

## **УПРАВЛІННЯ ЦИФРОВИМИ ІНСТРУМЕНТАМИ ЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ ТА УСТАНОВОК ЗБЕРЕЖЕННЯ ЕНЕРГІЇ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ**

Сучасна парадигма функціонування енергетичного сектору України зазнає радикальних трансформацій під тиском екзогенних чинників: від критичних пошкоджень інфраструктури до необхідності термінової децентралізації генерації. В умовах високого рівня турбулентності та зростаючої невизначеності ринкової кон'юнктури, традиційні методи ієрархічного управління стають неспроможними забезпечити операційну стійкість. Актуалізується потреба у впровадженні інноваційних стратегій, де цифровий інструментарій виступає не просто технічним додатком, а ключовою складовою антикризового управління підприємством.

Ефективність функціонування сучасних енергооб'єктів, зокрема сонячних електростанцій (СЕС), дедалі більше залежить від здатності менеджменту інтегрувати інтелектуальні рішення у систему стратегічного планування. В умовах VUCA-середовища виникає гостра потреба у подоланні «стратегічного розриву» - критичної невідповідності між стрімкими змінами в мережі (коливання частоти, напруги, дефіцит потужності) та швидкістю прийняття управлінських рішень. Цифрова трансформація у цьому контексті орієнтована на перехід від реактивного до превентивного управління, де кожна дія системи базується на аналізі великих масивів даних (Big Data) у реальному часі [1].

В межах дослідження виокремлено ключові групи цифрових інструментів, що забезпечують стабільність енергетичного підприємства в умовах невизначеності:

1. Інтелектуальні системи прогнозування (AI-driven Forecasting): Використання нейронних мереж та алгоритмів Big Data для аналізу супутникових знімків та метеоданих. Це дозволяє здійснювати високоточне прогнозування виробітку СЕС на внутрішньодобовому (IDM) та добовому наперед (DAM) ринках електроенергії. Точність прогнозу безпосередньо впливає на мінімізацію небалансів та фінансову стійкість підприємства[2].

2. Цифрові екосистеми управління накопичувачами (BESS Management Systems): Потужні акумуляторні системи стають «цифровим буфером» енергосистеми. Управління ними базується на складних алгоритмах, які в реальному часі аналізують частоту та напругу в мережі. У разі виникнення дефіциту потужності цифрова система за мілісекунди ініціює розряд акумуляторів, запобігаючи аварійним відключенням споживачів.

3. Технології «Smart Grid» та віртуальні електростанції (VPP): Об'єднання розподілених сонячних установок та систем збереження енергії у єдиний цифровий кластер. Це дозволяє підприємству виступати на ринку як активний учасник, надаючи допоміжні послуги з регулювання частоти, що є критично важливим для стабілізації енергосистеми України в умовах пошкоджень магістральних мереж.

Одним із фундаментів такої системи є впровадження високоточних інструментів прогнозування на основі штучного інтелекту. Оскільки фотоелектричні системи мають стохастичну природу виробітку, управління небалансами стає основним фінансовим викликом. Цифрові платформи, що використовують методи машинного навчання для аналізу історичних даних та метеорологічних моделей, дозволяють знизити похибку прогнозування до мінімальних значень. Це забезпечує підприємству можливість ефективно оперувати на

ринку «на добу наперед» (DAM) та внутрішньодобовому ринку (IDM), перетворюючи ризики невизначеності на прогнозовані фінансові потоки [3].

Особливе місце у структурі цифрових інструментів посідають системи управління акумуляторними установками (BESS Management Systems). В умовах енергетичної кризи системи збереження енергії виконують роль динамічного стабілізатора. Цифрові алгоритми Energy Management Systems (EMS) здійснюють моніторинг стану мережі з частотою у декілька мілісекунд, забезпечуючи автоматичний відгук на будь-які відхилення частоти. Це дозволяє підприємству не лише гарантувати власну енергонезалежність, а й надавати допоміжні послуги з регулювання частоти та резервів потужності, що стає новим джерелом доходу та зміцнює загальну стійкість об'єднаної енергосистеми.

Методичний підхід до впровадження таких інновацій має базуватися на системному та процесному підходах. Цифровізація повинна охоплювати всі рівні: від мікропроцесорних релейних захистів на рівні розподільчих пристроїв до хмарних платформ моніторингу генерації. Важливим елементом є розвиток концепції «цифрових двійників» (Digital Twins), які дозволяють моделювати роботу СЕС та систем акумуляторів у різних критичних сценаріях, виявляючи слабкі місця в системі захисту та автоматики до моменту виникнення реальної аварії.

Сучасні стратегії антикризового управління в енергетиці також передбачають використання Agile-методологій у поєднанні з концепцією «цілей та ключових результатів» (OKR). Це забезпечує гнучкість стратегування та можливість швидкої адаптації цифрових інструментів до нових регуляторних вимог або технологічних викликів. Більше того, формування корпоративних платформ для генерування ідей та обміну даними між інженерним складом і менеджментом сприяє підвищенню інноваційної активності персоналу.

Таким чином, в умовах економічної нестабільності та воєнних загроз, управління цифровими інструментами має стати невід'ємною частиною інноваційної стратегії енергетичного підприємства. Синергія сонячної генерації та систем BESS під контролем інтелектуальних систем управління формує нову модель енергозабезпечення – децентралізовану, гнучку та цифрово зрілу. Саме такий підхід забезпечує довгострокову конкурентоспроможність, високий рівень антикризової стійкості та створює підґрунтя для надійної роботи критичної інфраструктури в умовах невизначеного зовнішнього середовища.

#### **Перелік використаних джерел:**

1. Про схвалення Концепції впровадження «розумних мереж» в Україні до 2035 року : Розпорядження Кабінету Міністрів України від 14.10.2022 № 908-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/908-2022-%D1%80>

2. Карпенко О. В. Моделі та методи автоматичного прогнозування щогодинного виробітку «на добу наперед» електричної енергії фотоелектричною станцією : дис. ... доктора філософії. Дніпро, 2024. 146 с.

3. Про внесення змін до деяких законів України щодо розвитку установок зберігання енергії : Закон України від 15.02.2022 № 2046-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2046-20#Text>