

DOI <https://doi.org/10.32782/2078-0877-2025-25-2-4>

УДК 620.9, 621.3

Є. О. Кауркін, аспірант

ORCID: 0000-0002-5878-128X

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

e-mail: yevgenkaurkin141@gmail.com

НИЗЬКА ЯКІСТЬ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ У МЕРЕЖІ ЖИВЛЕННЯ НАСОСНИХ СТАНЦІЙ ТЕПЛОПОСТАЧАЮЧОГО ПІДПРИЄМСТВА

У статті проаналізовано критичний рівень зношеності електроенергетичного обладнання України, зокрема АЕС, ГЕС та систем передачі електроенергії. Установлено, що значна частина обладнання експлуатується за межами нормативного строку служби, а сучасні умови воєнного часу ускладнюють підтримання якісного електропостачання. Окрему увагу приділено насосному обладнанню теплопостачальних підприємств, яке є уразливим до показників якості електроенергії. Асинхронні електродвигуни, що приводять у дію насоси, чутливі до напругових провалів, відхилень і гармонік. Проведено аналіз реальних вимірювань електричних параметрів на підстанціях, що живлять насосне обладнання, та виявлено низку негативних чинників, що впливають на надійність його роботи.

Ключові слова: параметри якості електричної енергії, асинхронні двигуни, втрати електричної енергії, несиметрія напруг за нульовою послідовністю, відхилення середньої напруги прямої послідовності, коефіцієнт n -ї гармонічного складника напруги, надійність роботи.

Постановка проблеми. Одна з проблем сучасних реалій електричного комплексу України – це стан зношеності обладнання. Ліміти з використання обладнання встановлені [1]. Залишковий ресурс устаткування визначають за організаційно-методичними документами. Фактичну величину ресурсу підтверджують відповідними засобами вимірювальної техніки [2]. Коли граничний строк експлуатації устаткування закінчується, уповноважена організація розробляє регламент технічних оглядів на продовжуваний строк безпечної експлуатації. Його зберігають разом із паспортом устаткування [2 п. 17]. Порядок оцінки технічного стану будівель і споруд визначає [3]. Сьогодні зношеність електроенергетичного обладнання значна. Так, наприклад, дані по атомних станціях України за джерелом [4].

Серед 15 діючих енергоблоків АЕС України вже подовжено термін експлуатації для шести блоків:

- РАЕС №№ 1, 2 – 10.12.2010 подовжено термін експлуатації до 2030, 2031 рр. відповідно;
- ЮУАЕС № 1 – 28.11.2013 подовжено термін експлуатації до 02.12.2023;
- ЗАЕС № 1 – 14.09.2016 подовжено термін експлуатації до 23.12.2025;
- ЗАЕС № 2 – 04.10.2016 подовжено термін експлуатації до 19.02.2026.

Ситуація з гідроелектростанціями також не є кращою. За даними [5], представленими в табл. 1:

Таблиця 1

Перелік гідроелектростанцій України

Назва	Потужність (МВт)	Запуск першої черги
Київська ГЕС	408,5	1964
Київська ГАЕС	235,5/135	1970
Канівська ГЕС	444	1972
Кременчуцька ГЕС	700,4	1959
Середньодніпровська ГЕС	352	1963

Продовження таблиці 1

Дністровська ГЕС	702	1981
Дністровська ГЕС-2	40,8	1999
Дністровська ГАЕС	1296	2009
Первомайська ГЕС	1,770	1929
Ташлицька ГАЕС	453	2006
Олександрівська ГЕС	11,5	1999
Теребле-Ріцька ГЕС	27	1955

Можна зробити висновок, що лише дві гідроелектричні станції є доволі «свіжими»: Дністровська ГАЕС (2009), Ташлицька ГАЕС (2006). Усі інші працюють тривалий строк і потребують коштів на відновлення. До того ж їх участь у загальному обсязі виробленої електричної енергії не є вирішальною.

Від початку XX ст. в Україні були побудовані малі ГЕС на багатьох малих річках. На кінець 1940-х – першу половину 1950-х років чисельність малих гідроелектростанцій в Україні становила понад 950 із загальною встановленою потужністю 300 МВт [6].

У середині 60-х років минулого століття будівництво МГЕС було майже повністю призупинено, а пізніше було припинено зовсім. Більшість існуючих малих ГЕС було згодом демонтовано, сотні з них зруйновано.

Для всіх сценаріїв розвиток великої гідроенергетики майже не передбачається, оскільки цей тип генерації визнається як нестале (unsustainable) відновлюване джерело енергії [7].

Теплові станції є більшим джерелом електричної енергії. За даними довоєнної статистики [8], розподіл за типами джерел наведено на рис. 1.

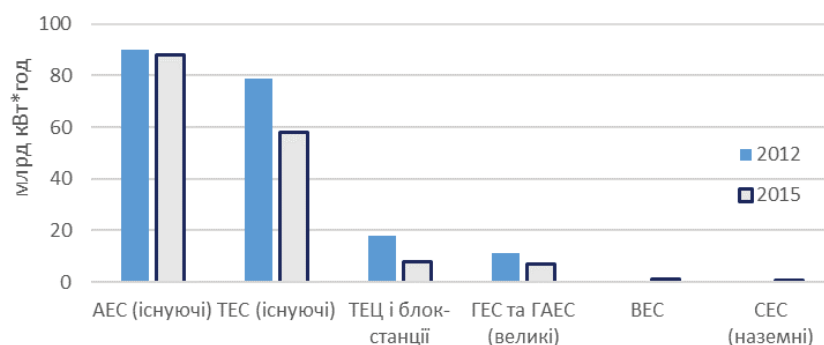


Рис. 1. Виробництво електроенергії, млрд кВт·год (Україна)

І це ситуація по основних джерелах електроенергії. Що стосується системи транспортування (різного типу вольтажності ЛЕП, кабельні лінії), системи розподілу також мають значний знос. Так, наприклад, за офіційними даними [9], електрообладнання одного із облэнерго України має значний експлуатаційний знос (табл. 2), що в середньому становить 60%.

Водночас лінії електропередач також мають знос, що можна побачити з кількості відключень залежно від напруги лінії [9] (табл. 3).

Якщо взяти до уваги ще й завдані руйнування енергосистеми діями ворога, то можна констатувати проблему електропостачання. Тепер основне завдання системи електропостачання полягає у завданні не втратити керованість і забезпечити працездатність. До якісних показників електричної енергії ставлення за остаточним принципом, що і зрозуміло.

Але якість електричної енергії вкрай важлива для деяких підприємств. Саме неякісна електрична енергія може сприяти руйнівному ефекту впливу на обладнання. До того ж виникає

Таблиця 2

Кількість елементів підстанцій та стан їх зносу

№	Назва	Кількість, од	Знос, %
1	Силові трансформатори 110кВ	173	88
2	Силові трансформатори 35кВ	332	93
3	Силові трансформатори 6-10кВ	12947	64
4	Вимикачі 6-110кВ	7435	22
5	Комплекти ОД і КЗ 110 кВ	84	100
6	Комплекти ОД і КЗ 35 кВ	63	100
7	РП 6-10 кВ	272	82

Таблиця 3

Час відключення залежно від напруги лінії та причини

№	Напруга ділянки, кВ	Кількість відключень, од.	Час відключення, хв.	Причина відключення
1	110 кВ	38	5702	Опади
2	110 кВ	41	6065	Механічні
3	35 кВ	37	14510	Опади
4	35 кВ	23	8894	Механічні
	Всього	139	34340	

додатковий ефект, якщо електричне обладнання кінцевого споживача живиться електрикою низької якості, то саме це обладнання вносить ще більше погіршення у якість електричної енергії під час роботи обладнання [10; 11].

Така ситуація досить чутлива для підприємств теплопостачання, для яких працездатність обладнання є основою забезпечення умов життя для населення і підприємств господарювання. Тому було вирішено провести дослідження якості електричної енергії на підстанціях, із яких виконується живлення обладнання теплопостачаючого підприємства. Нині основне завдання підприємства – підтримати працездатність. А майже всі прилади і обладнання теплових підприємств працюють на електриці. Примусовий рух теплоносія у мережі створюється лише за допомогою електричних насосів. Основною рушійною силою для насосів є асинхронні електричні двигуни. Параметри асинхронних двигунів та їхній вплив на електричну мережу добре вивчений [12; 13]. І такі двигуни мають найбільшу поширеність на підприємствах. Їхня проста конструкція і легке підключення, що не потребує додаткових електричних пристроїв, є основними умовами їх такого розповсюдження. До того ж вони мають і технічні характеристики, що дають змогу широко їх використовувати. Асинхронні двигуни живляться переважно напругу від мережі. Тому одним із недоліків асинхронних двигунів – залежність від якості електричної енергії мережі. Можливі наслідки неякісної електричної енергії для живлення таких двигунів: підвищені втрати електричної енергії, зменшення строків служби двигунів, неможливість запуску. І для підприємств теплопостачання безперервність роботи таких двигунів є важливою умовою виконання усього підприємства виробничого завдання.

Формулювання мети статті. За результатами замірів показати наявність низького рівня якісних показників в електричній мережі живлення насосів підприємства теплопостачання, показати наявність відхилень напруги, провалів, гармонічних складників, що мають руйнівну дію для асинхронних двигунів насосів теплоносія.

Основна частина. У роботі розглядається теплопостачальне підприємство великого міста. Саме для обладнання такого підприємства і виконувалися дослідження по замірах показ-

ників якості електричної енергії. Основне обладнання теплопостачального підприємства – насоси. Насоси використовуються різних типів, але в дослідженні було звернено увагу тільки на параметри електричних двигунів цих насосів. Наприклад, у насосах марок Atmos GIGA-I 50/85-1,5/2, Atmos GIGA-N 100/160-30/2 використовуються електричні асинхронні двигуни на номінальну напругу змінного струму 380 В (трифазний двигун) із номінальною потужністю 1,5 кВт. У насосах марки Atmos GIGA-N 100/160-30/2 використовуються електричні двигуни на номінальну напругу змінного струму 380 В (трифазний двигун) із номінальною потужністю 30 кВт.

Здебільшого такі насоси живляться від загальноміських електричних підстанцій. Хоча вони і згруповані в насосних підстанціях, їхня потужність недостатня, щоб використовувати окрему електричну підстанцію. Слід зазначити, що рівень напруги 0,4 кВ має найнижчий рівень показників якості електричної енергії [14; 15]. Тому вплив неякісної електричної енергії є відчутним для роботи асинхронних двигунів, а відповідно, і насосів.

Для дослідження було вибрано дві котельні: котельня А – більшої потужності, що обслуговує 30 тис мешканців, і котельня Б – меншої потужності, що обслуговує 9 тис мешканців. Заміри з метою визначення рівня якісних параметрів були проведені на клемах ввіднорозподільного пристрою котельних теплопостачального підприємства міста

Попередні заміри для насосів системи теплопостачання були виконані в роботі [16]. Але зазначена робота була зконцентрована на втратах в електричній мережі живлення насосів, а в даній роботі автор розглядає якість електричної енергії, а саме увага була надана такому параметру, як провали напруги. Вплив від провалів напруги порівнюється з дією інших показників якості електричної енергії, тому в роботі наводяться результати замірів по декількох якісних параметрах електричної енергії.

Результати проведених замірів показників якості електричної енергії

Умови експлуатації обладнання впливають на якість електричної енергії, стан електроспоживаючого обладнання і на умови електропостачання. За висновками багатьох науковців у сфері електроенергетики, за якість електроенергії несуть відповідальність усі учасники системи електропостачання [17–19]. Показники якості електроенергії (ПЯЕ) регламентуються вимогами чинного стандарту ДСТУ EN 50160:2014 [20]. Деякі з регламентованих показників були виміряні на межі балансової приналежності на приєднаннях електричних підстанцій, від яких виконувалося живлення електричного обладнання підприємства теплопостачання [11; 14; 17; 18]. Вимірювання проводилися за допомогою приладів, розроблених професором О.Г. Грибом. Прилади являють собою мікропроцесорні аналізатори напруг і струмів в електричних мережах під назвою АНТЕС АК-3Ф. Усі вимірювання проводилися відповідно до ДСТУ EN 50160:2014.

Вимірювання якості електричної енергії включали протоколи вимірювань і графіки змінення параметрів. У протоколі вимірів було зафіксовано події та виходи показників якості електричної енергії за нормальні та гранично допустимі значення.

Нижче представлено результати вимірювань по параметрах якості електричної енергії, що проводилися для двох котельних мережі теплопостачання міста.

Відхилення напруги, що встановилася, у фазах А, В, С.

Результати вимірювання показано на рис. 1. Число проведених вимірів для котельної А становило 1350, число виходів за нормальне допустиме значення: фаза А – 37,8%, В – 68,9%, С – 88,9%. Число вимірів для котельної Б: 1440, число виходів за допустиме значення: фаза А – 100%, В – 100%, С – 70,8%.

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

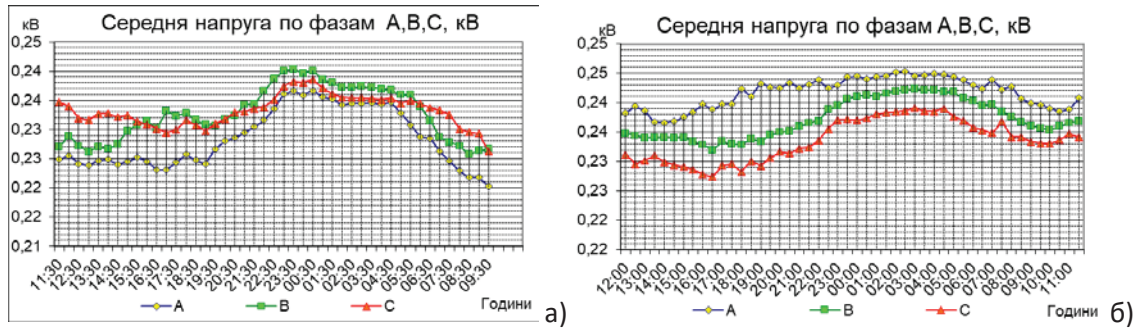


Рис. 1. Результати замірів відхилення напруги, що встановилося, у фазах А, В, С:
а) – котельня А; б) – котельня Б

Середня напруга прямої послідовності

Результати вимірювання наведено на рис. 2. Число проведених вимірів для котельної А – 1350, число виходів за нормальне допустиме значення – 57,8%. Число проведених вимірів для котельної Б: 1440, число виходів за нормальне допустиме значення – 100%.

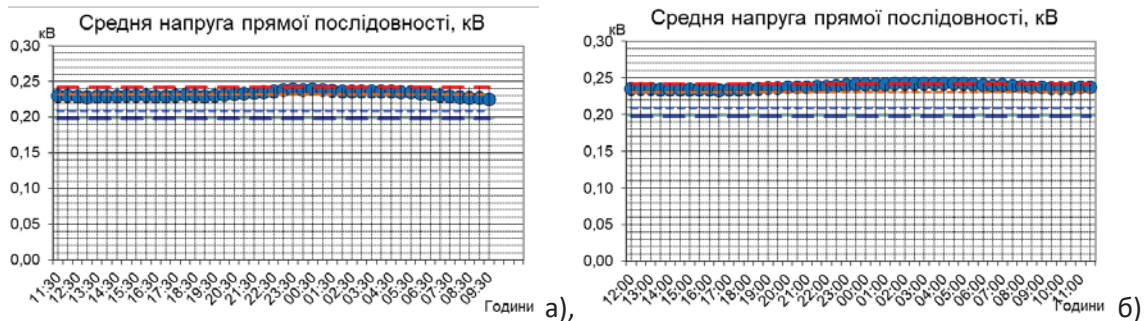


Рис. 2. Результати замірів відхилення напруги, що встановилося, по прямій послідовності:
а) – котельня А; б) – котельня Б

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

Відхилення коефіцієнта несиметрії напруг за зворотною і за нульовою послідовністю

Результати вимірювання наведено на рис. 3. Число проведених вимірів для котельної А – 27000, число виходів за нормальне допустиме значення – 0%. Число проведених вимірів для котельної Б – 287990, число виходів за нормальне допустиме значення – 0%.

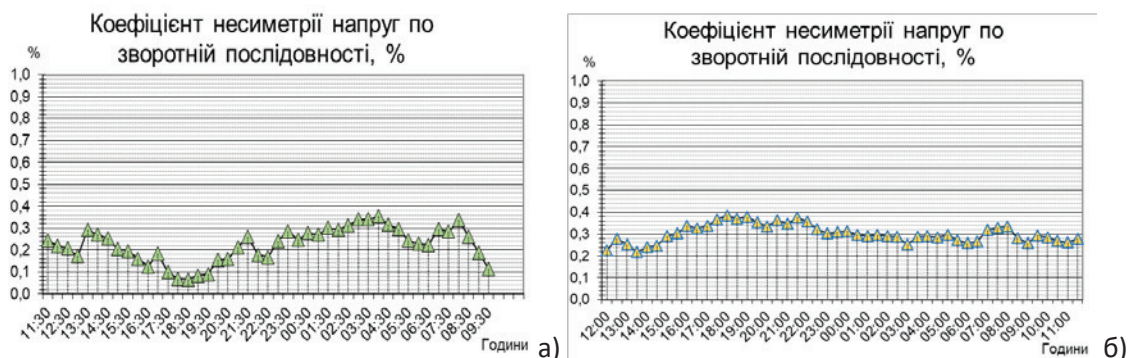


Рис. 3. Результати вимірювання коефіцієнта несиметрії напруг за зворотною послідовністю:
а) – котельня А; б) – котельня Б

Проміжний висновок. Відхилення коефіцієнта несиметрії напруг за зворотною послідовністю у мережі за час проведення вимірювання відповідає вимогам до якості електричної енергії.

Коефіцієнт несиметрії напруг за нульовою послідовністю

Результати вимірювання наведено на рис. 4. Число проведених вимірів для котельної А – 1350, число виходів за нормальне допустиме значення – 55,6%. Число проведених вимірів для котельної Б – 28799, число виходів за нормальне допустиме значення – 39,6%.

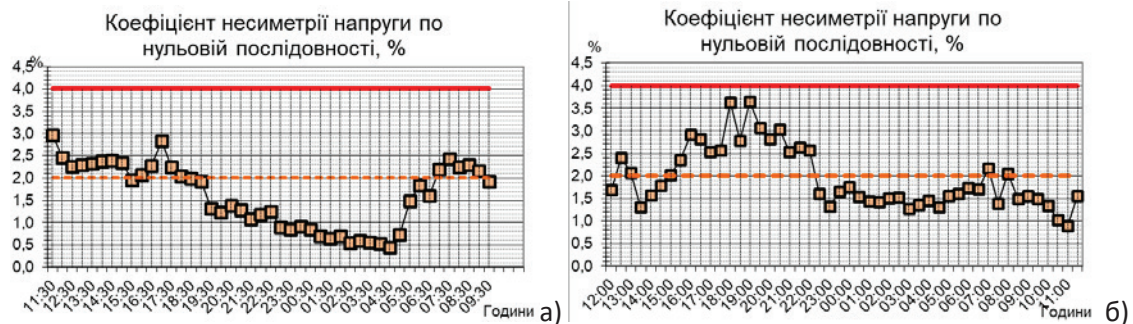


Рис. 4. Результати вимірювання коефіцієнта несиметрії напруг за нульовою послідовністю:
а) – котельня А; б) – котельня Б

Проміжний висновок. Відхилення коефіцієнта несиметрії напруг за нульовою послідовністю у мережі за час проведення вимірювання НЕ відповідає вимогам до якості електричної енергії.

Висновки. По отриманих від замірів результатах можна сказати, що переважна кількість показників якості електричної енергії не відповідає вимогам до якості електричної енергії. Два об'єкта підприємства теплопостачання громадських споживачів мають дуже споріднені проблеми з погляду параметрів якості електричної енергії. Хоча дві котельні мали різні потужності та різні відстані до споживачів, різну схему підключення до електричної мережі, але при цьому відхилення якісних показників електричної енергії в обох випадках значно виходять за межі нормативу.

Порядок використання обладнання теплопостачального підприємства такий, що режим їхньої роботи є безперервними протягом декількох місяців. І основними моментами роботи такого обладнання є зменшення строку роботи електричного обладнання і відсутність запуску двигунів після підключення до мережі. Для запобігання такого негативного впливу від неякісної електричної енергії рекомендується проведення низки заходів: облаштування фільтрів гармонічних складників, установлення стабілізаторів рівня напруги. Але до існуючих заходів можна додати регулювання непрямих параметрів, наприклад було відзначено залежність між рівнем показників якості і кількістю відпущеної теплової енергії. Такий метод є найбільш цікавим для теплопостачального підприємства в умовах, коли на підприємстві вже встановлюється обладнання когенерації, що дає змогу генерувати і теплову, і електричну енергію одночасно.

Список використаних джерел

1. ДБН В.1.2-14-2018 «Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд», чинний з 01/01/2019. Київ, 2019. 30 с.
2. Постанова Кабінету Міністрів України № 687 «Про затвердження Порядку проведення технічного огляду, випробування та експертного обстеження (технічного діагностування) машин, механізмів, устаткування підвищеної небезпеки».
3. ДСТУ-Н Б В.1.2-18:2016 «Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінки їх технічного стану» (діє з 01.04.2017). Київ, 2019.



4. Хмара Д. (2015). Експлуатація ядерних енергоблоків у понадпроектний термін. Світова практика і особливості процесу в Україні. URL: <http://nescu.org.ua/lifetime-extension201012>
5. Список гідроелектростанцій України. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BF%D0%B8%D1%81%D0%BE%D0%BA_%D0%B3%D1%96%D0%B4%D1%80%D0%BE%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BD%D1%86%D1%96%D0%B9_%D0%A3%D0%BA%D1%80%D0%B0%D1%97%D0%BD%D0%B8 (дата звернення: 24.04.2025).
6. Звіт «Розвиток відновлюваних джерел енергії в Україні». URL: <http://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2017/03/Rozvitok-VDE-v-Ukrai--ni.pdf>
7. Позиція WWF щодо розвитку гідроенергетики в Україні. URL: <http://wwf.panda.org/uk/?285130/hydropower-Ukraine>
8. Динамічні ряди показників енергетичних балансів за 1990–2018 роки (тестова версія). URL: https://ukrstat.org/uk/operativ/operativ2019/energ/drpeb/dr_u.htm (дата звернення: 05.02.2019).
9. План розвитку системи розподілу АТ «Харківобленерго» на 2020–2024 роки. URL: https://www.oblenergo.kharkov.ua/sites/default/files/pdf/plan_rozvytku_2020-2024_.pdf
10. Аналітичний центр досліджень енергетики. URL: <http://eircenter.com/>
11. Анализ и оценка экономических ущербов от низкого качества электрической энергии : монография / В.А. Онищенко и др. ; под ред. В.А. Онищенко. Харьков : Граф-Ікс, 2013. 329 с.
12. Попова І.О. Контроль режимів роботи асинхронних двигунів при несиметрії напруг мережі : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.09.16. Мелітополь, 2003. 20 с.
13. Качан Ю.Г., Николенько А.В., Кузнецов В.В. О технико-экономической целесообразности работы асинхронных двигателей в сетях с некачественной электроэнергией. *Гірнича електромеханіка та автоматика*. 2008. Вип. 80. С. 58–62.
14. Качество электрической энергии в системах электроснабжения / А.Г. Баталов и др. Харьков : ХНАГХ, 2006. 272 с.
15. Качество электрической энергии. Т. 2. / О.Г. Грибидр. ; под ред. О.Г. Гриба. Харьков : Граф-Ікс, 2014. 244 с.
16. Карпалюк І.Т., Бондаренко М.О., Дегтяр Я.Д., Пишний О.В. Втрати електричної енергії з причини її низької якості на насосних станціях підприємств теплових мереж. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія «Гідравлічні машини та гідроагрегати». 2024. № 1. С. 88–94.
17. Гриб О.Р., Сендерович Р.А., Щербакова П.Р. Особливості використання параметрів режиму мережі визначення участі суб'єктів у спотворенні синусоїдальності кривої напруг. *Східноєвропейський журнал передових технологій*. 2007. № 5/4(29). С. 73–76.
18. Гриб О.Г., Сендерович Г.А., Щербакова П.Г. Актуальні задачі визначення дольової участі у відповідальності за порушення якості з електричної енергії.
19. Ковальов В.М. Про визначення відповідального за несинусоїдальний струм в електромережі. *Комунальне господарство міст*. 2012. Вип. 105. С. 365–369.
20. ДСТУ EN 50160:2014. Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загальної призначеності (EN 50160 2010, IDT). [Чинний від 2014-10-01]. Київ : Мінекономрозвитку України, 2014. 27 с.

Стаття надійшла до редакції 17.04.2025

Y. Kaurkin

National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»

POOR POWER QUALITY IN THE ELECTRICAL NETWORK SUPPLYING THE PUMPING STATIONS OF A HEAT SUPPLY ENTERPRISE

Summary

This article investigates the influence of electric power quality on the operational reliability and efficiency of asynchronous motors used in pumping equipment at district heating enterprises in Ukraine. The research is conducted



in the context of significant aging of power infrastructure, where more than 70% of equipment—such as power transformers, distribution substations, and cable lines—has exceeded its normative service life, leading to frequent technical failures and increased maintenance costs. The consequences of wartime challenges, including limited access to spare parts, irregular maintenance schedules, and disruptions in the energy supply chain, have further exacerbated these issues.

A detailed analysis of how poor power quality affects the performance of asynchronous motors is presented. These motors serve as the main drives for pumps responsible for circulating thermal fluids in centralized heating systems. The article highlights the motors' sensitivity to a wide range of power quality deviations, including voltage sags and swells, phase imbalance, frequency fluctuations, harmonic distortions, and transient overvoltages. These factors contribute to increased thermal stress, rotor vibration, premature bearing wear, and eventual breakdown of control and protection systems.

The study includes empirical data from field measurements performed at several operating heating plants. Real-time indicators of voltage, current, frequency, and total harmonic distortion (THD) are compared against national and international standards. The analysis reveals significant deviations from acceptable thresholds, confirming the urgent need for systematic diagnostics and technical interventions.

Finally, the article proposes a set of preventive and compensatory measures, such as the deployment of voltage stabilizers, harmonic filters, and online monitoring tools. Recommendations for modernization priorities are provided to ensure the stable and energy-efficient operation of heating networks under current and future conditions.

Keywords: electrical power quality parameters, induction motors, electrical power losses, zero-sequence voltage unbalance, deviation of the average direct-sequence voltage, coefficient of the n th harmonic component of the voltage, reliability of operation.