

Д. Г. Дерев'янюк¹
Д. В. Філянін¹
К. М. Гілевич¹

ОСОБЛИВОСТІ АРХІТЕКТУРИ КОМІРКОВИХ ЛОКАЛЬНИХ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ З ДЖЕРЕЛАМИ РОЗОСЕРЕДЖЕНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ

¹Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Розглянуто сучасні тренди розвитку локальних електроенергетичних систем з відновлюваними джерелами енергії та установками зберігання енергії для надійного електрозабезпечення об'єктів критичної інфраструктури. Досліджено архітектурні особливості коміркових локальних електроенергетичних систем критичної інфраструктури з використанням джерел розосередженої генерації. Розглянуто три основні архітектури, а саме: локальні електроенергетичні системи з ланкою передачі та розподілу на постійному струмі, на змінному струмі та гібридну архітектуру. На основі аналізу сучасних підходів до побудови мікромереж визначено переваги коміркової архітектури, яка забезпечує підвищену живучість і масштабованість систем енергопостачання об'єктів критичної інфраструктури. Для створення уніфікованих модульних систем, згруповано окремі компоненти локальних електроенергетичних систем за їх функційним призначенням. Проаналізовано та формалізовано вимоги до систем керування, котрі повинні враховувати сучасні вимоги до інтерфейсів зв'язку передбачені стандартом IEC 61850. На основі аналізу вимог до надійності та якості електричної енергії в об'єктах критичної інфраструктури сформовано вимоги до коміркової архітектури. Додатково враховано, що схеми електропостачання таких об'єктів значно різняться технологічно та схемотехнічно. Вимоги до коміркової архітектури сформовано з виділенням елементарних складових кожного з компонентів локальних електроенергетичних систем з відновлюваними джерелами енергії та установками зберігання енергії. На основі запропонованої коміркової архітектури сформовано варіанти з різною комбінацією комірок, що дають змогу ефективно створювати локальні електроенергетичні системи для електрозабезпечення об'єктів критичної інфраструктури на основі наявних вже схем електропостачання та типів споживачів. Особливу увагу приділено інтеграції відновлюваних джерел енергії та систем накопичення енергії, що дозволяють забезпечити автономне функціонування таких систем у відокремленому від мережі режимі.

Ключові слова: коміркова архітектура, локальні електроенергетичні системи, мікромережі, розосереджена генерація, критична інфраструктура, ієрархічні моделі.

Вступ

Сучасна енергетика зазнає трансформації у напрямі децентралізації, цифровізації та підвищення стійкості до зовнішніх впливів. Часто сучасні системи стаціонарних об'єктів з власними ланками генерації (засновані на джерелах розосередженої генерації (РГ) та відновлюваних джерелах енергії (ВДЕ)) утворюють повністю локальні (автономні) електроенергетичні системи (ЛЕС), об'єднані процесами генерації, перетворення, накопичення та споживання електричної енергії. Особливої актуальності ці системи набувають для об'єктів критичної інфраструктури, які повинні зберігати працездатність навіть за умов аварій чи порушення централізованого енергопостачання.

Варто розуміти, що електричні мережі об'єктів критичної інфраструктури зазвичай морально та фізично застарілі, і разом з тим, схеми електропостачання зазначених об'єктів можуть значно різнитися від одного об'єкта до другого. Модернізація систем електропостачання об'єктів критичної інфраструктури з інтеграцією джерел РГ повинна виконуватися з урахуванням особливостей роботи

джерел РГ на основі ВДЕ, а саме непостійності їхнього енергетичного потенціалу та використання великої кількості різнотипних перетворювачів електроенергії, призначених для забезпечення нормованих значень параметрів електроенергії та архітектури мережі.

Одним з перспективних рішень цієї проблеми є створення коміркових ЛЕС з джерелами розосередженої генерації. Такі системи базуються на принципах мікромережевої архітектури, яка поєднує локальні генератори, установки зберігання енергії (УЗЕ), споживачів та інтелектуальні засоби керування, а принцип модульності повинен забезпечувати універсальність таких систем незалежно від мережевої архітектури.

Результати дослідження

Коміркова архітектура ЛЕС передбачає поділ локальної енергосистеми на окремі модулі — енергетичні комірки, які можуть функціонувати незалежно або у складі інтегрованої мікромережі. Кожна комірка включає один або декілька джерел розосередженої генерації (сонячні панелі, вітрові турбіни, мікротурбіни, паливні елементи), систему накопичення енергії та локальні навантаження (рис. 1). Такий підхід забезпечує високу живучість системи, оскільки відмова однієї комірки не призводить до зупинки всієї інфраструктури.

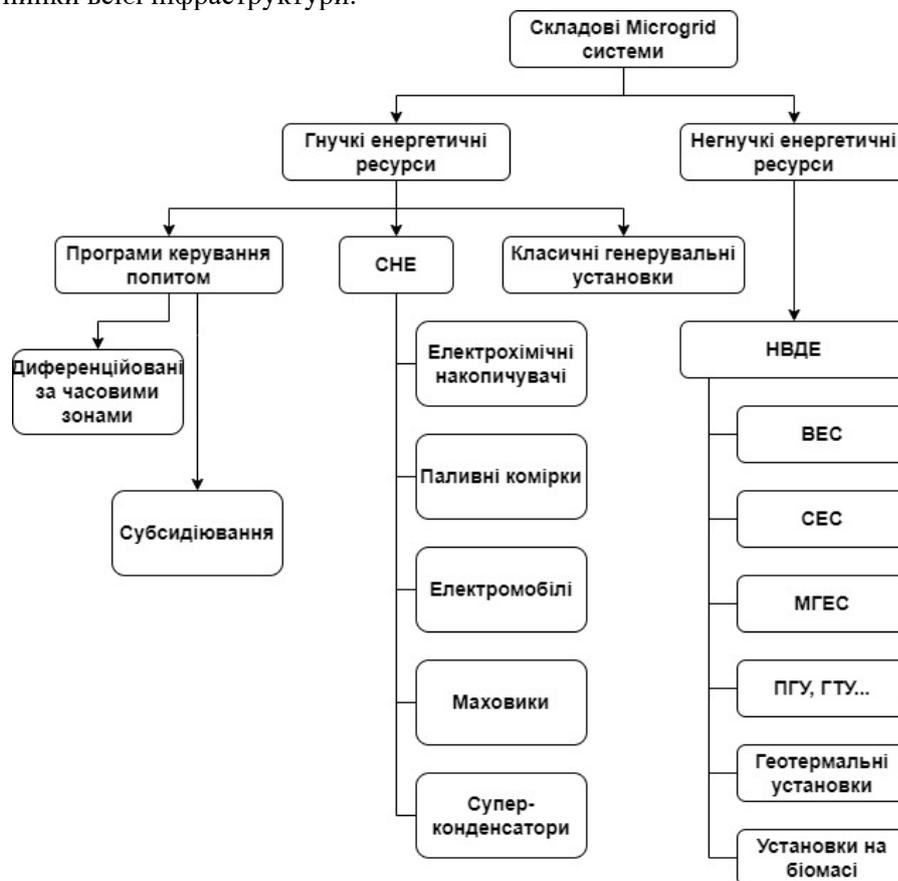
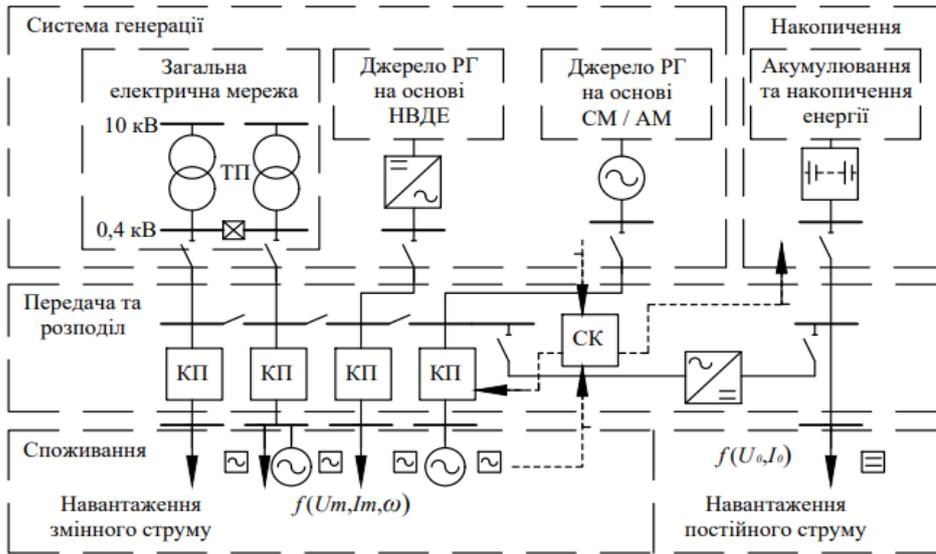


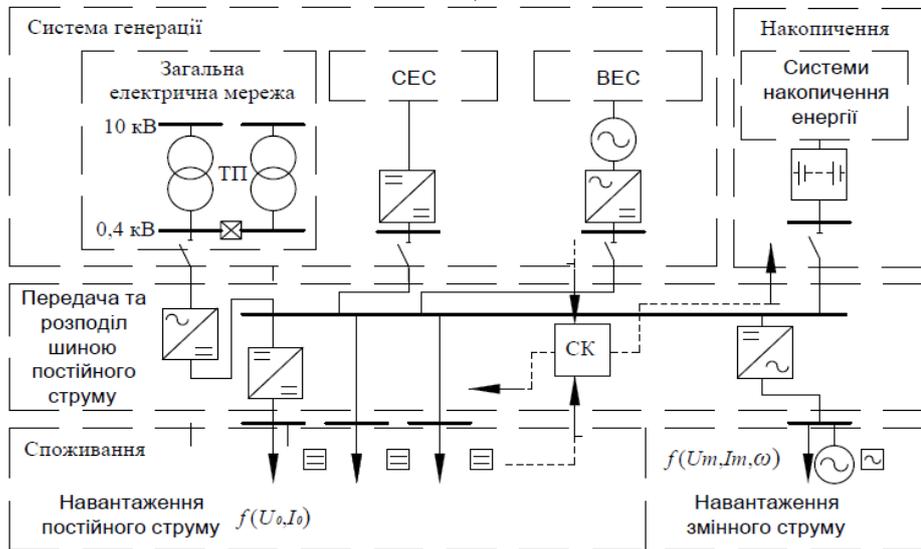
Рис. 1. Складові коміркових локальних електроенергетичних систем

Для формування коміркової архітектури доцільно проаналізувати наявні архітектури ЛЕС (Microgrid) з джерелами РГ та їх основні складові. Так, згідно з [1]—[3] ЛЕС можна визначити, як сукупність розосереджених енергетичних ресурсів (ПЕР) [4], [5], перетворювачів та споживачів електроенергії, з'єднаних між собою з урахуванням топології розподільної мережі, у яких відбуваються єдині електромагнітні процеси, характерні для режимів генерації, перетворення, розподілу та споживання електроенергії. Окремим аспектом такої системи є її система керування, яка дає змогу ефективно керувати режимами ЛЕС [6]—[11]. Такі ЛЕС можуть працювати паралельно з загальною електричною мережею або окремо від неї.

Архітектури ЛЕС головним чином визначаються характером навантажень, наявними та запланованими до впровадження ПЕР, труднощами пов'язаними з будівництвом нових ліній електропередач, наявними інженерними мережами, простором для розміщення УЗЕ та їхніми параметрами. Згідно з [12]—[14], архітектури ЛЕС можна розділити на три основні категорії, а саме: ЛЕС змінного струму, ЛЕС постійного струму та «гібридні» ЛЕС (рис. 2, 3)



а)



б)

Рис. 2. Структурна схема ЛЕС: а — ЛЕС змінного струму; б — ЛЕС постійного струму

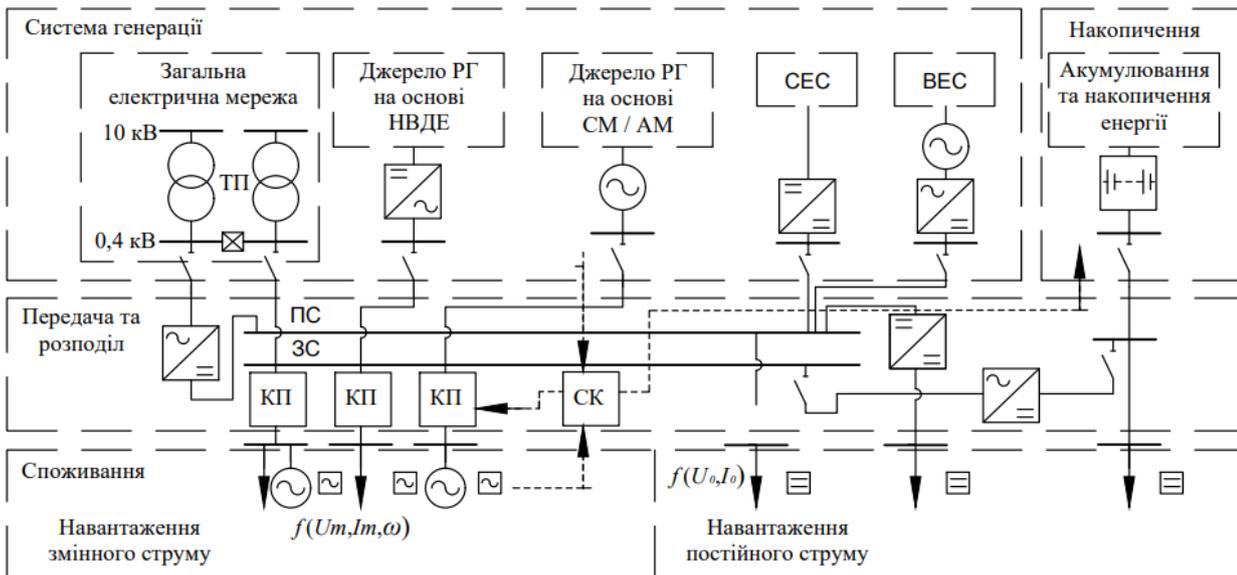


Рис. 3. Гібридна ЛЕС

ЛЕС змінного струму є найпопулярнішою та найпоширенішою структурою ЛЕС. Використовуючи наявну мережеву інфраструктуру систем змінного струму (розподільні мережі, трансформатори, пристрої захисту тощо), ЛЕС змінного струму легше проектувати та впроваджувати, адже вони базуються на перевірених та наявних технологіях.

Історично, системи, які зараз можна класифікувати як повноцінні ЛЕС змінного струму з критичними навантаженнями з'явилися ще у 1998 році (Consortium for Electric Reliability Technology Solutions — CERTS). CERTS — це кластер мікрогенераторів та установок зберігання енергії з можливістю переходу в ізольований від загальної електричної мережі режим роботи без перерв в електропостачанні споживачів [15]. На основі концепції CERTS приклад архітектури ЛЕС змінного струму з «критичними» навантаженнями можна описати таким чином: ЛЕС має три шини живлення змінного струму; до двох з них підключено критичні навантаження, РЕР та УЗЕ, а до третьої під'єднано некритичні навантаження. Така ЛЕС здатна адаптувати профілі генерування та графіки навантажень до будь-яких умов експлуатації, змінюючи свою топологію за допомогою автоматичних вимикачів. Підключення ЛЕС до загальної електричної мережі здійснюється статичним вимикачем. Цей пристрій може бути використаний для відключення ЛЕС, та перехід до автономного режиму функціонування, коли якість електричної енергії у загальній мережі низька. Така архітектура дає змогу підтримувати якісне та надійне живлення критичних навантажень, які можуть житися як від РЕР, так і від енергії, що накопичується в УЗЕ. Під час відключення мережі статичний вимикач розмикається (система переходить у повністю автономний режим), також розмикається автоматичний вимикач третьої шини, що від'єднує некритичні навантаження від мережі живлення РЕР [16].

В архітектурі ЛЕС змінного струму, що працює паралельно з мережею, потужність надходить безпосередньо з/в мережу, уникаючи будь-якого послідовно з'єданого перетворювача, що забезпечує високу надійність. РЕР мають ті ж параметри напруги та частоти, що й мережа, тому навантаження, генератори та УЗЕ повинні відповідати вимогам мережі. Фактично, однією з головних переваг архітектури ЛЕС змінного струму є їхня сумісність з наявною електричною мережею, яку можна переналаштувати на схему ЛЕС змінного струму. Одним з головних недоліків є велика кількість пристроїв силової електроніки (інверторів та перетворювачів типу “back-to-back”) [17], необхідних для синхронізації РЕР з мережею змінного струму та забезпечення змінного струму належної якості (без гармонік). Ефективність та надійність таких ЛЕС можуть бути знижені, оскільки складні системи з перетворювачами мають нижчу надійність, ніж ті, що мають меншу кількість компонентів. Закордонний досвід показує, що, системи розподілу змінного струму мають більше кроків перетворення ніж система постійного струму [18].

Інший підхід до побудови ЛЕС — використання мереж постійного струму [12]. Більшість РЕР працюють або на постійному струмі, або мають проміжну ланку постійного струму у своєму електронному інтерфейсі, у т. ч. УЗЕ та паливні елементи, де живлення здійснюється виключно постійним струмом (рис. 2б). З іншого боку, багато сучасних споживачів живляться постійним струмом. Згідно з деякими дослідженнями, майже 30 % енергії змінного струму проходить через перетворювач, перш ніж вона буде спожита, з втратами енергії на перетворення у діапазоні 10...25 % [16], [19]. Тому інтеграція цих пристроїв у ЛЕС постійного струму через DC/DC перетворювачі стає вдалим вибором не лише з точки зору підвищення ефективності завдяки зменшенню кількості етапів перетворення, але й для досягнення необхідних рівнів якості електроенергії та незалежністю від загальної електричної мережі.

Порівняно з системою розподілу змінного струму, розподільчі пристрої постійного струму мають простішу структуру, нижчі системні витрати та загальну підвищену ефективність. Синхронізація РЕР з мережею, наявність гармонік та реактивної потужності не є проблемою для такої архітектури, що спрощує її структуру та вимоги до керування такими ЛЕС. Втрати в розподільчих лініях постійного струму менші порівняно з системою розподілу змінного струму завдяки відсутності реактивної складової струму.

Разом з тим, для створення уніфікованих модульних систем, як на змінному так і на постійному струмі, доцільно групувати окремі компоненти ЛЕС за їх функційним призначенням: система генерації; система передачі та розподілу електричної енергії, система накопичення (УЗЕ), яка може виступати в якості генератора або навантаження; споживачі (постійного та змінного струму). Окремим важливим елементом є система керування, котра забезпечує ефективність та надійність функціонування ЛЕС та інтегрована в усіх компонентах ЛЕС. Такий підхід дає змогу підлаштовуватися під наявну енергетичну інфраструктуру, інтегруючи додаткові РЕР в неї (див. рис 2).

Поєднуючи переваги архітектур ЛЕС змінного та постійного струму, можна сформулювати архі-

тектуру гібридної ЛЕС, що сприятиме прямій та ефективній інтеграції як різнотипних РЕР на постійному та змінному струмі, так і різнотипних навантажень.

Архітектура гібридної ЛЕС (рис. 3), включає генератори та мережі змінного та постійного струму, з'єднані через головний двонаправлений перетворювач змінного/постійного струму. Навантаження змінного струму підключаються до шини змінного струму, тоді як навантаження постійного струму підключаються до шини постійного струму, використовуючи різні коригуючі пристрої (КП) для адаптації рівня напруги за необхідності. Блоки генерування та накопичення (УЗЕ) можуть бути підключені до шин змінного або постійного струму (головне правило — мінімізувати кількість кроків перетворення енергії). Шина змінного струму дозволяє використовувати наявне обладнання; тоді як шина постійного струму дозволяє використовувати зменшену кількість простіших перетворювачів. До того ж, ця архітектура дозволяє встановлювати чутливі навантаження, під'єднані до шини постійного струму в поєднанні з стабільнішими навантаженнями, під'єднаними до шини змінного струму.

Важливим елементом ЛЕС є її система керування. Через наявність різнотипних генераторів на всіх рівнях системи розподілу ЛЕС, струми короткого замикання суттєво різняться. До того ж режими підключення до мережі та ізолюваного режиму роботи ЛЕС вводять два різні набори струмів короткого замикання. Отже, традиційні схеми релейного захисту з фіксованим значенням струму потребують удосконалення. Тому, системи керування у ЛЕС повинні враховувати сучасні вимоги до інтерфейсів ЛЕС передбачені стандартом ІЕС 61850 [14], [20], які створюють можливість розширеного моніторингу у ЛЕС та зміни уставок струмів короткого замикання реле відповідно до змін у системі. Такі системи керування призначені для реагування на динамічні зміни в системі, такі як підключення/відключення різнотипних генераторів.

Об'єкти критичної інфраструктури мають підвищені вимоги до надійності, і разом з тим схеми електропостачання таких об'єктів можуть значно різнитися. Для створення коміркової архітектури на основі запропонованої багатокомпонентної архітектури ЛЕС варто виділяти елементарні складові кожного з компонентів: мережа (G) $\{G_1, G_2, \dots, G_n\}$; генератори РЕР (DER) $\{DER_1, DER_2, \dots, DER_n\}$; УЗЕ (Energy Storage System — ESS) $\{ESS_1, ESS_2, \dots, ESS_i\}$; система розподілу на постійному/змінному струмі (Transition & Distribution) $\{T\&D\}$; споживачі постійного струму (критичні навантаження (Critical Consumer)) $\{CC_{DC1}, CC_{DC2}, \dots, CC_{DCi}\}$; споживачі змінного струму (критичні навантаження) $\{CC_{AC1}, CC_{AC2}, \dots, CC_{ACi}\}$; споживачі постійного струму (некритичні навантаження (Noncritical Consumer)) $\{NC_{DC1}, NC_{DC2}, \dots, NC_{DCi}\}$; споживачі змінного струму (некритичні навантаження) $\{NC_{AC1}, NC_{AC2}, \dots, NC_{ACi}\}$; система керування на базі інтерфейсу за стандартом ІЕС 61850. На основі виділених елементарних компонентів (комірок) будується архітектура ЛЕС для об'єкта критичної інфраструктури, яка дає змогу інтегрувати додаткові необхідні комірки до вже наявної енергетичної інфраструктури.

На рис. 4 показано 5 варіантів коміркової архітектури для споживачів на змінному та постійному струмі.

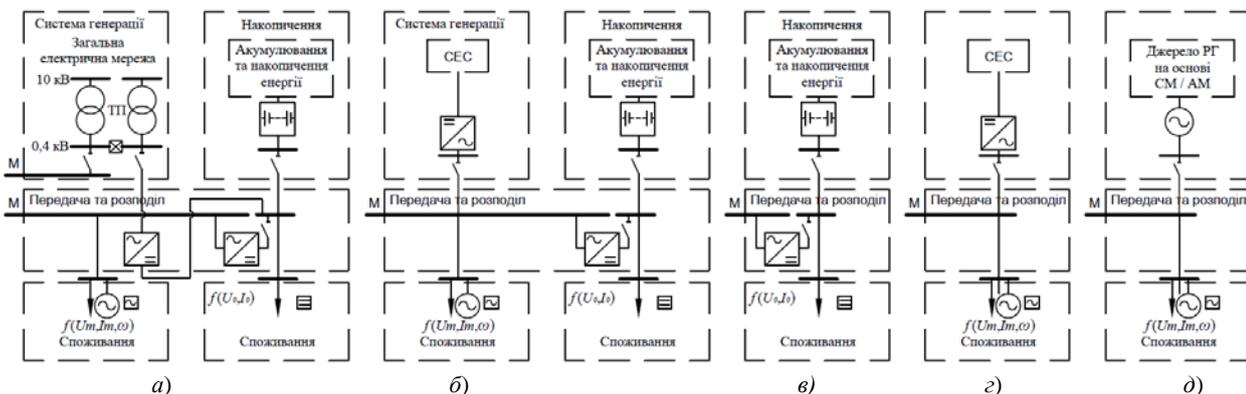


Рис. 4. Приклади коміркових архітектур: а — система $\{G\}-\{ESS\}-\{T\&D_{AC}\}-\{CC_{AC}\}$; б — система $\{DER\}-\{ESS\}-\{T\&D_{AC}\}-\{CC_{AC}\}$; в — система $\{ESS\}-\{T\&D_{DC}\}-\{CC_{DC}\}$; г — система $\{DER\}-\{T\&D_{DC}\}-\{CC_{DC}\}$; д — система $\{DER\}-\{T\&D_{AC}\}-\{CC_{AC}\}$

Для побудови коміркової ЛЕС для об'єкта критичної інфраструктури у разі найпростішого випадку додається комірка з дизель-генератором та комірка системи передачі та розподілу, а сам споживач виділяється в окрему комірку у межах наявних електричних мереж для інтегрування з додат-

ковим резервним джерелом живлення (рис. 4д, в або з, якщо споживач працює на постійному струмі). Якщо одного резервного джерела живлення недостатньо або у межах однієї ЛЕС є кілька об'єктів критичної інфраструктури, то додаються додаткові комірочки генераторів/накопичення та окремі комірочки системи передачі та розподілу, які можуть мати як одну так і кілька шин розподілу на постійному та змінному струмі (рис. 4а, б)

Висновки

Для об'єктів критичної інфраструктури оптимальною є комірочка децентралізована архітектура з ієрархічним керуванням і резервованими каналами зв'язку, побудованими за стандартом ІЕС 61850. Застосування адаптивних і інтелектуальних алгоритмів керування дозволяє автоматично балансувати потужності та підтримувати параметри якості електроенергії навіть у режимі ізоляції від централізованої мережі.

Важливою складовою комірочкових ЛЕС є системи накопичення енергії, які відіграють роль буфера між генерацією та споживанням, компенсуючи коливання навантаження та потужності від ВДЕ. Використання літій-іонних батарей, суперконденсаторів, водневих паливних комірок або гібридних систем дозволяє суттєво підвищити стабільність та ефективність роботи таких ЛЕС. Водночас розміщення накопичувачів на рівні окремих комірок забезпечує модульність і масштабованість системи.

Комірочкові локальні електроенергетичні системи з джерелами розосередженої генерації забезпечують підвищення рівня енергетичної безпеки та автономності об'єктів критичної інфраструктури. Вони дозволяють гнучко інтегрувати різноманітні джерела генерації, підвищують живучість системи та зменшують залежність від централізованих електричних мереж; є перспективним напрямом розвитку енергетичних мереж критичної інфраструктури; забезпечують високу надійність, гнучкість і енергетичну незалежність, а це є ключовими вимогами в умовах її агресії, що триває.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] R. H. Lasseter, and P. Paigi, "Microgrid: a conceptual solution," in *Proceedings of the IEEE 35th Annual Power Electronics Specialists Conference (PESC 04)*, June 2004, pp. 4285-4290.
- [2] Д. Г. Дерев'янюк, В. С. Панасенко, О. С. Масло, і О. М. Загорський, «Оцінювання надійності у локальних системах з установками відновлюваної енергетики,» *Енергетика: економіка, технологія, екологія*, № 3, с. 37-45, 2019. <https://doi.org/10.20535/1813-5420.3.2019.196379>.
- [3] S. Denysiuk, D. Derevianko, and H. Bielokha, "Dynamic Pricing in Transactive Energy System with Solar, Wind-generators and Diesel Generator," in *2023 IEEE 4th KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek)*, Kharkiv, Ukraine, 2023, pp. 1-4. <https://doi.org/10.1109/KhPIWeek61412.2023.10313000>.
- [4] А. Зінченко, *Стимулювання розподіленої генерації в 4му Енергетичному пакеті ЄС*, Київ, Україна: Вид-во фонд ім. Гайнріха Бюлля, Бюро, Вересень 2020.
- [5] Juan Caballero-Peña, Cristian Cadena-Zarate, Alejandro Parrado-Duque, and German Osma-Pinto, "Distributed energy resources on distribution networks: A systematic review of modelling, simulation, metrics, and impacts," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 138, p. 107900, 2022. ISSN 0142-0615. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2021.107900>.
- [6] B. Li, R. Roche, D. Paire, and A. A Miraoui, "Price decision approach for multiple multi-energy-supply microgrids considering demand response," *Energy*, no. 167, pp. 117-135, 2019.
- [7] C. Dou, M. Lv, T. Zhao, Y. Ji, and H. Li, "Decentralised coordinated control of microgrid based on multi-agent system," *IET Gener. Transm. Distrib.* no. 9, pp. 2474-2484, 2015.
- [8] F. Katiraei, R. Iravani, N. Hatziargyriou, and A. Dimeas, "Microgrids management," *IEEE Power Energy Mag.*, no. 6, pp. 54-65, 2008.
- [9] W. L. Theo, J. S. Lim, W. S. Ho, H. Hashim, and C. T. Lee, "Review of distributed generation (DG) system planning and optimisation techniques: Comparison of numerical and mathematical modelling methods," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, no. 67, pp. 531-573, 2017.
- [10] M. Marzband, M. Ghadimi, A. Sumper, and J. L. Domínguez-García, "Experimental validation of a real-time energy management system using multi-period gravitational search algorithm for microgrids in islanded mode," *Appl. Energy*, no. 128, pp. 164-174, 2014.
- [11] A. Shokri Gazafroudi, K. Afshar, and N. Bigdeli, "Assessing the operating reserves and costs with considering customer choice and wind power uncertainty in pool-based power market," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, no. 67, pp. 202-215, 2015.
- [12] L. Mariam, M. Basu, and M. F. Conlon, "A Review of Existing Microgrid Architectures," *Journal of Engineering*, Hindawi Publishing Corporation, 2013. <https://doi.org/10.1155/2013/937614>.
- [13] M. Gomes, F. Bandejas, P. Coelho, J. Fernandes, and M. Castilla, "Microgrid Architecture Evaluation for Small and Medium Size Industries," *International Journal of Energy Economics and Policy Studies*, 2019.
- [14] N. M. Tabatabaei, E. Kabalci, and N. Bizon, (Eds.), "Microgrid Architectures, Control and Protection Methods," *Springer Nature Switzerland AG*. 2020. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-23723-3>.
- [15] *Consultant report: Integration of distributed energy resources*. The CERTS MicroGrid concept. in California Energy Commission, 2013.
- [16] I. Patrao, E. Figueres, G. Garcerá, and R. González-Medina, "Microgrid architectures for low voltage distributed

generation,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 43, pp. 415-424, Mar. 2015.

[17] С. П. Денисюк, Д. Г. Дерев’яно, і Д. С. Горенко, «Особливості оцінювання режимів функціонування локальних систем з джерелами розосередженої генерації та накопичувачами,» *Енергетика: економіка, технологія, екологія*, № 1, с. 7-20, 2020. <https://doi.org/10.20535/1813-5420.1.2020.217558>.

[18] J. J. Justo, F. Mwasilu, J. Lee, and J.-W. Jung, “AC-microgrids versus DC-microgrids with distributed energy resources: A review,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 24, pp. 387-405, Aug. 2013.

[19] H. Gabbar, “Smart Energy Grid Engineering,” *Elsevier Inc.*, 2016.

[20] Taha Ustun, Selim, Cagil Ozansoy, and Aladin Zayegh, “Modeling of a Centralized Microgrid Protection System and Distributed Energy Resources According to IEC 61850-7-420,” *Power Systems, IEEE Transactions*, no. 27, pp.1560-1567, 2012. <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2012.2185072>.

Рекомендована оргкомітетом міжнародної науково-технічної конференції
«Оптимальне керування електроустановками (ОКЕУ-2025)»

Стаття надійшла до редакції 20.01.2026

Дерев’яно Денис Григорович — д-р. техн. наук, доцент, в.о. завідувача кафедри автоматизації енергосистем, e-mail: dereviankodenys@gmail.com ;

Філянін Данило Володимирович — канд. техн. наук, старший викладач кафедри електропостачання, e-mail: danielfilyanin@gmail.com ;

Гілевич Катерина Миколаївна — аспірант кафедри електропостачання, e-mail: hilevychkateryna@gmail.com .
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ

D. H. Derevianko¹
D. V. Filyanin¹
K. M. Hilevych¹

Architectural Features of the Cellular Microgrids for Critical Infrastructure with Distributed Generation Sources

¹National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

The paper considers modern trends in the development of microgrids with renewable energy sources and energy storage systems for reliable power supply of critical infrastructure facilities. The architectural features of cellular microgrids of critical infrastructure using distributed generation sources have been investigated. Three main architectures are considered, namely local power systems with DC, AC transmission and distribution link and hybrid architecture. Based on the analysis of modern approaches to the construction of microgrids, the advantages of cellular architecture, which provides increased survivability and scalability of power supply systems for critical infrastructure facilities, are determined. To create unified modular systems, individual components of microgrids are grouped according to their functional purpose. The requirements for control systems that should take into account modern requirements for communication interfaces provided for by the IEC 61850 standard are analyzed and formalized. Based on the analysis of the requirements for the reliability of the quality of electricity in critical infrastructure facilities and the fact that the power supply schemes of such facilities differ significantly technologically and schematically, the requirements for the cellular architecture are formed with the allocation of elementary components of each of the elements of microgrids with renewable energy sources and energy storage systems. On the basis of the proposed cellular architecture, options with different combinations of cells have been formed, which make it possible to effectively create microgrids for power supply of critical infrastructure facilities on the basis of existing power supply schemes and types of consumers. Particular attention is paid to the integration of renewable energy sources and energy storage systems, which allow to ensure the autonomous operation of such systems in a separate mode from the grid.

Keywords: cellular architecture, local power systems, microgrids, distributed generation, critical infrastructure, hierarchical models.

Derevianko Denys H. — Dr. Sc. (Eng.), Associate Professor, Deputy Head of the Chair of Power Systems Automation, e-mail: dereviankodenys@gmail.com ;

Filyanin Danylo V. — Cand. Sc. (Eng), Senior Lecturer of the Chair of Power Supply, e-mail: danielfilyanin@gmail.com ;

Hilevych Kateryna M. — Post-Graduate Student of the Chair of Power Supply, e-mail: hilevychkateryna@gmail.com