

**Волошинов С.А.**

*доктор педагогічних наук, професор, професор кафедри гідротехнічного будівництва, водної та електричної інженерії, Херсонський державний аграрно-економічний університет, Херсон*  
*voloshynov\_s@ksaeu.kherson.ua*

**Блінда І.М.**

*здобувач вищої освіти першого (бакалаврського) рівня, спеціальності «141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Херсонський державний аграрно-економічний університет, Херсон*  
*blinda-ivan@ukr.net*

## **ЗАСТОСУВАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В ЕНЕРГЕТИЦІ**

**Вступ.** Стрімка еволюція інноваційних технологій в енергетичному секторі докорінно змінює стратегії розвитку всієї галузі. При цьому поява окремих інженерних рішень не просто коригує технічні параметри, а повністю трансформує базові принципи роботи енергосистем і навіть змінює повсякденну культуру споживання енергії в суспільстві. Специфіка енергетичного сектору полягає в тому, що тут доводиться в режимі реального часу обробляти колосальні обсяги різнорідних даних. Прогнози погоди, коливання попиту та генерації, поточний стан ліній електропередачі, трансформаторів та підстанцій — усе це потрібно аналізувати миттєво. Саме така потреба у швидкій аналітиці великих баз даних і відкриває двері для застосування технологій штучного інтелекту (ШІ) в енергетиці.

**Основна частина.** Завдяки комплексному впровадженню інтелектуальних систем автоматизації, інтеграції «розумних мереж» (Smart Grids), запуску гнучких цифрових платформ з'являється потреба, у режимі реального часу, координувати процеси генерації, розподілу та споживання електроенергії. На зміну класичній статичній лінійній моделі приходить динамічна екосистема. У ній баланс між попитом і пропозицією досягається через синхронізацію роботи великих централізованих електростанцій, розгалужених децентралізованих об'єктів відновлюваної енергетики, промислових накопичувачів (ESS) та адаптивних споживачів.

Сьогодні можна виділити кілька ключових сфер та сервісів, де впровадження штучного інтелекту приносить найбільший ефект [1]:

1. Диспетчеризація та керування режимами «розумних мереж».

Оскільки частка «зеленої» генерації в загальному енергобалансі стрімко зростає, головною проблемою стає її нестабільність. ШІ та алгоритми машинного навчання допомагають енергокомпаніям прораховувати піки та провали генерації наперед, що дозволяє гнучко балансувати систему.

Для операторів точний короткостроковий прогноз — це можливість оптимізувати диспетчеризацію, знизити аварійність і не тримати величезних резервів балансування потужності.

## 2. Розумні мережі (Smart Grids) та системи обліку.

Цифровізація дозволяє взяти максимум із наявної інфраструктури. ШІ виступає в ролі головного координатора, який перерозподіляє потоки енергії між промисловими об'єктами, житловими будинками, локальними системами збереження електроенергії та центральною мережею.

Цей процес тримається на масовому впровадженні інтернету речей (IoT) та розумних лічильників (Smart Meters). Сучасні інтелектуальні лічильники забезпечують двосторонній зв'язок між побутовим споживачем та обленерго. Завдяки домашнім дисплеям люди бачать свої витрати в реальному часі, мають можливість дивитися графіки споживання по годинам доби й розуміють, коли варто вимкнути зайві прилади, щоб зекономити. ШІ за допомогою автоматизованого керування попитом можуть стимулювати абонентів проходити пікові години без перевантаження мережі, а також розробляти для них індивідуальні програми енергоефективності.

## 3. Мікромережі (Microgrids) як автономні енергетичні острови.

ШІ дав поштовх розвитку локальних енергосистем, які можуть працювати повністю автономно від центральної мережі. Вони забезпечують енергією конкретну територію за рахунок децентралізованої генерації та розумного розподілу попиту.

Алгоритми ШІ в мікромережах аналізують не лише погоду, а й щоденне споживання кожного учасника ринку. Це гарантує енергетичну безпеку під час масштабних аварій у центральній мережі. Також ШІ допомагає інтегрувати в систему децентралізовані ресурси — наприклад, використовувати підключені до мережі електромобілі як повербанки, направляти до них струм у пікові години генерації й заряджати їх, коли є надлишок сонця чи вітру.

Найяскравішим прикладом створення «енергетичного острова» в Україні є місто Долина на Івано-Франківщині. Мета проєкту це об'єднати вітрові, сонячні, газові станції та системи накопичення електроенергії в єдину сотову мережу, щоб забезпечити безперебійним живленням критичну інфраструктуру та жителів електрикою. Головна ідея проєкту це об'єднання комунальних закладів (лікарні, дитсадки, адміністративні будівлі), приватного бізнесу та домогосподарств у єдину інтегровану систему генерації та споживання. Місто вже має геліоколектори на дитсадках, сонячні електростанції (зокрема 16 кВт у садку та 30 кВт зі сховищами в лікарні), приватну газопоршневу станцію та буде потужну 12 МВт СЕС разом з 48 МВт системою накопичення електроенергії, а мешканцям планують встановлювати сонячні панелі та акумулятори в обмін на безкоштовну базову електроенергію та віддачу надлишків у мережу.

## 4. Віртуальні електростанції (VPP).

Завдяки ШІ з'явився формат віртуальних електростанцій, які об'єднують сотні дрібних і середніх виробників та споживачів в єдину керовану систему. Вона аналізує, скільки енергії здатна видати кожна дрібна установка, і одразу знаходить для неї покупця всередині цієї ж системи. Самі оператори VPP не

володіють генерацією — вони лише оптимізують роботу чужих активів, вирівнюючи загальний графік навантаження. Для центральної енергосистеми така віртуальна станція працює як один великий, передбачуваний і дисциплінований об'єкт.

#### 5. Нові бізнес-моделі та торгівля енергією.

Цифрові платформи дозволяють усунути зайвих посередників (наприклад, традиційних збутових операторів) і налагодити пряму взаємодію між виробником та покупцем. З'являються гнучкі формати на кшталт «енергія як послуга» (коли клієнт платить не просто за кВт-години, а за готовий результат — фіксоване тепло, кондиціонування чи освітлення).

Враховуючи, що на оптових ринках ціна електрики змінюється щогодини, ІІІ допомагає трейдерам і великим споживачам точно прогнозувати графіки навантажень, успішно торгувати на балансуєчих ринках і уникати жорстких штрафів за перевищення лімітів споживання.

Логічним кроком уперед став тандем ІІІ та блокчейну. Використання смарт контрактів разом із розумними лічильниками дозволяє автоматизувати пряму торгівлю енергією. Такі взаємодії є прозорими, швидкими, захищеними від кібератак і не потребують розкриття персональних даних користувачів.

#### 6. Боротьба з комерційними втратами.

Шахрайство та несанкціоновані підключення завдають світовій енергетичній сфері збитків майже на 100 мільярдів доларів щороку. Системи машинного навчання автоматично моніторять профілі споживання абонентів і миттєво підсвічують будь-які підозрілі аномалії. Це дозволяє інспекторам виїжджати на перевірки цілеспрямовано, захищаючи доходи компаній [2].

#### 7. Оптимізація систем накопичення енергії.

Ідеальна енергосистема має працювати за рівним графіком, чого в реальності досягти майже неможливо. Масове поширення потужних промислових накопичувачів електроенергії докорінно змінює правила гри. ІІІ тут керує процесами заряджання та розряджання: він прораховує, коли вигідно накопичити дешевшу енергію (наприклад, вночі або в пік сонячної генерації), щоб потім продати чи використати її під час вечірнього максимуму. Очікується, що до 2030 року цей ринок масштабується в 20 разів, тому потреба в «розумному» управлінні накопичувачами лише зростатиме [3].

#### 8. Стратегічне планування інфраструктури.

Аналітика ІІІ значно спрощує та здешевлює проєктування нових мереж. Замість припущень компанії отримують точний прогноз попиту на роки вперед. ІІІ допомагає ефективно розподіляти пропускну здатність ЛЕП, оцінювати зношеність обладнання та вчасно планувати його ремонт чи заміну.

Предиктивний аналіз вказує, який саме трансформатор, розподільник чи кабель невдовзі може вийти з ладу. Це дозволяє планово замінювати обладнання, а технічне обслуговування проводити не за планом, а за реальною потребою, уникаючи аварійних ремонтів та не запланованих капітальних витрат.

Попри очевидні плюси, енергетичний комплекс впроваджує ІІІ досить обережно. Це логічно, адже йдеться про надзвичайно дорогую капіталомістку

інфраструктуру, де будь-яка помилка алгоритму може призвести до масштабних збитків, судових позовів від клієнтів та системних аварій [4].

Однією з головних причин затримки масового впровадження ІІІ в енергетиці це відсутність уніфікації. Ринок перенасичений «розумними» пристроями від різних брендів, які часто конфліктують між собою. Через брак єдиних протоколів обміну даними кінцеві споживачі змушені витратити колосальні ресурси, щоб адаптувати обладнання до жорстких вимог операторів систем розподілу (ОСР).

Прошивки побутової смарт-техніки зазвичай не синхронізовані з регламентами ОСР. Як наслідок, після ліквідації аварії автоматика споживача часто залишається вимкненою через спрацьовування внутрішнього захисту. Якщо великий бізнес має персонал для швидкого відновлення параметрів, то звичайні домогосподарства стикаються із серйозними труднощами, оскільки людям бракує спеціальних знань.

Орієнтація ІІІ на мережеві технології автоматично перетворює енергосистему на мішень для хакерів. Масштаби загроз для критичної інфраструктури стабільно зростають. Кібератаки загрожують не просто збоєм у програмі, а повною втратою диспетчерського контролю над станом мережі, що веде до фізичного знищення вартісного обладнання та масштабних блекаутів.

Намагаючись оптимізувати мережі за допомогою ІІІ, ми створюємо нове джерело колосального попиту на електрику. Обробка великих баз даних вимагає підвищення енерговитрат. Тому ще на стадії проектування великих дата-центрів необхідно закладати параметри максимальної енергоефективності розташовуючи їх якнайблище до місць генерації [5].

Проте головною перешкодою для масштабної цифровізації та залучення ІІІ залишається людський фактор — консерватизм та опір змінам з боку персоналу. В організаційній культурі багатьох підприємств досі панує недовіра до автоматки. Співробітники бояться, що ІІІ забере їхні робочі місця, або ж просто побоюються делегувати алгоритмам управління критично важливими активами, за які самі несуть матеріальну чи кримінальну відповідальність.

**Висновки.** Проведений аналіз демонструє позитивні аспекти застосування ІІІ та чинники, які суттєво стримують його впровадження в енергетиці. У найближчі роки все ж очікується невідворотне проникнення ІІІ у різні аспекти діяльності енергетичного сектору. Цифровізація та застосування ІІІ є ключовими інструментами, що дозволяє керувати великими та все більш складними процесами системи для успішної трансформації енергетичного сектору, оскільки дозволяє інтегрувати новітні та перспективні технологічні новації в енергетиці й обумовлені ними зміни в організації функціонування систем енергозабезпечення.

Ефективне управління конфігурацією електричних мереж на основі інтеграції адаптивних алгоритмів, технологій штучного інтелекту та автоматизованих систем моніторингу дозволяє підвищити надійність енергосистем, зменшити втрати потужності та забезпечити їхню стійкість до динамічних змін у генерації, розподіленні й споживанні.

## Список використаної літератури.

1. Штучний інтелект в енергетиці : аналіт. доповідь / Суходоля О. М.– К. : НІСД, 2022. – 49 с. – <https://doi.org/10.53679/NISS-analytrep.2022.09>.
2. OECD Framework for the Classification of AI Systems. OECD Digital Economy Papers. February 2022. № 323. P. 80.
3. Freire Ana, Porcaro Lorenzo, Gómez Emilia. Measuring Diversity of Artificial Intelligence Conferences. Proceedings of 2nd Workshop on Diversity in Artificial Intelligence (AIDBEI), PMLR 142: 39-50, 2021. URL: <https://proceedings.mlr.press/v142/freire21a.html>;
4. The Seven Patterns of AI. Cognilytica. 2019. URL: <https://www.cognilytica.com/2019/04/04/the-seven-patterns-of-ai/>.
5. Next-Gen Industrial AI Energy Sector / Siemens. URL: <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:fef90d09-6876-4510-b29b-bb6d60374793/siemens-nextgen-industrial-ai-energy-sector.pdf>