

Роль та перспективи впровадження розумної енергосистеми Smart Grid в сучасному світі

<https://doi.org/10.31713/MCIT.2023.087>

Назарій Чубай

Кафедра автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих технологій
Національний університет водного господарства та природокористування
м. Рівне, Україна
Chubai_ak19@nuwm.edu.ua

Ірина Аврука

Кафедра автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих технологій
Національний університет водного господарства та природокористування
м. Рівне, Україна
a.s.avruka@nuwm.edu.ua

Анотація—Робота присвячена обговоренню переваг впровадження розумних енергосистем у світі та їхнього впливу на зменшення викидів парникових газів. До прикладу наведено країни, які успішно впроваджують такі енергосистеми та досягли значного зменшення викидів діоксиду вуглецю. У роботі висвітлено різні аспекти розумних енергосистем, включаючи їхню ефективність, екологічність та економічну доцільність. Особлива увага приділена критичній потребі України у впровадженні таких систем для підйому енергетики.

Ключові слова—Smart Grid; відновлювальні джерела; парникові гази; енергосистема; автоматизація.

I. ВСТУП

Сучасне суспільство стає все більш енергозалежним та вимагає безперервного, надійного та стабільного живлення електроенергією. Також виникає необхідність розробки нових способів використання відновлюваної енергії для зменшення негативного впливу енергоспоживання на навколишнє середовище, оскільки енергетичний сектор на сьогодні відповідає за майже половину викидів парникових газів. Пошук балансу між цілями зменшення викидів, економічною ефективністю і стійкістю є основним завданням у дослідженнях розумних мереж та інтелектуальних енергетичних систем [1].

У даній роботі розглядається сучасний стан енергетичних систем та потреби впровадження розумних енергосистем (Smart Grid), також виконується оцінка переваг та можливостей розумної енергосистеми для підвищення енергоефективності та стабільності постачання електроенергії. Разом з цим розглянемо деякі технологічні аспекти впровадження таких систем та перспективи їхнього розвитку в Україні.

Система інтелектуального енергопостачання (або Smart Grid) - це електрична мережа, яка охоплює різноманітні заходи для оптимізації та збереження енергії [2]. Ці заходи охоплюють використання розумних лічильників, залучення інтелектуальних споживачів, використання відновлюваних джерел енергії та ресурсів. Електронне управління параметрами електроенергії, регулювання її виробництвом та

розподілом є важливими аспектами інтелектуальної енергосистеми.

Термін "Smart Grid" був вперше введений у 2003 році, коли співробітники Electric Power Research Institute висунули ідею заміни традиційних електромеханічних пристроїв енергосистеми більш оперативними системами електронного управління. У 2007 році в Сполучених Штатах було офіційно визначено поняття "розумна мережа" у законі "Про енергетичну незалежність та безпеку". Сьогодні найбільш масштабні програми Smart Grid реалізуються в США, Канаді та країнах Європейського Союзу. Крім цього, розглядається впровадження подібних проєктів у великих країнах, що розвиваються, таких як Індія, Бразилія і Мексика. До 2020 року планується досягти 100% охоплення смартлічильниками в США, Китаї, Бразилії та Японії [3].

II. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ ТА ПОТРЕБИ ВПРОВАДЖЕННЯ SMART GRID

A. Тенденції зростання кількості парникових газів у світі

Споживання енергії продовжує зростати внаслідок індустріального розвитку, демографічних змін та зростання кількості електричних пристроїв, які широко використовуються нами практично у всіх сферах нашого життя. Це призводить до збільшення навантаження на електромережі та потреби в їх розширенні та модернізації. Разом з цим зростає важливість відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), таких як сонячна та вітрова енергія. На сьогодні Німеччина є однією з лідерів у використанні ВДЕ. У 2020 році понад 50% виробництва електроенергії в країні було здійснено за допомогою цих джерел [4].

Зменшення енерговитрат стає актуальною метою для зменшення викидів діоксиду вуглецю (CO₂) та підвищення стійкості енергетичних систем. Глобальні викиди парникових газів збільшилися приблизно на 70% з 1970 року до 2018 року і продовжують зростати навіть сьогодні, попри значні зусилля, зроблені в останні роки для їх зменшення [5]. Це переважно пов'язано зі зростанням попиту на енергію в галузях транспорту, промисловості, будівництва та серед домогосподарств у країнах, таких як Китай і Індія.

В. Боротьба з негативним впливом кліматичних та інших факторів у сфері енергосистем

Збільшення надійності та стійкості енергетичних систем стає важливим завданням перед наростаючими загрозами, такими як природні катастрофи та кібератаки. У грудні 2015 та грудні 2016 року Україна стала жертвою двох масштабних кібератак на свою енергетичну систему [6]. Вимкнення електропостачання залишило без світла тисячі людей. У той час влада та енергетичні компанії України спільно з кібербезпековими експертами працювали над відновленням систем та ідентифікацією джерела кібератак. Цей процес був складним та часомірним, оскільки вимагав перевірки всіх аспектів інфраструктури та виправлення вразливостей. Розумні енергосистеми можуть бути більш стійкими та легше відновлюватися в подібних ситуаціях.

С. Роль штучного інтелекту у впровадженні розумних енергосистем

Впровадження цифрових технологій, таких як штучний інтелект дозволяє створювати розумні енергосистеми, які автоматизують процеси моніторингу, аналізу та керування енергетичними мережами. Німеччина активно розробляє та впроваджує концепцію "Енергетичної хмари" (Energiewende), що передбачає інтеграцію великої кількості відновлюваних джерел енергії та підвищення енергоефективності [7]. Штучний інтелект грає ключову роль у керуванні цією системою. Розумні енергосистеми залучають споживачів у процес управління енергією, дозволяючи їм активно впливати на своє споживання та брати участь у програмах зниження споживання в пікові часи.

III. ПЕРЕВАГИ ТА МОЖЛИВОСТІ
ВИКОРИСТАННЯ SMART GRID

А. Розв'язання питань розподілу та навантаження під час споживання енергії

Застосування Smart Grid, володіє численними перевагами та можливостями для вирішення багатьох завдань, пов'язаних з енергопостачанням. Система Smart Grid дозволяє ефективніше розподіляти та керувати навантаженням, визначаючи часи пікового та не пікового споживання енергії. Це дозволяє споживачам знижувати споживання в пікові години та використовувати електроенергію за більш вигідними тарифами в інші періоди. Для цього кожен дім або підприємство, повинно бути обладнане смартлічильниками, які можуть вимірювати споживану енергію в режимі реального часу та передавати ці дані на центральний сервер енергопостачальної компанії. Центральний сервер отримуватиме дані від смартлічильників і аналізуватиме їх. На основі аналізу встановлюватимуться різні тарифи на електроенергію для різних періодів доби. Завдяки смартметрикам та сповіщенням споживачі можуть бачити ціни на електроенергію в режимі реального часу і приймати рішення про споживання електроенергії відповідно до поточних тарифів. Споживачі зможуть активно використовувати

електроприлади в години зі зниженими тарифами, щоб зекономити кошти [8].

В. Інтеграція відновлювальних джерел енергії

Smart grid допомагає інтегрувати ВДЕ. Система може автоматично адаптуватися до змін у виробництві з використанням цих джерел, оптимізуючи їхню інтеграцію в мережу та забезпечуючи стійке енергопостачання. Smart Grid може автоматично регулювати роботу сонячних панелей і вітряків, змінюючи їхню потужність в режимі реального часу на основі прогнозованого виробництва та потреби в електроенергії. Наприклад, коли сонце сяє яскраво або вітер сильно дме, генератори можуть працювати на повну потужність. У нічний час або в безвітряні дні вони можуть знижувати виробництво. Smart Grid також враховує інші джерела енергії, такі як традиційні електростанції та батареї для зберігання енергії. Якщо виробництво відновлюваними джерелами спадає або зростає швидко, система може використовувати інші джерела, щоб забезпечити стійке енергопостачання [1, 8].

С. Підвищення безпекового рівня у використанні енергії за допомогою Smart Grid

Виявлення та ізоляція несправностей в мережі здійснюється швидше і ефективніше за допомогою Smart Grid, що скорочує час відключення та підвищує надійність електропостачання. У випадку раптової несправності на електромережі, смартлічильники та смартсенсори надсилатимуть дані про стан мережі на центральний сервер Smart Grid в реальному часі [1, 2]. Центральний сервер аналізує ці дані, виявляє відхилення від норми і розпізнає місце, де сталася несправність. Система може автоматично ізолювати ділянку мережі, де сталася несправність, за допомогою вимикання відповідних вимикачів або переадресації електропостачання. Після ізоляції несправної ділянки система може автоматично увімкнути резервні джерела енергії, такі як дизельні генератори або батареї для зберігання енергії, для забезпечення електропостачання інших користувачів. Оператори енергопостачальної компанії отримують автоматичні сповіщення про несправності та місце проблеми. Вони можуть відразу реагувати та виправити ситуацію шляхом направлення бригади для ремонту.

IV. ВПЛИВ SMART GRID НА ЗНИЖЕННЯ ВИКИДІВ
ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ ТА ПОКРАЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ
СИТУАЦІЇ

Під час Двадцять сьомої Конференції сторін Рамкової конвенції ООН про зміну клімату (COP27) був представлений новий звіт Організації Об'єднаних Націй, який підтверджує, що країни зменшили обсяг глобальних викидів парникових газів. Проте цей звіт також вказує на очевидну недостатність цих зусиль, щоб обмежити підвищення глобальної середньої температури до 1,5°C до кінця цього століття [9]. Велика кількість викидів діоксиду вуглецю (CO₂) в атмосферу спричинює зміну клімату. Ці викиди становлять загрозу нашому життю та безпеці, а також майбутнім поколінням. Це було затверджено національними урядами та міжнародними

органами, наприклад, під час кліматичної конференції COP21 у Парижі. Там були прийняті зобов'язання щодо значного зменшення викидів [10].

У зв'язку зі зростаючими обтяжливими проблемами, пов'язаними зі зміною клімату та підвищенням рівня парникових газів у атмосфері, розробка та впровадження систем Smart Grids стає необхідною. Парникові гази є основними факторами, які призводять до глобального потепління та кліматичних змін. Інтеграція відновлюваних джерел та ефективне керування навантаженням допомагають зменшити викиди парникових газів. Європейський Союз встановив амбіційні цілі щодо ВДЕ. Країни-члени інвестують у створення електростанцій, які виробляють електроенергію з цих джерел. Споживачі можуть використовувати енергетичні системи зберігання, такі як літій-іонні батареї, для зберігання енергії з ВДЕ. За допомогою смартметрів та мобільних додатків споживачі можуть отримувати інформацію про те, коли електроенергія виробляється з відновлюваних джерел. Це допомагає зменшити споживання енергії з традиційних джерел, використання яких зумовлює забруднення навколишнього середовища. Завдяки інтеграції ВДЕ та ефективному керуванню, Європейський Союз досягає значних зменшень викидів парникових газів. Це сприяє досягненню цілей щодо зміни клімату та зростання сталості в енергетичному секторі [11].

V. ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ РОЗУМНИХ ЕНЕРГОСИСТЕМ ТА ЇХ ВПЛИВ НА МАЙБУТНЄ ЕНЕРГЕТИЧНОГО СЕКТОРУ УКРАЇНИ

A. Розв'язання питань розподілу та навантаження під час споживання енергії

В Україні робота над впровадженням сучасних технологій в енергосистему розпочалася нещодавно. Починаючи з 2014 року, бельгійська компанія Tractebel активно працює над розробкою та впровадженням пілотних технологій та проєктів Smart Grid на рівні системного оператора - Національної енергетичної компанії "Укренерго". Це вказує на зростаючий інтерес та зусилля України у впровадженні новітніх рішень у сфері енергетики. Оператори системи розподілу електроенергії також активно працюють над впровадженням елементів Smart Grid. Ці кроки допоможуть Україні стати більш сталою та ефективною у сфері енергетики, сприяючи зменшенню витрат та покращенню надійності електропостачання. [12].

Компанія ДТЕК демонструє високу активність у впровадженні сучасних технологій у сфері електроенергетики. Зазначається, що вона активно встановлює смартлічильники та автоматизує систему електропостачання, використовуючи сучасне програмне забезпечення. За допомогою розумних лічильників і автоматизації системи, ДТЕК отримує можливість зібрати та аналізувати дані про стан електромережі в режимі реального часу. Це дозволяє компанії більш ефективно контролювати стан енергосистеми та реагувати на будь-які негаразди чи аварії набагато швидше, що

сприяє підвищенню надійності та якості електропостачання для споживачів [12].

Генеральний директор АО "Хмельницькобленерго" Олег Козачук та технічний директор Руслан Слободян наголошують про необхідність негайного впровадження Smart Grid в Україні. Хоча енергетика не є піонером у цьому напрямку, вона, очевидно, намагається наздогнати світ у цьому процесі. Світ вже активно використовує Internet of Things (IoT, Інтернет Речей). У світі, де автоматизація та інтелектуалізація проникають у всі сфери життя, традиційному "ручному управлінню" не залишається місця.

Електричні мережі в Україні були побудовані ще в часи СРСР і використовують застарілі методи "ручного управління". Вони контролюються диспетчерами, більшість перемикачів виконується вручну оперативним персоналом. Це має негативний вплив на показник SAIDI (тривалість перерв в електропостачанні), який для всієї України у 2019 році становив 478 хвилин для планових відключень та 683 хвилини для непланових. У сільській місцевості індекс SAIDI часто перевищує 1000 хвилин. Для порівняння, індекс SAIDI в країнах Європейського Союзу у 2019 році склав 160 хвилин для планових відключень і 102 хвилини для непланових. Серед найкращих світових прикладів можна вказати Південну Корею, де індекс SAIDI становить лише приблизно 9 хвилин.

Наразі Українська енергетична система має низький рівень автоматизації. Особливо ця проблема виражена в сільській місцевості. В Україні існують села, які живляться від ліній 10 кВ, що відходять від підстанцій 35/10 кВ і не мають чергового персоналу. Ці лінії не телемеханізовані та можуть мати дуже велику довжину (до 30-40 км). У випадку аварійного вимкнення цих ліній, споживачі повинні повідомляти оператору системи розподілу (ОСР), який відправляє бригаду електромонтерів для виявлення та виправлення проблеми. Цей процес може займати багато годин і навіть понад 10 годин. Для розв'язання цих проблем потрібна комплексна стратегія, нова технічна політика та інвестиції у модернізацію електромереж та впровадження сучасних технологій.

Ще однією важливою причиною, яка спонукає електроенергетику до необхідних змін, є кардинальна зміна характеру виробництва та споживання електроенергії. Протягом багатьох десятиліть електроенергія вироблялася на великих електростанціях, передавалася через високовольтні лінії електропередачі та розподілялася серед споживачів. Ця система була побудована як "односпрямований" потік електроенергії. Проте зараз замість централізованої генерації електроенергії з'явилася розподілена генерація. Сонячні, вітрові, біогазові електростанції з'єднуються з електромережею у точках, де це раніше було неможливим. Щобільше, багато споживачів електроенергії тепер мають власні генерувальні установки. Управління такою розподіленою мережею вручну стає надзвичайно складним завданням, а в майбутньому може стати навіть неможливим [13].

В. Впровадження розумних енергосистем в Україні

Застосування технологій Smart Grid в Україні, є важливим рішенням для розв'язання хронічних проблем у сфері енергетики. Міністерство енергетики працює над створенням Концепції впровадження Smart Grid і багато нормативних документів буде змінено, щоб полегшити широке впровадження таких технологій. Основною метою впровадження "розумних мереж" є створення "енергоінформаційної мережі." Основні компоненти цих технологій включають:

- Автоматизацію підстанцій 35 кВ і вище, трансформаторних підстанцій і розподільчих пунктів 6-20 кВ, а також насичення розподільчих електромереж реклоузерами.
- Впровадження автоматизованих систем моніторингу і управління електромережами з використанням програмного забезпечення.
- Розробка сучасних диспетчерських центрів та їх укрупнення.
- Геоінформаційні системи є необхідними для всіх елементів електромереж, оскільки вони надають чіткі географічні координати. Ця складова є критичною для державних органів, суміжних секторів та галузей.
- Впровадження системи інтелектуального обліку електроенергії. Старі лічильники не підтримують дистанційний збір показників. Більшість з них також не може передавати дані онлайн, включаючи інформацію про навантаження та якість електроенергії.
- Інтеграція відновлюваних джерел електроенергії, що дозволить забезпечити режими роботи, виконувати команди операційної безпеки і забезпечувати функціонування допоміжних послуг.
- Застосування систем накопичувачів електроенергії. Такий підхід є перспективним, оскільки це дозволить регулювати баланс між генерацією та споживанням.
- Розвиток каналів зв'язку та IT-інфраструктури є рішенням питання кібербезпеки для захисту мереж від несанкціонованого доступу.

VI. ВИСНОВКИ

Загалом розумна енергосистема Smart Grid є ключовим інноваційним напрямком в розвитку енергетики сучасного світу. Ця технологія має низку важливих переваг, а також виявляється надзвичайно актуальною для України. Впровадження Smart Grid сприяє зменшенню шкідливих викидів завдяки оптимізації виробництва та розподілу електроенергії. Це допомагає знизити негативний вплив на клімат та довкілля, сприяючи збереженню природних ресурсів та біорізноманітності. Розумна енергосистема забезпечує стабільність та надійність енергопостачання, зменшує втрати електроенергії та аварійні ситуації. Це особливо важливо в сучасному світі, де зростає залежність від

електроенергії у всіх сферах життя. Україна має унікальну можливість впровадження розумних енергосистем, оскільки це допоможе з розв'язанням проблеми старіння та неефективності наявних мереж, а також забезпечити енергетичну безпеку країни. Переходити до сучасних технологій у галузі енергетики стає необхідністю, Smart Grid відкривають шлях для цього.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] Г. С. Белоха, "Оптимізація техніко-економічних показників локальних систем електроживлення з транзактивним керуванням," Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023.
- [2] С.П. Денисюк, Р. Стшелецькі, "Формування складових інтелектуальної платформи керування енергетичними системами та мережами," Енергетика: економіка, технології, екологія, vol. 3, 2019, С. 7–22.
- [3] M.T. Burr, *Reliability demands drive automation investments. Public Utilities Fortnightly.* [Online]. Available: <https://www.fortnightly.com/fortnightly/2003/11/technology-corridor>. [Accessed: October 15, 2023].
- [4] "Nature and environment: Renewables make up half of Germany's power mix." [Online]. Available: https://www.dw.com/en/renewables-make-up-over-half-of-germanys-power-mix/a-52986924?maca=en-VAM_volltext_ecowatch-28485-html-copypaste. [Accessed: October 15, 2023].
- [5] "Питання та відповіді щодо майбутньої кліматичної угоди та позиції України на міжнародних переговорах." [Online]. Available: https://ucn.org.ua/?page_id=460. [Accessed: October 15, 2023].
- [6] Я. Пшечачник, С. Тарпова, *Війна Росії проти України: хронологія кібератак.* [Online]. Available: [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2022/733549/EPRS_BRI\(2022\)733549_XL.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2022/733549/EPRS_BRI(2022)733549_XL.pdf). [Accessed: October 15, 2023].
- [7] "Німецька енергетична трансформація." [Online]. Available: <https://ua.boell.org/uk/2013/12/10/nimecka-energetichna-transformaciya-ekologiya-ta-energetika>. [Accessed: October 15, 2023].
- [8] Н.А. Хазанович, *Дослідження методів проектування малих електроенергетичних систем на базі концепції Smart Grid.* [Online]. Available: <https://openarchive.nure.ua/server/api/core/bitstreams/6eb50360-b814-4b4c-a2ab-ec3173c2f2f3/content>. [Accessed: October 15, 2023].
- [9] "COP27: Delivering for people and the planet." [Online]. Available: <https://www.un.org/en/climatechange/cop27>. [Accessed: October 15, 2023].
- [10] "П'ять запитань про кліматичну конференцію ООН у Парижі." [Online]. Available: <https://www.dw.com/uk/пять-запитань-про-кліматичну-конференцію-оон-у-парижі/a-18884181>. [Accessed: October 15, 2023].
- [11] "Європейський Зелений Курс (European Green Deal). (Згідно Представництва України при Європейському Союзі)." [Online]. Available: <https://ukraine.eu.mfa.gov.ua/posolstvo/galuzzeve-spivrobitnictvo/klimat-yevropejska-zelena-ugoda>. [Accessed: October 15, 2023].
- [12] Трофименко О.О. Механізми інтелектуального управління суб'єктами інноваційної діяльності у процесі впровадження енергетичних інновацій. Концептуальні шляхи розвитку науки та освіти: матеріали III міжнародної науково-практичної конференції (Львів, 29–30.04.2021 р.). Львів, 2021. С. 19–21.
- [13] "10 шаггов к Smart Grid в Украине - мнение от Хмельницкоблэнерго." [Online]. Available: <http://reform.energy/analitics/10-shagov-k-smart-grid-v-ukraine-mnenie-ot-khmelnitskoblenergo-15217>. [Accessed: October 15, 2023].