

ОМЕЛЯНЕНКО ГАЛИНА ВІКТОРІВНА – кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри передачі електричної енергії, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3276-5476>; e-mail: omeljanenkhalina@gmail.com.

ЧЕРКАШИНА ВЕРОНІКА ВІКТОРІВНА – доктор технічних наук, доцент, професор кафедри передачі електричної енергії, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5639-9722>; e-mail: veronika2473@gmail.com.

МАКАРОВ АНТОН ОЛЕКСАНДРОВИЧ ✉ – аспірант кафедри передачі електричної енергії, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-6181-3822>; e-mail: ant.makarov1997@gmail.com.

ДОСЛІДЖЕННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ НАКОПИЧУВАЧІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ УКРАЇНИ

Проведено дослідження, яке дозволило обґрунтувати доцільне застосування накопичувачів електричної енергії в електричних мережах України. Актуальність цього дослідження обумовлено впровадженням в електричні мережі України відновлювальних джерел енергії, що сприяє необхідності в акумулюванні електричної енергії. Для знаходження шляхів реалізації цієї проблеми виконано аналіз маховикових, надпровідникових індуктивних накопичувачів електричної енергії, акумуляторів великої потужності та суперконденсаторів. Розглянуто їх особливості роботи, переваги та недоліки. З аналізу переваг, недоліків та особливостей роботи накопичувачів електричної енергії слідує, що доцільно визначити оптимальну сферу застосування для кожного з них та виявити їх відповідність існуючій в електричних мережах проблемі. Проведений аналіз дозволив це зробити і обґрунтувати оптимальну сферу застосування кожного виду накопичувача, а також виявити їх відповідність віршувальній в електричних мережах проблемі. Для підвищення енергоефективності мережі за рахунок оптимізації процесів виробництва і споживання електроенергії розроблені схеми підключення накопичувачів електричної енергії, а саме схема, яка враховує категорії надійності споживачів та схема, яка враховує наявність в мережах відновлювальних джерел енергії. Запропоновані схеми підключення накопичувачів електричної енергії дозволяють відмовитися від великих резервних генеруючих електростанцій при збереженні режимної надійності мережі. Для застосування доцільного виду накопичувача електричної енергії під час вирішення тієї чи іншої проблеми сформовано структурну модель відповідності виду накопичувача вирішуваній проблемі. Застосування сформованої структурної моделі дозволить покращити показники якості електричної енергії, режимної надійності мережі та енергоефективності електричної системи в цілому.

Ключові слова: відновлювальні джерела енергії; електрична енергія; електрична мережа; енергоефективність; надійність; накопичувач енергії; якість електричної енергії.

Вступ. Впровадження в електричні мережі (ЕМ) України відновлювальних джерел енергії (ВДЕ) обумовлює необхідність в акумулюванні електричної енергії. Одним із напрямків вирішення цього питання є впровадження в ЕМ накопичувачів електричної енергії (НЕЕ). Завданням НЕЕ являється вирівнювання навантаження в ЕМ в періоди максимального та мінімального споживання електричної енергії (ЕЕ).

НЕЕ впливають на функціонування ЕМ. Вони накопичують ЕЕ в періоди мінімального споживання, а відпускають її під час максимального споживання. Тобто, вони мають здатність розділяти у часі виробництво і споживання ЕЕ, що покращує режимну надійність ЕМ і обумовлює один із перспективних напрямів розвитку ЕМ України. Системи накопичення енергії є особливо необхідними для інтеграції об'єктів «зеленої» енергетики в енергосистему України, оскільки сприяють надійності виконання планового графіку видачі потужності в ЕМ [1].

Постановка проблеми. В ЕМ України для зберігання електричної існують гідроакумулюючі електростанції (ГАЕС), які впроваджені ще під час масової електрифікації в 60–70 роках минулого століття. Але, на сьогодні технології накопичення електричної енергії вийшли на новий рівень. НЕЕ створюються на основі передових технологій системи накопичення електричної енергії. Їх застосування в ЕМ

України дозволить покращити керування сталими та перехідними режимами роботи ЕМ, що позитивно відобразиться на показниках якості електричної енергії і підвищить режимну надійність і енергоефективність ЕМ.

Також, слід звернути увагу, що на сьогодні в Об'єднаній енергосистемі України існує значний дефіцит маневреної потужності, який виник в результаті воєнної агресії російської федерації і єдиний тип накопичувачів енергії, що використовується в ній, це ГАЕС, ємності яких недостатньо для забезпечення її стійкості.

У 2020 р. в місті Енергодар, на території Запорізької ТЕС, компанія ДТЕК запустила першу в Україні промислову літій-іонну систему накопичення енергії потужністю 1 МВт і ємністю 2,25 МВт·г. Цей проєкт дозволяє знайти оптимальну модель роботи систем НЕЕ відповідно до сфер енергоринку держави [2]. Але, на жаль, місто Енергодар знаходиться під окупацією російської федерації, тому оцінювати цей проєкт на сьогодні неможливо.

Таким чином, питання доцільності впровадження НЕЕ в ЕМ України являються актуальними і потребують додаткових досліджень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В останній період значно зросла індустрія накопичення енергії. Середньорічні темпи зростання склали близько



47%. За даними Clean Horizon Consulting, у 2020 році в Європі за масштабами систем НЕЕ лідирували [3]:

- Великобританія — з об'ємом 850 МВт встановленої потужності і 1894 МВт анонсованої потужності;
- Німеччина — 428 МВт і 109 МВт встановленої і анонсованої потужності відповідно;
- Франція — 137 МВт і 248 МВт встановленої і анонсованої потужності відповідно.

За прогнозами Bloomberg NEF, до 2030 року світовий ринок накопичення енергії зростатиме щорічно на 21 % до 137 ГВт/442 ГВт·год і 2040 року потужності систем накопичення енергії у світі перевищать 1 ТВт [4].

Використання накопичувачів енергії дозволяє відмовитися від великих резервних генеруючих електростанцій за умови збереження надійності ЕМ та може призвести до зниження вартості ЕЕ. В період з 1997 р. по 2017 р. встановлена потужність систем зберігання енергії у світі збільшилася на 70 % і досягла 170 ГВт [5]. Спеціалісти Міжнародного агентства з відновлюваної енергетики вважають, що основними драйверами подальшого зростання потужності накопичувачів енергії є широке впровадження вітрових та сонячних електростанцій [5]. Порівнюючи з 2017 р. потужності НЕЕ в залежності від темпів зростання ВДЕ зростуть у 2030 р. на 42–68 % [5].

Це питання досліджується багатьма українськими вченими, що знайшло своє відображення в наукових працях, серед яких [6–8]. В публікаціях цих та інших науковців України акцентовано увагу, що впровадження НЕЕ дозволить створювати розгалужену мережу систем накопичення, яка зможе максимально швидко і ефективно адаптуватись до змін в ЕМ, за рахунок вирівнювання генерації та споживання, але це збільшує загальну економічну ефективність проекту з використанням НЕЕ.

Мета статті. Дослідити доцільність застосування накопичувачів електричної енергії в електричних мережах України для розроблення структурної моделі відповідності виду накопичувача вирішуваним в мережі проблемі, що дозволить покращити показники якості електричної енергії і режимну надійність та енергоефективність мережі за рахунок оптимізації процесів виробництва і споживання електроенергії.

Аналіз основних видів накопичувачів електричної енергії та їх особливостей. До основних видів накопичувачів електричної енергії, що випускаються промисловістю, належать: маховики (кінетичні); суперконденсатори, надпровідникові індуктивні накопичувачі (НПНЕ), акумуляторні батареї великої потужності. [9].

Маховикові НЕЕ. Принцип дії маховикового НЕЕ заснований на перетворенні кінетичної енергії в електричну та в зворотньому напрямку.

Конструкція маховикового накопичувача складається з:

- приводу (асинхронні машини, реактивні електричні машини чи машини з постійними магнітами на роторі);

- маховика (виготовляється зі сталі або композитних матеріалів (скловолокно, карбон)), поміщений у вакуумований кожух;
- опорних підшипників (механічні, магнітні чи змішані).

Принцип роботи накопичувача:

- в режимі заряджання електроенергія подається до статорної обмотки через двонаправлений інвертор, що спричиняє зростання обертового моменту і, відповідно, підвищення швидкості обертання маховика.

- в режимі розряджання обертова кінетична енергія створює гальмівний (генераторний) момент на валу, внаслідок чого в обмотці статора виникає електрична напруга. Ця напруга за допомогою інвертора перетворюється на змінний струм із потрібними характеристиками.

Для зменшення втрат через тертя в корпусі накопичувача створюється вакуум, в якості підшипників використовується магнітне поле (працює без тертя). Розрізняють два типи маховикових НЕЕ: високошвидкісні та низькошвидкісні.

До основних переваг маховикових НЕЕ відносяться:

- висока надійність та ефективність;
- великий термін експлуатації (15–20 років);
- високий ККД (90–95 %);
- швидкість та велика кількість циклів «заряд-розряд» (від 10 000 до 100 000);
- щодо низька вартість;
- екологічність.

Недоліки:

- високі втрати на холостому ходу;
- необхідність технічного обслуговування магнітних підшипників;
- вірогідність відмови під впливом зовнішніх факторів.

До недоліків можна зарахувати відносно високі постійні втрати [8].

Суперконденсатори. Суперконденсатори – це вдосконалені конденсатори, які працюють на постійній напрузі, що мають високу щільність заряду завдяки подвійному електричному шару на межі розділу електрода та електроліту. Велика ємність суперконденсаторів, яка сягає кількох фарад, дозволяє накопичувати значну енергію, яка віддається у потрібний момент як великих струмів. Суперконденсатори відносяться до накопичувачів короткого часу, вони компактні, прості та мають набагато більший термін служби, ніж у звичайних конденсаторів.

До основних переваг суперконденсаторів відносяться:

- дуже висока густина ємності;
- великий термін експлуатації;
- високий ККД (95 % та вище);
- висока питома енергія та питома потужність;
- безперебійна експлуатація;
- висока швидкість заряду та розряду

- низька токсичність матеріалів.

Вони можуть працювати в широкому діапазоні температур (від -40°C до $+65^{\circ}\text{C}$) [8].

До недоліків можна віднести відносно низьку питому енергоємність, високий саморозряд, низьку напругу комірки, високу вартість.

Надпровідникові індуктивні НЕЕ (НПІНЕЕ).

НПІНЕЕ це спеціальний термос для зберігання холодних рідин, ізолюючий обмотки котушки, що знаходиться всередині, від притоку тепла зовні; із нержавіючої сталі.

До основних переваг НПННЕЕ відносяться:

- висока щільність енергії, що запасється (до 400 МДж/см³);
- постійна готовність до роботи з часом реакції 1–2 мс;
- необмежений час зберігання енергії;
- відсутність перетворення одного виду енергії на інший;

- високий ККД (до 97 %)
- висока надійність.

До недоліків відносяться:

- дуже висока вартість;
- небезпека викиду рідкого азоту та гелію у навколишнє середовище при аварійній втраті надпровідності.

Акумулятори великої потужності (АВ). АВ – це два або більше акумуляторів (елементів), з'єднаних між собою та використовуваних як джерело електричної енергії. У процесі заряду АВ електроенергія електрохімічним шляхом перетворюється на хімічну. При розряді накопичена енергія вивільняється у процесі зворотної реакції. Найбільш поширеними є свинцево-кислотні, нікель-кадмієві та літій-іонні види батарей.

До основних переваг АБ належать:

- низька вартість свинцево-кислотних акумуляторів;
- висока енергоємність нікель-кадмієвих та літій-іонних акумуляторів;
- швидке введення в роботу;
- Висока надійність.

До недоліків відносяться:

- мала енергоємність, низька кількість циклів заряду/розряду у свинцево-кислотних акумуляторів;
- «ефект пам'яті» – різке падіння енергоємності при неповному розряді або заряді у нікель-кадмієвих акумуляторів;
- низький порівняно з іншими типами накопичувачів енергії ККД (65–70 %);
- обмежена кількість зарядно-розрядних циклів (не більше 500);
- малий час зберігання енергії;
- негативний екологічний вплив під час утилізації.

Розроблення схеми підключення накопичувача електричної енергії. Після виявлення відповідності виду НЕЕ вирішуваній проблемі, що забезпечує найбільший ефект, необхідно визначати принципову схему включення НЕЕ в мережу, тип та характеристики НЕЕ, виходячи з особливостей завдання.

При провалах та тимчасових перевищеннях напруги необхідно визначити потужність перешкоди та за її величиною вибрати необхідну потужність НEE. Найбільш ефективним видом НEE для скорочення тривалості та величини провалів та тимчасових перевищеннях напруги є суперконденсатори.

Застосування суперконденсаторів дозволяє скорочувати тривалість провалів та тимчасових перевищень більш ніж на 50 %, а величину провалів та тимчасових перевищень – до 10 %. Місце кращого включення суперконденсаторів – клема приводів високовольтних вимикачів або вторинні збирання розподілу електроенергії між приводами.

Принципова схема використання НЕЕ для безперебійного електропостачання споживачів наведена рис 1.

Для кожного конкретного випадку потужність НЕЕ (рис. 1) визначається як різниця між номінальною потужністю джерел генерації і потужністю, необхідною споживачам під час відключення основного джерела енергії. Якщо потужності НЕЕ буде достатньо, він може забезпечити живлення всіх споживачів. Якщо потужності буде недостатньо, автоматичне частотне регулювання відключить III категорію, за необхідності II категорію, і НЕЕ забезпечуватиме живлення споживачів I категорії.

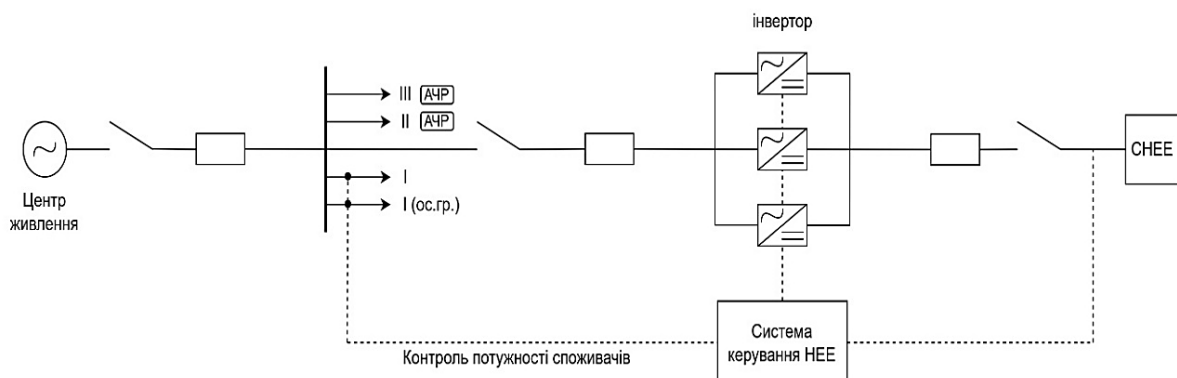


Рисунок 1 – Схема підключення НЕЕ

За таких умов слід зауважити, що основним завданням НЕЕ являється забезпечення балансу потужності електростанцій на ВДЕ та навантаження. Використання НЕЕ дозволяє відмовитися від великих резервних генеруючих електростанцій при збереженні надійності ЕМ та може призвести до зниження вартості електроенергії.

Спеціалісти Міжнародного агентства з відновлюваної енергетики вважають, що основними драйверами подальшого зростання потужності накопичувачів енергії є широке впровадження вітрових та сонячних електростанцій [5]. При цьому глобальні потужності накопичувачів в залежності від темпів зростання відновлюваних джерел енергії згідно з прогнозами зростуть у 2030 р. в порівнянні з 2017 р. на 42–68 % (при помірному зростанні) та на 155–227 % (при швидкому) [5].

Схема підключення НЕЕ до ЕМ з ВДЕ представлено на рис 2.

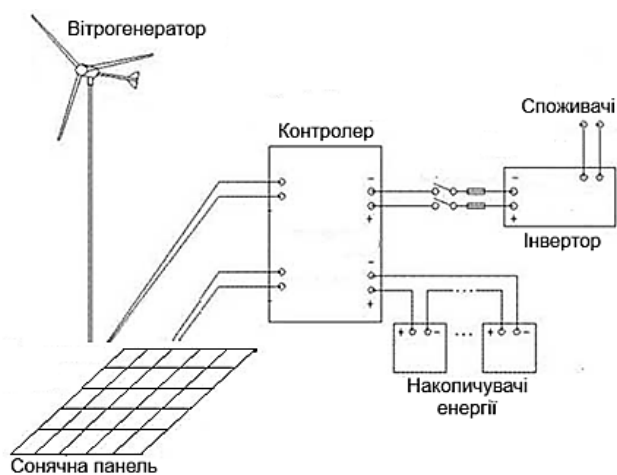


Рисунок 2 – Підключення накопичувачів електроенергії до ЕМ з ВДЕ

При використанні НЕЕ спільно з ВДЕ, встановлена потужність НЕЕ повинна бути розрахована як різниця між встановленою потужністю, що генерується ВДЕ та мінімальною потужністю навантаження [10].

Формування структурної моделі відповідності виду накопичувача вирішуваній проблемі в ЕМ. Застосування НЕЕ дозволяє ефективно вирішувати низку проблем, таких як провали та тимчасові перевищення напруги, нерівномірність графіків електричних навантажень, у тому числі коливання навантаження, відхилення частоти, низька надійність електропостачання.

Проаналізуємо ці проблеми детальніше для формування структурної моделі.

Провал напруги – це тимчасове зменшення напруги в конкретній точці електричної системи нижче встановленого порогового значення та економічні збитки.

Причинами провалів напруги можуть бути: пускові струми при старті потужних електродвигунів та

генераторів, короткі замикання в електричній мережі, раптові наचерки навантаження, комутації мережного обладнання, кліматичні дії.

Тимчасове перевищення напруги – динамічне короткочасне (не менше 0,01 с) відхилення напруги з подальшим поверненням до вихідного значення.

Серед можливих наслідків коливань напруги – мерехтіння освітлення, зношування контактів та ізоляції, пошкодження приладів. Причинами тимчасових перевищень напруги може бути різке зміна навантаження, пошкодження електричних мереж, процеси комутації та інших.

Нерівномірність графіків навантаження ЕМ обумовлена технологічними процесами промислових підприємств, зростанням побутового навантаження в ранкові та вечірні години та значним спадом у денний та нічний час. Нерівномірність графіків навантажень призводить до низки негативних наслідків, у тому числі найбільш виражені: зниження надійності електропостачання, різке підвищення навантаження на генеруючі установки, скорочення термінів експлуатації устаткування й збільшення експлуатаційних витрат.

Відхилення значення основної частоти напруги електроживлення від номінального значення в межах, встановлених ДСТУ EN 50160:2023, виникає при дефіциті потужності, що генерується, або її надлишку [11]. У разі неприпустимих відхилень частоти страждають, передусім, електродвигуни. При зниженні частоти відбувається уповільнення ротора двигуна, що веде до зниження ефективності його роботи, при збільшенні частоти - до перегріву та підвищеного зношування через збільшення швидкості обертання, що значно знижує термін служби двигунів.

Зазначені проблеми можна вирішувати не лише традиційними способами, а й за допомогою НЕЕ, що дозволить суттєво підвищити режимну надійність та енергоефективність ЕМ.

На рис. 3 представлено сформовану структурну модель відповідності виду накопичувача вирішуваній проблемі в ЕМ.

Застосування цієї моделі не суперечить Енергетичної стратегії України на період до 2050 року, ключовими принципами якої є економічна обґрунтованість, екологічність, доступність, соціальна справедливість та ринковість [12].

Місією Енергетичної стратегії України до 2050 року [12] є створення умов для сталого розвитку національної економіки через забезпечення доступу до надійних, стійких і сучасних джерел енергії.

Відповідно до [12] енергетичний сектор України має бути максимально наближений до кліматичної нейтральності. Це означатиме наявність чистої енергії, подолання енергетичної бідності, розвиток інноваційної та децентралізованої енергосистеми, повноцінне функціонування національних енергетичних ринків і їх інтеграцію в міжнародні.

Таким чином, спираючись на рис. 3, під час виникнення тієї чи іншої проблеми існують НЕЕ, які дозволяють її енергоефективно вирішення.

4. Nsitem N. Global energy storage market records biggest jump yet. *BloombergNEF*. URL: <https://about.bnef.com/insights/clean-energy/global-energy-storage-market-records-biggest-jump-yet/>.
5. International Renewable Energy Agency. *Electricity Storage and Renewables: Costs and Markets to 2030*. Abu Dhabi, 2017. 131 p. URL: <https://www.irena.org/Publications/2017/Oct/Electricity-storage-and-renewables-costs-and-markets>.
6. Малогулко Ю. В., Ластівка В. Б. Дослідження сучасних технологій систем накопичення енергії. *Znanstvena misel journal*. 2022. № 65. С. 65–68.
7. Болотний М. П., Лоєнко Ю. Г., Кармазін О. О. Застосування систем накопичення енергії для задач керування режимами ЕЕС України: стан та перспективи розвитку. *Відновлювальна енергетика*. 2023. № 3(70). С. 28–35. DOI: [https://doi.org/10.36296/1819-8058.2022.3\(70\).28-35](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2022.3(70).28-35).
8. Дерій В. Накопичувачі електричної енергії. *Системні дослідження в енергетиці*. 2023. № 1(72). С. 12–24. DOI: <https://doi.org/10.15407/srenergy2023.01.012>.
9. Сінчук І. О., Бойко С. М. Системи накопичення електричної енергії: підручник. Кривий Ріг, 2020. 219 с.
10. Кузнецов М. П. Особливості комбінованих енергосистем з відновлюваними джерелами енергії: монографія. Київ: IBE, 2022. 142 с.
11. ДСТУ EN 50160:2023. Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загальної призначеності. Чинний від 2023-12-08. Вид. офіц.
12. Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2050 року: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 21.04.2023 № 373-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/373-2023-p#Text>.
3. A. Poliak. “Systemy nakopychennia enerhii: Chy ye maibutnie v Ukraini?” [Energy storage systems: Do they have a future in Ukraine?]. *EcoPolitic*. [Online]. Available: <https://ecopolitic.com.ua/ua/news/sistemi-nakopychennya-enerhii-chi-ye-maibutnie-v-ukraini/> (in Ukrainian)
4. N. Nsitem. “Global energy storage market records biggest jump yet.” *BloombergNEF*. [Online]. Available: <https://about.bnef.com/insights/clean-energy/global-energy-storage-market-records-biggest-jump-yet/>
5. International Renewable Energy Agency, *Electricity Storage and Renewables: Costs and Markets to 2030*. Abu Dhabi, 2017. [Online]. Available: <https://www.irena.org/Publications/2017/Oct/Electricity-storage-and-renewables-costs-and-markets>
6. Y. Malogulko and V. Lastivka, “The power energy modern storage systems technology research”, *Znanstvena misel journal*, no. 65, pp. 65–68, 2022. (in Ukrainian)
7. N. Bolotnyi, Y. Loienko, and O. Karmazin, “Energy storage systems application for operation management problems in electric power system of Ukraine. Status and development prospects”, *Vidnovluvalna enerhetika*, no. 3(70), pp. 28–35, Jan. 2023m doi: [https://doi.org/10.36296/1819-8058.2022.3\(70\).28-35](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2022.3(70).28-35) (in Ukrainian)
8. V. Derii, “Electric energy storages”, *System Research in Energy*, no. 1(72), pp. 12–24, Apr. 2023, doi: <https://doi.org/10.15407/srenergy2023.01.012> (in Ukrainian)
9. I. O. Sinchuk and S. M. Boiko, *Systemy nakopychennia elektrychnoi enerhii [Electric energy storage systems]*. Kryvyi Rih, 2020. (in Ukrainian)
10. M. P. Kuznietsov, *Osoblyvosti kombinovanykh enerhosystem z vidnovliuvanyymi dzherelamy enerhii [Features of combined energy systems with renewable energy sources]*. Kyiv: IVE, 2022. (in Ukrainian)
11. *Voltage Characteristics of Electricity Supplied by Public Electricity Networks*, DСТU EN 50160:2023, DP «Ukrainskyi naukovodoslidnyi i navchalnyi tsentr problem standartyzatsii, sertyfikatsii ta yakosti» (DP «UkrNDNTs»).
12. Ukraine, Cabinet of Ministers of Ukraine. (2023, Apr. 21). *Decree of the Cabinet of Ministers of Ukraine no. 373-r, Pro skhvalennia Enerhetichnoi stratehii Ukrainy na period do 2050 roku [On approval of the Energy Strategy of Ukraine until 2050]*. [Online]. Available: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/373-2023-p#Text> (in Ukrainian)

References

1. Ukraine, Verkhovna Rada of Ukraine. (2022, Feb. 15). *Zakon Ukrainy no. 2046-IX, Pro vnesennia zmin do deiakykh zakoniv Ukrainy shchodo rozvytku ustanovok zberihannia enerhii [On amendments to certain laws of Ukraine regarding the development of energy storage facilities]*. [Online]. Available: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2046-20#Text> (in Ukrainian)
2. “DTEK officially launches Ukraine’s first industrial energy storage system.” DTEK. [Online]. Available: <https://dtek.com/media-center/news/dtek-zapustil-pervuyu-v-ukraine-promyshlennuyu-sistemu-nakopleniya-enerhii/> (in Ukrainian)

Надійшла (received) 17.06.2025

UDC 621.31:621.355

OMELIANENKO HALYNA – Candidate of Technical Sciences (PhD), Docent, Professor of the Department of Electric Power Transmission, National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”; Kharkiv, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3276-5476>; e-mail: omeljanenkhalina@gmail.com.

CHERKASHYNA VERONIKA – Doctor of Technical Sciences, Docent, Professor of the Department of Electric Power Transmission, National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”; Kharkiv, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5639-9722>; e-mail: veronika2473@gmail.com.

MAKARON ANTON ✉ – Postgraduate Student of the Department of Electric Power Transmission, National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”; Kharkiv, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-6181-3822>; e-mail: ant.makarov1997@gmail.com.

THE APPROPRIATENESS OF USING ELECTRICAL ENERGY STORAGE SYSTEMS TO INCREASE THE RELIABILITY OF UKRAINIAN ELECTRICAL NETWORKS

A study was conducted that allowed to substantiate the expedient use of electric energy storage devices in the electrical networks of Ukraine. The relevance of this study is due to the introduction of renewable energy sources into the electrical networks of Ukraine, which contributes to the need for the accumulation of electric energy. To find ways to solve this problem, an analysis of flywheel, superconducting inductive electric energy storage devices, high-capacity batteries, and supercapacitors was performed. Their operating features, advantages, and disadvantages were considered. From the analysis of the advantages, disadvantages, and features of the operation of electrical energy storage devices, it follows that it is advisable to determine the optimal scope of application for each of them and identify their correspondence to the problem existing in electrical networks. The analysis made it possible to do this and justify the optimal scope of application of each type of storage device, as well as to identify their compliance with the problem of power supply in electrical networks. To increase the energy efficiency of the network by optimizing the processes of electricity production and consumption, schemes for connecting electrical energy storage devices have been developed, namely a scheme that takes into account the reliability categories of consumers and a scheme that takes into account the presence of renewable energy sources in the networks. The proposed schemes for connecting electrical energy storage devices allow for the elimination of large backup generating power plants while maintaining the operational reliability of the network. To apply an appropriate type of electric energy storage device when solving a particular problem, a structural model of the correspondence of the type of storage device to the problem being solved has been formed. The application of the formed structural model will allow improving the quality of electric energy, the operational reliability of the network and the energy efficiency of the electric system as a whole.

Keywords: renewable energy sources; electric energy; electric grid; energy efficiency; reliability; energy storage; electric energy quality.