

Жорняк Людмила Борисівна, к.т.н., доцент кафедри електричних та електронних апаратів; +38(050)257-05-10, zproton@zntu.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-1417-4859

Національний університет «Запорізька політехніка»

вул. Університетська, 64, м. Запоріжжя, Україна, 69063

Бахметєв Владислав Володимирович, аспірант кафедри електричних та електронних апаратів; +38(096)082-51-86, vladdp70@gmail.com, ORCID ID: 0009-0005-7582-5802

Національний університет «Запорізька політехніка»

вул. Університетська, 64, м. Запоріжжя, Україна, 69063

АНАЛІЗ СТАНУ РОЗПОДІЛЬЧИХ МЕРЕЖ 10–35 кВ В ЗАГАЛЬНІЙ ЕНЕРГОСИСТЕМІ УКРАЇНИ

Анотація. Метою статті є аналіз технічного стану, структурних характеристик і проблем експлуатації розподільчих електричних мереж середньої напруги 10–35 кВ в Україні в умовах сучасних викликів, зокрема військових дій, старіння інфраструктури та дефіциту обладнання. Проведено узагальнення статистичних даних щодо протяжності, складу та ступеня зносу основних елементів мереж: повітряних і кабельних ліній, трансформаторних підстанцій, комутаційної апаратури. Показано регіональну нерівномірність технічного стану, що зумовлює відмінності у показниках надійності, втрат електроенергії та рівні резервування. Особливу увагу приділено наслідкам повномасштабного вторгнення, яке спричинило масштабні фізичні руйнування, зростання кількості аварій і зниження коефіцієнта готовності систем. Визначено основні причини збоїв у роботі мереж – фізичний знос елементів, дефіцит запасних частин, логістичні обмеження та зміна режимів споживання. Продемонстровано, що відновлення мереж 10–35 кВ потребує комплексного підходу, який поєднує технічну модернізацію, цифровізацію моніторингу стану, створення резервів обладнання та залучення міжнародної технічної допомоги. Отримані результати можуть бути використані для планування заходів із модернізації та підвищення надійності розподільчих мереж середньої напруги.

Ключові слова: розподільчі мережі 10–35 кВ, технічний стан, надійність електропостачання, фізичний знос, аварійність, енергетична інфраструктура, відновлення, модернізація, енергетична безпека, стійкість енергосистеми, регіональні особливості.

Zhorniak Liudmyla, PhD, Associate Professor, Department of Electrical and Electronic Devices, +38(050)257-05-10, zproton@zntu.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-1417-4859

National University "Zaporizhzhia Polytechnic"

64, Universytetska St., Zaporizhia, Ukraine, 69063

Bakhmetiev Vladislav, postgraduate student, Department of Electrical and Electronic Devices, +38(096)082-51-86, vladdp70@gmail.com, ORCID ID: 0009-0005-7582-5802

National University "Zaporizhzhia Polytechnic"

64, Universytetska St., Zaporizhia, Ukraine, 69063

ANALYSIS OF THE STATE OF 10–35 kV DISTRIBUTION NETWORKS IN THE UKRAINE GENERAL POWER SYSTEM

Abstract. The article aims to analyze the technical condition, structural characteristics, and operational problems of medium-voltage (10–35 kV) distribution networks in Ukraine under current challenges, including wartime damage, infrastructure aging, and equipment shortages. Statistical data on network length, composition, and wear of main components—overhead and cable lines, transformer substations, and switching devices – are summarized. The study reveals significant regional disparities in network reliability, energy losses, and redundancy levels. Particular attention is paid to the consequences of the full-scale invasion, which caused extensive physical destruction, increased outage frequency, and reduced system availability. The main causes of network failures are identified: physical degradation of assets, shortage of spare parts, logistical constraints, and altered consumption regimes. It is shown that the restoration of 10–35 kV networks require an integrated approach combining technical modernization, digital condition monitoring, spare-part stockpiling, and international technical assistance. The obtained results can be applied to plan modernization measures and improve the reliability of medium-voltage distribution networks.

Keywords: 10–35 kV distribution networks, technical condition, power supply reliability, equipment wear, outage rate, energy infrastructure, restoration, modernization, energy security, power system resilience, regional disparities.

Вступ. Розподільчі електричні мережі середньої напруги (10–35 кВ) становлять ключову ланку в енергетичній системі, забезпечуючи передачу електроенергії від підстанцій високої напруги до кінцевих споживачів. Їхній технічний стан визначає стабільність, надійність і якість електропостачання як промислових, так і побутових об'єктів. Сучасний стан українських мереж характеризується значним фізичним і моральним зносом, високими втратами електроенергії, а також суттєвою регіональною нерівномірністю технічного рівня. Повномасштабна війна 2022 року поглибила ці проблеми, спричинивши масштабні пошкодження, дефіцит матеріалів і ускладнення ремонтно-експлуатаційних процесів. У цих умовах зростає актуальність системного аналізу стану мереж 10–35 кВ, виявлення критичних вузлів і формування стратегій відновлення та модернізації, спрямованих на підвищення надійності та енергетичної безпеки держави [1].

Розподільчі мережі напругою 10–35 кВ є проміжною ланкою між високовольтними магістральними мережами (110–750 кВ) і низьковольтними споживчими мережами 0,4 кВ. Саме ці мережі забезпечують передавання електроенергії від головних понижувальних підстанцій (ПС 110/35/10 кВ) до розподільчих пунктів і трансформаторних підстанцій (ТП) 10/0,4 кВ, що живлять

безпосередньо кінцевих споживачів.

Розподільчі мережі середньої напруги (10–35 кВ) виконують критичну роль у електропостачанні країни, забезпечуючи передачу енергії від підстанцій вищих класів напруги до трансформаторних пунктів та споживачів низького рівня. Вони утворюють широку систему магістралей і відгалужень, яка охоплює як густонаселені міські райони, так і аграрні та віддалені території. Надійність і працездатність мереж 10–35 кВ безпосередньо впливають на стабільність роботи промислових підприємств, систем теплопостачання, комунального господарства, критичних об'єктів інфраструктури й побутових споживачів.

Мережі 10–35 кВ включають повітряні лінії та кабельні ділянки, розподільчі підстанції типу 35/10/0,4 кВ або 110/35/10 кВ, трансформаторні підстанції середньої напруги, апаратуру розподілу та захисту. Топології цих мереж досить різноманітні: від радіальних схем, що характерні для сільської місцевості, до кільцевих і змішаних схем у промислових зонах та містах [1].

Для роботи мереж 10–35 кВ характерні такі параметри: лінійна довжина повітряних ліній, частка кабельних ліній у загальній протяжності, типи проводів та опор, кількість та потужність трансформаторів середньої напруги, рівень резервування окремих вузлів. З технічної точки зору, саме ці мережі забезпечують останній етап міжгенераційної передачі та локальної дистрибуції; вони сильно залежать від стану фізичної інфраструктури (опори, провідники, ізолятори), від умов експлуатації (атмосферні умови, агресивне середовище), а також від якісних показників режимної роботи (гармоніки, реактивна потужність, перехідні процеси під час аварій). Саме через це навіть незначні технічні дефекти в мережах 10–35 кВ здатні спричинити масштабні місцеві відключення з ланцюговими ефектами на низьковольтні мережі та на споживачів критичних сервісів.

Мета статті. Метою статті є аналіз та узагальнення статистичних даних, наведених у літературних джерелах, щодо протяжності, складу та ступеню зносу таких основних елементів мереж, як повітряні і кабельні лінії, трансформаторні підстанції, комутаційна апаратура.



Рисунок 1 – Підстанція 110/35/10 кВ [1]

Виклад основного матеріалу. За оцінками НКРЕКП та Міненерго, загальна протяжність ліній електропередачі всіх класів напруги в Україні становить приблизно 1,03 млн км. З них: лінії 0,4 кВ – близько 620–650 тис. км (60–63 %), лінії 6–10 кВ – близько 260–280 тис. км (25–27 %), лінії 35 кВ – орієнтовно 55–65 тис. км (5–6 %), лінії 110 кВ і вище – близько 70–80 тис. км (6–7 %) [2, 3]. Таким чином, мережі 10–35 кВ разом становлять 30–33 % усієї протяжності ліній електропередавання України, або приблизно 310–340 тис. км. З них: понад 85 % становлять повітряні лінії, близько 15 % – кабельні лінії, причому їх частка поступово зростає в міських умовах (до 30–35 % у великих містах) [4].

Таблиця 1 – Типова структура елементів мереж 10–35 кВ [5]

Тип елемента	Кількість / оцінка	Частка за країною
Повітряні лінії 10 кВ	220 тис. км	20–21 %
Повітряні лінії 35 кВ	50 тис. км	5 %
Кабельні лінії 10–35 кВ	45–55 тис. км	5 %
Трансформаторні підстанції 10/0,4 кВ	180 тис. од.	-
Підстанції 35/10 кВ	5,5 тис. од.	-

Аналіз літературних джерел показав, що напередодні лютого 2022 року стан українських розподільчих мереж 10–35 кВ був неоднорідним. У деяких регіонах, особливо у великих містах і промислових центрах, інвестиції дозволяли підтримувати технічні засоби у задовільному стані; там значна частина магістралей була кабельною або реконструйованою. Водночас у сільській місцевості та у ряді регіонів із великою протяжністю мереж переважали старі повітряні лінії з опорами, які відпрацювали значну частину свого ресурсу; велика частина проводів і ізоляторів мала низький залишковий ресурс експлуатації.

Передвоєнні плани розвитку мереж передбачали покрокове оновлення основних ліній і трансформаторного парку, але темпи модернізації були обмежені бюджетними та інвестиційними можливостями, адміністративною процедурою та логістикою постачання обладнання.

Таблиця 2 – Середній рівень фізичного зносу елементів мереж 10–35 кВ за даними Міненерго та операторів

Елемент	Середній знос	Максимальний
Повітряні лінії 10 кВ	50–55 %	до 65 %
Повітряні лінії 35 кВ	45–50 %	до 60 %
Кабельні лінії 10–35 кВ	35–40 %	до 50 %
Трансформатори 10/0,4 кВ	45 %	до 70 %
Комутаційна апаратура (вимикачі, роз'єднувачі)	55 %	до 75 %

Загальні технічні втрати електроенергії в розподільчих мережах (усіх класів напруги) наразі становлять у середньому 11–14 % від відпущеної енергії в мережу. Для мереж 10–35 кВ цей показник – близько 6–8 %, що є досить високим у порівнянні з середнім європейським рівнем (3–4 %) [6]. Коефіцієнт готовності (надійності) системи в середньому по країні становить 0,94–0,96, тоді як у передових країнах ЄС – 0,99. Це свідчить про те, що кожна сотня споживачів щороку втрачає 15–25 годин електропостачання через відмови або ремонти у

мережах цього класу. До того ж, робота розподільчих мереж 10–35 кВ визначається складними кліматичними, технічними й організаційними чинниками.

Згідно з даними ДТЕК у середньому за рік в Україні трапляється близько ід 17-ти до 18-ти тисяч аварійних відключень у мережах 10 кВ та 2,5–3 тисяч у мережах 35 кВ [7]. Близько 70 % усіх аварій пов'язані з пошкодженням ізоляції або механічним зломом опор, ще 15 % – із короткими замиканнями через дерева або птахів, і 10 % – через старіння обладнання. Рівень технічного стану розподільних мереж 10–35 кВ в Україні має виражену географічну нерівномірність. У східних регіонах – Харківській, Дніпропетровській та Запорізькій областях – частка зношених ліній перевищує 60 %. Це зумовлено високою концентрацією промислових споживачів, значними навантаженнями на мережу та через те, що більшість ліній була побудована ще у 1960–1980-х роках минулого сторіччя без суттєвої модернізації. У центральних областях рівень зношеності становить від 45 % до 50 %, що свідчить про часткове оновлення інфраструктури, проте і тут переважають мережі з вичерпаним ресурсом основних елементів – опор, проводів і комутаційного обладнання.

Найкраща ситуація спостерігається у західних регіонах, де частка зношених ліній становить 35–40 %. Такий відносно кращий технічний стан пояснюється тим, що більшість мереж було реконструйовано або модернізовано у 1990–2000-х роках, а також меншим промисловим навантаженням і нижчими показниками споживання електроенергії.

Варто зазначити, що така нерівномірність у технічному стані мереж створює додаткові виклики для системних операторів та операторів систем розподілу, що ускладнює планування інвестицій, визначення пріоритетів реконструкції та балансування енергосистеми в умовах стимулюючого тарифного регулювання. Аналіз вікового складу обладнання розподільних мереж 10–35 кВ свідчить про значний рівень його зношеності, як показано на рис. 2.

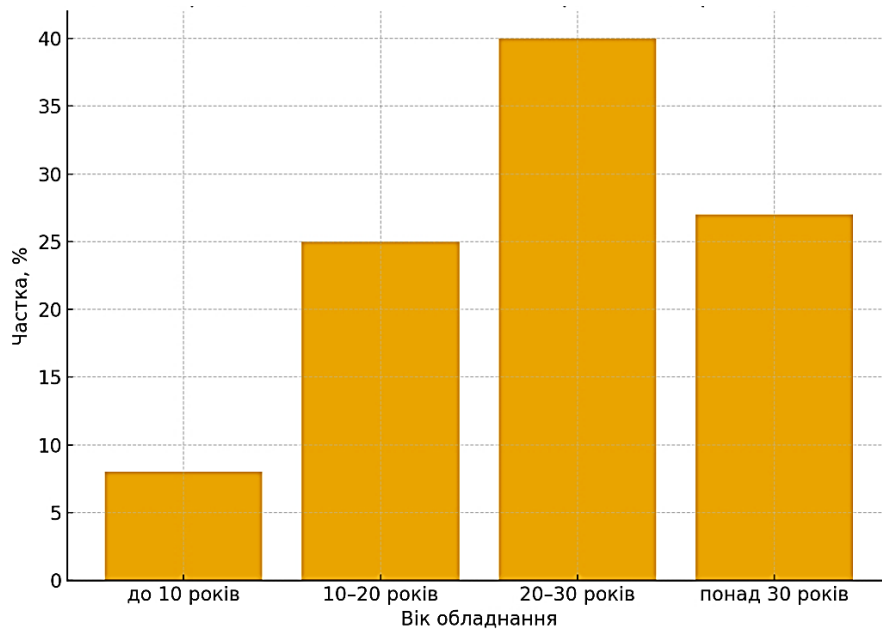


Рисунок 2 – Віковий склад обладнання розподільних мереж 10–35 кВ

Частка відносно нового обладнання (до 10 років експлуатації) становить лише 8 %, що вказує на недостатній рівень оновлення основних фондів. Обладнання віком від 10 до 20 років складає 25 %, тоді як найбільшу частку – 40 % – становлять установки, що експлуатуються вже 20–30 років. Ще 27 % перевищили термін у 30 років, тобто фактично вичерпали свій нормативний ресурс [2].

Більшість повітряних ліній виконано на дерев'яних або залізобетонних опорах (понад 70 %), решта – на металевих. Середній строк експлуатації опор перевищує 28 років, що дорівнює або навіть перевищує нормативний показник (25–30 років). Це вказує на необхідність масштабної програми заміни та модернізації несучих конструкцій.

У структурі трансформаторних підстанцій переважають установки потужністю 250–630 кВА, які є базовими для розподільних мереж середньої напруги. Приблизно 40 % усіх ТП мають обладнання, виготовлене ще до 1995 року, а 25 % – до 1980 року. Таким чином, понад дві третини трансформаторів фактично відпрацювали більше половини свого життєвого ресурсу, що негативно позначається на надійності електропостачання.

Початок повномасштабного вторгнення РФ у лютому 2022 року спричинив радикальні зміни в стані електричної інфраструктури України, зокрема в мережах середньої напруги 10–35 кВ. Енергетична інфраструктура стала безпосередньою мішенню ударів і диверсій, що призвело до масштабних руйнувань підстанцій, повітряних ліній і трансформаторів. До початку 2024 року прямі збитки в енергетичному секторі оцінювалися у \$8–11 млрд, з яких значна частка припадала саме на системи розподілу [2].

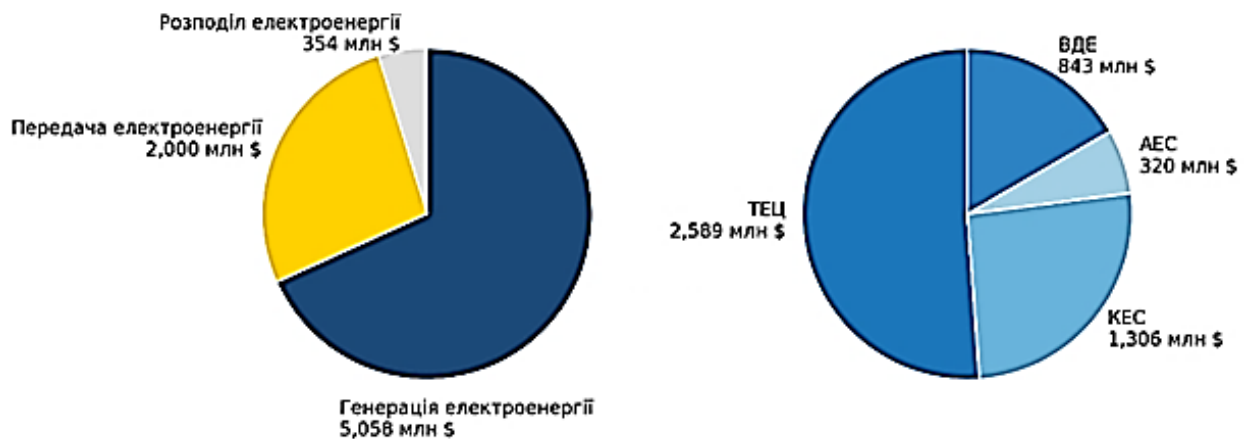


Рисунок 3 – Розподіл та структура збитків електроенергетичної інфраструктури України [2]

Через пошкодження та ускладнення експлуатації виробництво електроенергії скоротилося на 25–35 % порівняно з довоєнним рівнем. Це обмежило режимні можливості розподільчої системи та призвело до підвищеного навантаження на лінії середньої напруги, що негативно позначилося на залишкових показниках надійності обладнання. Через бойові дії на території України було проведено понад 600 аварійних ремонтів і евакуацій обладнання, а також забезпечено великої кількості постачань критичних комплектуючих завдяки міжнародним партнерам. Проте, все ж таки більшість відновлень мали тимчасовий характер, оскільки заміна трансформаторів, комутаційного обладнання та опор потребує значних ресурсів і часу [4].

Статистика показує, що частота аварій локального характеру зросла у 2–3 рази, а це спричинило істотне збільшення показників SAIDI та SAIFI (середній

час простою споживача, середня частота відключень) у прифронтових регіонах, що призвело до частих відключень споживачів, перебоїв у роботі промислових підприємств та соціальної інфраструктури [6].



Рисунок 4 – Структура впливу війни на електроенергетичну інфраструктуру та живлення України

Пошкодження повітряних ліній часто мали множинний характер – тисячі дрібних уражень, кожне з яких мало обмежений масштаб, але разом вони створили значні кумулятивні втрати. Через це оцінка та відновлення потребували складних логістичних операцій, особливо в зонах активних бойових дій.

Загалом війна вплинула на електроенергетичну систему на трьох рівнях: фізичні збитки – пряме руйнування об’єктів і обладнання, режимні ускладнення – порушення балансування, дефіцит генерації, довгострокові наслідки – зниження інвестиційної спроможності та ресурсів для модернізації. Після 2022 року оператори розподільчих мереж 10–35 кВ зіткнулися з комплексом нових викликів, які суттєво ускладнили експлуатацію та технічне обслуговування мереж. Однією з головних проблем став дефіцит обладнання, спричинений порушенням глобальних і регіональних ланцюгів постачання. Втрата постачань із Росії та Білорусі, а також перевантаження європейських виробників призвели до того, що терміни виготовлення трансформаторів і високовольтної апаратури збільшилися з 3–6 місяців до 12–18, а їхня вартість зросла у середньому на 60–80 %. Це

унеможлиблює створення необхідного запасу комплектуючих і затягує відновлення пошкоджених ділянок мережі [8].

Одночасно значно збільшилася кількість пошкоджень обладнання. Якщо раніше більшість пошкоджень мали експлуатаційний характер, то тепер домінують механічні руйнування, спричинені вибуховими хвилями, вібраціями та коливаннями ґрунту. У східних областях понад 25 % трансформаторних підстанцій зазнали часткового або повного знищення, а кількість прихованих дефектів, які неможливо виявити під час стандартних випробувань, збільшилася у кілька разів.

Додаткові труднощі створюють логістичні та безпекові фактори. Робота аварійно-ремонтних бригад у зонах підвищеного ризику потребує координації з військовими структурами, супроводу та обмеження часу виконання робіт. Унаслідок цього середній час ліквідації аварій зріс на 35–50 %, а доставка матеріалів і техніки часто можлива лише вночі або за спеціальним дозволом.

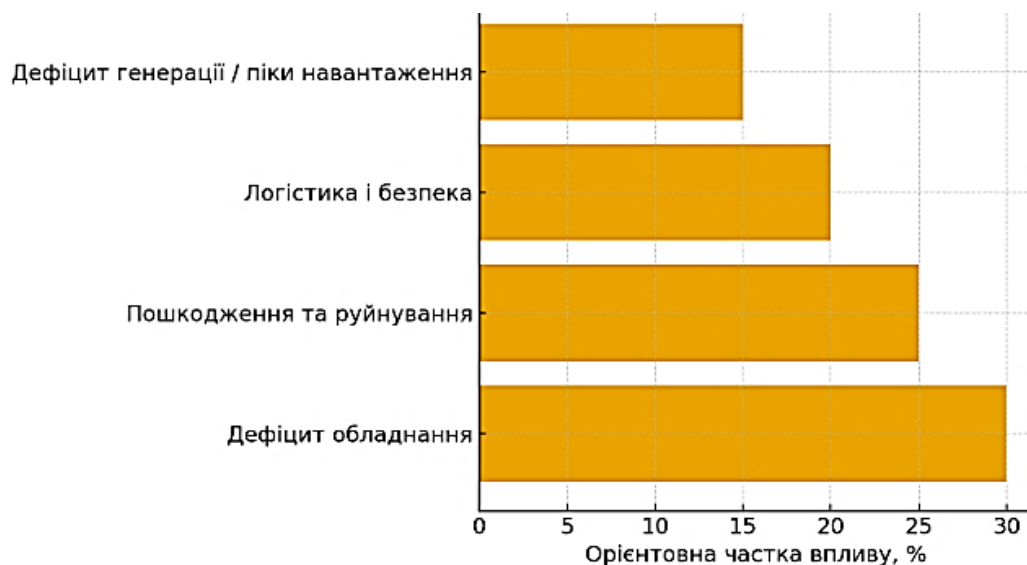


Рисунок 5 – Операційні та експлуатаційні проблеми розподільних мереж 10–35 кВ після 2022 року

Пошкодження розподільчих мереж 10–35 кВ мають багаторівневі економічні та соціальні наслідки. На економічному рівні – це прямі витрати на відновлення обладнання, витрати підприємств на простої та відновлення виробництва, додаткові витрати побутових споживачів на автономні генеруючі

засоби, втрати в секторах з високою енергоємністю [10]. За оцінками, прямі збитки економіки України від пошкодження та руйнування інфраструктури вже перевищують \$103,9 млрд [4].

У ширшому масштабі – це зниження інвестиційної привабливості регіонів, зниження продуктивності праці й податкових надходжень. На соціальному рівні – погіршення житлово-комунальних умов, перебої в опаленні, обмеження в роботі медичних закладів, освітніх установ та систем водопостачання. Для населення це означає підвищену вразливість у холодний сезон, збільшення смертності серед осіб із хронічними хворобами (через збої в обігріві та роботі медобладнання), а також психологічний тиск і зниження довіри до установ управління.

У середньому один споживач зазнає відключень із тривалістю 139,3 хвилин протягом року [11]. Також спостерігається понад 2000 випадків аварійних відключень повітряних ліній напругою 35 кВ за рік [4].

Усі ці наслідки підсилюються сумарним характером руйнувань: коли одночасно пошкоджуються лінії та підстанції – відновлення потребує координації і значних ресурсів, що не завжди доступні оперативно.

Висновки. Аналіз стану розподільчих мереж 10–35 кВ показує, що до початку повномасштабного вторгнення вони вже мали ряд експлуатаційних проблем, зосереджених в різних регіонах нерівномірно, а повномасштабна війна призвела до масштабних змін: прямих фізичних ушкоджень, падіння доступної генерації, посилення кількості аварій та зростання логістичних і безпекових труднощів для бригад відновлення.

Кількісні оцінки (мільярдні величини прямих збитків, тисячі оглянутих пошкоджених об'єктів, відсоткове падіння генерації) підкреслюють системний характер проблеми. Відновлення та забезпечення надійності розподільчих мереж в умовах війни – це комплексне завдання, що вимагає синхронізації технічних, організаційних, фінансових і гуманітарних підходів.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК:

1. Афанасьєв О. І. Електроапаратне обладнання систем електропостачання енергоємних виробництв / О. І. Афанасьєв, Л. Б. Жорняк, О. В. Немикіна, В. М. Щусь; за заг. ред. П. Д. Андрієнко. – Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2023. 432 с.
2. Kyiv School of Economics. Report on damages to infrastructure from the destruction caused by Russia's military aggression against Ukraine as of January 2024 / аналітичний звіт. Київ : KSE, 2024. – 39 с. URL: https://kse.ua/wp-content/uploads/2024/05/Eng_01.01.24_Damages_Report.pdf.
3. Кизим М. О., Лелюк О. В. Аналіз стану електроенергетичного сектора України. Бізнес Інформ, 2019. №2. С. 186–201. URL: <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2019-2-186-201> www.business-inform.net С. 186–201.
4. Kyiv School of Economics. Report on damages to infrastructure from the destruction caused by Russia's military aggression against Ukraine as of November 2024 / аналітичний звіт. Київ : KSE, 2025. 26 с. URL: https://kse.ua/wp-content/uploads/2025/02/KSE_Damages_Report-November-2024--ENG.pdf
5. План розвитку системи розподілу ПАТ «Запоріжжяобленерго» на 2020–2024 роки. URL: <https://www.zoe.com.ua/uploads/2020/01/П...>
6. Бахметьєв В. В., Левченко О. П., Жорняк Л. Б. Підвищення ефективності роботи розподільчих мереж ліній 10–35 кВ за рахунок автоматичних пунктів секціонування. Електроенергетика, електромеханіка та технології в АПК: тези доп. міжнар. наук.-практ. конф., 6 листопада 2024 р. Харків: Держ. біотехнологічний ун-т, 2024. С. 16–17.
7. Показники якості надання послуг у сферах електропостачання і централізованого водопостачання та водовідведення у 1-му півріччі 2022 року. URL: https://www.nerc.gov.ua/storage/app/sites/1/Docs/Sfery_ElektroEnergiia/Monitoring_elektrto/Zvit_pokaznyky_yakosti-poslug_1kv_2022.pdf
8. Annual Implementation Report 2024 Ukraine / Energy Community Secretariat. Відень : Energy Community, 2024. 48 с. URL: <https://www.energy-community.org/dam/ENc>.
9. International Energy Agency. (2024). Ukraine's energy system under attack. In Ukraine's energy security and the coming winter. IEA. URL: <https://www.iea.org/reports/ukraines-energy-security-and-the-coming-winter/ukraines-energy-system-under-attack>.
10. Alam A.; Pant V.; Das B. Optimal placement of protective devices and switches in a radial distribution system with distributed generation. IET Gener. Transm. Distrib, 2020. 14. pp. 4847–4858. URL: <https://ietresearch.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1049/iet-gtd.2019.1945>.
11. A model for simultaneous location and coordination of protective devices in radial distribution networks. pp. 2734–2746. URL: <https://ietresearch.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1049/gtd2.12211>.

REFERENCES

1. Afanasiev, O. I. Electrical equipment of power supply systems of energy-intensive industries / O. I. Afanasiev, L. B. Zhornyak, O. V. Nemykina, V. M. Shchus; ed. P. D. Andrienko. Zaporizhzhia : NU "Zaporizhzhia Polytechnic", 2023. 432 p.
2. Kyiv School of Economics. Report on damages to infrastructure from the destruction caused by Russia's military aggression against Ukraine as of January 2024 / analytical report. Kyiv : KSE, 2024. 39 p.
3. Kyzym M. O., Lelyuk O. V. Analysis of the state of the electric power sector of Ukraine. Business Inform. 2019. No. 2. Pp. 186–201. URL: <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2019-2-186-201>.
4. Kyiv School of Economics. Report on damages to infrastructure from the destruction caused by Russia's military aggression against Ukraine as of November 2024 / analytical report. Kyiv : KSE, 2025. 26 p.
5. Development plan of the distribution system of PJSC "Zaporizhzhiaoblenergo" for 2020–2024. URL: <https://www.zoe.com.ua/uploads/2020/01/>.

6. Bakhmetiev V. V., Levchenko O. P., Zhornyak L. B. Increasing the efficiency of operation of 10–35 kV distribution networks through automatic sectionalizing points. Power Engineering, Electromechanics and Technologies in the Agro-Industrial Complex: abstracts of the international scientific and practical conference, November 6, 2024. Kharkiv: State Biotechnological University, 2024. Pp. 16–17.
7. Indicators of the quality-of-service provision in the fields of electricity supply and centralized water supply and sewerage in the first half of 2022. URL: https://www.nerc.gov.ua/storage/app/sites/1/Docs/Sfery_ElektroEnergiia/Monitoring_elektrto/Zvit_pokaznyky_yakosti-poslug_1kv_2022.pdf.
8. Annual Implementation Report 2024 Ukraine / Energy Community Secretariat. – Vienna: Energy Community, 2024. 48 p.
9. International Energy Agency. (2024). Ukraine's energy system under attack. In Ukraine's energy security and the coming winter. IEA. URL: <https://www.iea.org/reports/ukraines-energy-security-and-the-coming-winter/ukraines-energy-system-under-attack>.
10. Alam A.; Pant V.; Das B. Optimal placement of protective devices and switches in a radial distribution system with distributed generation. IET Gener. Transm. Distrib, 2020. 14. Pp. 4847–4858. URL: <https://ietresearch.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1049/iet-gtd.2019.1945>.
11. A model for simultaneous location and coordination of protective devices in radial distribution networks. Pp. 2734–2746. URL: <https://ietresearch.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1049/gtd2.12211>.

Стаття надійшла до редакції: 22.08.2025; рецензування: 30.08.2025;

прийнята до публікації 03.09.2025. Автори прочитали и дали згоду рукопису.

The article was submitted on 22.08.2025; revised on 30.08.2025; and accepted for publication on 03.09.2025. The authors read and approved the final version of the manuscript.