

РЕЖИМИ РОБОТИ КОМПЛЕКСНОЇ СИСТЕМИ РОЗОСЕРЕДЖЕНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ

Отримано 01 трав. 2026 р.; рекомендовано до публікації 26 чер. 2026 р.
Доступно онлайн 30 чер. 2026 р.

Чорний Ю. А.¹, Шестеренко В. Є.², Молибг О. Г.³

Автор для кореспонденції: Чорний Юрій,
e-mail: stud_2011@ukr.net

Анотація. Наведено основні аспекти розосередженої генерації. Зазначена ідеологія базується на активній інформатизації та інтелектуалізації енергетичних об'єктів, широкому використанні розосередженої генерації, насамперед на рівні розподільних електричних мереж середньої та низької напруги, створенні та впровадженні провідних енергоефективних технологій у сфері генерації та розподілу енергії. Надано рекомендації для створення розосередженої енергетичної інфраструктури, що дає змогу будувати структуру генерації, сумісну з навантаженням, а це сприятиме локалізації процесів генерування-споживання, а отже, мінімізації втрат у мережах за рахунок зменшення відстані передачі енергії від генератора до споживача.

Ключові слова: відновлювані джерела енергії, система електропостачання, розосереджена генерація, надійність, енергоефективність, сонячно-вітрова електростанція.

¹ канд. техн. наук, доцент
<http://orcid.org/0009-0000-8592-4381>

² канд. техн. наук, професор
<https://orcid.org/0009-0006-2574-1237>

³ аспірант
<https://orcid.org/0009-0005-7286-1787>

^{1, 2} Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

³ Інститут відновлюваної енергетики НАН України, м. Київ, Україна

Вступ. На сьогодні практично всі провідні країни світу розробляють принципово нову ідеологію побудови та функціонування енергетичної галузі з метою надання безпечного, надійного, економічно доцільного та екологічно прийняттого енергозабезпечення споживачів [1].

Система розосередженої генерації (СРГ) – це повністю інтегрована, саморегульована і самовідновлювана енергетична система, що має мережеву топологію, охоплює всі джерела генерації, всі електричні мережі й усі типи споживачів електричної енергії, керовані єдиною мережею інформаційно-керувальних пристроїв та систем у режимі реального часу [2] (за кордоном отримала назву Smart Grid). До складу СРГ входять малі ТЕЦ та ГЕС, парогазові установки (ПГУ), газотурбінні установки (ГТУ), сонячні електростанції (СЕС) [3]. Оскільки всі джерела РГ мають працювати у синхронному режимі, одне відключилось інше відразу включилось, за цими всіма процесами людина не здатна доглядіти, а тому система повинна самостійно керуватись і відновлюватись при різних відключеннях, що й покладено в концепцію Smart Grid [4]. Таким чином, інтеграція розосередженої генерації в електричні мережі дає можливість вирішити ряд проблем для підвищення надійності й безпеки електропостачання та оптимізації вартості електроенергії для споживача. Застосування розосередженої генерації дає змогу знизити витрати на централізоване виробництво й передачу електроенергії та підвищити надійність електропостачання споживачів. Поняття «інтелектуальна енергетика» [5] стає терміном, що позначає нові принципи роботи енергетики як в Україні, так і за кордоном. Сучасні електронні, інформаційні, телекомунікаційні,

обчислювальні технології вдосконалюють процеси енерговиробництва та керування енергетичними потоками на підприємствах, роблять їх надійними, безпечними й ефективними, наділяють споживача новими можливостями, а поглиблення децентралізації, метою якого є перетворення мільйонів приватних будинків, офісних центрів та підприємств на виробників і продавців електричної та теплової енергії, приведе до оптимізації вартості електроенергії для споживача, зниження витрат на централізовану передачу та розподіл електричної енергії, забезпечення основних послуг та підвищення енергоефективності об'єднаної енергетичної системи України [8–12]; підвищення безперебійності електропостачання, підвищення надійності завдяки захищеності від аварійних відключень. Тож застосування розосередженої генерації дає змогу підвищити надійність електропостачання споживачів [6].

Отже, з погляду зменшення нерівномірності графіка електричного навантаження застосування джерел розосередженої генерації матиме найбільший економічний ефект у разі використання їх населенням. Варто зазначити, що встановлення та обслуговування таких відновлюваних джерел РГ занадто дороге для звичайних громадян, але якщо такою установкою користується група населення (житловий район, котеджне містечко тощо), то актуальність використання РГ раптово зростає. Тож можливе застосування диференційних тарифів, зменшення плати за електричну енергію, гібридне електропостачання від мережі чи від джерел РГ. Використання такої мікромережі вигідне не тільки для місцевих споживачів, а й для об'єднаної енергетичної системи України [8–12].

При цьому міні- і мікроустановки малої потужності, переважно приватної приналежності, можуть підключатися до мережі 0,4 кВ або працювати в автономному режимі. За такої організації розподільча мережа принципово змінює конфігурацію та властивості. Розвантаження основних ділянок мережевої структури, особливо в низьковольтній частині з напругою 0,4 кВ, сприяє зменшенню технологічних втрат, збільшенню надійності постачання та перепускної можливості міжсистемних зв'язків [7]. Серед основних переваг мобільних розосереджених генераторів можна також виділити їх спроможність віддавати електроенергію лише в зазначені часові інтервали пікових і напівпікових навантажень. Такий режим роботи є особливо актуальним у періоди підвищеного споживання в тих районах, де надходження електроенергії відбувається за одно- або дволінійною схемою з недостатнім коефіцієнтом запасу потужності.

Структура комплексної системи розосередженої генерації

Технічна суть запропонованого пристрою пояснюється кресленням (рис. 1), на якому зображено блок-схему системи комплексного використання відновлюваних джерел енергії.

Всі джерела енергії об'єднують в єдину систему і регулюють потужності окремих джерел за рекомендацією математичної оптимізаційної моделі [2], при цьому враховують вартість енергії в кожному типі джерела енергії й забезпечують мінімум вартості енергії в загальній системі енергопостачання. Електричну й теплову енергію від сонячних установок та вітрової електростанції споживають без обмежень.

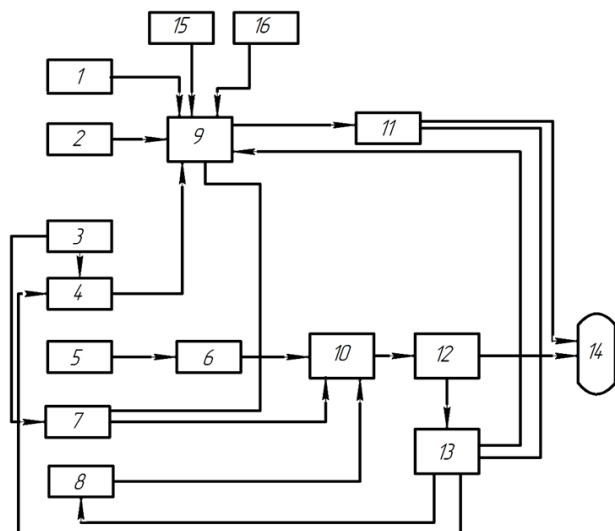


Рис. 1. Схема системи комплексного використання відновлюваних джерел енергії

До комплексної розосередженої системи входять: вітроелектростанція 1; сонячна електрична батарея 2; біогазова установка 3; паливний елемент 4; геліоколектори 5; термодатчик з термочутливим елементом на основі матеріалу з ефектом пам'яті форми 6; когенераційна система 7; твердопаливний водяний котел 8; розподільчий

щит 9; акумулятор тепла з електропідігрівом 10; датчики витрат електроенергії та гарячої води 11, 12; блок керування 13; споживачі електроенергії та теплої води 14.

Система функціонує як єдина енергетична мікро мережа, в якій мікропроцесорний блок керування координує режими роботи окремих джерел енергії залежно від: рівня електричного навантаження; потреб у тепловій енергії; швидкості вітру; рівня сонячної радіації; вартості енергії від окремих джерел.

Основним завданням системи керування є забезпечення мінімальної вартості енергопостачання при збереженні необхідної надійності та стабільності роботи системи.

Вітрова електростанція 1 та сонячна електрична батарея 2 можуть забезпечити населення електричною енергією, когенераційна система заводської комплектації 7 – тепловою та електричною, геліоколектори 5 – тепловою. Пальним для когенераційної системи є біогаз, який надходить з біогазової установки 3. Цей же біогаз подається на паливний елемент 4, де його енергія безпосередньо перетворюється на електричну енергію.

Аналіз режимів роботи системи

У літній період основне навантаження припадає на сонячні електричні батареї 2 і геліоколектори 5. Це пов'язано з високим рівнем сонячної радіації і, відповідно, ефективним генеруванням електричної й теплової енергії.

У цьому режимі: зменшується навантаження на когенераційну систему 7, що спричиняє економію біогазу та твердого палива; зменшує навантаження на центральну мережу. Вітроелектростанція працює як допоміжне джерело генерації й використовується в разі зменшення сонячної активності.

В опалювальний сезон (зимовий режим) суттєво зростає споживання теплової енергії й одночасно зменшується рівень сонячної радіації. Ефективність сонячної батареї та геліоколекторів суттєво зменшується, але зростає потужність вітроелектростанції, оскільки збільшується швидкість вітру. Це частково компенсує недовиробництво електроенергії сонячними батареями. У періоди шторму й низьких температур повітря збільшують потужність когенераційної системи, біогазової установки, автоматизованого твердопаливного водяного котла та паливного елемента. Оскільки біогазова установка працює періодично і відключається під час завантаження чи очищення її від відходів, необхідно передбачити дві (або більше) установки.

Необхідно також проаналізувати роботу системи за низької вітрової та сонячної активності. У цьому режимі загальне навантаження переходить на когенераційну систему, біогазову установку та твердопаливний котел. Співвідношення потужностей окремих джерел генерації відповідно до поточних потреб споживачів автоматично керується мікропроцесорною системою.

Для забезпечення надійності роботи системи здійснюється дублювання елементів системи. Це важливо в разі

необхідності тимчасових відключень під час завантажень або очищення.

Важливим є питання використання системи за максимальних швидкостей вітру.

У таких режимах вітроелектростанція в системі переходить у режим комбінованого виробництва електричної й теплової енергії. Механічна енергія розподіляється на виробництво електроенергії і нагрівання води з накопиченням теплової енергії в тепловому акумуляторі.

У разі об'єднання відновлюваних джерел енергії – вітроенергетичної установки, сонячних батарей, біогазових установок, геліоколекторів, автоматизованих твердопаливних водяних котлів, у яких використовують горючі відходи, – в єдину систему необхідність у застосуванні резервних джерел енергії відпадає.

У багатьох випадках до систем комплексного використання відновлюваних джерел енергії долучаються вітрові теплоелектростанції [14].

Вітрова теплоелектростанція (рис. 2) складається з: вітродвигуна 1, електромагнітної муфти 2, печі гідродинамічних втрат 3, насоса подачі води 4, термодіафрагми 5, теплового акумулятора 6, електрогенератора 7, датчика струму 8, блока керування 9, датчика швидкості ротора 10.

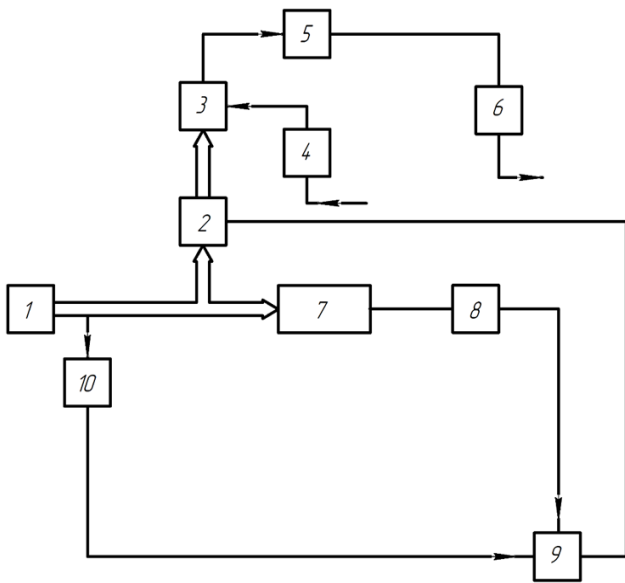


Рис. 2. Блок-схема вітрової теплоелектростанції

У разі значного електричного навантаження й середніх швидкостей вітру установка працює як звичайна вітроелектростанція: вітродвигун 1 віддає всю свою потужність електрогенератору 7.

Якщо швидкість вітру наближається до максимальних значень, підключається піч гідродинамічних втрат 3 до ротора вітродвигуна 1. Це забезпечить можливість збалансувати потужності генерування за рахунок вітроустановки та печі гідродинамічних втрат (ПГПВ) і перетікання гарячої води в тепловий акумулятор 6.

Вода з теплового акумулятора може бути використана в зручний для населення час з метою забезпечення населення електричною і тепловою енергією.

Наявність теплового акумулятора актуальна для використання короткочасних шквалів та тривалих бурь для нагрівання води і використання її в штиль [14].

Інтеграція розосереджених джерел енергії потребує формування складної системи енергозабезпечення [16, 17]. Необхідно розглянути методи формування мікро мереж та інтегрованих систем, адекватно оцінивши можливість втілення концепції в умовах України. Проаналізувавши можливості та проблеми застосування розосередженої генерації, доходимо висновку, що для оптимального розміщення та вибору джерел розосередженої генерації (РГ) доцільно використовувати методи нечіткої логіки та багатокритеріальний аналіз. Повинна бути розроблена спеціальна методика для врахування невизначеності та нерівномірності споживання електроприймачами та генерації електричної енергії відновлюваними джерелами енергії. Для оцінки економічного аспекту втілення концепції розосередженої генерації необхідна методика вибору альтернатив генерації, за результатами якої визначається фінансова доцільність проектування мікро енергосистеми на базі джерел РГ. З огляду на актуальність, переваги та потенціал відновлюваних ресурсів в Україні, на базі отриманих методів має бути сформований алгоритм альтернативного енергозабезпечення об'єкта з використанням розосереджених джерел енергії. Складність такої системи електропостачання полягає в необхідності інформатизації процесів, застосування сучасних енергетичних установок, електричних апаратів та систем обліку. Переваги від такої системи отримують як споживач, так і енергосистема, оскільки рознесення електричного навантаження позитивно впливає на графік електричного навантаження, дає змогу застосувати диференційовані тарифи та підвищує надійність електропостачання.

Розробка чіткої стратегії еволюції існуючих енергетичних та пов'язаних з нею інфраструктур потребує системного та збалансованого підходу, комплексного аналізу альтернатив із застосуванням технічних, фінансових, соціальних та екологічних критеріїв з використанням методів ризик-менеджменту. Подібна трансформація енергетичної системи надає їй позитивних якостей, однак призводить до появи певних проблем та ризиків.

Впровадження засобів розосередженої генерації стимулюється прагненням до диверсифікації паливно-енергетичних ресурсів за рахунок збільшення частки альтернативних та місцевих (включаючи технологічні відходи) ресурсів. В умовах росту тарифів на енергоносії, нестачі генеруючих потужностей, їх зносу та низької ефективності зацікавленість у використанні розосередженої генерації з метою підвищення надійності з боку споживачів неперервно зростає.

Поява змішаної приватно-державної форми власності потребує реформування енергетичного сектору [13], розвитку нових технологій, впровадження інформаційних та діагностичних систем, засобів вимірювання й управління з метою підвищення ефективності виробництва, передачі і розподілу електричної енергії для забезпечення

надійності і якості електрозабезпечення споживачів. Розосереджена генерація розміщується в стратегічних місцях мережі зі слабкими електричними зв'язками, а саме недостатньою пропускну здатністю мереж передачі та розподілення електроенергії або в місцях, значно віддалених від джерел централізованої генерації, що покращує надійність та стабільність роботи енергосистеми.

У системі розосередженої генерації для керування потоками потужності та регулювання напруги можливе використання дворівневої системи керування [18].

Суттєвою перевагою дворівневого способу регулювання є комплексність керування потоками потужності та одночасність регулювання всіх джерел потужності в системі. Проте на відміну від дистанційного регулювання, де за сигналом з диспетчерського пункту здійснюється перемикання незалежно у вітці, цей спосіб пропонує враховувати рівні двох сигналів – від місцевого давача і від регулятора вищого рівня. Перемикання відбувається вибірково, в окремих вітках і тільки за певних рівнів сигналів.

Таким чином, інтеграція розосередженої генерації в електричні мережі дає можливість вирішити ряд проблем для підвищення надійності та безпеки електропостачання [15], збереження стійкості функціонування енергосистем та оптимізації вартості електроенергії для споживача, зниження залежності від централізованих мереж, зниження витрат на передачу електроенергії, забезпечення основних послуг та підвищення енергоефективності, підвищення стійкості енергосистеми до аварійних режимів, зменшення витрат органічного палива.

Висновки

Проведений аналіз показав, що комплексні (інтегральні) системи розосередженої генерації забезпечують ефективне функціонування в різних режимах роботи за рахунок оптимального використання сонячної [19], вітрової, когенераційної та біогазової генерації.

Перевагами системи є: можливість адаптації до змін електричного й теплового навантаження з автоматичним перерозподілом потоків потужності; підвищення надійності електропостачання, зменшення витрат палива, забезпечення роботи мережі в різних кліматичних умовах.

Таким чином, розподільна електрична мережа поступово перетворюється на мережу з характерними особливостями ізольованої електричної системи.

ПОСИЛАННЯ

1. Abhik Banerjee, V. Mukherjee, S.P. Ghoshal (2013), Modeling and seeker optimization based simulation for intelligent reactive power control of an isolated hybrid power system, *Swarm and Evolutionary Computation*, 13, pp. 85–100.
2. Qingfeng Tang, Jianhua Zhang, Linze Huang (2014), Coordinating Control of Reactive Power Optimization in Distribution Power System with Distributed Wind Energy, *AASRI Procedia*, 7, pp. 38–44.
3. Aqeel Ahmed Bazmi, Gholamreza Zahedi (2011), Sustainable energy references.
4. Tian Y., Zhao C. Y. A review of solar collectors and thermal energy storage in solar thermal applications. *Applied Energy*. Volume 104. April 2013. Pp. 538–553. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.11.051>
5. Rismanchi B., Saidur R., Boroumandjazi G., Ahmed S. Energy, exergy and environmental analysis of cold thermal energy storage (CTES) systems. *Renew Sustain Energy Rev.* 16 (2012) 5741–5746.
6. Yau Y. H., Rismanchi B. A review on cool thermal energy storage technologies and operating strategies. *Renew Sustain Energy Rev.* 15 (2012) 787–797.
7. Kousksou T., Bruel P., Jamil A., El Rhafiki T., Zeraouli Y. Energy storage: Application and challenges. *Solar Energy Materials & Solar Cells*. 120 (2013) 59–80.
8. Garg H. P., Mullick S. C., Bhargava A. K. *Solar Thermal Energy Storage*, first ed., D. Reidel Publishing Company. Dordrecht. Holland. 1985.
9. Lane G. A. *Solar Heat Storage: Latent Heat Materials*. CRC Press. Boca Raton. USA.
10. Omid Alizadeh Mousavi, Rachid Cherkaoui (2014), Investigation and V–Q based optimization methods for Heat Materials. CRC Press. Boca Raton. USA. 1983.
11. Tschappu F. Problems of the exact measurement of electrical energy in networks having harmonic content in the current // *Landis and Gyr Review*. 1981. Vol. 28, №2.
12. EC. Disturbances in supply systems caused by household appliances and similar electrical equipment. IEC Publication 555. Parts 1–3, 1982.
13. Шестеренко В. Є. Системи електроспоживання та електропостачання промислових підприємств. Вінниця: Нова книга, 2011. 656 с.
14. Шестеренко В. Є. Патент на винахід № 103417, МПК F 03D 9/00, F 03D 7/04, F 24J3/00 – Вітрова теплоелектростанція. Опубл. Бюл. № 19, 2013.
15. Fernandes D., Pitie F., Caceres G., Baeyens J. Thermal energy storage: "How previous findings determine current research priorities". *Energy*. 39 (2012) 246–257.
16. Fernandez A. I., Martinez M., Segarra M., Martorell I., Cabeza L. P. Selection of materials with potential in sensible thermal energy storage. *Sol Energy Mater Sol Cells*. 94 (2010) 1723–1729.
17. Chen H., Cong T. N., Yang W., Tan C., Li Y., Ding Y. Progress in electrical energy storage system: A critical review. *Progress in Natural Science*. 19 (2009) 291–312.
18. Шестеренко В. Є. Декларційний патент № 14372 UA, H02J 3/12. Спосіб керування електроспоживанням. Опубл. 15.05.2006. Бюл. № 5.
19. Лацанич А., Шестеренко В. Перспективи використання сонячних електроустановок
20. Матеріали 89 міжнарод. наук. конф. мол. вчених, аспір. і студ. "Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у 21 ст". 2-3 квітня, 2024р. Ч. 2. Київ, НУХТ, с. 341–342.

OPERATING MODES OF AN INTEGRATED DISTRIBUTED GENERATION SYSTEM

Received May 01, 2026; accepted Jun. 26, 2026

Available online June. 30, 2026

Chorny Yu.¹, Shesterenko V.², Molyboh O.³Author for correspondence: Chorny Yuri,
e-mail: stud_2011@ukr.net¹ PhD (Engineering Sc.), Associate Professor,
<http://orcid.org/0009-0000-8592-4381>² PhD (Engineering Sc.), Professor,
<https://orcid.org/0009-0006-2574-1237>³ PhD Student
<https://orcid.org/0009-0005-7286-1787>

Abstract. *This paper outlines the key aspects of distributed generation. The proposed concept is based on the digitalisation and intellectualisation of power facilities, the widespread deployment of distributed generation — primarily at the level of medium- and low-voltage distribution networks — and the development and implementation of cutting-edge energy-efficient technologies in the field of energy generation and distribution. Recommendations*

are provided for the establishment of a distributed energy infrastructure that enables the design of a generation structure compatible with the load profile. This allows generation and consumption to be located closer to each other, thereby minimising network losses by reducing the distance over which energy is transmitted from the generator to the end user.

Keywords: *renewable energy sources, power supply system, distributed generation, reliability, energy efficiency, solar-wind power plant.*

Introduction

Today, virtually all of the world's leading countries are developing a fundamentally new concept for the design and operation of the energy sector, with the aim of providing consumers with a safe, reliable, economically viable and environmentally acceptable energy supply [1].

A distributed generation system (DGS) is a fully integrated, self-regulating and self-healing power system with a network topology that encompasses all generation sources, all electrical networks and all categories of electricity consumers, governed in real time by a single network of information-and-control devices and systems [2] (known abroad as the Smart Grid). A DGS incorporates small CHP plants and hydroelectric power plants (HPPs), combined-cycle gas turbine (CCGT) units, gas turbine (GT) units and solar power plants (SPPs) [3]. Since all DG sources must operate in synchronism — the moment one is disconnected, another must immediately come online — these processes are beyond the capacity of a human operator to track; the system must manage control and restore itself under different outage conditions, which is precisely the principle underpinning the Smart Grid concept [4]. Thus, integrating distributed generation into electrical networks makes it possible to address a range of problems concerning the reliability and security of power supply and the optimisation of electricity costs for the consumer. The deployment of distributed generation reduces the costs of centralised electricity generation and transmission and enhances the reliability of supply to consumers. The expression "intelligent power engineering" [5] is becoming a term that denotes the new

operating principles of the energy sector, both in Ukraine and abroad. Modern electronic, information, telecommunications and computing technologies are refining the processes of energy production and the management of energy flows at enterprises, rendering them reliable, safe and efficient and equipping the consumer with new capabilities; meanwhile, the deepening of decentralisation — whose goal is to turn millions of private homes, office centres and enterprises into producers and sellers of electrical and thermal energy — will lead to the optimisation of electricity costs for the consumer, a reduction in the costs of centralised transmission and distribution of electrical energy, the provision of essential services and improved energy efficiency of the Integrated Power System of Ukraine [8–12], along with greater continuity of supply and enhanced reliability through protection against emergency outages. Therefore, distributed generation can improve the reliability of power supply. [6].

Accordingly, from the standpoint of smoothing out the unevenness of the electrical load curve, distributed generation sources will deliver the greatest economic benefit when employed by households. It is worth noting that installing and maintaining such renewable DG sources is prohibitively expensive for ordinary households; however, once a single installation is shared by a group of users (a residential district, a cottage settlement and the like), the case for deploying DG rises sharply. This enables the use of differentiated tariffs, reduced electricity charges and a hybrid power supply drawn either from the grid or from DG sources. The operation of such a microgrid is advantageous

not only for local consumers but also for the Integrated Power System of Ukraine [8–12].

In this context, low-capacity mini- and micro-installations, predominantly privately owned, may be connected to the 0.4 kV network or operate in stand-alone mode. Under such an arrangement, the distribution network fundamentally changes its configuration and characteristics. Offloading the main sections of the network structure — particularly the low-voltage part at 0.4 kV — helps to reduce technical losses and to increase both supply reliability and the throughput capacity of inter-system links [7]. Among the principal advantages of mobile distributed generators, one may also single out their ability to feed electricity into the grid only during specified time intervals of peak and shoulder loads. Such an operating mode is especially relevant during periods of elevated consumption in areas where electricity is supplied via a single- or double-line scheme with an insufficient power reserve margin.

Structure of the Integrated Distributed Generation System

The technical essence of the proposed device is illustrated by the drawing (Fig. 1), which presents a block diagram of a system for the integrated use of renewable energy sources.

All energy sources are combined into a single system, and the power outputs of the individual sources are regulated in accordance with the recommendations of a mathematical optimisation model [2]; in doing so, the cost of energy from each type of source is taken into account, and the minimum energy cost across the overall power supply system is ensured. Electrical and thermal energy from the solar installations and the wind power plant is consumed without restriction.

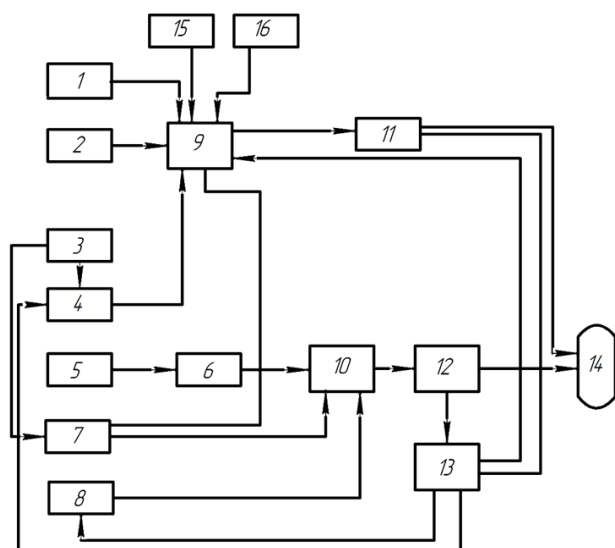


Fig. 1. Diagram of a system for the integrated use of renewable energy sources

The integrated distributed system comprises: a wind power plant 1; a photovoltaic (PV) array 2; a biogas plant 3; a fuel cell 4; solar thermal collectors 5; a thermal valve with a heat-

sensitive element based on a shape-memory material 6; a cogeneration system 7; a solid-fuel hot-water boiler 8; a switch-gear 9; a heat accumulator with electric heating 10; electricity- and hot-water-consumption sensors 11, 12; a control unit 13; and consumers of electricity and hot water 14.

The system operates as a single energy microgrid in which a microprocessor-based control unit coordinates the operating modes of the individual energy sources depending on the following: the level of electrical load; the demand for thermal energy; wind speed; the level of solar radiation; and the cost of energy from the individual sources.

The principal task of the control system is to ensure the minimum cost of energy supply while maintaining the requisite reliability and stability of the system's operation.

The wind power plant 1 and the photovoltaic array 2 can supply households with electrical energy; the factory-assembled cogeneration system 7 supplies both thermal and electrical energy; and the solar thermal collectors 5 supply thermal energy. The fuel for the cogeneration system is biogas, which is fed in from the biogas plant 3. The same biogas is fed to the fuel cell 4, where its energy is converted directly into electrical energy.

Analysis of the System's Operating Modes

In the summer period, the main load falls on the photovoltaic (PV) arrays 2 and the solar thermal collectors 5. This is attributable to the high level of solar radiation and, correspondingly, to the efficient generation of electrical and thermal energy.

In this mode, the load on the cogeneration system 7 is reduced, which yields savings in biogas and solid fuel, and the load on the centralised grid is likewise eased. The wind power plant operates as an auxiliary generation source and is brought into use whenever solar activity declines.

During the heating season (winter mode), the consumption of thermal energy rises substantially while, at the same time, the level of solar radiation falls. The efficiency of the PV arrays and solar thermal collectors decreases markedly, but the output of the wind power plant grows as wind speed increases. This partially offsets the shortfall in electricity generated by the PV arrays. During periods of calm and low air temperatures, the output of the cogeneration system, the biogas plant, the automated solid-fuel hot-water boiler and the fuel cell is increased. Since the biogas plant operates intermittently and is shut down for loading or for cleaning out waste, provision must be made for two (or more) such plants.

It is also necessary to analyse the operation of the system under conditions of low wind and solar activity. In this mode, the entire load is transferred to the cogeneration system, the biogas plant and the solid-fuel boiler. The ratio of the outputs of the individual generation sources is controlled automatically by the microprocessor-based system in accordance with consumers' current demand.

To ensure reliable operation, redundancy is provided for the system's components. This is important whenever temporary shutdowns are required for loading or cleaning.

An important consideration is the operation of the system at maximum wind speeds.

Under such modes, the wind power plant within the system switches to combined generation of electrical and thermal energy. The mechanical energy is split between electricity generation and water heating, with the thermal energy stored in the heat accumulator.

When renewable energy sources — a wind power installation, PV arrays, biogas plants, solar thermal collectors and automated solid-fuel hot-water boilers fired with combustible waste — are combined into a single system, the need to employ reserve (backup) energy sources is eliminated.

In many cases, wind thermal power plants (WTPPs) are employed in systems for the integrated use of renewable energy sources [14].

A wind thermal power plant (Fig. 2) consists of: a wind turbine 1; an electromagnetic clutch 2; a hydrodynamic-loss furnace 3; a water-feed pump 4; a thermal valve 5; a heat accumulator 6; an electric generator 7; a current sensor 8; a control unit 9; and a rotor-speed sensor 10.

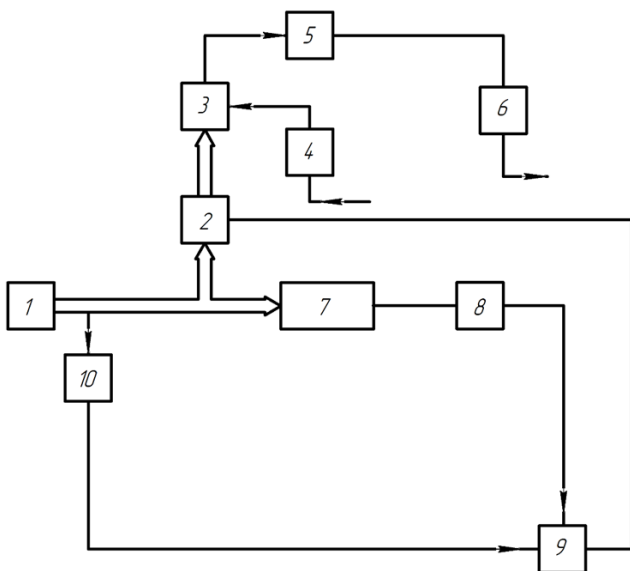


Fig. 2. Block diagram of a wind thermal power plant

Under a significant electrical load and moderate wind speeds, the installation operates as a conventional wind power plant: the wind turbine 1 delivers all of its power to the electric generator 7.

If the wind speed approaches its maximum values, the hydrodynamic-loss furnace 3 is coupled to the rotor of the wind turbine 1. This makes it possible to balance the generating capacities provided by the wind installation and the hydrodynamic-loss furnace (HLF) and to channel the resulting hot water into the heat accumulator 6.

The water from the heat accumulator can be drawn off at a time convenient for households, in order to supply them with electrical and thermal energy. The presence of a heat accumulator is valuable for harnessing short-lived squalls

and prolonged storms to heat water, which can then be used during periods of calm [14].

The integration of distributed energy sources calls for the formation of a complex energy-supply system [16, 17]. The methods for forming microgrids and integrated systems need to be examined, with a sound assessment of the feasibility of implementing the concept under Ukrainian conditions. Having analysed the opportunities and the problems associated with the deployment of distributed generation, we arrive at the conclusion that, for the optimal siting and selection of distributed generation (DG) sources, it is expedient to use fuzzy-logic methods and multi-criteria analysis. A dedicated methodology must be developed in order to account for the uncertainty and unevenness both of consumption by electricity consumers and of electrical-energy generation by renewable energy sources. To evaluate the economic dimension of implementing the distributed-generation concept, a methodology for selecting generation alternatives is required, the results of which determine the financial viability of designing a micro power system based on DG sources. In view of the relevance, the advantages and the potential of renewable resources in Ukraine, the methods obtained should serve as the basis for formulating an algorithm for alternative energy supply to a given facility employing distributed energy sources. The complexity of such a power supply system lies in the need to digitalise the relevant processes and to deploy modern power-generating installations, electrical apparatus and metering systems. The advantages of such a system will be appreciated by both the consumer and the power system itself, since the dispersal of the electrical load has a beneficial effect on the load curve, enables differentiated tariffs to be applied, and enhances the reliability of power supply.

The development of a clear strategy for the evolution of existing energy and related infrastructures calls for a systematic and balanced approach, together with a comprehensive analysis of alternatives drawing on technical, financial, social and environmental criteria and on risk-management methods. Such a transformation of the energy system endows it with a number of positive qualities; it does, however, give rise to certain problems and risks.

The introduction of distributed generation facilities is driven by the pursuit of diversification of fuel and energy resources through an increased share of alternative and local resources (including industrial waste). Against a backdrop of rising energy tariffs, a shortfall in generating capacity, the wear and tear of existing assets and their low efficiency, consumer interest in deploying distributed generation as a means of enhancing reliability continues to grow.

The emergence of a mixed private-and-public form of ownership calls for a reform of the energy sector [13], for the development of new technologies and for the deployment of information and diagnostic systems, as well as measurement and control facilities, with the aim of improving the efficiency of the generation, transmission and distribution of electrical energy, while ensuring the reliability and quality of electricity supply to consumers. Distributed generation is sited at strategic points of the network with weak

electrical links — namely, where the throughput capacity of transmission and distribution networks is insufficient, or in locations significantly remote from centralised generation sources — which improves the reliability and stability of the power system's operation.

In a distributed generation system, a two-level control scheme [18] may be employed for the management of power flows and for voltage regulation.

A substantial advantage of the two-level control approach lies in the integrated management of power flows and the simultaneous regulation of all power sources within the system. By contrast, unlike remote control — where switching is performed in a given branch on a signal from the control centre, independently — the proposed approach takes into account two signal levels: from a local sensor and from a higher-level regulator. Switching occurs selectively, in individual branches, and only at certain signal levels.

Thus, the integration of distributed generation into electrical networks makes it possible to address a number of problems concerned with: enhancing the reliability and security of power supply [15]; preserving the stable operation of power systems and optimising the cost of electricity for the consumer; reducing dependence on centralised networks; cutting electricity transmission costs; ensuring essential services and improving energy efficiency; increasing the resilience of the power system to emergency conditions; and reducing fossil-fuel consumption.

Conclusions

The analysis carried out has shown that integrated distributed generation systems ensure effective operation across a range of operating modes through the optimal use of solar [19], wind, cogeneration and biogas generation.

The advantages of such a system are: the ability to adapt to changes in the electrical and thermal load through the automatic redistribution of power flows; enhanced reliability of power supply; reduced fuel consumption; and the capacity to operate the network under a variety of climatic conditions.

The distribution network is thus gradually being transformed into a network that exhibits the characteristic features of an islanded electrical system.

REFERENCES

1. Abhik Banerjee, V. Mukherjee, S.P. Ghoshal (2013), Modeling and seeker optimization based simulation for intelligent reactive power control of an isolated hybrid power system, *Swarm and Evolutionary Computation*, 13, pp. 85-100.
2. Qingfeng Tang, Jianhua Zhang, Linze Huang (2014), Coordinating Control of Reactive Power Optimization in Distribution Power System with Distributed Wind Energy, *AASRI Procedia*, 7, pp. 38-44.
3. Aqeel Ahmed Bazmi, Gholamreza Zahedi (2011), Sustainable energy references.
4. Tian Y., Zhao C. Y. A review of solar collectors and thermal energy storage in solar thermal applications. *Applied Energy*. Volume 104. April 2013. Pp. 538–553. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.11.051>
5. Rismanchi B., Saidur R., Boroumandjazi G., Ahmed S. Energy, exergy and environmental analysis of cold thermal energy storage (CTES) systems. *Renew Sustain Energy Rev.* 16 (2012) 5741–5746.
6. Yau Y. H., Rismanchi B. A review on cool thermal energy storage technologies and operating strategies. *Renew Sustain Energy Rev.* 15 (2012) 787–797.
7. Kousksou T., Bruel P., Jamil A., El Rhafiki T., Zeraoui Y. Energy storage: Application and challenges. *Solar Energy Materials & Solar Cells*. 120 (2013) 59–80.
8. Garg H. P., Mullick S. C., Bhargava A. K. *Solar Thermal Energy Storage*, first ed., D. Reidel Publishing Company. Dordrecht. Holland. 1985.
9. Lane G. A. *Solar Heat Storage: Latent Heat Materials*. CRC Press. Boca Raton. USA.
10. Omid Alizadeh Mousavi, Rachid Cherkaoui (2014), Investigation and V–Q based optimization methods for Heat Materials. CRC Press. Boca Raton. USA. 1983.
11. Tschappu F. Problems of the exact measurement of electrical energy in networks having harmonic content in the current // *Landis and Gyr Review*. 1981. Vol. 28, №2.
12. EC. Disturbances in supply systems caused by household appliances and similar electrical equipment. IEC Publication 555, Parts 1-3, 1982.
13. V.E. Shesterenko Systems of electricity consumption and electricity supply of industrial enterprises. - Vinnytsia: Nova Knyga, 2011. - 656 p.
14. Shesterenko V.E., Patent for invention No. 103417, MPK F 03D 9/00, F 03D 7/04, F 24J3/00 – Wind thermal power plant/. *Publ. Bull.* No. 19, 2013.
15. Fernandes D., Pitie F., Caceres G., Baeyens J. Thermal energy storage: "How previous findings determine current research priorities". *Energy*. 39 (2012) 246–257.
16. Fernandez A. I., Martinez M., Segarra M., Martorell I., Cabeza L. P. Selection of materials with potential in sensible thermal energy storage. *Sol Energy Mater Sol Cells*. 94 (2010) 1723–1729.
17. Chen H., Cong T. N., Yang W., Tan C., Li Y., Ding Y. Progress in electrical energy storage system: A critical review. *Progress in Natural Science*. 19 (2009) 291–312.
18. Shesterenko V.E. Declarative patent No. 14372 UA, H02J 3/12. Method of controlling electricity consumption./. – *Publ.* 15.05.2006. *Bull.* No. 5.
19. Latsanich. A, Shesterenko V. Prospects for the use of solar power plants. *Materials of the 89th International Scientific Conference of Young Scientists, Postgraduates and Students "Scientific Achievements of Youth - Solving the Problems of Human Nutrition in the 21st Century"*. April 2-3, 2024 - Part 2. Kyiv, National University of Chemistry and Technology, pp. 341-3