

САВЧЕНКО НАТАЛЯ ПАНАСІВНА – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри мехатроніки та електротехніки, Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут»; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7046-0633>; e-mail: natali_a_savchenko@ukr.net.

ДОВГАЛЮК ОКСАНА МИКОЛАЇВНА ✉ – кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри передачі електричної енергії, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»; м. Харків, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1994-619X>; e-mail: Oksana.Dovhaliuk@khpi.edu.ua.

ТРЕТ'ЯК АНДРІЙ ВАЛЕРІЙОВИЧ – кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматики, електроніки та телекомунікацій, Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»; м. Полтава, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3971-3078>; e-mail: tretjak_a.v@ukr.net.

АВТОНОМНА MICROGRID СИСТЕМА ДЛЯ ПОБУТОВИХ СПОЖИВАЧІВ НА БАЗІ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ З ВІДНОВЛЮВАНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ

В умовах світової енергетичної кризи все більше постає питання оновлення концепції та принципів організації енергетичних систем, а також підходів до їх керування. Традиційна енергетика та централізоване керування енергосистемою на сьогодні не забезпечує у повній мірі якості та надійності електропостачання споживачів. Обмеженість кількості традиційних енергоресурсів, низький рівень модернізації та автоматизації складових енергосистем та постійне руйнування енергооб'єктів внаслідок воєнних дій в Україні є першочерговою проблемою в енергетиці, що потребує якнайшвидшого вирішення. Саме запровадження енергоефективних технологій альтернативної енергетики та організація енергопостачання у вигляді Microgrid систем з розосередженою генерацією і децентралізацією керування може стати дієвим рішенням питань, пов'язаних з енергоживленням споживачів, особливо побутового сектора. Microgrid, за сутністю свого функціонування, базуються на повній інтелектуалізації управління процесами генерації, розподілення, споживання та збереження електричної енергії, що забезпечує замкнений цикл в енергосистемі з організацією перетоків потужності за ефективним алгоритмом керування. У статті пропонується організація автономної Microgrid системи з використанням у якості джерел розосередженої генерації енергокомплексів «Активних» будинків та мобільних гібридних електростанцій для додаткової генерації та зміни структури мережі. Задля підвищення ефективності функціонування розробленої Microgrid побутових споживачів запропоновано алгоритм керування енергоресурсами в ній. Отримані результати показують доцільність та енергоефективність розробленої системи Microgrid для побутових споживачів. Зроблені висновки стосовно перспективи подальшого розвитку Microgrid у напрямку використання усіх технічних можливостей відновлюваної енергетики для подолання енергетичної кризи у країні та досягнення енергетичної незалежності.

Ключові слова: електрична мережа; Microgrid; відновлюване джерело енергії; розосереджена генерація; гібридна мобільна електростанція; енергокомплекс; «Активний» будинок; режим роботи; інтелектуальне керування; енергоефективність.

Постановка проблеми. Бурхливий розвиток інтелектуальних та інформаційних технологій одночасно з удосконаленням технічних можливостей джерел альтернативної енергетики призвів до появи нового виду організації систем електропостачання споживачів. Побудова систем Smart Grid і Microgrid є багатофакторною і досить складною, бо потребує досконалого керування потоками потужності задля отримання якісних показників електричної енергії та забезпечення досить високих показників надійності електропостачання. Конфігурації таких систем також є інваріантними. Таким чином, постає задача раціонального вибору компонентів Microgrid з подальшим обґрунтуванням їх економічної доцільності з точки зору спроможності запровадження на визначеній території та врахування факторів політики енергоефективності держави і позитивного сприйняття споживачами. Концепція систем Microgrid базується на впровадженні сучасних технологій альтернативної енергетики з повною інтелектуалізацією керування.

Особливістю технології Microgrid систем є активне запровадження децентралізованого електропостачання з розосередженою генерацією від джерел відновлюваної енергії, що встановлюються безпосередньо у споживача, стаціонарно на постійній

основі. Але такий підхід до реалізації нового типу енергосистем є більш дієвим для промислових споживачів, особливо за умови гібридного режиму роботи з традиційною електричною мережею, а також при наявності додаткових потужностей від систем накопичення енергії.

Для побутових споживачів, а особливо приватних домогосподарств реалізація такої Microgrid не завжди є раціональною та економічно вигідною, при цьому така система не є енергонезалежною. Окрім того, для побутових споживачів також важливим питанням є висока вартість електричної енергії, що має тенденцію хаотичного та непередбачуваного зростання. Тому більш обґрунтованим для побутового споживача є автономний режим роботи Microgrid. Таким чином, конфігурація такої Microgrid повинна бути досить гнучкою при різких перепадах навантаження впродовж доби, відповідати умовам надійності та якості електропостачання, а також мати можливість подальшого розвитку електричних мереж низької напруги.

Отже, аналіз та дослідження конфігурації та режимів роботи систем Microgrid низької напруги на базі енергокомплексів «Активних» будинків та гібридних мобільних електростанцій дозволяє зробити висновки про перспективність подальшого розвитку

© Н. П. Савченко, О. М. Довгалюк, А. В. Трет'як, 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

такої технології компоновки сучасних систем електропостачання споживачів.

Аналіз основних досліджень і публікацій. Технологія побудови Microgrid систем вже отримала доволі широкий розвиток та активно впроваджується у багатьох країнах світу. На сьогодні Microgrid вже є енергоефективною ланкою розвинених гібридних енергосистем, що базуються на повній або частковій інтелектуалізації керування електропостачанням споживачів [1].

Microgrid з використанням джерел альтернативної відновлюваної енергії є основою систем розосередженої генерації, що вже активно працюють на різних рівнях енергосистем. Подальший розвиток мікромережових технологій на ряду з розвитком інтелектуальних та інформаційних систем обумовлений їх перевагами у питаннях енергоефективності процесів генерації, зберігання, розподілу та управління електричною енергією. Але постійне удосконалення технічних можливостей складових системи Microgrid спонукає вітчизняних та закордонних винахідників і дослідників й надалі досліджувати режими роботи Microgrid.

Тому на сьогоднішнім основним питанням досліджень є аналіз та розробка енергоефективної структури Microgrid, її склад, організація керування потоками електричної енергії та можливість економічно доцільної технічної реалізації, що відображено та розглядається у наукових роботах Загальний огляд концепції Microgrid, їх класифікація та наявні стратегії їх управління із застосуванням сучасних технологій розглянуті авторами [1–3]. Питанням особливостей впровадження та адаптації Microgrid до поточних умов функціонування енергетичних систем присвячені дослідження низки вітчизняних і закордонних вчених [4–7]. Значна увага приділяється розробці структури Microgrid, яка відповідає вимогам споживачів та дає можливість гнучко адаптуватись до зміни режимів генерування використовуваних ВДЕ та енергосистеми [8–12]. Дослідження різних методів оптимізації в системах управління енергією Microgrid, які забезпечують досягнення високого рівня надійності та експлуатаційної ефективності, присвячені дослідженням [13–16].

Розвиток та активне впровадження інтелектуальних та інформаційних систем сприяли активізації досліджень з метою удосконалення рішень щодо будови та керування режимами систем Microgrid для забезпечення більш ефективних показників їх роботи. Так, автори роботи [17] приділили увагу аналізу заходів для підвищення продуктивності функціонування гібридної Microgrid системи з відновлюваними джерелами енергії (ВДЕ), які формуються в певну стратегію координування взаємодію між різними джерелами енергії та навантаженнями. У дослідженнях [18, 19] розглядаються питання застосування технологій Smart Grid та технічних засобів для максимізації продуктивності автономних Microgrid систем з гібридними джерелами живлення.

Ще одним важливим напрямком є дослідження саме автономних систем Microgrid, що на сьогодні є фактично показником енергонезалежності та надійності енергозабезпечення споживачів [20, 21].

Проведений аналіз робіт стосовно досліджень організації Microgrid показав, що більша їх частина має класичну гібридну структуру, які складаються з традиційних джерел електроенергії енергосистеми та джерел розосередженої генерації, а також систем зберігання енергії. Перевагою таких систем є забезпечення режимів роботи, як автономного, так і гібридного, разом із загальною електричною мережею. Недоліком такої системи є доволі складна інтеграція джерел відновлюваної енергетики у загальну традиційну електричну мережу при тому, що не завжди така конфігурація є економічно обгрунтованою в умовах неможливості контролю перепадів навантаження споживачів Microgrid.

Тому дослідження стосовно удосконалення структурної організації Microgrid на сьогодні є досить важливим та актуальним питанням, що потребує нетривіальних підходів та рішень.

Мета статті. Метою роботи є розробка та обгрунтування структурної організації автономної локальної Microgrid системи для побутових споживачів на основі застосування сучасних енергоефективних технологій з джерелами альтернативної енергетики.

Основний матеріал дослідження.

Енергоефективність та надійність електропостачання є важливими факторами для побутових споживачів особливо у сучасних умовах енергетичної кризи, тому впровадження локальних автономних Microgrid систем є перспективним рішенням, що також підкріплюється екологічними аспектами цієї технології.

Автономні Microgrid системи у подальшому можуть об'єднуватись у Smart Grid системи та формувати зовсім нову футуристичну енергосистему, що повністю відрізняється від існуючої традиційної енергосистеми. Особливістю нової системи є її повна децентралізація, інтелектуалізація та острівний принцип структурної організації.

Принцип побудови класичних Microgrid базується на застосуванні елементів розосередженої генерації, а саме джерел відновлюваної енергетики, системи накопичення енергії, цифрових підстанцій, інтелектуальних регуляторів потоків електроенергії та зовнішньої енергосистеми. Таким чином, сучасна Microgrid система вже є високотехнологічним енергетичним осередком, що дозволяє швидко реагувати на виникнення перевантажень та різкої зміни напруги з метою їх стабілізації.

Подальший розвиток мікромережових технологій здебільшого є прогресивним вдосконаленням її складу та залученням новітніх розробок зі сфери інших енергоефективних технологій енергетичної галузі.

Однією з таких перспективних технологій є концепція побудови «Активних» будинків. Основою цієї концепції є:

- енергозберігання, яке базується на використанні енергоефективних технологій і

природних ресурсів та відновлювальних джерел енергії;

- здоровий мікроклімат, що забезпечується зовнішнім природним середовищем та повною автоматизацією систем життєзабезпечення для організації умов комфортного проживання;

- екологічність оточуючого середовища, яке забезпечується ефективним використанням територіально наявних природних ресурсів і екологічно чистих матеріалів з метою зменшення негативного впливу цивілізації на навколишнє довкілля.

Основним принципом побудови «Активних» будинків є екологічність архітектури з метою збереження і ефективного використання енергоресурсів та наявність позитивного енергобалансу. Таким чином, сучасні енергоефективні будинки повинні відповідати стандарту «енергія плюс», тобто «Активний» будинок виробляє енергії більше, ніж потрібно для покриття власних потреб [22–24].

Задля забезпечення повної автономності та високої енергоефективності «Активного» будинку застосовують енергокомплекси на базі відновлюваних джерел альтернативної енергетики, що виробляють як електричну, так і теплову енергію з метою повного покриття навантаження об'єкту [25].

На рис. 1 наведена схемна конфігурація енергокомплексу «Активного» будинку.



Рисунок 1 – Схемна конфігурація гібридного енергокомплексу «Активного» будинку

Така конфігурація для більшості регіонів України є оптимальною, але для практичної реалізації таких проєктів слід враховувати, що кількісний показник кожного виду джерел альтернативної енергетики приймається в залежності від енергетичного потенціалу місцевості розташування «Активного» будинку.

Ємність системи накопичення енергії підбирається індивідуально у кожному випадку з урахуванням прогнозних графіків навантаження та погодних умов місця розташування.

Також слід зазначити, що енергокомплекс оснащений інтелектуальним пристроєм керування енергозабезпеченням та розумним лічильником, що

має можливість рахувати кількість енергії, як спожитої з електричної мережі, так і її надлишки, що віддані у мережу.

Таким чином, так як «Активний» будинок проєктується завжди з позитивним енергобалансом, то взагалі у вигляді єдиного об'єкту може виступати у ролі джерела розосередженої генерації у Microgrid системі.

Впровадження Microgrid систем такої організаційної структури, коли споживач одночасно є і джерелом розосередженої генерації, дає низку переваг, а саме [26]:

1. реалізація автономної енергосистеми з енергокомплексів «Активних» будинків невеликих розмірів за протяжністю та за потужністю, без додаткового спорудження електростанцій на основі альтернативної енергетики;

- 2) напруга генерації є напругою і споживача, і Microgrid, що дає можливість не застосовувати пристрої перетворення та трансформації;

- 3) система накопичення енергії є розосередженою безпосередньо у кожного споживача, що спрощує структуру Microgrid систем, її реалізацію та алгоритм керування потоками потужності та електроенергії.

На рис. 2. наведена Microgrid система з розосередженою генерацією та споживачами одночасно у вигляді енергокомплексів «Активних» будинків.

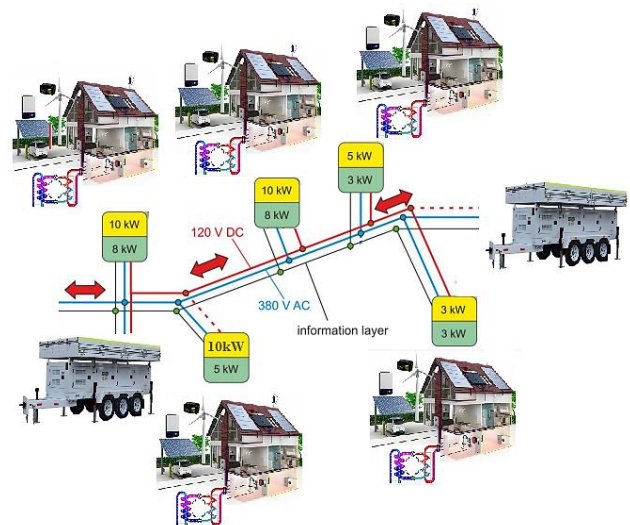


Рисунок 2 – Microgrid система з розосередженою генерацією від енергокомплексів «Активних» будинків

Додатково для збільшення потужності такої Microgrid передбачається підключення гібридних мобільних електростанцій, які можуть швидко переміщуватися та підключатися у різних точках системи, що також дає можливість регулювання потоків потужності.

Розроблена Microgrid повністю забезпечить високі показники надійності енергопостачання та показники якості електричної енергії.

Ефективність таких Microgrid систем скрадатиметься з енергоефективності окремих

об'єктів, тобто енергокомплексів «Активних» будинків та гібридних мобільних електростанцій.

Ефективність окремого енергокомплекса або гібридної мобільної електростанції можна представити у вигляді математичної залежності:

$$E_c = f[kN_1; kN_2; C_{AB(i)}; CB_j; BP], \quad (1)$$

де E_c – головний показник повної ефективності комплексної системи з ВДЕ;

k – сукупність зовнішніх факторів впливу на роботу ВДЕ;

N_1 – тип комплексної системи ВДЕ за класифікацією в залежності від частки заміщення потужності;

N_2 – тип комплексної системи в залежності від кількості видів ВДЕ у системі;

$C_{AB(i)}$ – ємність системи накопичення об'єкта;

CB_j – собівартість генерації однієї кВт×год електроенергії, що отримана різними видами ВДЕ;

BP – вартість одного кВт величини встановленої потужності, отриманої від різних видів ВДЕ.

Тоді ефективність Microgrid системи у математичному описі матиме вигляд:

$$E_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n E_{Ai} + \sum_{j=1}^m E_{Mj}, \quad (2)$$

де E_{Σ} – головний показник повної ефективності Microgrid системи;

$\sum_{i=1}^n E_{Ai}$ – підсумковий головний показник повної ефективності енергокомплексів «Активних» будинків;

$\sum_{j=1}^m E_{Mj}$ – підсумковий головний показник повної ефективності гібридних мобільних електростанцій.

Алгоритм інтелектуального керування запропонованою Microgrid фактично буде зведений до скерованого обміну енергією між окремими об'єктами системи.

Висновки. У результаті теоретичного дослідження доведено, що застосування енергоефективних технологій енергокомплексів «Активних» будинків, які одночасно є і споживачами, і джерелами розосередженої генерації, та гібридних мобільних електростанцій є новим витком у розвитку автономних Microgrid систем, що забезпечують стабільне, надійне та якісне електропостачання об'єктів на визначеній території. Також була запропонована математична модель визначення ефективності як окремого енергокомплекса або гібридної мобільної електростанції, так і Microgrid системи в цілому, що потребує подальших досліджень.

Список літератури

- Uddin M., Mo H., Dong D., Elsayah S., Zhu J., Guerrero J. M. Microgrids: A review, outstanding issues and future trends. *Energy Strategy Reviews*. 2023. Vol. 49. 101127. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.esr.2023.101127>.

- Hirsch A., Parag Y., Guerrero J. Microgrids: A review of technologies, key drivers, and outstanding issues. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2018. Vol. 90. P. 402–411. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.040>.
- Кириленко О. В., Денисюк С. П. Сучасні тенденції побудови та керування режимами електроенергетичних мереж. *Енергозбереження. Енергетика. Енергоаудит*. 2016. № 4(147). С. 2–14.
- Сценарії використання мікромереж згідно з міжнародними стандартами / І. В. Блінов та ін. *Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України*. 2025. № 70. С. 14–25. DOI: <https://doi.org/10.15407/publishing2025.70.014>.
- Interoperability in microgrids to improve energy access: a systematic review / A. Suryani et al. *IEEE Access*. 2024. Vol. 12. P. 64267–64284. DOI: <https://doi.org/10.1109/access.2024.3396275>.
- Almihat M., Munda J. Comprehensive review on challenges of integration of renewable energy systems into microgrid. *Solar Energy and Sustainable Development Journal*. 2025. Vol. 14, no. 1. P. 199–236. DOI: <https://doi.org/10.51646/jesd.v14i1.382>.
- Грищенко А. А., Липов В. В. Організаційні засади функціонування мікромереж ВДЕ: інтегративний підхід. *Відновлювана енергетика*. 2024. № 3(78). С. 6–16. DOI: [https://doi.org/10.36296/1819-8058.2024.3\(78\).6-16](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2024.3(78).6-16).
- The design and application of microgrid supervisory system for commercial buildings considering dynamic converter efficiency / W. Bai et al. *Sustainability*. 2023. Vol. 15, no. 8. 6413. DOI: <https://doi.org/10.3390/su15086413>.
- Савченко Н. П., Довгалюк О. М. Принципи формування оптимальної структури електроенергетичної системи з комплексним використанням джерел розосередженої генерації. *Енергозбереження. Енергетика. Енергоаудит*. 2023. № 9–10 (187–188). С. 36–53. DOI: <https://doi.org/10.20998/2313-8890.2023.09.02>.
- Класичні мікромережі | Управління мікромережею на основі IoT. *KTS-INTEK*. URL: <https://kts-intek.com/smart-energy-2/microgrid/> (дата звернення: 15.05.2025).
- Качан Ю. Г., Шрам О. А. Щодо структури енергоефективної електромережі промислового підприємства з джерелами розосередженої генерації. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2024. № 4 (175). С. 54–59. DOI: <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2024-175-4-54-59>.
- Development of energy management system for micro grid operation / S. Jayaprakash et al. *Computer Systems Science and Engineering*. 2023. Vol. 45, no. 3. P. 2537–2551. DOI: <https://doi.org/10.32604/csse.2023.032038>.
- Role of optimization techniques in microgrid energy management systems—A review / G. S. Thirunavukkarasu et al. *Energy Strategy Reviews*. 2022. Vol. 43. 100899. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.esr.2022.100899>.
- General approach to electrical microgrids: optimization, efficiency, and reliability / M. D. C. Toledo-Pérez et al. *Electricity*. 2025. Vol. 6, no. 1. 12. DOI: <https://doi.org/10.3390/electricity6010012>.
- Довгалюк О. М., Савченко Н. П., Трет'як А. В. Інтелектуальне управління в локальних електричних мережах. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я*: тези доповідей XXXII міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2024, м. Харків, 22–24 трав. 2024 р. Харків, 2024. С. 110.
- Федосєєнко О. М. Керування та управління мікромережевими кластерами: розвиток та майбутні дослідження. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: *Енергетика: надійність та енергоефективність*. 2023. № 2(7). P. 66–71. DOI: <https://doi.org/10.20998/2224-0349.2023.02.02>.
- Ndeke C. B., Adonis M., Almaktoof A. Energy management strategy for a hybrid micro-grid system using renewable energy. *Discov Energy*. 2024. Vol. 4. 1. DOI: <https://doi.org/10.1007/s43937-024-00025-9>.
- Савченко Н., Довгалюк О., Косиченко О. Новітні технології в автономному електропостачанні об'єктів. *V International Scientific and Practical Conference «SCIENTIFIC PRACTICE: MODERN AND CLASSICAL RESEARCH METHODS»*, м. Boston, USA, 22 груд. 2023 р. Boston-Vinnitsia, 2023. С. 164–165. DOI: <https://doi.org/10.36074/logos-22.12.2023.045>.
- Maximizing hybrid microgrid system performance: a comparative analysis and optimization using a gradient pelican algorithm / H. Abd

- El-Sattar et al. *Renewable Energy*. 2024. Vol. 227. 120480. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.120480>.
20. Опришко В. П. Регулювання режимів електропостачання в локальних системах microgrid. *Технічна електродинаміка*. 2016. № 4. С. 77–79. DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2016.04.077>
 21. Features of smart grid technologies introduction in the energy industry / V. Y. Lobodzinskiy та ін. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. 2022. Т. 33(72), № 4. С. 160–166. DOI: <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2022.4/24>.
 22. Савченко Н. П. Оптимізація комплексних гібридних систем енергопостачання з метою забезпечення принципів «Активного» будинку. *VI Міжнародна науково-технічна конференція «Енергоефективність та енергетична безпека електроенергетичних систем (EEES-2022)»*: Збірник наукових праць, м. Харків, 20–23 груд. 2022 р. Харків, 2022. С. 71–72.
 23. Вілінська Л. М., Бурлак Г. М., Гурська А. В. Енергоефективність багатоквартирного житлового будинку. *Український журнал будівництва та архітектури*. № 3(015). 2023. С. 28–33. DOI: <https://doi.org/10.30838/J.BPSACEA.2312.140723.28.951>.
 24. Taki A., Alsheglawi B. Toward energy-efficient houses considering social cultural needs in bahrain: a new framework approach. *Sustainability*. 2022. Vol. 14, no. 11. 6842. DOI: <https://doi.org/10.3390/su14116842>.
 25. Савченко Н. П., Трет'як А. В., Довгалюк О. М. Перспективи застосування мобільних електростанцій як джерел розосередженої генерації у локальних електричних мережах. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2023. Т. 4, № 74. С. 63–66. DOI: <https://doi.org/10.26906/sunz.2023.4.063>.
 26. Савченко Н. П., Довгалюк О. М. Енергоефективна Мікрогрід система з розосередженою генерацією від енергокомплексів «Активних» будинків. *VIII International Scientific and Practical Conference «EDUCATION AND SCIENCE OF TODAY: INTERSECTORAL ISSUES AND DEVELOPMENT OF SCIENCES»*, м. Cambridge, 9 трав. 2025 р. Cambridge-Vinnitsia, 2025. С. 280–286. DOI: <https://doi.org/10.36074/logos-09.05.2025.057>.
- ### References
1. M. Uddin, H. Mo, D. Dong, S. Elsayah, J. Zhu, and J. M. Guerrero, “Microgrids: A review, outstanding issues and future trends”, *Energy Strategy Reviews*, vol. 49, Sep. 2023, Art. no. 1011276 doi: <https://doi.org/10.1016/j.esr.2023.101127>
 2. A. Hirsch, Y. Parag, and J. Guerrero, “Microgrids: A review of technologies, key drivers, and outstanding issues”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 90, pp. 402–411, Jul. 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.040>
 3. A. V. Kirilenko and S. P. Denisyuk, “Modern tendencies of construction and management modes of electroenergy networks”, *Energy Saving. Power Engineering. Energy Audit*, no. 4(147), pp. 2–14, 2016. (in Ukrainian)
 4. I. Blinov, S. Palachov, E. Parus, and O. Klymenko, “Use cases of microgrids according to international standards”, *Proceedings of the Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine*, vol. 2025, no. 70, pp. 14–25, Apr. 2025, doi: <https://doi.org/10.15407/publishing2025.70.014> (in Ukrainian)
 5. A. Suryani, I. Sulaeman, O. A. Rosyid, N. Moonen, and J. Popović, “Interoperability in microgrids to improve energy access: A systematic review”, *IEEE Access*, vol. 12, pp. 64267–64284, 2024, doi: <https://doi.org/10.1109/access.2024.3396275>
 6. M. Almihat and J. Munda, “Comprehensive review on challenges of integration of renewable energy systems into microgrid”, *Solar Energy and Sustainable Development Journal*, vol. 14, no. 1, pp. 199–236, Mar. 2025, doi: <https://doi.org/10.51646/jesed.v14i1.382>
 7. A. A. Hrytsenko and V. V. Lypov, “Organizational principles of the operation of REG microgrids”, *Vidnovlyuvana Energetika*, no. 3(78), pp. 6–16, Sep. 2024, doi: [https://doi.org/10.36296/1819-8058.2024.3\(78\).6-16](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2024.3(78).6-16) (in Ukrainian)
 8. W. Bai et al., “The design and application of microgrid supervisory system for commercial buildings considering dynamic converter efficiency”, *Sustainability*, vol. 15, no. 8, Apr. 2023, Art. no. 6413, doi: <https://doi.org/10.3390/su15086413>
 9. N. Savchenko and O. Dovgaluk, “Principles of forming the optimal structure of the electric power system with the integrated use of distributed generation sources”, *Energy Saving. Power Engineering. Energy Audit*, no. 9-10(187-188), pp. 36–53, Feb. 2024, doi: <https://doi.org/10.20998/2313-8890.2023.09.02> (in Ukrainian)
 10. “Smart energy solutions with microgrid systems.” KTS-INTEK. Accessed: May 15, 2025. [Online]. Available: <https://kts-intek.com/smart-energy-2/microgrid/>
 11. Yu. G. Kachan and O. A. Shram, “On the structure of energy-efficient power grid of an industrial enterprise with distributed generation sources”, *Visnyk of Vinnytsia Politechnical Institute*, no. 4 (175), pp. 54–59, 2024, doi: <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2024-175-4-54-59> (in Ukrainian)
 12. S. Jayaprakash, B. Gopi, M. Gopal Raj, S. Sujith, S. Deepa, and S. Swapna, “Development of energy management system for micro grid operation”, *Computer Systems Science and Engineering*, vol. 45, no. 3, pp. 2537–2551, 2023, doi: <https://doi.org/10.32604/csse.2023.032038>
 13. G. S. Thirunavukkarasu, M. Seyedmahmoudian, E. Jamei, B. Horan, S. Mekhilef, and A. Stojcevski, “Role of optimization techniques in microgrid energy management systems—A review”, *Energy Strategy Reviews*, vol. 43, Sep. 2022, Art. no. 100899, doi: <https://doi.org/10.1016/j.esr.2022.100899>
 14. M. D. C. Toledo-Pérez et al., “General approach to electrical microgrids: Optimization, efficiency, and reliability”, *Electricity*, vol. 6, no. 1, Mar. 2025, Art. no. 12, doi: <https://doi.org/10.3390/electricity6010012>
 15. O. M. Dovhaliuk, N. P. Savchenko, and A. V. Tretiak, “Intelektualne upravlinnia v lokalnykh elektrychnykh merezhakh [Intelligent control in local electrical networks]”, in *Information technologies: science, engineering, technology, education, health*, Kharkiv, Ukraine, May 22–24, 2024. Kharkiv: NTU «KhPI», 2024, p. 110. (in Ukrainian)
 16. O. Fedoseienko, “Control and management of microgrid clusters: Development and future research”, *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Energy: Reliability and Energy Efficiency*, no. 2 (7), pp. 66–71, Dec. 2023, doi: <https://doi.org/10.20998/2224-0349.2023.02.02> (in Ukrainian)
 17. C. B. Ndeke, M. Adonis, and A. Almaktoof, “Energy management strategy for a hybrid micro-grid system using renewable energy”, *Discover Energy*, vol. 4, Feb. 2024, Art. no. 1, doi: <https://doi.org/10.1007/s43937-024-00025-9>
 18. N. Savchenko, O. Dovhaliuk, O. Kosyuchenko, “Novitni tekhnologii v avtonomnomu elektropostachanni ob'ektiv [The latest technologies in autonomous power supply for facilities]”, in *V International Scientific and Practical Conference «SCIENTIFIC PRACTICE: MODERN AND CLASSICAL RESEARCH METHODS»*, Boston, USA, Dec. 22, 2023. Boston-Vinnitsia: Primedia eLaunch & Eur. Scientific Platform, 2023, pp. 164–165, doi: <https://doi.org/10.36074/logos-22.12.2023.045> (in Ukrainian)
 19. H. Abd El-Sattar, M. H. Hassan, D. Vera, F. Jurado, and S. Kamel, “Maximizing hybrid microgrid system performance: A comparative analysis and optimization using a gradient pelican algorithm”, *Renewable Energy*, vol. 227, Apr. 2024, Art. no. 120480, doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.120480>
 20. V. P. Opryshko, “Power supply mode control in the local microgrid system”, *Tekhnichna Elektrodynamika*, vol. 2016, no. 4, pp. 77–79, Jun. 2016, doi: <https://doi.org/10.15407/techned2016.04.077>
 21. V. Y. Lobodzinskiy, M. P. Buryk, L. Y. Spinul, V. I. Chybelis, and O. A. Illina, “Features of smart grid technologies introduction in the energy industry”, *Scientific Notes of Taurida National V.I. Vernadsky University. Series: Technical Sciences*, vol. 33(72), no. 4, pp. 160–166, 2022, doi: <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2022.4/24>
 22. N. P. Savchenko, “Optimizatsiia kompleksnykh hibrydnykh system enerhopostachannia z metoiu zabezpechennia prynstypiv «Aktivnoho» budynku [Optimisation of complex hybrid energy supply systems to ensure the principles of an 'active' house]”, in *V International Scientific and Technical Conference «Energy Efficiency and Energy Security of Electric Power Systems (EEES-2022)»*, Kharkiv, Ukraine, Dec. 20–23, 2022. Kharkiv: Madr. Print. House, 2022, pp. 71–72. (in Ukrainian)
 23. L. M. Vilinska, H. M. Burlak, and A. V. Gurska, “Energy efficiency of an apartment building”, *Ukrainian Journal of Civil Engineering and Architecture*, no. 3 (015), pp. 28–33, Jun. 2023, doi: <https://doi.org/10.30838/j.bpsacea.2312.140723.28.951> (in Ukrainian)
 24. A. Taki and B. Alsheglawi, “Toward energy-efficient houses considering social cultural needs in bahrain: A new framework approach”, *Sustainability*, vol. 14, no. 11, Jun. 2022, Art. no. 6842, doi: <https://doi.org/10.3390/su14116842>

25. N. Savchenko, A. Tretiak, and O. Dovgalyuk, "Perspectives of application of mobile power plants as sources of distributed generation in local electrical networks", *Control, Navigation and Communication Systems*, vol. 4, no. 74, pp. 63–66, Dec. 2023, doi: <https://doi.org/10.26906/sunz.2023.4.063> (in Ukrainian)
26. N. P. Savchenko and O. M. Dovhaliuk, "Enerhoefektyvna Mikrohid systema z rozoseredzhenoiu heneratsiieiu vid enerhokompleksiv «Aktyvnykh» budynkiv [Energy-efficient microgrid system with distributed generation from energy complexes of "Active"

buildings]", in *VIII International Scientific and Practical Conference «EDUCATION AND SCIENCE OF TODAY: INTERSECTORAL ISSUES AND DEVELOPMENT OF SCIENCES»*, Cambridge, UK, May 9, 2025. Cambridge-Vinnitsia: P.C. Publ. House & UKRLOGOS Group LLC, 2025, pp. 280–286, doi: <https://doi.org/10.36074/logos-09.05.2025.057> (in Ukrainian)

Надійшла (received) 07.06.2025

UDC 621.311

NATALIA SAVCHENKO – Candidate of Technical Sciences (PhD), Docent, Associate Professor of the Department of Mechatronics and Electrical Engineering, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute"; Kharkiv, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7046-0633>; e-mail: natali_a_savchenko@ukr.net.

OKSANA DOVGALYUK ✉ – Candidate of Technical Sciences (PhD), Docent, Professor of the Department of Electric Power Transmission, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"; Kharkiv, Ukraine; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1994-619X>; e-mail: Oksana.Dovhaliuk@kpi.edu.ua.

ANDRII TRETIAK – Candidate of Technical Sciences (PhD), Associate Professor of the Department of Automation, Electronics and Telecommunications, National University "Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic"; Poltava, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3971-3078>; e-mail: tretjak_a.v@ukr.net.

AUTONOMOUS MICROGRID SYSTEM FOR DOMESTIC CONSUMERS BASED ON ENERGY-EFFICIENT TECHNOLOGIES WITH RENEWABLE ENERGY SOURCES

In the context of the global energy crisis, there is a growing need to update the concept and principles of energy system organisation, as well as approaches to their management. Traditional energy and centralised energy system management currently do not fully ensure the quality and reliability of electricity supply to consumers. The limited amount of traditional energy resources, the low level of modernisation and automation of energy system components, and the constant destruction of energy facilities as a result of military actions in Ukraine are the primary problems in the energy sector that need to be solved as soon as possible. The introduction of energy-efficient alternative energy technologies and the organisation of energy supply in the form of microgrid systems with distributed generation and decentralised control can be an effective solution to issues related to energy supply to consumers, especially in the domestic sector. Microgrids, by their very nature, are based on the complete intellectualisation of the management of the processes of generation, distribution, consumption and conservation of electrical energy, which ensures a closed cycle in the energy system with the organisation of power flows according to an effective control algorithm. The article proposes the organisation of an autonomous microgrid system using energy complexes of 'active' houses and mobile hybrid power stations as sources of distributed generation for additional generation and changes in the network structure. To improve the efficiency of the developed microgrid for domestic consumers, an algorithm for managing energy resources in it is proposed. The results obtained show the feasibility and energy efficiency of the developed MicroGrid system for domestic consumers. Conclusions have been made regarding the prospects for the further development of microgrids in the direction of using all the technical capabilities of renewable energy to overcome the energy crisis in the country and achieve energy independence.

Keywords: electricity grid; microgrid; renewable energy source; distributed generation; hybrid mobile power plant; energy complex; "Active" house; operating mode; intelligent control; energy efficiency.