

ОБЕРЕМОК ДМИТРО ОЛЕКСАНДРОВИЧ ✉ – аспірант кафедри електропостачання та енергетичного менеджменту, Державний біотехнологічний університет; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-1031-5421>; e-mail: dimaoberepok1992@gmail.com.

МІРОШНИК ОЛЕКСАНДР ОЛЕКСАНДРОВИЧ – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри електропостачання та енергетичного менеджменту, Державний біотехнологічний університет; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6144-7573>; e-mail: omiroshnyk@btu.kharkiv.ua.

МОРОЗ ОЛЕКСАНДР МИКОЛАЙОВИЧ – доктор технічних наук, професор, професор кафедри електропостачання та енергетичного менеджменту, Державний біотехнологічний університет; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8520-9211>; e-mail: moroz.an@btu.kharkiv.ua.

КАМИШЛОВ ВІТАЛІЙ ГЕОРГІЙОВИЧ – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри енергетичних систем та бізнес-аналітики, Західноукраїнський національний університет; м. Тернопіль, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-6839-7890>; e-mail: v.kamyshlov@wunu.edu.ua.

ПОДОБАЙЛО ВІТАЛІЙ ГНАТОВИЧ – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри енергетичних систем та бізнес-аналітики, Західноукраїнський національний університет; м. Тернопіль, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-2867-408X>; e-mail: v.podobailo@wunu.edu.ua.

ЗАСТОСУВАННЯ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ ТА СИСТЕМ ЗБЕРІГАННЯ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ БАЛАНСУВАННЯ ПОТУЖНОСТІ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ

Сучасний розвиток відновлюваних джерел енергії створює проблеми при балансуванні електроенергетичної системи. Одним із ефективних рішень цієї проблеми є впровадження мережевих систем накопичення енергії на основі акумуляторних батарей, які можуть встановлюватися безпосередньо біля споживачів або на підстанціях у вузлових точках навантаження. Перевагами таких накопичувачів є модульна структура, компактність, висока функціональна гнучкість, широкі можливості автоматизації управління, а також простота інтеграції в інтелектуальні електричні мережі. При дослідженні проблеми балансування енергетичної системи за умов значної частки відновлюваних джерел енергії встановлено, що нестабільність їхньої генерації може компенсуватися за допомогою систем накопичення енергії. Підтримка балансу попиту та генерації є необхідною умовою для забезпечення надійної та стабільної роботи мереж. Підключення потужних відновлюваних джерел енергії може впливати на втрати в електричних мережах – зазвичай зростають втрати електроенергії при передачі та погіршується її якість. Тому ці аспекти повинні ретельно враховуватися вже на етапі формування технічних умов в локальних електричних мережах. Рекомендується паралельно з будівництвом нових відновлюваних джерел енергії та систем накопичення енергії проводити модернізацію відповідних електричних мереж із впровадженням інтелектуальних технологій, наближаючи їх до концепції «Smart Grid». Основний ефект від впровадження накопичувачів у мережах полягає у забезпеченні безперебійного живлення споживачів, які потребують підвищеної надійності, у зменшенні втрат електроенергії та потужності, у скороченні інвестицій на розвиток генерації та мережевої інфраструктури, у розвантаженні мереж від реактивної потужності, підвищенні пропускної здатності та стабілізації напруги в ключових вузлах.

Ключові слова: електрична мережа; відновлювані джерела енергії; узгодження графіків; інтелектуальні системи; локальна електрична система; розосереджені джерела енергії; сонячна електрична станція; системи накопичення енергії.

Вступ. В Україні в останні роки значно активізувався розвиток систем накопичення енергії паралельно із розвитком відновлюваних джерел енергії (ВДЕ). За даними Європейської комісії, такі системи є ключовим елементом переходу до вуглецево-нейтральної економіки. Вони забезпечують балансування електромереж, акумуляцію надлишкової енергії, підвищення енергоефективності та створюють умови для інтеграції більшої частки ВДЕ до енергосистеми [1–3].

Розподільні електричні мережі (РЕМ) в Україні історично проектувалися для транспортування електроенергії, виробленої централізовано на великих електростанціях. Однак зі зростанням частки нетрадиційних і ВДЕ вони поступово набувають характеристик локальних електроенергетичних систем (ЛЕС) [4]. Це зумовлює появу нових проблем – узгодження графіків навантаження зі змінною генерацією ВДЕ, оптимізація потоків потужності для зменшення втрат та підвищення якості електроенергії, забезпечення балансової надійності в умовах

поєднання централізованої та децентралізованої генерації.

Особливістю розподіленої генерації є наявність великої кількості невеликих за потужністю електростанцій, розташованих у різних частинах електроенергетичної системи, але сконцентрованих переважно в розподільних електричних мережах [5].

Мета статті. Оцінити вплив генерування ВДЕ на режим роботи РЕМ. Дослідити проблему балансування енергетичної системи з ВДЕ. Оцінити вплив ВДЕ на техніко-економічні показники електричних мереж.

Аналіз стану питання. У світі впродовж останніх років системи накопичення енергії (СНЕ) розвиваються особливо динамічно. Вони являють собою електроустановки, підключені до об'єднаної енергосистеми (ОЕС) та оснащені принаймні одним накопичувачем електричної енергії, а також інженерними спорудами, обладнанням для перетворення енергії та допоміжними системами. СНЕ можуть отримувати електроенергію від ОЕС або від

© Д. О. Оберемок, О. О. Мірошник, О. М. Мороз, В. Г. Камишов, В. Г. Подобайло, 2025



Ця робота ліцензується відповідно до **Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0)**
Конфлікт інтересів: Автори заявили про відсутність конфлікту

власних генеруючих установок, акумулювати її та віддавати назад в енергомережу України або використовувати її для власного споживання [2, 5].

На світовому ринку вже представлений широкий спектр накопичувачів різних типів. Європейські країни, такі як Австрія, Німеччина та Данія, активно впроваджують промислові та побутові рішення цього класу, особливо інтенсивно відбувається впровадження СНЕ в Китаї. В Україні впровадження накопичувачів електричної енергії проходить початковий етап розвитку, проте інтерес до них поступово зростає [6, 7], в тому числі і внаслідок ударів рф по енергетичних об'єктах.

Окремим напрямом є розвиток накопичувачів електричної енергії від сонячних електростанцій (СЕС). Такі накопичувачі є відносно компактними пристроями, що поєднують у одному корпусі літій-залізо-фосфатну акумуляторну батарею, контролер заряду, інвертор, а також інтелектуальну систему управління та моніторингу енергоспоживанням. Такі системи дозволяють акумулювати електроенергію, вироблену сонячними електростанціями протягом дня, і використовувати її пізніше – у нічний час або під час аварійних відключень, коли мережа не забезпечує електропостачання [8]. Накопичувачі забезпечують переваги таких систем у поєднанні із СЕС, а також і при автономному застосуванні.

Існуючі методи розв'язання задач. Розвиток ЛЕС та розосереджених джерел енергії (РДЕ) супроводжується суттєвим науково-технологічним і соціальним ефектом. Це проявляється у впровадженні сучасних нанотехнологій у фотоелектричних модулях сонячних електростанцій, застосуванні накопичувачів енергії нового покоління, а також у поширенні SMART-систем вимірювання, обліку та діагностики.

Концепція «Smart Grid» створює умови для:

- гнучкого регулювання вузлових напруг як одного з основних показників якості електроенергії;
- керування напрямками та рівнями струмів у лініях і трансформаторах з метою уникнення аварійних перевантажень;
- зменшення питомої частки вартості традиційного палива у собівартості електроенергії;
- зниження негативного екологічного впливу традиційної генерації;
- скорочення витрат на виробництво продукції споживачами за рахунок зменшення витрат на куповану електроенергію [4].

Однією з ключових причин активного впровадження ЛЕС з ВДЕ є їхня екологічна привабливість [9]. Однак через залежність роботи відновлюваних джерел енергії від природних умов і стохастичний характер генерації та недостатню потужність для споживачів, комбіноване використання традиційної генерації та ВДЕ є пріоритетним напрямком. Реалізація переваг РДЕ значною мірою залежить від стану та конфігурації розподільних електричних мереж. Ефективність роботи ЛЕС визначається надійністю її елементів – схемою РЕМ, можливістю резервування, розміщенням комутаційних

апаратів, систем автоматизації та засобами збору і передавання інформації про режими роботи й місця пошкоджень [10]. Основною вимогою до схем ЛЕС є забезпечення максимального резервування при мінімальній загальній довжині ліній, а також мінімізації кількості резервних зв'язків і обладнання [11]. Зважаючи на те, що сучасний стан мережевого обладнання не в повній мірі дозволяє забезпечувати нормативні показники якості й надійності електропостачання, зокрема РЕМ напругою 6–10 кВ залишаються вразливими до стихійних явищ. Сильні вітри, шквали та грозова активність призводять до масових пошкоджень, що спричиняє тривалі відключення великої кількості споживачів незалежно від наявності резервних джерел живлення [12].

У багатьох країнах РДЕ на основі ВДЕ активно використовуються у побутовому секторі та комунальній сфері. Типовим прикладом є встановлення сонячних панелей на дахах і фасадах будинків, багатоквартирних споруд та громадських об'єктів. Проте збільшення кількості РДЕ на одній лінії може спричинити погіршення якості електроенергії, зокрема надмірні коливання напруги або необхідність обмеження генерації, особливо у сонячні дні [6]. Ця проблема характерна передусім для ЛЕС напругою 0,4 кВ, але проявляється також у мережах 6–10 кВ. Часті зміни напруги спричиняють підвищене навантаження на регульовальні пристрої трансформаторів (РПН, ПБЗ), що прискорює їхнє зношення та збільшує витрати на технічне обслуговування [12].

Погіршення якості електроенергії може також призвести до пошкодження розрядників, обмежувачів перенапруг, вимірювальних трансформаторів, кабельних з'єднань, освітлювальних приладів, пристроїв релейного захисту тощо. Значна кількість інверторів СЕС, підключених до одного фідера, за відсутності узгоджених алгоритмів роботи здатна спричинити резонансні явища, тривалі гармонійні спотворення напруги й струмів. Відомі випадки взаємовпливу інверторів різних власників у процесі їх послідовного увімкнення з малими інтервалами, особливо за наявності високовольтних контролерів [9].

Крім того, суттєві порушення в роботі електроенергетичної системи (ЕЕС) можуть ускладнювати керування режимами ЛЕС та призводити до нестабільності їх роботи [13].

Результати дослідження. Розвиток технологій зберігання електроенергії здатний суттєво трансформувати структуру енергосистеми. Накопичувачі поступово зменшують залежність енергетики від викопного палива, оскільки починають виконувати функції, які традиційно забезпечувала теплова генерація, насамперед функції балансування. У перспективі системи накопичення енергії стануть повноцінним елементом енергосистеми поряд із генерацією, передачею, розподілом та збутом, забезпечуючи необхідну гнучкість і економічну ефективність її роботи.

Основні переваги використання накопичувачів у мережах полягають у забезпеченні безперебійного

електропостачання критично важливих споживачів, зменшенні втрат електроенергії та потужності, скороченні інвестицій у розвиток генеруючих та мережних об'єктів, розвантаженні мереж від реактивної потужності, підвищенні пропускної здатності, стабілізації напруги у вузлових точках та частковій нейтралізації наслідків системних аварій. Вибір типу накопичувачів залежить від багатьох факторів: необхідної потужності, тривалості зберігання енергії, питомих витрат, коефіцієнта корисної дії, ресурсу циклів заряду-розряду, особливостей місця встановлення та впливу на навколишнє середовище.

Моделювання розвитку генеруючих потужностей та аналіз сценаріїв зміни попиту й пропозиції електричної енергії повинні враховувати:

- вплив енергоефективних заходів та потенціал керування попитом;
- розвиток технологій зберігання енергії;
- особливості роботи ВЕС і СЕС та потребу в резервних потужностях для компенсації їхньої нестабільної генерації [14].

У сучасних електричних мережах реактивна потужність є важливим елементом процесів генерації та розподілу енергії. Вона необхідна для роботи трансформаторів, електродвигунів, обмоток та інших пристроїв, що використовують електромагнітні поля. Традиційно для її компенсації застосовують конденсаторні батареї або інші компенсатори реактивної потужності. Водночас СЕС завдяки використанню інверторів здатні ефективно виконувати цю функцію. Сучасні інвертори, що входять до складу СЕС, не лише перетворюють постійну напругу на змінну для подачі в мережу, а й можуть регулювати реактивну потужність. Завдяки цьому СЕС здатні працювати як джерело активної енергії та одночасно компенсувати реактивну потужність. Інвертори СЕС можуть змінювати фазовий зсув між струмом і напругою, забезпечуючи генерацію або поглинання реактивної потужності залежно від вимог мережі. Це знижує навантаження на традиційні засоби компенсації, такі як статичні компенсатори або конденсаторні установки.

Інвертори, як ключові компоненти СЕС, працюють у декількох режимах:

- генерація активної потужності – подача в мережу електроенергії, виробленої сонячними панелями;
- компенсація реактивної потужності – регулювання фазового зсуву для створення або поглинання реактивної потужності та підтримання стабільності мережі.

Інвертори нового покоління здатні виконувати ці функції в реальному часі, що забезпечує ефективнішу взаємодію з електричною мережею та зменшує потребу у додатковому обладнанні для компенсації реактивної потужності [15]. Використання СЕС для компенсації реактивної потужності має такі переваги:

- підвищення ефективності роботи мережі – знижується навантаження та втрати енергії;

- зменшення потреби в додатковому обладнанні – функції компенсації інтегруються в інвертори, що скорочує потребу в окремих пристроях компенсації;

- покращення стабільності мережі – забезпечується оптимальний баланс між активною та реактивною потужністю;

- економічні вигоди – знижуються витрати на експлуатацію енергетичної інфраструктури, підвищується загальна економічна ефективність роботи СЕС [16].

Впровадження концепції «Smart Grid» (рис. 1) у локальних електричних системах з великою кількістю інверторів СЕС є необхідним для запобігання понад нормованим відхиленням параметрів електроенергії (напруги, струму, частоти тощо) та їх оперативного усунення. Це передбачає можливість динамічного регулювання генерованої активної та реактивної потужності РДЕ відповідно до зміни навантаження протягом доби, відмову від фіксованого коефіцієнта потужності та постійної реактивної складової.



Рисунок 1 – Схема елементів концепції Smart Grid

Впровадження технології Smart Grid суттєво змінює характеристики електричних мереж, забезпечуючи їхню ефективнішу та надійнішу роботу. Основні очікувані зміни включають:

- забезпечення безперебійного функціонування мережі за умов підвищених навантажень та зниження показників SAIDI і SAIFI;
- використання інтелектуальних пристроїв і програмних комплексів для оперативного керування схемами мережі та підвищення її надійності;
- застосування систем накопичення енергії для балансування графіків навантаження;
- зменшення втрат електроенергії завдяки впровадженню інтелектуальних систем обліку, здатних враховувати параметри якості електроенергії;
- підвищення якості електроенергії шляхом використання пристроїв компенсації реактивної потужності.

Системи автоматичного керування РДЕ можуть розташовуватися на значній відстані від об'єктів генерації. Для цього доцільно використовувати сучасні засоби автоматизованого керування, диспетчерського контролю та системи дистанційного керування, які забезпечують гнучке та надійне функціонування ЛЕС і мінімізують негативний вплив великої кількості СЕС на параметри мережі.

Більшість сучасних інверторів підтримують регулювання реактивної потужності, проте існуючі

алгоритми регулювання напруги у ЛЕС потребують оптимізації. Це стосується вибору оптимальних уставок, коефіцієнтів потужності, а також розрахунку керуючих дій у реальному часі.

Пристрої централізованого керування СЕС повинні бути сумісними з різнотипними інверторами та обладнанням, що використовуються у ЛЕС, а також підтримувати різні протоколи обміну даними, оскільки в локальних системах можуть працювати інвертори різних виробників і різних потужностей.

Висновки. Переваги застосування систем накопичення енергії для забезпечення безперебійного електроживлення – як автономно, так і в поєднанні із СЕС – полягають у можливості узгодження виробітку електроенергії з поточним попитом, забезпеченні резервного живлення під час перебоїв у електропостачанні та наданні додаткової потужності в електромережі у разі підвищеного навантаження.

Дослідження свідчать, що в розподільних електричних мережах із розосередженою генерацією доцільно впроваджувати системи керування потоками потужності з метою зменшення втрат електроенергії під час її транспортування. Для цього ефективно використовувати керовані відновлювані джерела електроенергії, зокрема СЕС, оснащені груповим інвертором та системами накопичення енергії. Показано, що розосереджені джерела електроенергії, працюючи в межах своїх допустимих режимів, порізному впливають на рівень втрат потужності й електроенергії в ЛЕС. Тому для підвищення ефективності їх використання доцільно класифікувати такі джерела за мірою їхнього впливу на критерії оптимальності роботи мережі.

Список літератури

1. Кудря С. О. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії. Київ : НТУУ «КПІ», 2012. 492 с.
2. Про встановлення «зелених» тарифів на електричну енергію для суб'єктів господарювання та надбавки до «зелених» тарифів за дотримання рівня використання обладнання українського виробництва : Постанова Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг від 30.06.2016 № 1187. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v1187874-16#Text>.
3. Investigation of smart grid operation modes with electrical energy storage system / O. Miroshnyk et al. *Energies*. 2023. Vol. 16, no. 6. 2638. DOI: <https://doi.org/10.3390/en16062638>.
4. Dall'Anese E., Hao Zhu, Giannakis G. B. Distributed optimal power flow for smart microgrids. *IEEE Transactions on Smart Grid*. 2013. Vol. 4, no. 3. P. 1464–1475. DOI: <https://doi.org/10.1109/tsg.2013.2248175>.
5. Спосіб оптимального керування режимами роботи електроенергетичної системи : пат. 76464 Україна : H02J3/00. № u201205864 ; заявл. 14.05.2012 ; опубл. 10.01.2013, Бюл. № 1/2013.
6. Відновлювана енергетика України стрімко зростає, але досі має мізерну частку. *Громадська організація «Український екологічний клуб «Зелена хвиля»*. URL: <https://ecoclubua.com/technology/vidnovlyuvana-enerhetyka-ukrajiny-2011/>.
7. Розпочав роботу 8-й міжнародний форум та виставка сталой енергетики SEF-2016 KYIV. 24 Канал. URL: https://24tv.ua/economy/rozpochav_robotu_8y_mizhnarodnyi_foru_m_ta_vistavka_staloy_energetiki_zef2016_kyiv_n736359.
8. Лежнюк П. Д., Гуцько І. О. Вплив розосереджених джерел енергії на оптимальний потік розподіл в електричних мережах. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Нові рішення

- у сучасних технологіях. 2016. № 18 (1190). С. 86. DOI: <https://doi.org/10.20998/2413-4295.2016.18.13>.
9. Global Overview. Power Sector. *REN21 - Building the sustainable energy future with renewable energy*. URL: <https://www.ren21.net/gsr-2016/chapter01.php#Power%20Sector>.
 10. Автоматизація роботи розосереджених джерел електроенергії в локальній електричній системі на основі концепції SMART Grid / П. Д. Лежнюк та ін. *Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України*. 2013. Спеціальний випуск. С. 136–143.
 11. Енергетична компанія ІКНЕТ - експерт в реалізації проектів. *ІКНЕТ*. URL: <https://iknet.com.ua/uk>.
 12. Інтеграція поновлюваних джерел енергії в розподільні електричні мережі сільських регіонів / В. В. Козирський та ін. *Технічна електродинаміка*. 2011. № 5. С. 63–67.
 13. Кириленко О. В., Трач І. В. Технічні особливості функціонування енергосистем при інтеграції джерел розподільної генерації. *Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України*. 2009. № 24. С. 3–7.
 14. Про затвердження Кодексу системи передачі : Постанова Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг від 14.03.2018 № 309 : станом на 2 серп. 2025 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0309874-18#Text> (дата звернення: 23.09.2025).
 15. Improving the Efficiency of Solar Power Plants Based on Forecasting the Intensity of Solar Radiation Using Artificial Neural Networks / O. Savchenko et al. *2021 IEEE 2nd KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek)*, Kharkiv, Ukraine, 13–17 September 2021. P. 137–140. DOI: <https://doi.org/10.1109/khpiweek53812.2021.9570009>.
 16. Бордаков М. М. Компенсація реактивної потужності сонячною електростанцією та вплив на роботу електричної мережі. *Відновлювана енергетика та енергоефективність у XXI столітті* : матеріали XX міжнародної науково-практичної конференції, м. Київ, Україна, 15–16 трав. 2019 р. Київ, 2019. С. 314–319.

References

1. S. O. Kudria, *Netradytsiini ta vidnovliuvani dzherela enerhii [Non-conventional and renewable energy sources]*. Kyiv: NTUU «KPI», 2012. (in Ukrainian)
2. Ukraine, National Commission for State Regulation in the Spheres of Energy and Public Utilities. (2016, Jun. 30). *Resolution of the National Commission for State Regulation in the Spheres of Energy and Public Utilities no. 1187, Pro vstanovlennia «zelenykh» taryfiv na elektrychnu enerhiu dlia subiektiv hospodariuvannia ta nadbavky do «zelenykh» taryfiv za dotrymannia rinvnia vykorystannia obladnannia ukraïnskoho vyrobnystva [On establishing 'green' tariffs for electricity for business entities and surcharges to 'green' tariffs for compliance with the level of use of Ukrainian-made equipment]*. [Online]. Available: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v1187874-16#Text> (in Ukrainian)
3. O. Miroshnyk, O. Moroz, T. Shchur, A. Chepizhnyi, M. Qawaqzeh, and S. Kocira, "Investigation of smart grid operation modes with electrical energy storage system," *Energies*, vol. 16, no. 6, Mar. 2023, Art. no. 2638, doi: <https://doi.org/10.3390/en16062638>
4. E. Dall'Anese, Hao Zhu, and G. B. Giannakis, "Distributed optimal power flow for smart microgrids," *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 4, no. 3, pp. 1464–1475, Sep. 2013, doi: <https://doi.org/10.1109/tsg.2013.2248175>
5. P. D. Lezhniuk, V. O. Lesko, O. O. Rubanenko, and I. O. Rubanenko, "Method for optimal control of electric power system operation modes," Ukrainian Patent 76464, Jan. 10, 2013. (in Ukrainian)
6. "Vidnovlyuvana enerhetyka Ukrainy strimko zrostaie, ale dosi maie mizernu chastku [Renewable energy in Ukraine is growing rapidly, but still accounts for a negligible share]." Non-governmental organization "Ukrainian Ecological Club "Green Wave." [Online]. Available: <https://ecoclubua.com/technology/vidnovlyuvana-enerhetyka-ukrajiny-2011/> (in Ukrainian)
7. "Rozpochav robotu 8-y mizhnarodnyi forum ta vystavka staloi enerhetyky SEF-2016 KYIV [The 8th International Forum and Exhibition on Sustainable Energy SEF-2016 KYIV has

- commenced],” 24 Kanal. [Online]. Available: https://24tv.ua/economy/rozpochav_robotu_8y_mizhnarodniy_forum_ta_vistavka_staloyi_energetiki_zef2016_kyiv_n736359 (in Ukrainian)
8. P. Lezhniuk and I. Hunko, “The impact of distributed power sources to the best of flow in electrical networks,” *Bulletin of the National Technical University «KhPI» Series: New Solutions in Modern Technologies*, no. 18 (1190), p. 86, Jun. 2016, doi: <https://doi.org/10.20998/2413-4295.2016.18.13> (in Ukrainian)
 9. “Global Overview. Power Sector.” REN21 - Building the sustainable energy future with renewable energy. [Online]. Available: <https://www.ren21.net/gsr-2016/chapter01.php#Power%20Sector>
 10. P. D. Lezhniuk, O. V. Nikitorovych, O. A. Kovalchuk, and V. V. Kulyk, “Avtomatyzatsiia roboty rozoseredzhenykh dzherel elektroenerhii v lokalnii elektrychnii systemi na osnovi kontseptsii SMART Grid khAutomation of distributed power sources in a local electrical system based on the SMART Grid concepti,” *Proceedings of the Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine*, Special Issue, pp. 136–143, 2013. (in Ukrainian)
 11. “Energy company IKNET - an expert in project implementation.” IKNET. [Online]. Available: <https://iknet.com.ua/en>
 12. V. V. Kozyrskiy, Yu. I. Tugai, O. V. Gai, and V. M. Bodunov, “The integration of renewable energy sources in rural distribution electrical networks,” *Tekhnichna Elektrodynamika*, no. 5, pp. 63–67, 2011. (in Ukrainian)
 13. O. V. Kyrylenko and I. V. Trach, “Tekhnichni osoblyvosti funktsionuvannya enerhosystem pry intehratsii dzherel rozpodilenoj heneratsii [Technical features of power system operation with integrated distributed generation sources],” *Proceedings of the Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine*, no. 24, pp. 3–7, 2009. (in Ukrainian)
 14. Ukraine, National Commission for State Regulation in the Spheres of Energy and Public Utilities. (2018, Mar. 14). *Resolution of the National Commission for State Regulation in the Spheres of Energy and Public Utilities no. 309, Pro zatverdzhennia Kodeksu systemy peredachi [On approval of the Transmission System Code]*. Accessed: Sep. 23, 2025. [Online]. Available: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0309874-18#Text>
 15. O. Savchenko et al., “Improving the Efficiency of Solar Power Plants Based on Forecasting the Intensity of Solar Radiation Using Artificial Neural Networks,” in *2021 IEEE 2nd KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek)*, Kharkiv, Ukraine, Sep. 13–17, 2021. IEEE, 2021, pp. 137–140, doi: <https://doi.org/10.1109/khpiweek53812.2021.9570009>
 16. M. M. Bordakov, “Compensation of reactive power by industrial solar power plant and influence on the electric network,” in *Renewable Energy and Energy Efficiency of the XXIst Century*, Kyiv, Ukraina, May 15–16, 2019. Kyiv: Inst. Renewable Energy Nat. Acad. Sci. Ukraine, 2019, pp. 314–319. (in Ukrainian)

Надійшло (received) 19.11.2025

UDC 621.316.31

OBEREMOK DMYTRO ✉ – Postgraduate Student of the Department of Power Supply and Energy Management, State Biotechnological University; Kharkiv, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-1031-5421>; e-mail: dimaoberemok1992@gmail.com.

MIROSHNYK OLEKSANDR – Doctor of Technical Sciences, Full Professor, Head of the Department of Power Supply and Energy Management, State Biotechnological University; Kharkiv, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6144-7573>; e-mail: omiroshnyk@btu.kharkiv.ua.

MOROZ OLEKSANDR – Doctor of Technical Sciences, Full Professor, Professor of the Department of Power Supply and Energy Management, State Biotechnological University; Kharkiv, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8520-9211>; e-mail: moroz.an@btu.kharkiv.ua.

KAMYSHLOV VITALIY – Candidate of Technical Sciences (PhD), Docent, Associate Professor of the Department of Energy Systems and Business Analytics, Western Ukrainian National University, Ternopil, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-6839-7890>; e-mail: v.kamyshlov@wunu.edu.ua.

PODOBAILO VITALIY – Candidate of Technical Sciences (PhD), Docent, Associate Professor of the Department of Energy Systems and Business Analytics, Western Ukrainian National University, Ternopil, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-2867-408X>; e-mail: v.podobailo@wunu.edu.ua.

APPLICATION OF SOLAR POWER PLANTS AND ENERGY STORAGE SYSTEMS TO BALANCING THE POWER OF ELECTRICAL NETWORKS

The modern development of renewable energy sources creates problems in balancing the power system. One of the effective solutions to this problem is the introduction of network energy storage systems based on batteries, which can be installed directly near consumers or at substations at load nodes. The advantages of such storage systems are modular structure, compactness, high functional flexibility, wide possibilities of control automation, as well as ease of integration into intelligent power networks. When studying the problem of balancing the power system under conditions of a significant share of renewable energy sources, it was found that the instability of their generation can be compensated by energy storage systems. Maintaining the balance of demand and generation is a necessary condition for ensuring reliable and stable operation of networks. Connecting powerful renewable energy sources can affect losses in power networks - usually electricity losses during transmission increase and its quality deteriorates. Therefore, these aspects should be carefully considered already at the stage of forming technical conditions in local electrical system. It is recommended that, in parallel with the construction of new renewable energy sources and energy storage systems, the relevant electrical networks be modernized with the introduction of intelligent technologies, bringing them closer to the “Smart Grid” concept. The main effect of introducing storage devices in networks is to ensure uninterrupted power supply to consumers who require increased reliability, to reduce electricity and power losses, to reduce investments in the development of generation and network infrastructure, to relieve networks of reactive power, to increase throughput and stabilize voltage at key nodes.

Keywords: electrical grid; renewable energy sources; coordination of schedules; intelligent systems; local electrical system; distributed energy sources; solar power plant; energy storage system.