мережах часто не відповідає вимогам ГОСТ 13109-97, що призводить до негативних наслідків: збільшення втрат електроенергії, скорочення терміну служби електрообладнання, порушення технологічного процесу, погіршення роботи пристроїв обліку електроенергії тощо [7-9]. У той же час питанню розробки заходів щодо покращення ЯЕ не приділяється достатньої уваги.

Метою дослідження є аналіз ПЯЕ в системі електропостачання стадіону «Металіст» та розробка заходів для забезпечення вимог ГОСТ 13109-97 в досліджуваній електричній мережі.

Для виконання поставленого завдання на діючих ТП 10/0,4 кВ стадіону «Металіст» були проведені виміри напруг на шинах 10 та 0,4 кВ та визначено ПЯЕ. Виміри проводилися приладом «АНТЭС АК-3Ф», який пройшов метрологічну атестацію в Україні. Електроживлення «АНТЭС АК-3Ф» здійснюється від електричної мережі 220 В 50Гц. Максимальна споживана потужність не перевищує 7 Вт. Електрична міцність ізоляції відповідає класу захисту 01.

Тривалість безперервних вимірювань напруги складала понад п'ять діб. Результати визначення ПЯЕ для стадіону «Металіст» показано на рис. 1-4.

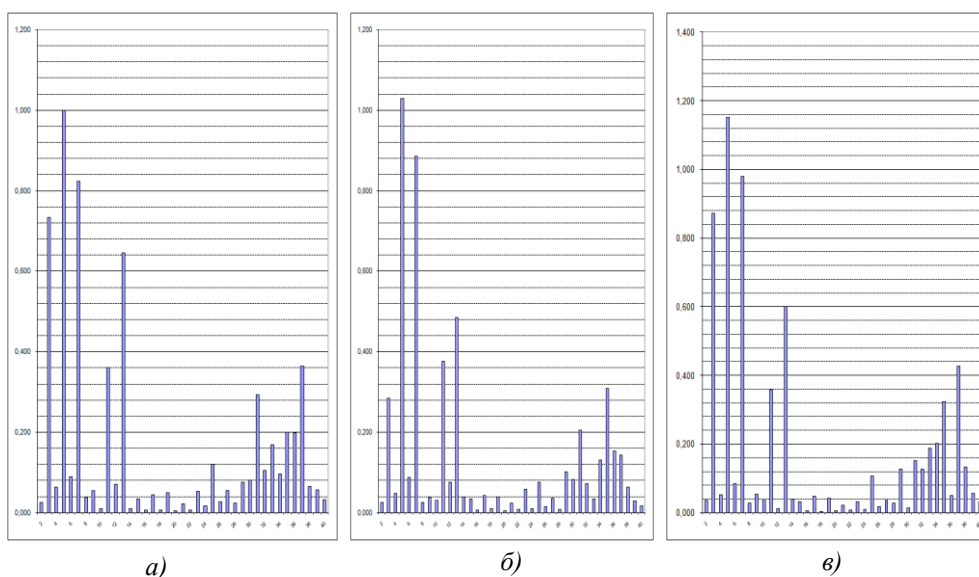


Рисунок 1 – Коефіцієнт  $n$ -ої гармонійної складової напруги: а) для фази «А»; б) для фази «В»; в) для фази «С»



Рисунок 2 – Середні значення усталеного відхилення напруги: а) для фази «А»; б) для фази «В»; в) для фази «С»

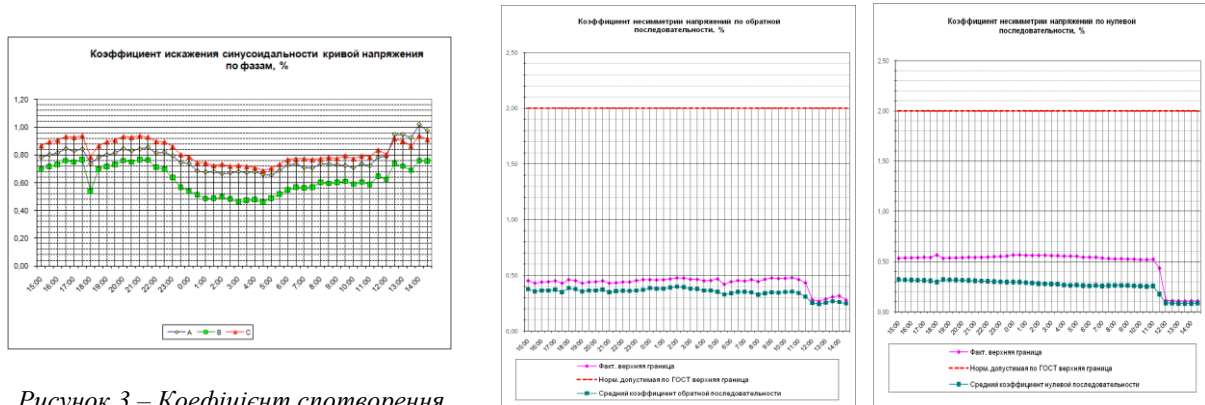


Рисунок 3 – Коефіцієнт спотворення синусоїдності кривої напруги

Рисунок 4 – Коефіцієнти несиметрії напруги за зворотною та нульовою послідовністю

Для комплексного аналізу вимірювань ПЯЕ та побудови звітів у зручній для користування формі розроблено спеціальну програму, блок-схема якої представлена на рис. 5. Ця програма дозволяє обробляти дані вимірювань, отримані за допомогою аналізатора, представляти результати обробки даних у вигляді графіків і таблиць, зіставляти виміряні значення ПЯЕ з вимогами [1] та робити висновок щодо їх відповідності встановленим нормам.

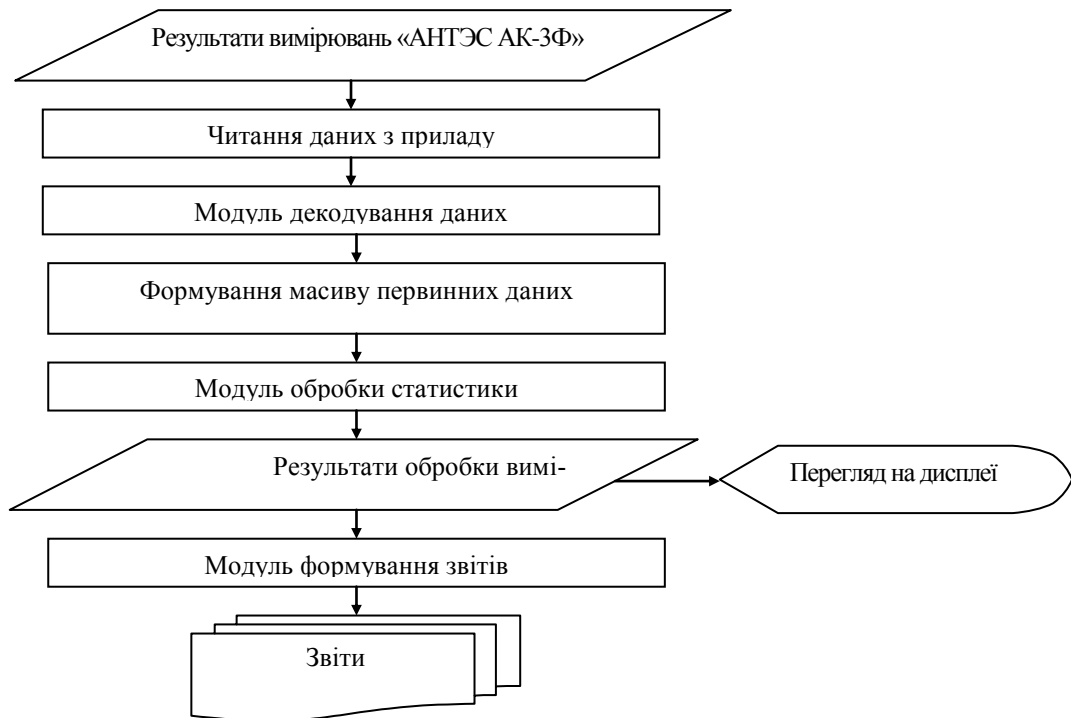


Рисунок 5 – Блок-схема програми комплексного аналізу вимірювань ПЯЕ

Аналіз одержаних значень ПЯЕ дозволяє зробити висновок про те, що в досліджуваній мережі ЯЕ не відповідає вимогам [1]. Зокрема, в рамках допустимих значень знаходяться такі ПЯЕ: відхилення частоти, коефіцієнт спотворення синусоїдності кривої напруги (рис. 3), коефіцієнти несиметрії напруги за зворотною та нульовою послідовностями (рис. 4), тривалість провалу напруги, коефіцієнт тимчасової перенапруги. За межі нормально допустимих значень виходять такі ПЯЕ: усталене відхилення напруги (рис. 2), коефіцієнт n-ої гармонійної складової напруги (рис. 1). За межі гранично допустимих значень виходять такі ПЯЕ: усталене відхилення напруги (рис. 2), коефіцієнт n-ої гармонійної складової напруги (рис. 1).

Підвищення ЯЕ є комплексним завданням, тому що одночасно має місце несиметрія, несинусоїдність, відхилення й коливання напруги [10]. Це обумовлено особливостями споживачів, які є однофазними або трифазними, споживають різне навантаження по фазах, і нелінійними приймачами електроенергії, що працюють у різних режимах.

З метою забезпечення вимог [1] необхідно розглянути декілька варіантів технічного рішення проблеми забезпечення ЯЕ, серед яких слід обрати оптимальний за техніко-економічними умовами. Для цього розроблено критерій вибору заходів для забезпечення ЯЕ в електричній мережі, в якості якого використовуємо мінімум приведених витрат від впровадження технічних засобів для поліпшення ЯЕ:

$$C_i \rightarrow \min, \quad (1)$$

де  $C_i$  – приведені витрати на варіант спорудження мережі з технічними засобами для забезпечення ЯЕ. Їх значення знаходимо за виразом

$$C_i = E_n \cdot K_i + I_i + Z_i, \quad (2)$$

де  $E_n$  – нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень,  $K_i$  – капіталовкладення в i-й варіант спорудження мережі,  $I_i$  – щорічні експлуатаційні витрати мережі,  $Z_i$  – збиток від зниження ЯЕ. До щорічних експлуатаційних витрат відносяться відрахування на амортизацію та витрати на обслуговування.

Щорічний економічний збиток від зниження ЯЕ відповідно до [11] визначається як сума збитку від несиметрії, несинусоїдності й відхилень напруги  $Z = Z_n + Z_{\text{відх}}$ .

Збиток від несиметрії та несинусоїдності напруг є сумою трьох складових, зумовлених додатковими втратами активної потужності, зниженням терміну служби електрообладнання та зумовлених зниженням ефективності використання передавальних елементів електричної мережі.

Економічний збиток від відхилення рівня напруги від номінального для приймачів із штучними джерелами освітлення у трифазній електричній мережі визначається відповідно [11] за формулою:

$$Z_{\text{відх}} = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^2 P_{\text{осв}ij} \cdot T_{\text{осв}ij} \cdot (a_j \cdot u_i^2 + c_j \cdot u_i), \quad (3)$$

де  $P_{\text{осв}ij}$  – номінальна активна потужність штучного джерела освітлення j-ої групи приймачів, підключеної до i-ої фази;  $T_{\text{осв}ij}$  – число годин роботи в році освітлювального навантаження j-ої групи, підключеної до i-ої фази;  $a_j$ ,  $c_j$  – коефіцієнти економічної невідповідності, визначаються для різних груп штучних джерел освітлення відповідно до [11];  $u_i$  – відносне значення відхилення напруги в i-й фазі електричної мережі.

Розрахунок критерію оптимізації та вибір заходів для забезпечення ПЯЕ проводиться згідно з алгоритмом, представленим на рис. 6.

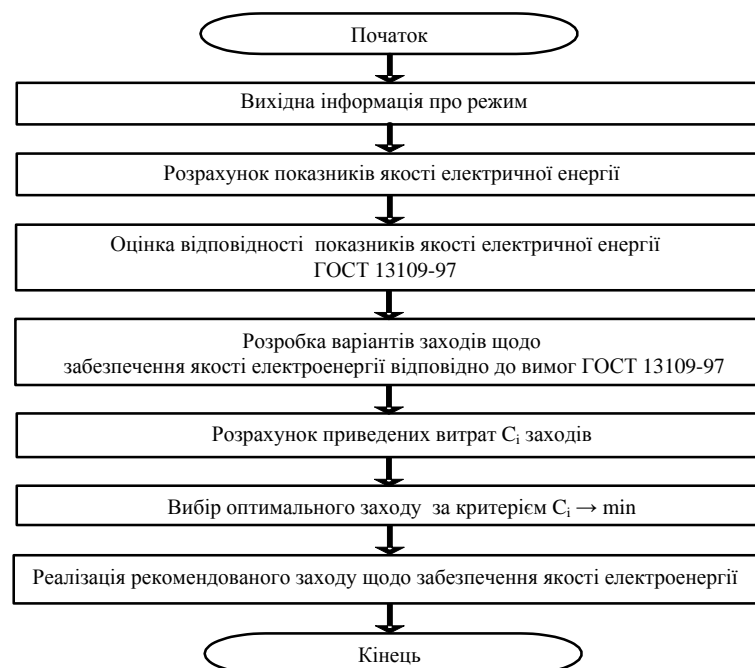


Рисунок 6 – Алгоритм вибору заходів для забезпечення ЯЕ в мережі

Для системи електропостачання стадіону «Металіст» у відповідності до запропонованого алгоритму розроблено декілька варіантів заходів забезпечення ЯЕ відповідно до [1]. Ці варіанти передбачають встановлення фільтрів вищих гармонік, встановлення пристроїв регулювання напруги під навантаженням з меншим шагом регулювання та одночасне застосування цих технічних пристроїв. Для цих варіантів проведено розрахунки критерію оптимальності для вибору заходів забезпечення ЯЕ. Результати цих розрахунків представлено в табл. 1.

Таблиця 1 – Розрахунок економічної ефективності заходів забезпечення ЯЕ на стадіоні «Металіст»

№ п/п	Варіант заходів	Капіталовкладення $K_i$ , тис. грн.	Щорічні експлуатаційні витрати $I_i$ , тис. грн.	Збиток від зниження якості електричної енергії $Z_i$ , тис. грн.	Приведені витрати $C_i$ , тис. грн.
1	Встановлення фільтрів для 3, 5, 7 гармонік	1500,75	49,96584	941,052	1216,130
2	Встановлення пристроїв регулювання напруги під навантаженням з меншим шагом регулювання	2024,19	186,71704	2692,602	3182,947
3	Встановлення фільтрів для 3 гармоніки та пристроїв регулювання напруги під навантаженням з меншим шагом регулювання	2174,19	200,81704	1995,994	2522,939
4	Встановлення фільтрів для 3, 5, 7 гармонік та пристроїв регулювання напруги під навантаженням з меншим шагом регулювання	2474,19	229,01704	1405,341	2005,486

Аналізуючи значення приведених витрат для розглянутих заходів забезпечення ЯЕ згідно з вимогами [1], обрано оптимальний варіант, при якому передбачається встановлення фільтрів вищих гармонік.

Таким чином, виконана оцінка ПЯЕ в електричній мережі стадіону «Металіст» дозволяє зробити висновок про невідповідність ЯЕ вимогам ГОСТ 13109-97. Розроблено критерій вибору заходів для забезпечення ЯЕ, з використанням якого розроблено заходи для поліпшення ПЯЕ в досліджуваній електричній мережі стадіону «Металіст».

У подальшому застосування запропонованих заходів дозволить не тільки забезпечити ЯЕ у відповідності до діючих норм, а й значно зменшити витрати електроенергії в досліджуваній електричній мережі.

#### ЛІТЕРАТУРА

- ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – Взамен ГОСТ 13109-87; введ. 01.01.2000. – К.: Изд-во стандартов, 1999. – 31 с.
- Мельников Н.А. Регулирование напряжения в электрических сетях / Мельников Н.А., Солдаткина Л.А. - М.: Энергия, 1968. – 152 с.
- Маркушевич Н.С. Регулирование напряжения и экономия электроэнергии / Маркушевич Н.С. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 104 с.
- Лежнюк П.Д. Оптимизация режимов электрических сетей с учетом ущерба, вызываемого отклонениями напряжения / Лежнюк П.Д., Аль-Хайтмер Абдалла // Энергетика. – 1991. – №11. – С. 27-31.
- Яндудский А.С. Вопросы регулирования напряжения в электрических сетях / Яндудский А.С., Головатюк Н.Ф., Хлыстов В.М. // Энергетика и электрификация. – 1996. – №4. – С. 36-38.
- Жежеленко И.В. Показатели качества электроэнергии и их контроль на промышленных предприятиях / Жежеленко И.В., Саенко Ю.Л. – М.: Энергоатомиздат, 2000. – 252 с.
- Оценка качества электроэнергии в электрических сетях Харьковского региона / [Гриб О.Г., Довгалюк О.Н., Калюжний Д.М., Сендерович Г.А.] // Збірник праць V міжнародної науково-технічної конференції "Ефективність та якість електропостачання промислових підприємств". – Маріуполь: ПДТУ, 2005. – с. 124-126.
- Сапрыка А.В. Экспериментальные исследования качества электрической энергии в осветительных сетях г. Харькова / Сапрыка А.В. // Коммунальное хозяйство городов: Межвед. науч.-техн. сб. – Вып. 74. – К.: «Техника», 2007. – С. 365-368.
- Контроль и учет электроэнергии в современных системах электроснабжения / [В.И. Васильченко, О.Г. Гриб, Г.А. Сендерович и др.] - Белгород: Изд-во БГТУ, 2009. – 204 с.

10. Качество электрической энергии в системах электроснабжения / [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.] – Харьков: ХНАГХ, 2006. – 272 с.

11. Экономическая оценка последствий снижения качества электрической энергии в современных системах электроснабжения / Шидловский А.К., Кузнецов В.Г., Николаенко В.Г. (Препринт) - 253 ИЭД АН УССР, К.: – 1981. – 47 с.

Надійшла до редколегії 15.03.2011

Рецензент: Е.Г.Курінний

О.Г. ГРИБ, О.М. ДОВГАЛЮК, О.П.ЛАЗУРЕНКО  
Национальный технический университет  
«Харьковский политехнический институт»

O. GRYB, O. DOVGALYUK, O.LAZURENKO  
National Technical University  
"Kharkiv Polytechnic Institute"

**Обеспечение качества электрической энергии на спортивном комплексе «Металлист».** Выполнен анализ показателей качества электрической энергии в системе электроснабжения стадиона «Металлист», предложен критерий выбора мероприятий для обеспечения качества электроэнергии в электрической сети и с его использованием обоснованы мероприятия по улучшению качества электроэнергии в исследуемой сети.

**Показатель качества, напряжение, электрическая энергия, система электроснабжения, критерий, приведенные затраты, экономический ущерб.**

**Quality Assurance of Electrical Energy for Sports Complex «METALIST».** Analysis of electric energy quality for electric power supply system of the stadium «Metalist» made, criterion for selection of activities to ensure the quality of electricity in electrical network proposed and measures to improve power quality in the studied network grounded, thanks to the use of this criterion.

**Quality index, voltage, electrical energy, power supply system, criterion, reduced costs, economic damage.**