

Н. Б. Бурдейна, Д. Б. Осадчий

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна

ЗАСОБИ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ І ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ

Анотація. Визначено перелік і зміст організаційно-технічних заходів для підвищення стабільності електропостачання регіону. Дослідження виконано на прикладі найбільш поширених електричних підстанцій 150/35/10 кВ. Визначено необхідність заміни штатного обладнання та обладнання, ушкодженого внаслідок терористичних атак. Розроблено однолінійні принципи схеми підстанцій для забезпечення резервного електроживлення споживачів. Частина електрообладнання, наприклад, трансформатори струму підлягають заміні для підвищення максимального навантаження та керування об'єктом у режимі реального часу. На електричних підстанціях напругами 150–10 кВ відсутній постійний персонал. Тому, для оперативного регулювання навантаження у випадках дисбалансів потоків енергії було впроваджено телекомунікаційне обладнання. Таке обладнання дозволяє оперативно вмикати та вимикати навантаження дистанційно. Це мінімізує ризики виходу з ладу енергетичного обладнання при виникненні нештатних ситуацій. Як частина комплексу заходів з відновлення та регулювання електропостачання запропоновано ремонт трансформаторів, на яких не виникли пожежі. Після фізичного усунення протічок трансформаторна олива піддається регенерації з використанням оригінальної дегазаційної установки. Такий процес дозволяє повторно використовувати трансформаторну оливу. Установка здійснює дегазацію, осушування й фільтрацію оливи. Процес безпечний для довкілля та відновлює діелектричні властивості, охолоджувальну здатність і текучість оливи. При цьому підвищується стабільність до окислення, викликаючи контакт з повітрям у процесі регенерації оливи. Наведені заходи певним чином підвищують стійкість системи електропостачання та підвищують її стабільність у випадках вимушених відключень для балансування об'єднаної енергетичної системи України.

Ключові слова: електропостачання, стабільність, трансформаторна підстанція, резервування.

Вступ

Стабільність енергопостачання промислових підприємств електричного транспорту житлового фонду є вирішальним аспектом життєдіяльності і функціонування всіх складових економіки держави. Енергосистема складається з багатьох ланок – підприємства генерації електроенергії, передачі і перетворення та кінцевих споживачів.

Загалом, уся електрична мережа формує і впливає на якість електроенергії та стан ефективності (відсоток нераціональних втрат). В Україні значна частина енергосистеми зруйнована або ушкоджена внаслідок терористичних атак. При цьому розосереджені ланки енергосистеми – лінії електропередачі, трансформаторні підстанції є найбільш уразливими, які важко захистити фізично.

Проблема загострюється тим, що значна частина обладнання, наприклад, силові трансформатори, мають терміни експлуатації більше 50 років. На них проблематичним є перемикання з метою підвищення напруги у разі потреби.

Вони схильні до перегріву і реагування на зниження якості електроенергії.

У таких умовах потрібні рішення щодо дублювання джерел електроживлення і передачі електроенергії.

Необхідно розробити і впровадити телекомунікаційні системи керування подачею енергії у режимі реального часу, що дозволить максимально уникати дисбалансу мережі і її роботи у нештатному режимі.

Важливим аспектом забезпечення стабільності мережі є максимально швидке відновлення працездатності трансформаторів, які не зазнали критичних пошкоджень. Наведене обумовлює актуальність роботи.

Стан питання

Більшість досліджень і розробок у галузі електропостачання стосуються підвищення якості електроенергії. В основному це обумовлене поширенням відновлювальних джерел енергії [1]. Такі джерела не мають гарантованої генерації і можуть спотворювати синусоїдальність напруги. Уникнення таких явищ для електромереж загалом та на окремих підприємствах досягається за рахунок гнучкого керування електропостачання [2, 3]. Загалом оцінка енергоефективності системи енергопостачання здійснюється з допомогою спеціально визначених індексів надійності [4]. В основному заходи з підвищення надійності електроживлення і якості електрогенерації обмежуються впровадженням системи придушення гармонік та інтергармонік напруги промислової частоти [5, 6]. Традиційні засоби забезпечення стабільності роботи енергетичної системи, описані у роботах [7, 8] на сьогодні недостатні. Загалом стабільність енергопостачання визначається національним стандартом України [9], але у нинішніх умовах забезпечити необхідні показники практично неможливо. Актуальною задачею є задоволення мінімальних потреб у електроенергії з урахуванням можливих навмисних втручань у роботу енергосистем та аварійних ситуацій, викликаних перенавантаженнями, погодними умовами тощо.

Необхідно передбачити дублювання електропостачання, систем аварійного відключення для унеможливлення дисбалансів енергетичних потоків та можливість швидкого відновлення працездатності критично важливого обладнання.

Мета роботи – визначення засобів забезпечення надійності енергопостачання в умовах можливих навмисних втручань та аварійних ситуацій.

Викладення основного матеріалу

Найбільш поширеними електропідстанціями є підстанції класу 150/35/10 кВ. Вони забезпечують електроживлення більшості споживачів, але зазнають найбільших ушкоджень у наслідок аварій та терористичних атак. Тому доцільно розглянути засоби забезпечення стабільності електропостачання та енергетичної безпеки саме на прикладі таких підстанцій в одному з регіонів України.

З міркувань безпеки конкретні назви об'єктів не наводяться.

Схематично діючу систему енергопостачання міста і прилеглих територій та її приєднання до об'єднаної енергетичної системи України наведено на рис. 1.

Така система, у разі потреби, не забезпечує дублювання енергетичних потоків. Крім того, значна частина трансформаторів та відкритих розподільчих пристроїв зазнала ушкоджень (рис. 2).

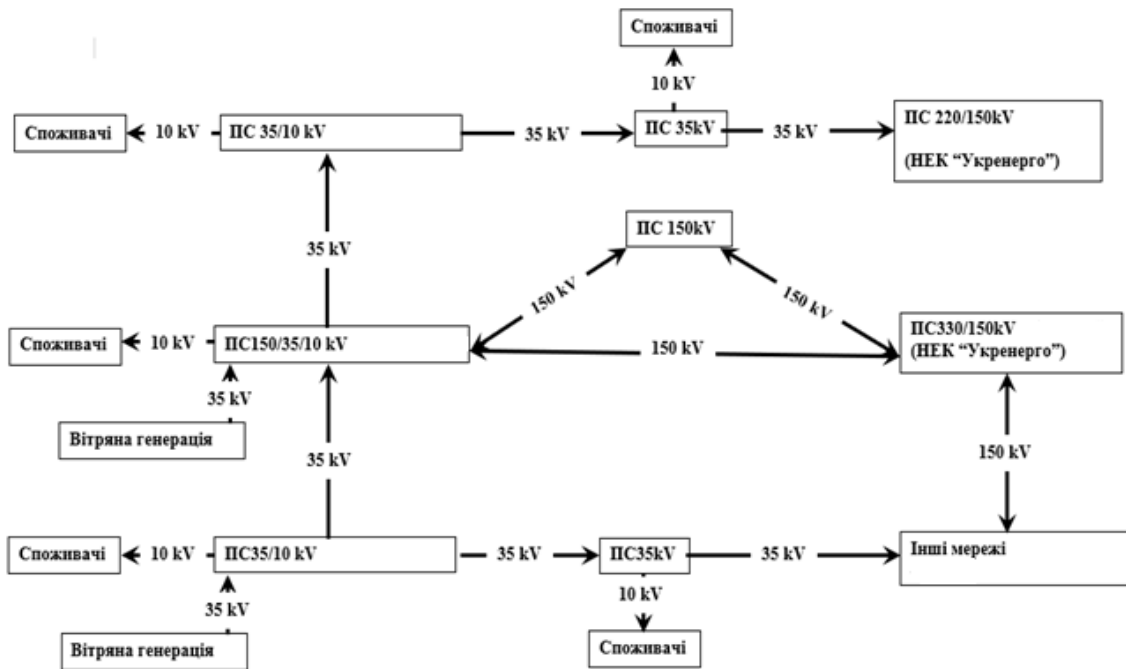


Рис. 1. Схематичне представлення діючої системи енергопостачання міста та прилеглих територій



Рис. 2. Пошкоджений трансформатор та відкритий розподільчий пристрій підстанції 150/35/10 кВ

Враховуючи таку ситуацію, доцільним є вирішення двох задач:

- Відновлення ушкоджених трансформаторів та відкритих розподільчих пристроїв;
- Організація резервної схеми.

Одноточасна заміна трансформаторів й частини іншого обладнання обумовлена необхідністю підвищення надійності роботи й робочих потужностей. Фрагмент однолінійної принципової схеми підстанції 150/35/10 кВ наведено на рис. 3.

Особливо важливою є заміна трансформаторів струму.

По-перше вони розраховані на більші навантаження, по-друге – дозволяють у режимі реального часу контролювати навантаження й вчасно реагувати на несприятливі тенденції.

Для швидкого переведення навантажень проводиться реконструкція підстанції 35/10 кВ, а саме – розподільчого пристрою 10 кВ та окремих комунікаційних апаратів 35 кВ на підстанції 150/25/10 кВ (рис. 4).

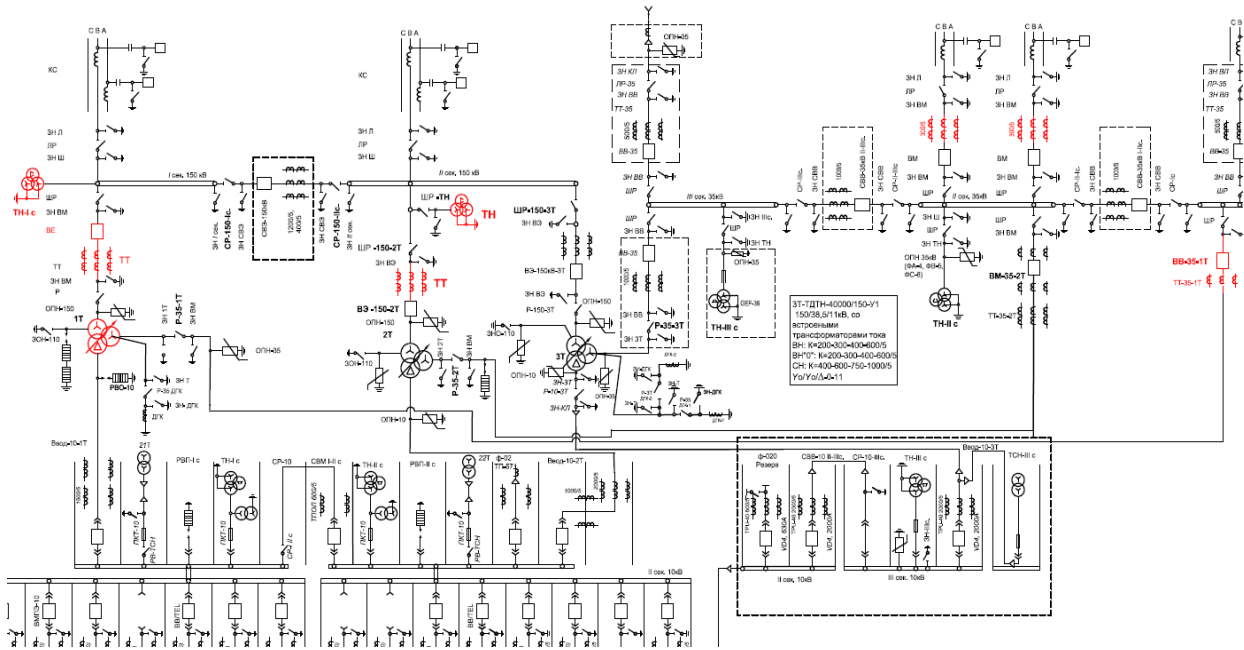


Рис. 3. Фрагмент однорідної схеми підстанції 150/30/10 кВ.
Червоним кольором позначено замінене обладнання

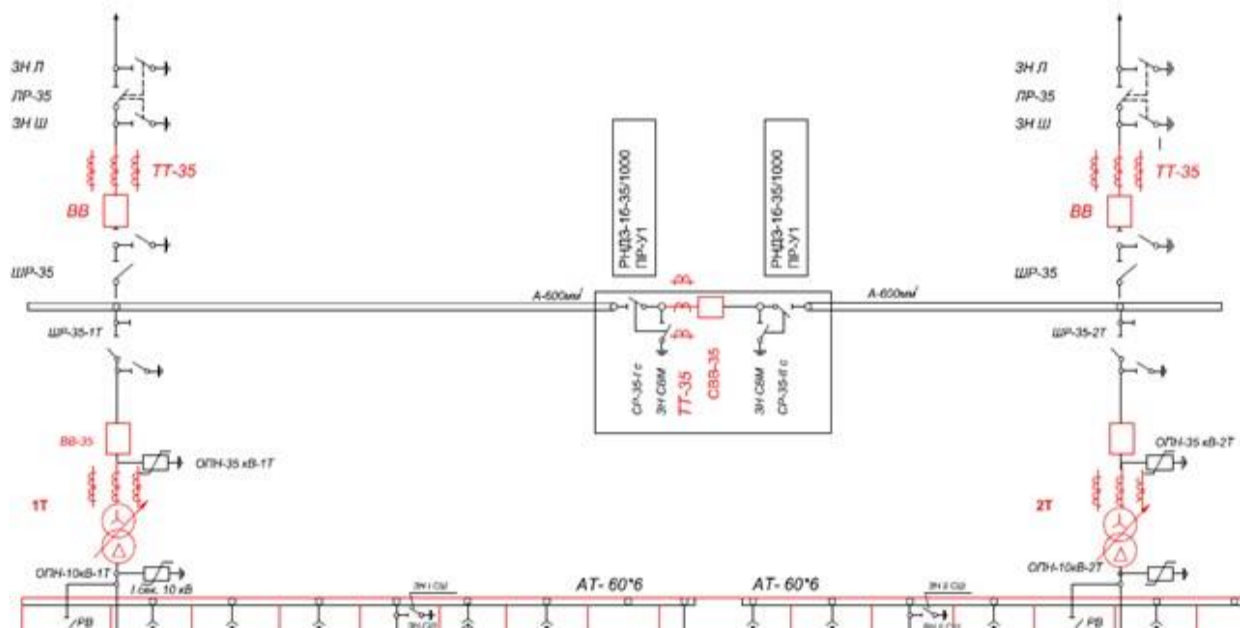


Рис. 4. Фрагмент однолінійної принципової схеми підстанції 35/10 кВ.
Червоним кольором виділене змінне обладнання

Такі підключення надають змогу резервувати електроживлення окремих населених пунктів та територій.

Важливим аспектом забезпечення стабільного електропостачання є підтримання навантаження у штатному режимі. Це вимагає, у разі потреби, вимкнення окремих гілок силової мережі. На електростанціях 150/35/10 кВТ у штатному режимі роботи відсутній персонал. Тому неможливе оперативне відключення у разі потреби.

З метою оперативного реагування на нештатні ситуації було впроваджено телекомунікаційне обладнання дистанційного керування роботою підстанції (рис. 5).



Рис. 5. Телекомунікаційна шафа дистанційного керування роботою підстанцій

Застосування такого обладнання дозволяє у режимі реального часу здійснювати підтримання електромережі у збалансованому стані. Для надійної роботи дистанційного автоматичного управління режимами роботи мережі шляхом перемикачів комутаційних апаратів було замінено застарілі оливні перемикачі, не здатні працювати в системі дистанційного

управління на сучасні вакуумні та елегазові. Ще однією актуальною задачею є відновлення трансформаторів. Частина з них зазнала пошкоджень без виникнення пожежі (рис. 6). У цьому випадку крім фізичного ремонту – ліквідації витікання оливи, необхідне її відновлення. Це здійснюється з використанням оригінальної дегазаційної установки (рис. 7).



Рис. 6. Трансформатори з ушкодженими контурами охолодження



Рис. 7. Дегазаційна установка для відновлення трансформаторної оливи

Застосування такої установки дозволяє здійснити дегазацію, висушування та фільтрацію трансформаторної оливи. Процес безпечний для довкілля і повністю відновлює діелектричні властивості трансформаторної оливи, охолоджувальну здатність та текучість, підвищує стабільність до окислення, виключаючи контакт з повітря у процесі регенерації. Такий процес дозволяє повторно використовувати відпрацьовану оливу, економлячи кошти та природні ресурси.

Задачі підвищення надійності електричних мереж, особливо під час військового стану, ще далекі від остаточного вирішення. Але запропоновані заходи дозволяють не тільки відновлювати ушкоджене обладнання і електромережі, а й впроваджувати сучасні технологічні рішення, що підвищують надійність, безпеку та ефективність енергопостачання.

Висновки

1. На прикладні найбільш поширених електричних підстанцій і мереж електроживлення проаналізовано й сформульовано основні задачі підвищення стабільності електрозабезпечення регіону. Показана необхідність часткової модернізації обладнання та впровадження дублювання енергетичних потоків.

2. Розроблено принципову схему модернізації енергопостачання й виявлено перелік обладнання, яке підлягає заміні – трансформатори струму, перемикачі напруги. Заміна оливних перемикачів на елегазові й вакуумні дозволяє застосовувати дистанційне керування об'єктом для оперативного керування енергомережею. Розроблено й впроваджено телекомунікаційне обладнання, яке дозволяє у режимі реального часу контролювати енергетичні потоки та своєчасно вимикати та вмикати обладнання підстанцій, на яких постійна присутність персоналу не передбачено.

3. Частину обладнання електричних підстанцій можливо відновити. У першу чергу це трансформатори, які зазнали пошкоджень без виникнення пожежі. Після ліквідації витікання трансформаторної оливи вона регенерувалася за допомогою оригінальної дегазаційної установки. У процесі регенерації відбувається дегазація, осушування та фільтрація оливи. У результаті відновлюються охолоджувальна властивість, текучість та діелектрична проникність оливи. Підвищується стійкість до окислення та стабільність оливи, виключаючи контакт з повітрям у процесі регенерації.

Конфлікт інтересів

Автори декларують, що не мають конфлікту інтересів стосовно даного дослідження, в тому числі фінансового, особистісного характеру, авторства чи іншого характеру, що міг би вплинути на дослідження та його результати, представлені в даній статті.

Використання засобів штучного інтелекту

Автори підтверджують, що не використовували технології штучного інтелекту при створенні представленої роботи.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Papaika, Y., Lysenko, O., Bublikov, A., & Olishevskiy, I. (2021). Problems of electromagnetic compatibility of powerful energy associations during mass connection of renewable energy sources. *Electrical Engineering and Power Engineering*, (1), 34–45. <https://doi.org/10.15588/1607-6761-2021-1-4>
2. Інтелектуальні електричні мережі: елементи та режими: за заг. ред. акад. НАН України О.В. Кириленка/ Інститут електродинаміки НАН України. – К.: Ін-т електродинаміки НАН України, 2016. – 400 с, URL: <https://www.old.nas.gov.ua/UA/Book/Pages/default.aspx?BookID=0000009008>
3. І.В. Жежеленко, Ю.А. Папаїка, О.Г. Лисенко, К.С. Родна. Застосування індивідуальних графіків вищих гармонік в задачах електромагнітної сумісності та енергоефективності гірничих підприємств. *Гірничая електромеханіка та автоматика*. – 2019. – No 101. – С. 3-7. URL: <https://gea.nmu.org.ua/ua/ntz/archive/101.pdf>
4. І.В. Жежеленко, Ю.А. Папаїка, О.Г. Лисенко. Оцінка енергетичної ефективності систем електропостачання за допомогою індексу надійності. *Гірничая електромеханіка та автоматика*. – 2018. – No 100. – С. 25-30, URL: <https://gea.nmu.org.ua/ua/ntz/archive/100.pdf>
5. Ghorbani, M. J., & Mokhtari, H. (2015). Impact of Harmonics on Power Quality and Losses in Power Distribution Systems. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, 5(1), 166–174. DOI: <http://doi.org/10.11591/ijece.v5i1.pp166-174>
6. Zhezhenko, I. V., & Nesterovych, V. V. (2017). Оцінка втрат електричної енергії, що викликані зниженням її якості. *Вісник Приазовського ДТУ. Серія: Технічні науки*, (34), 119–126. <https://doi.org/10.31498/2225-6733.34.2017.105674>
7. Г.Г. Півняк, І.В. Жежеленко, Ю.А. Папаїка. Енергетична ефективність систем електропостачання.– Д.: НТУ «ДП», 2018. – 149 с. URL: <https://ir.nmu.org.ua/entities/publication/89696801-38ee-481b-8756-f1e3b4f0d9a7>
8. Papaika, Y., Lysenko, O., Koshelenko, Y. and Olishevskiy, I.. 2021. Mathematical modeling of power supply reliability at low voltage quality. *Naukovyi Visnyk NUN*, (2), pp.97-103. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2021-2/097>
9. ДСТУ EN 50160:2023 Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загальної призначеності (EN 50160:2022, IDT), URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=106226

Received (Надійшла) 04.01.2026

Accepted for publication (Прийнята до друку) 15.04.2026

Publication date (Дата публікації) 22.05.2026

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ / ABOUT THE AUTHORS

Бурдейна Наталія Борисівна – доктор технічних наук, професор, професор кафедри фізики, Київський національний університет будівництва та архітектури, Київ, Україна;

Nataliia Burdeina – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Physics, Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine;

e-mail: burdeina.nb@knuba.edu.ua; ORCID Author ID: <https://orcid.org/0000-0002-2812-1387>;

Scopus Author ID: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57220047954>.

Осадчий Дмитро Борисович – аспірант кафедри технологій захисту навколишнього середовища та охорони праці, Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна;

Dmytro Osadchyi – PhD student at the Department of Environmental Protection Technologies and Labour Protection, Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine;

e-mail: osadchyi_db-2023@knuba.edu.ua; ORCID Author ID: <https://orcid.org/0009-0002-9977-8738>;

Scopus Author ID: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=59413002900>

Means of improving the reliability and efficiency of power supply systems

Nataliia Burdeina, Dmytro Osadchyi

Abstract. A list and content of organisational and technical measures to improve the stability of electricity supply in the region have been determined. The study was carried out using the example of the most common 150/35/10 kV electrical substations. The need to replace standard equipment and equipment damaged as a result of terrorist attacks has been determined. Single-line diagrams of substations have been developed to ensure backup power supply to consumers. Some electrical equipment, such as current transformers, needs to be replaced to increase the maximum load and control the facility in real time. There is no permanent staff at electrical substations with voltages of 150–10 kV. Therefore, telecommunications equipment has been installed for operational load control in cases of energy flow imbalances. Such equipment allows for remote switching of loads. This minimises the risk of power equipment failure in the event of an emergency. As part of a set of measures to restore and regulate the power supply, it is proposed to repair transformers that have not caught fire. After the physical elimination of leaks, the transformer oil is regenerated using the original degassing unit. This process allows the transformer oil to be reused. The unit degasses, dries and filters the oil. The process is environmentally safe and restores the dielectric properties, cooling capacity and fluidity of the oil. At the same time, it increases resistance to oxidation caused by contact with air during the oil regeneration process. These measures increase the stability of the power supply system and improve its stability in cases of forced shutdowns to balance the integrated energy system of Ukraine.

Keywords: power supply, stability, transformer substation, backup.