



УДК 004.2

KEY CHALLENGES IN THE FIELD OF PROCESS CONTROL WHEN USING RENEWABLE ENERGY SOURCES**КЛЮЧОВІ ПРОБЛЕМИ В ГАЛУЗІ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСАМИ ПІД ЧАС ВИКОРИСТАННЯ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ****Davydov V.O. / Давидов В.О.***c.t.s., ass. prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0003-3099-7596

Bielov V.O. / Бєлов В.О.*postgraduate student / аспірант*

ORCID: 0009-0001-5524-3830

*National University of Odesa Polytechnic, Odessa, Shevchenko Avenue, 1, 65044**Національний університет «Одеська політехніка», Одеса, пр-т Шевченка, 1, 65044*

Анотація. У цій роботі досліджено та розглянуто ключові проблеми в галузі управління процесами під час використання поновлюваних джерел енергії. Досліджено проблеми, такі як невизначеність у виробництві енергії, інтеграція різних джерел, ефективне управління зберіганням енергії, а також створення адаптивних систем управління для енергомереж. У роботі підкреслено важливість багатодисциплінарного підходу до розв'язання цих проблем, а також необхідність врахування специфіки кожної з розглянутих галузей для створення ефективних і стійких систем управління. Отримані результати можуть слугувати основою для подальших досліджень і розробок у галузі використання поновлюваних джерел енергії.

Ключові слова: поновлювані джерела енергії, управління процесами, зберігання енергії, оптимізація ефективності.

Вступ. У сучасному світі питання стійкості та ефективного управління енергетичними процесами, особливо при використанні поновлюваних джерел енергії (ВДЕ), стають дедалі актуальнішими. Це дослідження фокусувалося на виявленні та аналізі ключових проблем у сфері управління процесами, пов'язаними з використанням енергії від сонячних батарей, вітряних турбін та інших поновлюваних ресурсів.

У галузі енергопостачання при наданні базових послуг існують втрати на кожному етапі циклу - від вивільнення енергії до її кінцевого використання. Кожна фаза, включно з етапами трансформації, транспортування та передачі енергії, надає можливості для підвищення ефективності всієї енергетичної системи. Незалежно від того, чи є первинним джерелом енергії поновлюване, чи ні, існує взаємозв'язок між використанням поновлюваних джерел енергії та поліпшенням ефективності енергоспоживання. Цей феномен являє собою позитивне явище, що підкреслює важливість взаємодії між різними етапами циклу енергопостачання для створення більш ефективної та стійкої енергетичної системи [1].

В умовах швидкого розвитку технологій і постійно зростаючої залежності від ВДЕ, стає зрозумілим, що розв'язання проблем у сфері управління процесами при використанні ВДЕ відіграє вирішальну роль у забезпеченні стабільності енергопостачання. Для глибшого розуміння та ефективних рішень необхідно виокремити та уважно проаналізувати наявні проблеми, провести детальний аналіз та визначити перспективні напрямки для подальших досліджень.



Одна з головних проблем полягає в невизначеності та мінливості ВДЕ. Уявімо, що ми стикаємося із завданням інтеграції різнорідних джерел енергії в одну загальну енергосистему. Це включає в себе завдання ефективної узгодженості роботи сонячних батарей, вітряних турбін, гідроелектростанцій та інших поновлюваних ресурсів для забезпечення стабільного енергопостачання [2].

Основний текст. Створення єдиних енергосистем вносить як значні технічні, так і економічні переваги, але супроводжується низкою технічних викликів. Один з основних негативних аспектів стосується аварійних ситуацій, де стрибки навантаження або коротке замикання можуть впливати на всю енергосистему. Для локалізації таких аварій застосовується аварійне частотне розвантаження (АЧР), що включає відключення частини споживачів.

Створення єдиних енергосистем призвело до нових аспектів у розвитку аварій в умовах дефіциту генерації. Аварійний дефіцит генерації викликає різкі зміни обмінних потужностей і порушення стійкості паралельної роботи, ведучи до каскадних аварій, які ще більше руйнують баланс активної потужності.

Навіть в окремих енергосистемах автоматика АЧР часто налаштовується неоптимально через відсутність досліджень динаміки зниження і відновлення частоти під час дії АЧР. Стабільний режим енергосистеми характеризується балансом потужностей за нормальної частоти 50 Гц. Різниця в генерації та навантаженні призводить до змін частоти - зменшення, якщо генерація менша, і збільшення, якщо більша. Важливо дотримуватися межі допустимого аварійного відхилення частоти в енергосистемі від 45 до 48,5 Гц.

У цьому контексті, одним з основних завдань є розробка механізмів, які дозволять системі управління ефективно координувати роботу різних джерел. Адже кожне з них має свої унікальні характеристики та залежить від різних чинників, таких як час доби, погодні умови та сезонні зміни.

Тут, вчені та інженери стикаються із завданням створення універсальних алгоритмів управління, які можуть адаптуватися до різних джерел енергії. Це включає в себе використання сучасних методів машинного навчання для розробки алгоритмів, здатних динамічно реагувати на зміни у виробництві енергії.

Крім того, істотним аспектом є створення систем управління, які здатні балансувати навантаження і розподіляти енергію між різними джерелами в режимі реального часу. Це вимагає використання сучасних технологій зв'язку та передачі даних для забезпечення швидкого та ефективного зв'язку між усіма компонентами системи.

І тут ми спостерігаємо парадокс. Ми розширюємо енергомережі за рахунок ВДЕ задля зменшення впливу різноманітних шкідливих і неекологічних факторів теплових електростанцій. Але при цьому здійснюємо балансування енергосистем в основному саме за рахунок теплових станцій.

Цей парадокс можна розглянути з точки зору поточних технологічних та інфраструктурних обмежень у сфері енергетики. Впровадження ВДЕ в енергосистеми є стратегічним кроком для зниження шкідливого екологічного впливу, пов'язаного з використанням традиційних теплових станцій, що



працюють на основі викопних палив.

Однак, енергосистеми вимагають стабільності та безперервності, що ВДЕ не здатні забезпечувати через змінну природу цих джерел. Для балансування виробництва і споживання енергії в умовах мінливості ВДЕ, теплові станції, що працюють на базі викопних палив, часто використовуються як резервні джерела.

Таким чином, виникає парадокс: хоча впровадження ВДЕ має на меті знизити екологічну шкоду, створювану традиційними тепловими станціями, для забезпечення безперервності енергосистеми вони все одно використовуються. Це пов'язано з необхідністю забезпечення стійкості та надійності енергопостачання, особливо в перехідний період, коли ВДЕ ще не можуть повністю замінити традиційні джерела енергії.

Однак, з розвитком технологій зберігання енергії та покращенням методів управління енергомережами, можливо в майбутньому мінімізувати залежність від традиційних теплових станцій і створити більш стійкі та екологічно чисті енергетичні системи. Цей парадокс підкреслює необхідність інтеграції інноваційних рішень для досягнення стійкого балансу між енергетичною продуктивністю та навколишнім середовищем.

Проектування гнучких систем, здатних легко інтегрувати нові джерела енергії, також стає важливим завданням. Це дасть змогу системі масштабуватися й адаптуватися до появи нових технологій, що є ключовим аспектом в умовах сектору ВДЕ, який постійно розвивається.

Наступна проблема управління процесами при використанні ВДЕ пов'язана з інтеграцією різнорідних джерел. Насамперед кожне джерело енергії має свій час виходу на номінальний режим. Дизель генераторам потрібно кілька секунд. Турбінам гідроелектростанцій - 15-30 с. Тепловим станціям може знадобитися кілька годин. Робота ВДЕ залежить від поточних природних умов. Додайте можливість роботи окремих теплових станцій у гарячому резерві. Акумуляторні станції. І ви отримаєте повний спектр потенційних джерел електроенергії, які можуть підхопити навантаження як миттєво, так і через 2,5-3 години [3].

Здавалося б, управління такою енергосистемою просте інженерне завдання, але на ділі воно порушує цілий комплекс проблем. Різна природа джерел енергії створює нестабільність у виробництві енергії і вимагає впровадження механізмів для балансування попиту і пропозиції. Для подолання змінності поновлюваних джерел потрібна ефективна система зберігання енергії. Однак, наразі технології зберігання ще перебувають у стадії розвитку, і їхні високі витрати можуть стати перешкодою для широкомасштабної інтеграції. Різні джерела ВДЕ ефективні в різних регіонах. Наприклад, сонячні панелі найефективніші в сонячних регіонах, тоді як вітряні турбіни працюють краще в місцях з постійним вітром. Це вимагає створення більш складних систем передачі енергії та інфраструктури. Різні типи джерел енергії вимагають різних технологій і обладнання для перетворення та інтеграції в енергомережу. Поєднання цих технологій передбачає наявність єдиних стандартів і узгоджених технічних рішень. Збільшення частки ВДЕ в енергосистемах призводить до необхідності більш складного управління мережею. Інтелектуальні системи управління і технології "розумних мереж" стають невід'ємними, щоб ефективно координувати і балансувати виробництво і



споживання енергії. Інвестиції в нові технології, інфраструктуру та зміну законодавства можуть бути дороговартісними і потребують узгодженої участі державних і приватних секторів. Наявні енергетичні системи, засновані на традиційних джерелах енергії, мають сформовані структури та інфраструктуру. Їх модернізація та адаптація до нових технологій потребує часу та ресурсів.

У цьому контексті, одним з основних завдань є розробка механізмів, які дозволять системі управління ефективно координувати роботу різних джерел. Адже кожне з них має свої унікальні характеристики та залежить від різних чинників, таких як час доби, погодні умови та сезонні зміни.

Для початку, необхідно вирішити завдання створення універсальних алгоритмів управління, які можуть адаптуватися до різних джерел енергії. Це включає в себе використання сучасних методів машинного навчання для розробки алгоритмів, здатних динамічно реагувати на зміни у виробництві енергії.

Проектування гнучких систем, здатних легко інтегрувати нові джерела енергії, також стає важливим завданням. Це дасть змогу системі масштабуватися й адаптуватися до появи нових технологій, що є ключовим аспектом в умовах сектору поновлюваних джерел енергії, який постійно розвивається.

Далі розглянемо завдання інтеграції різнорідних джерел енергії в контексті ще однієї проблеми. Припустимо, перед нами стоїть завдання ефективного управління комплексами сонячних панелей, вітряних установок та інших різнорідних джерел енергії всередині мікромережі.

В даному випадку, одним з ключових завдань стає узгодження роботи різних джерел енергії в рамках обмеженого простору мікромережі. Це включає в себе оптимізацію використання енергії в режимі реального часу, щоб мінімізувати втрати і забезпечити стабільне енергопостачання.

Тут ми стикаємося із завданням розроблення адаптивних алгоритмів управління, які можуть ефективно управляти мінливим спектром енергії від різних джерел. Використання методів штучного інтелекту та машинного навчання дає змогу створювати алгоритми, здатні адаптуватися до динаміки роботи мікромережі.

Особливо важливим є вирішення завдання балансування навантаження в умовах наявності різнорідних джерел. Це вимагає створення інтелектуальних систем управління, здатних розподіляти енергію так, щоб жодне з джерел не перевантажувалося, і загальна система працювала оптимально. Якщо ж енергії недостатньо, то такі системи управління повинні забезпечувати максимальну живучість енергосистеми в цілому [4].

Гнучкість і розширюваність системи управління також відіграють важливу роль. Необхідність інтеграції нових технологій і джерел енергії в мікромережу має на увазі створення систем, здатних легко адаптуватися до змін та інновацій у сфері поновлюваних ресурсів.

Наступна важлива проблема - управління зберіганням енергії.

З постійним збільшенням частки ВДЕ розвиток ефективних технологій зберігання стає все більш важливим. До основних можна віднести такі технології [5].



Хімічні акумулятори. Сьогодні електрохімічні акумулятори є найбільш широко використовуваною технологією зберігання енергії. Основні типи: свинцево-кислотні, залізо-нікелеві, нікель-кадмієві, літій-іонні.

Теплове акумуляування: Технології, засновані на тепловому акумуляуванні, включають термальні акумулятори та теплові насоси. Вони дають змогу зберігати надлишкову енергію у вигляді тепла для подальшого використання в процесах опалення або генерації електроенергії.

Механічне акумуляування: Енергія може бути збережена в механічній формі, використовуючи технології, такі як маховики, гравітаційні системи зберігання енергії (наприклад, підйомні блоки) або системи стисненого повітря.

Хімічне зберігання: Електрохімічні технології, окрім акумуляторів, включають в себе технології, такі як паливні елементи і процеси хімічного зберігання, наприклад, конверсія електроенергії у водень.

Гідроакумуляування: Енергія може бути збережена у формі потенційної енергії води, використовуючи системи гідроакумуляування. Це включає в себе насосні та гідроелектростанції.

Суперконденсатори: Ці пристрої є альтернативою традиційним акумуляторам і здатні забезпечувати високу потужність і швидку зарядку.

Немає однозначно хороших або поганих акумуляторів. Всі вони розроблялися під вирішення конкретних завдань, і всі вони мають свої плюси і мінуси [5].

Тому для компенсації коливань у виробництві енергії насамперед необхідно розв'язати завдання ефективного управління системами зберігання.

У цьому контексті, звісно ж після розроблення відповідних технологій зберігання, одним із ключових завдань є створення алгоритмів управління, які здатні оптимально розподіляти та зберігати енергію в системах зберігання. Це включає в себе розробку алгоритмів зарядки і розрядки, що враховують поточний рівень виробництва енергії, споживання і стан акумуляторів.

Тут основне завдання полягає у створенні систем, які здатні адаптуватися до змін в умовах роботи, таких як збільшення або зменшення споживання енергії. Це може включати в себе використання алгоритмів машинного навчання для передбачення патернів споживання та оптимізації роботи систем зберігання.

Особливу увагу також приділяють оптимізації використання накопиченої енергії. Це охоплює розробку алгоритмів, які оптимально керують процесами заряджання і розряджання систем зберігання з урахуванням динаміки змін у виробництві енергії.

Також не варто забувати, що наявність технології зберігання ще не вирішує проблему. Необхідна відповідна інфраструктура. А специфіка різних технологій не дає змоги будувати акумуляуючі станції в довільному місці. Це просто буде не рентабельно. Тому для максимальної ефективності такі станції виникатимуть у специфічних регіонах, тобто сама система зберігання буде розподіленою і різнорідною. Тому виникає необхідність розв'язання задачі організації оптимального, з погляду безлічі критеріїв (швидкість, ціна, необхідна потужність, необхідний об'єм тощо), процесу зарядки/розрядки станцій зберігання енергії.



Ще одна важлива проблема в контексті використання поновлюваних джерел енергії - це стандартизація і розробка нормативів. Припустимо, перед нами стоїть завдання створення загальноприйнятих стандартів для систем управління процесами, що використовують поновлювані ресурси.

У цьому контексті ключовим завданням є розробка нормативів, які визначають стандарти і вимоги до систем управління. Це охоплює встановлення єдиних протоколів і технологічних стандартів для інтеграції різних джерел енергії, забезпечуючи їхню сумісність і ефективну взаємодію.

Тут ми також стикаємося із завданням створення стандартів безпеки для систем управління з використанням ВДЕ. Це охоплює визначення принципів, що забезпечують безпечну експлуатацію систем і мінімізацію ризиків, пов'язаних з їх використанням.

Крім того, стандартизація в цій галузі також має враховувати питання екологічної стійкості та енергетичної ефективності. Розроблення нормативів, які заохочують і підтримують реалізацію екологічно чистих технологій і методів, є важливим аспектом.

Заключення та висновки.

Таким чином, розв'язання проблеми невизначеності та мінливості джерел енергії вимагає не тільки високотехнологічних методів математичного моделювання, прогнозування та оптимізації, а й розуміння конкретних характеристик системи управління і використовуваних поновлюваних ресурсів.

Вирішення завдання інтеграції різнорідних джерел енергії в адаптивні системи управління включає в себе створення розумних алгоритмів, здатних узгоджувати роботу різних ресурсів, забезпечення ефективного балансування навантаження і гнучкість для інтеграції нових технологій.

Розв'язання проблеми оптимізації ефективності вимагає розроблення гнучких, адаптивних алгоритмів управління, здатних узгоджувати й оптимізувати роботу різних ресурсів у режимі реального часу.

Вирішення проблеми управління зберіганням енергії включає в себе створення інтелектуальних алгоритмів управління, здатних ефективно використовувати і управляти енергією в системах зберігання, а також адаптуватися до змін в умовах роботи систем.

Розв'язання проблеми стандартизації та нормативів у сфері використання поновлюваних ресурсів включає в себе створення комплексних нормативів, які охоплюють аспекти безпеки, а також технологічні та екологічні аспекти, забезпечуючи уніфікацію і стійкість у використанні ВДЕ.

Література:

1. WEC 2013. Energy Efficiency Policies – What works and What Doesn't. World Energy Council. 2013. URK:

<http://www.worldenergy.org/publications/2013/world-energy-perspective-energy-efficiency-policies-what-works-and-what-does-not/>

2. Максимов М. М. Моделирование балансировки энергосистемы при условии содержания в ней значительной доли недиспетчеризуемых источников энергии / М. М. Максимов, В. О. Давидов // Автоматизация технологических и



бизнес-процессов. 2019. Volume 11, Issue 4. P. 27–34. (Журнал включено до НМБД Index Copernicus, CrossRef (DOI), РИНЦ). Режим доступа: <https://journals.onaft.edu.ua/index.php/atbp/article/view/1596>.

3. Ковецкий В.М., Ковецкая М.М. Оценка маневренных возможностей энергогенерирующих установок для обеспечения качества электроэнергии. Проблемы загальної енергетики. 2007. № 16 С/ 47-53. URL: http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/3098/2007_16_St_8.pdf?sequence=1

4. Максимова О.Б. Управление системой теплоснабжения с изменяемой структурой технических средств / О.Б. Максимова, В.О. Давыдов, С.В. Бабич // Проблемы управления и информатики : междунар. науч.-техн. журн. – 2014. – № 3. – С. 50–60.

5. Современные проекты энергохранилищ. Alteco: веб-сайт. URL: <https://alteco.in.ua/technology/akkumulyatory-dlya-vozobnovlyаемых-istochnikov-energii/sovremennye-proekty-energoxranilishh>

***Abstract.** This article explores and discusses key issues in the field of process control in the use of renewable energy sources. Issues such as uncertainty in energy production, integration of different sources, effective management of energy storage, and the creation of adaptive control systems for power grids are investigated. The paper emphasises the importance of a multidisciplinary approach to solving these problems, as well as the need to take into account the specifics of each of the sectors under consideration to create efficient and sustainable control systems. The results obtained can serve as a basis for further research and development in the field of renewable energy sources.*

***Key words:** renewable energy sources, process control, energy storage, efficiency optimisation.*