

НАЦІОНАЛЬНИЙ ІНСТИТУТ СТРАТЕГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Центр безпекових досліджень
Center for Security Studies

<https://doi.org/10.53679/NISS-analytrep.2022.09>

ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ В ЕНЕРГЕТИЦІ

Аналітична доповідь

Київ 2022

УДК 004.89; 621.3; 351/354; 658

Електронну версію видання розміщено на: <http://www.niss.gov.ua>

*За повного або часткового відтворення матеріалів цієї публікації
посилання на видання є обов'язковим*

Автор:

О. М. Суходоля, завідувач відділу критичної інфраструктури, енергетичної та екологічної безпеки центру безпекових досліджень НІСД, д-р наук з держ. упр., професор.

Штучний інтелект в енергетиці : аналіт. доповідь / Суходоля О. М.– К. : НІСД, 2022. – 49 с. – <https://doi.org/10.53679/NISS-analytrep.2022.09>

В аналітичній доповіді досліджено основні напрями використання технологій «штучного інтелекту» в енергетичній сфері. Виділено пріоритетні напрями застосування сучасних технологій в системах енергозабезпечення. Відзначено проблеми, що перешкоджають швидкому впровадженню «штучного інтелекту» на корпоративному та суспільному рівні. Підготовлено рекомендації щодо пріоритетів стимулювання розвитку та застосування технологій «штучного інтелекту» в енергетиці України.

Розраховано на експертів, науковців, фахівців у галузях енергетики, економіки, національної безпеки, суб'єктів владних повноважень, суб'єктів енергетичних ринків, представників громадських організацій, а також усіх, хто цікавиться проблематикою енергетичної безпеки. Дослідження стане в пригоді при формуванні енергетичної політики, стратегічному плануванні у сфері енергетичної безпеки.

УДК 004.89; 621.3; 351/354; 658

© Національний інститут стратегічних досліджень, 2022

ЗМІСТ

| | |
|--|----|
| Вступ | 4 |
| 1. Цифровізація – новий вимір технологічного прогресу | 6 |
| 2. Огляд можливостей застосування штучного інтелекту | 7 |
| 3. Застосування штучного інтелекту в енергетиці | 10 |
| 4. Виклики та перешкоди використання штучного інтелекту в енергетиці | 18 |
| 5. Штучний інтелект – пріоритетний напрям розвитку енергетики | 21 |
| 6. Подолання перешкод застосуванню ШІ в енергетиці України | 23 |
| 7. Завдання щодо розвитку ШІ в енергетиці України | 32 |
| Висновки | 39 |
| Додаток 1. Огляд нових технологій, механізмів управління та бізнес-моделей в енергетиці, створених з використанням технологій штучного інтелекту | 40 |
| Додаток 2. Окремі практичні приклади застосування ШІ у сфері енергетики | 45 |

ВСТУП

Розвиток новітніх енергетичних технологій суттєвим чином впливає на стратегічні пріоритети розвитку енергетики. Окремі технології, водночас, зумовлюють зміну умов та принципів функціонування не тільки окремих енергетичних систем, але й соціокультурних аспектів енергоспоживання.

Автоматизація технологічних процесів, розвиток розумних мереж (*Smart-Grids*), штучний інтелект (*Artificial intelligence*) та інноваційні цифрові бізнес-платформи дозволять ефективно керувати режимами постачання та споживання енергії. Нові технологічні рішення – найрізноманітніші генераційні потужності (наприклад, відновлювані джерела енергії чи накопичувачі енергії), енергоспоживчі установки (наприклад, побутова техніка, електромобілі тощо) дозволять збалансувати попит і пропозицію енергії. Причому використання технологій штучного інтелекту (ШІ) стає не тільки способом розкриття нових можливостей в організації процесу енергозабезпечення потреб споживачів, але й ефективним інструментом забезпечення сталого розвитку та операційної безпеки систем енергозабезпечення. З іншого боку, використання технологій ШІ, які сприяють децентралізації системи енергозабезпечення та підвищенню гнучкості реагування на потреби споживачів, суттєвим чином впливає на функціонування наявних централізованих систем енергозабезпечення. Ця обставина є серйозним викликом та потребуватиме прийняття стратегічних рішень щодо пріоритетів розвитку енергетики країни.

Широкомасштабна збройна агресія Російської Федерації проти України, що розпочалася 24 лютого 2022 року, зруйнувала плановий процес поступової модернізації енергетичних активів країни. Однак подолання наслідків збройного вторгнення може стати чинником трансформації всього енергетичного сектора країни. Україна в процесі післявоєнного відновлення має використати шанс відбудувати енергетичну інфраструктуру одразу на новітній технологічній базі, уже пристосованій для широко використання ШІ.

Ця публікація пропонує огляд можливостей та способів використання ШІ в енергетиці, розкриває нові моделі організації взаємодії між учасниками енергетичних ринків та бізнес-моделі, що виникає завдяки використанню цифрових технологій. Наводяться приклади як нові моделі взаємовідносин між виробниками та споживачами енергії трансформують моделі енергетичних ринків, створюючи нові інвестиційні можливості не тільки для енергетичних компаній, але й для третіх сторін.

У дослідженні також аналізується стан впровадження технологій ШІ у практичній діяльності енергетичних компаній, визначаються перешкоди їх широкому впровадженню. Відзначається необхідність не лише розвитку та удосконалення власне наукових знань та технологій ШІ, але й створення програм підготовки фахівців у сфері ШІ для потреб енергетики та перепідготовки персоналу енергетичних компаній. Окремим напрямом забезпечення розвитку ШІ та його застосування має стати формування надійного захисту інформації, як персональної так і комерційної, яка буде використовуватись ШІ. Не менш важливо задачею є подолання несприйняття нових технологій з боку суспільства.

Аналітична доповідь стане в пригоді науковцям з точки зору пошуку розв'язання проблем, що виникають у зв'язку із розвитком технологій ШІ, для

спеціалістів з різних галузей національної економіки та персоналу підприємств, що опікуються задачами використання ІІІ в виробничій діяльності, а також для управлінців, які визначають пріоритети розвитку підприємств, галузей економіки чи формують стратегії розвитку країни.

1. Цифровізація – новий вимір технологічного прогресу

За останні роки темпи цифровізації життєдіяльності суспільства суттєво прискорились. Цифрові моделі, платформи, алгоритми обробки інформації проникли у всі сфери економіки та управління. Завдяки інноваційним технологіям та доступу до нових типів даних з'являються нові бізнес-процеси, послуги на ринку, зменшуються витрати та знижуються бар'єри для входження на ринок нових учасників, зростає рівень поінформованості учасників щодо розвитку ситуації та цінових параметрів необхідних послуг.

На відміну від традиційних моделей фізичного виробництва товарів цифрові бізнес-моделі керуються програмним забезпеченням та дозволяють суб'єктам господарювання відкрити нові можливості у просуванні своєї продукції та підвищенні ефективності своєї діяльності (Таблиця 1)¹.

Сучасні цифрові рішення, доступ до детальних та різноманітних даних, у поєднанні з розширеними можливостями їх аналізу та обробки, дозволяють високотехнологічним компаніям надавати клієнтам новий рівень сервісу, розвивати нові функціональні спроможності продуктів та створювати додаткову цінність своїм послугам, які досі були недоступні.

Таблиця 1

Трансформація бізнес-моделей завдяки цифровим технологіям

| Складові бізнес-процесу | Традиційні бізнес-моделі | Цифровізовані бізнес-моделі |
|-------------------------|---|--|
| Виробництво продуктів | На основі продажів фізичних продуктів або одиниць. Обмежені стимули для виробників для підвищення ефективності своєї продукції. | На основі продажів послуг. Сильні стимули для постачальників інвестувати в ефективність та обслуговування як стратегію безпосереднього збільшення прибутку. |
| Збір даних | Традиційні методи збору даних, такі як опитування та аналіз ринку. Обмеженість даних (недостатність ряду, деталізації) для аналізу таких даних потрібен час. | Доступ до детальних даних і розширеної аналітики для отримання нової інформації. Полегшує розробку продукту та індивідуальні послуги та пропозиції. |
| Час виходу на ринок | апаратне та фізичне забезпечення (<i>hardware</i>). Відносно негнучкий через час, необхідний для розробки нового обладнання та налагодження виробничих процесів. | Програмне забезпечення (<i>software</i>). Більш чутлива та гнучка, більше можливостей адаптуватися до змін на ринку завдяки коротшим термінам розробки. |
| Особливості постачання | На основі фізичної присутності на ринках з обмеженим графіком роботи та географічним охопленням. | Присутність в інтернет-мережі в режимі реального часу (<i>online</i>). Можливість працювати 24/7 завдяки автоматизації та розподілу персоналу в різних часових поясах. |
| Комунікація з клієнтами | Обмежена пряма взаємодія з клієнтами. | Своєчасна та часта взаємодія з клієнтами через платформи та додатки. |
| Ланцюжки постачання | Дуже залежить від ланцюгів постачання. | Активи (необхідне) можна придбати у широкого кола роздрібних продавців і виробників. |

¹ The potential of digital business models in the new energy economy / IEA. 2022. 07 Jan. URL: <https://www.iea.org/articles/the-potential-of-digital-business-models-in-the-new-energy-economy>

Цифровізація в енергетичному секторі слідує загальним тенденціям технологічного розвитку. Темпи проникнення цифрових технологій останніми роками суттєво прискорилися, що сприяє виникненню нових моделей взаємовідносин на енергетичних ринках, трансформації багатьох традиційних бізнес-моделей та появи принципово нових видів бізнесів у сфері забезпечення потреб споживачів в енергії та послугах.

Для учасників енергетичного ринку цифрові інструменти та платформи забезпечують ефективнішу інтеграцію різних джерел енергії та типів споживачів, сприяючи кращому задоволенню потреб споживачів та надійності функціонування систем енергозабезпечення. У той же час цифровізація створює нові можливості для бізнесу та джерела доходу для постачальників енергетичних послуг, водночас допомагаючи споживачам краще розуміти своє споживання енергії та зменшувати свої рахунки.

Водночас, використання сучасних можливостей різноманітних цифрових платформ для оброблення інформації є своєрідним технологічним переходом до нової якості життєдіяльності суспільства. У загальному випадку, ця якість пов'язується з проникненням на рівень практичного застосування технологій штучного інтелекту (*Artificial intelligence*).

2. Огляд можливостей застосування штучного інтелекту

Штучний інтелект (ШІ) є відносно новою технологією широкого застосування цифрових технологій, зокрема, алгоритмів обробки великих масивів даних для удосконалення процесів забезпечення різних аспектів життєдіяльності суспільств. Тому застосування цієї технології досі не стандартизовано, понад те, досі немає чіткого визначення терміну «штучний інтелект», триває вивчення можливостей його застосування в різних сферах.

Для нашого дослідження проаналізуємо лише базові засади застосування цього нового феномену людського життя, перш за все, з огляду на його можливість застосування у сфері енергетики.

Визначення ШІ у законодавстві України міститься, зокрема, у схваленій Концепції розвитку штучного інтелекту в Україні (грудень 2020 року)², де ШІ це: *«організована сукупність інформаційних технологій, із застосуванням якої можливо виконувати складні комплексні завдання шляхом використання системи наукових методів досліджень і алгоритмів обробки інформації, отриманої або самостійно створеної під час роботи, а також створювати та використовувати власні бази знань, моделі прийняття рішень, алгоритми роботи з інформацією та визначати способи досягнення поставлених завдань».*

Єврокомісія у своїх пропозиціях щодо пріоритетних напрямів розвитку ШІ дає таке трактування: *«ШІ відноситься до систем, які демонструють розумну поведінку, аналізуючи навколишнє середовище та виконуючи дії, – з певним ступенем автономії – для досягнення конкретних цілей. Системи на основі ШІ можуть бути суто програмними, діяти у віртуальному світі (наприклад, голосові помічники, програмне забезпечення для аналізу зображень, пошукові системи, системи розпізнавання мовлення та обличчя) або ШІ може бути вбудовано в апаратні пристрої*

² Про схвалення Концепції розвитку штучного інтелекту в Україні : Розпорядження Кабінету Міністрів України від 02.12.2020. № 1556-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1556-2020-%D1%80#Text>

(наприклад, просунуті роботи, автономні автомобілі, дрони або програми Інтернету речей)³.

Одне із найбільш системних визначень ШІ запропоноване в аналізі застосування ШІ, проведеному ОБСЄ⁴: «Система штучного інтелекту є системою, яка може для певного набору визначених людиною цілей робити прогнози, рекомендації або рішення, що впливають на реальне чи віртуальне середовище».

Ці визначення дозволяють усвідомити той комплекс можливостей та проблем, що виникають у зв'язку із застосуванням ШІ. Хоча можливі сфери та способи застосування цієї технології можуть бути найрізноманітніші, все ж їх можна класифікувати для спрощення подальшого аналізу можливості застосування ШІ на практиці.

При застосуванні ШІ вирізняються ряд відмінних за задачами варіантів використання (шаблонів), що можуть співіснувати паралельно в рамках однієї системи ШІ, а саме⁵:

Персоналізація – це алгоритми створення «профілю клієнта» (цілових характеристик), який потім може використовуватись для цільового (*target*) звернення до потреб клієнта відповідно до його потреб (визначених характеристик). Результатом, наприклад у сфері продажу товарів/послуг, зазвичай є рейтинг, на основі якого розробляються системи рекомендацій щодо перегляду інформації, вибору товару при купівлі, здійснення фінансових операцій, виконання персоналізованого набору фізичних вправ тощо.

Взаємодія та спілкування – це алгоритми забезпечення взаємодії та обміну інформацією між машинами і людьми за допомогою різних методів, у тому числі голосових, текстових, відео- чи графічних форм. Результати представляються у формі чат-ботів, голосових помічників, моделей аналізу настроїв і намірів тощо.

Виявлення шаблонів і аномалій – це алгоритми визначення закономірностей в даних та їх порівняння із відомими шаблонами, щоб оцінити, чи відповідають вони наявному шаблону, чи спостерігаються відхилення або ж аномалії. Використовують машинне навчання (*machine learning*) для виявлення таких наборів даних. Застосовується, наприклад, для виявлення шахрайства, людських помилок тощо.

Розпізнавання – це алгоритми, що використовують машинне навчання та інші когнітивні підходи для виявлення та визначення необхідного об'єкта або даних (інформації) у вигляді зображення, відео, аудіо, тексту чи іншому форматі неструктурованих даних з наступною класифікацією таких даних.

Досягнення цілей – це алгоритми, орієнтовані на досягнення цілей (*goal-oriented system*) шляхом використання машинного навчання та інших когнітивних підходів комп'ютерних систем. Такі алгоритми надають можливість знайти оптимальне рішення проблеми, яке може бути досягнене шляхом ітераційного процесу навчання шляхом проб і помилок. Передбачається, що для алгоритму

³ Artificial Intelligence for Europe. EC. Brussels, 25.4.2018 COM/2018/237 final / EUR-Lex : An official website of the European Union URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2018%3A237%3AFIN>

⁴ Recommendation of the Council on Artificial Intelligence. OECD/LEGAL/0449. Adopted on: 22/05/2019 / OECD. URL: <https://legalinstruments.oecd.org/en/instruments/OECD-LEGAL-0449>

⁵ OECD Framework for the Classification of AI Systems. OECD Digital Economy Papers. February 2022. № 323. P. 80;

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> ;The Seven Patterns of AI. Cognilytica. 2019. URL: <https://www.cognilytica.com/2019/04/04/the-seven-patterns-of-ai/>

задається функція вартості щодо якої здійснюється оцінка рішення. Реалізується в іграх, при задачах оптимізації ресурсів/логістики, ітераційного вирішення проблем, торгах та аукціонах в реальному часі, моделюванні сценаріїв.

Прогнозування та підтримка прийняття рішень – це алгоритми обробки інформації, що включають описову аналітику, прогнозу та проєктивну аналітику, прогнозування майбутніх значень для даних, прогнозування поведінки населення, визначення та вибір найкращого підходу, оптимізацію діяльності тощо. Прогнозування зазвичай використовує дані про минулі та існуючі поведінки, щоб передбачати майбутні результати, як правило, щоб допомогти людині прийняти рішення.

Вищенаведені варіанти використання можуть застосовуватись окремо або поєднуватись для вирішення окремих завдань у автоматизовані системи ШІ.

Автономні системи – це фізичні та віртуальні програмно-апаратні системи, які здатні виконувати завдання, взаємодіяти з оточенням і досягати мети з різним ступенем участі людини. Зокрема відрізняють доповнювальний інтелект (*augmented intelligence*), де реалізується спільна робота людей і машин і людина включена в цикл прийняття рішення, та автономний інтелект (*autonomous intelligence*), де людина не включається в цикл роботи системи з обробки інформації та прийняття рішення. У загальному випадку, розрізняють чотири варіації ступеня автономності системи ШІ⁶:

- Відсутність автономності (також відома як «людська підтримка» (*human support*): система не може діяти відповідно до своїх власних рекомендацій чи результатів обробки інформації. Людина приймає рішення, при цьому за бажанням використовує або нехтує рекомендаціями або результатами роботи системи ШІ.

- Автономність низького рівня (відома як «людина-в-петлі прийняття рішень» (*human-in-the-loop*): система оцінює вхідні дані та діє відповідно до своїх рекомендацій або результатів, якщо людина погоджується.

- Автономність середнього рівня (відома як «людина-на-петлі» (*human-on-the-loop*): система оцінює вхідні дані та діє відповідно до своїх рекомендацій чи результатів, якщо людина не накладає вето.

- Автономність високого рівня (відома як «людина-поза-петлею» (*human-out-of-the-loop*): система оцінює вхідні дані та діє відповідно до своїх рекомендацій чи результатів без участі людини.

Для адекватної та ефективної роботи систем ШІ, необхідні **значні обсяги інформації**, класифіковані у зручній, для використання формі. Відповідні бази даних (*Big data*⁷) формуються різними способами як самими машинами, так і людьми і поділяються на:

- бази даних, зібрані людьми – формуються, коли людині необхідно спостерігати та збирати інформацію, яка вимагає суб'єктивного оцінювання, зокрема, коли об'єкт дослідження не описаний формалізованими моделями

⁶ Endsley, M. R. (1987). Endsley M. R. The Application of Human Factors to the Development of Expert Systems for Advanced Cockpits. *Proceedings of the Human Factors Society Annual Meeting*, 31(12), 1388–1392. 1987. URL: <https://doi.org/10.1177/154193128703101219>

⁷ *Big data* - набори інформації (як структурованої, так і неструктурованої) настільки великих розмірів, що традиційні способи та підходи до її обробки (здебільшого засновані на рішеннях розвинених в системах управління базами даних) не можуть бути застосовані до них. Для обробки таких масивів даних необхідний додатковий набір інструментів та методів (наприклад, засоби масово-паралельної обробки даних). Кінцевою метою цієї обробки є отримання результатів, які легко сприймаються людиною та є ефективними в умовах безперервного росту й розподілення інформації по численних вузлах обчислювальної мережі.

(наприклад, психічний стан людини) чи коли є часткова формалізація, але певні етапи обчислювального процесу виконуються людьми.

- бази даних, які збираються автоматизованими датчиками, – пристрої, які автоматично відстежують і записують дані, включають камери, мікрофони, термометри, лабораторні прилади та інші датчики, такі як пристрої Інтернету речей (*Internet of Things (IoT)*), а також здійснюють автоматичний запис інформації з онлайн-ресурсів, мобільних телефонів, GPS-пристроїв, браслетів для активності тощо.

- бази даних, зібрані людьми та автоматизованими датчиками – деякі дані збираються людьми разом із автоматизованими інструментами.

Слід зазначити, що збір великих обсягів інформації та її обробка ШІ викликає застереження щодо права людини на приватність та адекватного формування залежностей між різними даними з метою уникнення включення в алгоритми обчислень суб'єктивних уподобань авторів алгоритмів (*biases*).

Зокрема, саме застосування систем *розпізнавання* людей та їх біометричних даних (розпізнавання облич, голосу, вибір інформації з різноманітних баз даних тощо) викликає занепокоєння щодо прав людини, а також надійності та безпеки у разі кібератак та викрадення інформації. Ті ж самі застереження стосуються системи виявлення шаблонів та аномалій поведінки, особливо це стосується ризиків незаконного моніторингу діяльності окремих людей. *Персоналізація* може позитивно вплинути на соціальні структури та добробут, але також може суперечити людським цінностям та праву індивідів на самовизначення, оскільки має тенденцію надавати людям інформацію за визначеним алгоритмом (наприклад інформація, що їм подобалася раніше, або що сподобалася людям з подібним профілем).

Системи ШІ з підтримки *взаємодії* можуть вплинути на конфіденційність використання даних, що потребує більшої прозорості та розкриття алгоритмів обробки інформації при взаємодії з чат-ботом. Системи орієнтовані на *досягнення цілей* можуть вчитися у себе шляхом проб і помилок, однак їх потреби в даних можуть зростати експоненційно. Крім того, коли специфікація цілі визначена неточно, ці системи можуть відхилитися від запланованої поведінки.

Вищенаведені шаблони застосування ШІ, способи отримання та обробки інформації можуть бути застосовані і у сфері енергетики.

3. Застосування штучного інтелекту в енергетиці

Специфіка надання послуг енергозабезпечення, а саме необхідність обробки, в режимі реального часу, великих масивів інформації щодо прогнозування погодних умов, обсягів споживання та виробництва енергії, стану обладнання, режимів роботи ліній електропередачі тощо відкриває шлях для застосування ШІ в енергетиці.

Для прикладу: прогнозування погодних умов може передбачити зміну потреб споживачів у енергії та, відповідно, краще спланувати роботу генеруючих потужностей для збільшення ефективності роботи наявних установок. Застосування ШІ може також стабілізувати систему передачі енергії, наприклад, виявляючи аномалії в режимах виробництва і споживання та розробляти відповідні рішення щодо усунення таких аномалій у режимі реального часу (*on-line*), здійснюючи підключення/відключення джерел енергії чи додаткового обладнання, що забезпечує стабільність та надійність функціонування системи.

Завдяки збільшенню доступності даних ІІІ забезпечує краще прогнозування режимів роботи систем розподілення енергії. Наприклад, вибір часу технічного обслуговування в електричній мережі, завдяки наявності інформації щодо проектних термінів експлуатації, неprojektних режимів, рівня зношеності окремих елементів, обладнання чи матеріалів, що суттєво знижує рівень аварійності мереж та дорогі простої.

Що стосується споживачів енергії, то ІІІ дозволяє оптимізувати енергоспоживання завдяки спроможності прогнозування цін на енергію (на різних проміжках часу) та керування попитом на стороні споживання завдяки використанню розумного обладнання. Режими роботи пристроїв можуть регулюватись в залежності від звичок споживачів (наприклад години автоматичного включення кондиціонування чи освітлення, підігріву води тощо), реальних потреб у споживанні (наявність споживача у приміщенні) та вартості енергії у певний проміжок часу з метою зміщення графіку споживання на години коли вартість енергії нижча.

Загалом, сьогодні можна виділити такі функції/сервіси, які можуть виконуватись в енергетиці з використанням систем ІІІ:

Взаємодія з клієнтами

Енергетичний сектор використовує технології ІІІ для удосконалення процесу взаємодії та залучення нових клієнтів до своїх послуг. Використовуючи ІІІ та машинне навчання, енергетичні компанії можуть надавати клієнтам інформацію, яка відповідає їхнім потребам. Це передбачає здійснення аналізу широкого набору даних, для того щоб зрозуміти тенденції споживання енергії споживачами, запропонувати їм нові послуги чи надати інформацію про те, як вони можуть зменшити споживання енергії.

Звичним на сьогодні прикладом такого застосування ІІІ є чат-боти, які пропонують абоненту допомогу в отриманні наперед визначених стандартних відповідей чи алгоритмів реагування.

Управління мережею

Частка вітрової та сонячної енергетики все більше зростає в загальному балансі виробництва електроенергії. Водночас їх режими роботи є нестабільними і це створює проблему для електромереж, оскільки необхідно передбачити, коли надходження енергії від цих джерел падатиме, коли зростатиме. ІІІ та машинне навчання можуть допомогти в цьому енергетичним компаніям і відповідно керувати режимами роботи енергосистем. Для операторів енергосистем точне короткострокове прогнозування підвищує ефективність диспетчеризації та зменшує проблеми з надійністю, а отже, і необхідні експлуатаційні резерви.

ІІІ також допомагає компаніям оптимізувати роботу енергосистем завдяки розрахунку доцільного розподілу використання пропускної спроможності існуючих ліній передачі та розподілу, а також продовження терміну служби існуючого обладнання, визначення необхідності проведення обслуговування чи заміни обладнання.

Керовані ІІІ автономні роботи також використовуються для обслуговування електромереж та обладнання. Роботів можна використовувати для таких завдань, як огляд і ремонт трубопроводів, вітрових турбін та іншої енергетичної інфраструктури. Автоматизуючи ці завдання, енергетичні компанії можуть ще більше підвищити ефективність і знизити витрати.

Інтелектуалізація мереж (Smart grids⁸)

Проникнення цифрових технологій в енергетику дозволяє підвищити ефективність використання наявної енергетичної інфраструктури та ресурсів. ШІ оптимізує керування потоками енергії в системі між обладнанням споживачів (будинки, підприємства), накопичувачами енергії (акумуляторними батареями), відновлюваними джерелами енергії (ВДЕ), мікромережами та центральною мережею.

Інтеграція системи управління мережі з датчиками, інструментами аналізу даних, системами зберігання енергії, платформами управління енергією та іншими типами енергетичних технологій створює нові можливості. Цьому сприяє поширення використання розумного обладнання (промислового та побутового обладнання (*IoT*) з можливістю автоматичного обміну інформацією та керування за допомогою цифрових технологій) та розумних систем вимірювання (*Smart meters*), які набувають все більшого поширення. Наприклад, у США рівень проникнення таких лічильників сягнув майже 50 % ще у 2016 році⁹.

Розумні лічильники забезпечують двосторонній зв'язок між оператором мережі та споживачем, створюють можливість забезпечення гнучкості попиту для управління споживанням та досягнення економії витрат споживача. Інтелектуальні лічильники (2-го покоління) з так званими «in-home-display», відображають споживання в реальному часі й інформують споживача, коли він може скоротити споживання енергії, зменшивши тим самим свої витрати на електроенергію.

Енергетичні компанії можуть зменшити споживання енергії споживачами за допомогою автоматизованих систем регулювання попиту, які можуть спонукати споживачів відключати енергію в години пік, що призводить до економії енергії як для споживачів, так і для енергетичних компаній. Крім того, енергетичні компанії можуть використовувати знання про режими споживання обладнання (розуміння профілю споживача) для розробки проєктів енергоефективності для своїх клієнтів (механізми управління попитом – *demand side management*)¹⁰.

⁸ Smart grids (Розумна мережа) — це електрична мережа, яка використовує цифрові та інші передові технології для моніторингу та керування транспортуванням електроенергії з усіх джерел виробництва для задоволення потреб споживачів електроенергії. Розумні мережі координують потреби та можливості всіх виробників, операторів мереж, кінцевих користувачів та зацікавлених сторін ринку електроенергії, щоб якомога ефективніше працювати з усіма частинами системи, мінімізуючи витрати та вплив на навколишнє середовище, максимізуючи надійність, стійкість та стабільність системи.

Енергетичні компанії світу, лідери у застосуванні цифрових технологій, направляють значні ресурси на інновації, розумне обладнання та розгортання розумних електричних мереж. Наприклад, компанія Enel запустила Network Digital Twin, цифрову платформу, яка створює сучасні та точні віртуальні копії фізичних мереж електропостачання та їх компонентів та системної динаміки, що дозволяє покращити роботу та проєктування мережі, інтегрувати розподілені енергетичні ресурси та управління робочою силою. У 2020 році держава мережева корпорація Китаю (State Grid Corporation of China) також оголосила про плани інвестувати біля 3,5 мільярда доларів США в цифрову інфраструктуру. У 2021 році вона разом з Національною комісією розвитку та реформ Китаю оголосили про пілотний проєкт з розробки платформи для торгівлі зеленою енергією на основі технології блокчейн. Виробники обладнання для електричних мереж, такі як Siemens, General Electric і Hitachi Energy, зробили цифрові технології основою свого бізнесу. Див.: URL: <https://www.iea.org/reports/smart-grids>

⁹ Nearly half of US electricity customers have smart meters / U.S. Energy Information Administration. 2017. 06 Dec. URL: <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=34012>

¹⁰ Demand Side Management (регулювання попиту) може бути використано різними способами. Найчастіше послугу продають у формі гарантії «стабільності» графіку споживання, що надають великі промислові компанії, які компенсують фактичну нерівномірність графіку регулюванням обладнання. Також послугу управління попитом надають постачальники енергії шляхом застосування механізмів (цінових стимулів) оптових ринків та ринків потужності, що застосовуються до споживачів примушуючи їх до зміни обсягів

Мікромережа (Microgrid)

Цифрові технології дозволяють створити невелику локальну енергетичну мережу, яка може працювати незалежно від централізованої мережі. Такі мережі задовольняють попит споживачів на даній території завдяки використанню наявних на даній території можливостей генерування енергії (переважно засобів генерації невеликої потужності) та управління попитом на енергію споживачами, що входять у цю мережу. Системи керування Microgrid використовують ШІ і машинне навчання для керування потоком енергії та оптимізації використання енергії учасниками цієї мережі. ШІ може передбачати не тільки періоди роботи генеруючих установок у мережі, а й звички споживання, до того ж може точно скласти схему споживання для кожного споживача.

Мікромережі стають популярними, оскільки вони можуть забезпечити енергетичну безпеку під час надзвичайних ситуацій (у випадку порушення роботи загальної енергосистеми) і можуть легше, ніж традиційні енергетичні мережі, інтегрувати нестабільні ВДЕ в енергетичну мережу. ШІ водночас забезпечує ефективну інтеграцію таких наявних децентралізованих місцевих ресурсів (*distributed energy resources - DER*), як електромобілі (шляхом використання накопиченої енергії в акумуляторах у пікові години споживання чи накопичення енергії в акумуляторах автомобілів при надлишку енергії в мікромережі), теплові насоси та сонячні фотоелектричні панелі в загальну мережу енергопостачання.

У 2019 році загальна потужність мікромереж уже сягала 20 ГВт (за оцінкою дослідження Navigant Research, яке виявило 2258 одиниць мікромереж загальною потужністю 19 575 МВт по всьому світу), переважно в Північній Америці, Азії та Африці¹¹. До кінця 2025 року, оцінюється, що потужність подібних систем у світі зросте до 400 ГВт¹².

Віртуальні електростанції (Virtual Power Plants)

Керовані ШІ мережі є основою створення віртуальних електростанцій (*Virtual Power Plants - VPP*),¹³ які є віртуальним пулом кількох малих і середніх установок, які споживають або виробляють електроенергію. ШІ дозволяє визначити доступні обсяги виробництва енергії конкретними установками та знайти конкретних споживачів таких обсягів виробництва. Таким чином, VPP створює віртуальну енергосистему, незалежну від централізованої мережі, яка самостійно забезпечує

споживання. За оцінками МЕА до 2030 року, потенціал регулювання попиту для підвищення гнучкості системи, може бути у 10 раз більше поточного. Проте, для цього, необхідні додаткові інвестиції в інтелектуальні мережі та розумне обладнання. На всіх рівнях енергосистеми цифровізація є ключовою умовою для збільшення гнучкості попиту. При цьому вдосконалення прогнозування попиту на енергії в реальному часі, аналітика та інтелектуальні засоби управління будуть одними з основних технологічних засобів. Див.: URL: <https://www.iea.org/reports/demand-response> ;

<https://www.iea.org/programmes/digital-demand-driven-electricity-networks-initiative>

¹¹ Див.: URL: <https://www.navigantresearch.com/news-and-views/navigant-research-identifies-2258-microgrid-projects-representing-nearly-20-gw-of-capacity>

¹² Див.: URL: <https://www.tdworld.com/distributed-energy-resources/article/21212528/virtual-power-plants-some-assembly-required>

¹³ Віртуальна електростанція, це система децентралізованих генеруючих потужностей в енергетичній мережі, що віртуально пов'язана та керується єдиною централізованою системою управління. Ці одиниці можуть бути або виробниками електроенергії (наприклад, вітряні, біогазові, сонячні, ТЕЦ або гідроелектростанції), активними споживачами електроенергії (просьюмерами), накопичувачами електроенергії (акумуляторами), або установками, що працюють за принципом перетворення «енергія в X» (наприклад, електроенергія-тепло та електроенергія-газ). Найбільші сьгоднішні віртуальні електростанції вже перевищили сукупну потужність найбільших атомних електростанцій. Див.: What is a Virtual Power Plant? Next. URL: <https://www.next-kraftwerke.com/knowledge/what-is-a-virtual-power-plant>

балансування пропозиції та попиту між своїми учасниками. При цьому оператори VPP не володіють електростанціями, вони просто оптимізують спосіб використання кожного зв'язаного активу, який належить третій стороні, що дозволяє вирівнювати графік навантаження системи. Центральна система управління VPP використовує спеціальний алгоритм, щоб пристосуватися до команд балансування від операторів системи передачі та до умов локальної мережі – так, як це робить звичайна електростанція.

Створення нових бізнес-моделей роботи на ринку

Розширення використання цифрових технологій дозволяє запропонувати нові форми взаємодії між учасниками енергетичних ринків, зокрема учасників енергосистеми. Нові бізнес-моделі дозволяють запровадити моделі, які передбачають уникнення третьої сторони (оператора системи передачі чи розподілу) у взаємовідносинах між виробниками енергії та кінцевими споживачами.

Застосування ШІ, розумного обладнання та приладів, цифрових технологій організації торгівлі електроенергією дозволяє запропонувати цільову модель взаємодії між окремими учасниками для надання окремих послуг (енергія як послуга (освітлення, кондиціонування, тепло тощо), послуга балансування, регулювання попитом, акумуляування тощо).

Технології ШІ, отримуючи дані про споживання енергії розумними пристроями, дозволяють робити кращий прогноз майбутніх рівнів споживання енергії, допомагаючи таким чином клієнтам краще регулювати своє споживання. Датчики розумних приладів можуть виявляти фактори навколишнього середовища, такі як денне світло, температура, рух або тиск. Ця інформація може забезпечувати такі технології, як опалення та охолодження або освітлення, зокрема щоб розумніше й ефективніше керувати їх навантаженням¹⁴.

Нові бізнес-моделі¹⁵ можуть надавати зазначені вище послуги через поєднання можливостей кількох учасників ринку та допомогти дрібним учасникам (установкам) отримати доступ до ринків і послуг (отримувати дохід), якого вони раніше не мали.

Торгівля електроенергією

Торгівля електроенергією характеризується необхідністю здійснювати постачання відповідно до потреб споживача в режимі реального часу (*on-line*). Це створює суттєві проблеми для організації належного обліку обсягів проданої енергії у кожний конкретний проміжок часу, оскільки вартість енергії залежить від години доби.

ШІ та машинне навчання можуть допомогти виробникам, постачальникам та споживачам краще прогнозувати графіки свого навантаження (виробництво, споживання) та брати участь у торгах на оптових і балансуємих ринках, уникаючи при цьому штрафів за недотримання заявлених графіків. Маючи цю інформацію,

¹⁴ Harnessing IoT for Energy Benefits / IEA. 2021. URL: <https://www.iea-4e.org/wp-content/uploads/publications/2021/02/IoT-for-Energy-Benefits-FINAL.pdf> ;

EDNA report Energy Harvesting Technologies for IoT Edge Devices / IEA. URL: https://www.iea-4e.org/wp-content/uploads/publications/2020/01/4E_Policy_Brief_EDNA_5_201219_-_FINAL.pdf ;

Policy Guidance for Smart, Energy-Saving Consumer Devices / IEA. URL: https://www.iea-4e.org/wp-content/uploads/publications/2020/12/Policy_Guidance_for_Smart_Energy-Saving_Consumer_Devices_May_2020.pdf

¹⁵ Детальніше див. Табл. 3.

учасники ринку в режимі реального часу можуть приймати обґрунтованіші рішення про те, коли купувати та продавати енергію.

Своєрідним розвитком ШІ у сфері трейдингу є технологія блокчейн (*blockchain*)¹⁶. Ця технологія набуває поширення останнім часом завдяки опції автоматичного створення угод про закупівлю енергії, яка робить ці контракти ефективнішими, скорочує час транзакцій, менше коштує у використанні¹⁷.

Встановлення програмного забезпечення блокчейн з інтегрованими смарт-контрактами (*Smart-contracts*) в поєднанні з технологією смарт-лічильників (*Smart-meters*) дозволяє відстежувати та верифікувати джерела енергії, здійснювати пряму (неопосередковану) торгівлю енергією (*peer-to-peer trading*), краще балансувати та оптимізувати енергетичне навантаження та попит. Транзакції можна безпечно й автоматично записувати за допомогою смарт-контрактів на блокчейні, які встановлюють прозорий процес, якому користувачі можуть довіряти, але з кращим захистом від кібератак і без розкриття особистої інформації.

Виявлення крадіжок енергії

Крадіжка та шахрайство з обсягами та режимами споживання енергії є досить поширеним явищем, що зумовлює значні втрати для енергетичної та комунальної сфери (до 100 мільярдів доларів щороку в усьому світі). ШІ та машинне навчання можуть автоматично виявляти аномалії у поведінці постачальників і споживачів та позначати їх для детальнішої перевірки персоналом енергетичних компаній¹⁸. Це дозволяє компаніям захистити свої активи, зменшити витрати енергії та заощадити гроші.

Акумуляування енергії

Рівномірний графік виробництва та споживання енергії є найбільш ефективним режимом роботи системи енергозабезпечення, що однак важко забезпечити у реальних умовах. Розвиток новітніх акумуляторних технологій є суттєвою зміною умов функціонування енергосистем,¹⁹ оскільки їх можна інтегрувати в енергетичну мережу та забезпечити вирівнювання графіку.

¹⁶ Блокчейн — це децентралізований (розподілений) публічний (відкритий) цифровий реєстр, який записує будь-які транзакції цінності, будь то гроші, товари, майно, робота чи голоси. Це також взаємопов'язаний і постійно розширюваний список записів, які надійно зберігаються в одноранговій мережі. Кожен учасник з доступом може одночасно переглядати інформацію без жодної точки збою, створюючи довіру до системи в цілому. Див.: Building Block(chain)s for a Better Planet / WEF. 2018. URL: https://www3.weforum.org/docs/WEF_Building-Blockchains.pdf

¹⁷ How will Blockchain Benefit the Energy Industry? / Consensusys. URL: <https://consensusys.net/blockchain-use-cases/energy-and-sustainability/> ; Blockchain in Energy and Sustainability / Consensusys. URL: <https://consensusys.net/blockchain-use-cases/energy-and-sustainability/>

¹⁸ Shah S. Companies Will Use AI to Stamp Out Electricity Theft. Engadget. 2017. 25 Sept. URL: <https://www.engadget.com/2017-09-25-companies-will-use-ai-to-stamp-out-electricity-theft.html>

¹⁹ Станом на кінець 2020 року загальносвітова ємність акумуляторних батарей, встановлених у електромережах, становила близько 17 ГВт. У 2020 році кількість установок зросла на 50 % порівняно з попереднім 2019 роком. Загалом було додано понад 5 ГВт потужності, з них такі країни як Китай та США встановили понад 1 ГВт кожна. На ринку продовжують домінувати установки, що встановлюються в розподільчих електромережах.

Загальні інвестиції в акумуляторні батареї зросли майже на 40 % у 2020 році до 5,5 мільярдів доларів США. Витрати на батареї в мережевому (великої ємності) обладнанні зросли більш ніж на 60 %, що викликано поштовхом до інвестицій у відновлювані джерела енергії та зростанням присутності цифрових платформ торгівлі електроенергією, зокрема, аукціонів зі зберігання енергії. Проте інвестиції в приватні акумулятори (за лічильником) впали на 12 %, оскільки ці активи, як правило, фінансуються домогосподарствами та малими й середніми компаніями, які загалом більше постраждали від кризи COVID-19. У Європі спостерігалась зворотна тенденція, коли падіння встановлення накопичувачів в локальних мережах компенсувалась

Крім цього, системи накопичення енергії у вигляді великомасштабних батарей, агрегованих малих батарей («за лічильником») або підключених електромобілів стають ключовими факторами для інтеграції ВДЕ. ШІ може допомогти ефективніше керувати цими технологіями, максимізуючи інтеграцію електростанцій на базі ВДЕ, мінімізуючи ціни на електроенергію, що споживається на місці, і максимізуючи віддачу для власників системи зберігання.

Таким чином, керовані ШІ системи акумулювання енергії дозволяють вирівнювати графік навантаження системи і допомагають зменшити потребу енергетичних компаній у будівництві нових електростанцій. Очікується, що до 2030 року світовий ринок зберігання енергії зросте в 20 разів, що лише посилить потребу у використанні технологій ШІ.

Прогнозування режимів роботи інфраструктури та планування її розвитку

Застосування ШІ до прогнозування попиту на енергію в майбутньому дозволяє спростити та зробити менш затратним планування розвитку необхідної енергетичної інфраструктури для задоволення майбутніх потреб в енергії. Використовуючи прогнозу аналітику, енергетичні компанії можуть також передбачити, коли енергоблок, трансформатор, окреме технологічне обладнання мереж тощо ймовірно вийдуть з ладу. Це не тільки допомагає запобігти несподіваним відключенням, але й економить ресурси, дозволяючи компаніям планувати заміну критичних і дорогих енергетичних активів і уникати незапланованих робіт з технічного обслуговування.

Збільшення виробництва та будівництво

ШІ та машинне навчання також використовуються для покращення виробництва енергії чи енергоресурсів. Наприклад, нафтогазові компанії використовують ШІ для покращення розміщення свердловин і збільшення видобутку. Аналізуючи дані, зібрані із сейсмічних досліджень та інших джерел, ці компанії можуть приймати кращі рішення про те, у яких місцях бурити нафту та газ²⁰.

Аналізуючи кліматичні та географічні умови, тенденції змін клімату, ШІ може допомогти проєктувальникам у виборі кращої площадки для будівництва вітрових та сонячних електростанцій, термальних електростанцій.

Прогнозування погодних умов, тенденцій роботи обладнання та вирахування оптимального режиму роботи генеруючого обладнання також сприяє підвищенню ефективності устаткування та енергетичних мереж. ШІ на основі навчання аналізу історичних тенденцій погодних даних, вимірювання в реальному часі швидкості вітру та потоку сонячної енергії завдяки датчикам, врахування відеоданих та фотографій місцевості (наприклад, супутникові знімки хмарності) можуть формувати короткострокові прогнози виробництва електроенергії.

Підвищення рівня кібербезпеки енергосистеми

встановленням акумуляторів у приватних приміщеннях. Провідним ринком у Європі зараз є Німеччина, де кількість установок за лічильником зростає майже вдвічі. Подібна тенденція спостерігається і в Японії, де ємність домашніх акумуляторних систем у 2020 році зростає до 300 МВт. У липні 2021 року Китай оголосив про плани встановити понад 30 ГВт накопичувачів енергії до 2025 року (без урахування насосних гідроакумуляторів (ГАЕС), що забезпечить майже десятикратне збільшення його встановленої потужності станом на 2020 рік. Загалом за оцінками МЕА загальна встановлена потужність акумуляторних систем накопичення енергії у світі до 2030 року сягне понад 500 ГВт. Див.: URL: <https://www.iea.org/reports/energy-storage>

²⁰ Wolfe Todd. 13 Remarkable Applications of AI in the Oil & Gas Industry / Birlasoft. URL: <https://www.birlasoft.com/articles/13-remarkable-applications-ai-oil-gas-industry>

Енергетична мережа є складною системою, вразливою до кібератак. ШІ та машинне навчання можна використовувати для підвищення безпеки енергетичних мереж, запобігаючи кібератакам. Це передбачає використання аналізу даних для виявлення закономірностей в системах обміну інформацією (передачі енергетичних даних), які можуть свідчити про кібератаку. Після виявлення кібератаки для реагування на атаку можна використовувати ШІ та машинне навчання.

Системи управління виробничими процесами

Складні системи управління, що контролюють виробництво та керують ним, є конкретним випадком практичного застосування системи ШІ з «фізичним виміром» імплементації її рішень. Для роботи такої системи використовуються різні джерела інформації, алгоритми її збору та обробки, що пов'язані з конкретним фізичним технологічним процесом. У подальшому ШІ може здійснювати прогнозування попиту, оптимізацію виробничих цілей, видачу завдань для етапів технологічного процесу, виявлення подій/аномалій на виробничих лініях тощо.

Слід зазначити, що все більше окремих елементів технологічного процесу керується системами ШІ, а виробничі процеси стають все більш автономними. Сукупність всіх алгоритмів/моделей ШІ, що використовуються для керування технологічними процесами, формують аналітичну модель виробництва («цифровий близнюк» підприємства), що суттєво підвищує ефективність управлінської діяльності.

Проте, сьогодні ще не всі можливості ШІ використовуються енергетичними компаніями. Для прикладу, компанія EDF використовує ШІ для обмеженого набору завдань, а саме: прогнозування потреб обслуговування обладнання на електростанціях, ідентифікації параметрів/компонентів для відображення у цифрових моделях процесів роботи обладнання, і щоб краще зрозуміти поведінку споживачів при споживанні енергії²¹.

Короткий огляд інших прикладів застосування ШІ для цілей підвищення ефективності окремих технологічних процесів окремими компаніями наведено у Додатку 2.

Широке застосування ШІ з метою управління технологічними та управлінськими процесами ще потребує часу на усунення недосконалостей технологій та зміни бізнес-культури. Незважаючи на вищезазначені можливості застосування ШІ традиційні енергетичні компанії (енергетичний сектор, базований на існуючій концепції великих централізованих систем) обережно ставляться до широкого використання нової технології, що частково пов'язано зі сприйняттям енергетичними компаніями та споживачами потенційних ризиків її застосування.

Водночас, у секторі відновлюваної енергетики у розвитку децентралізованих систем спостерігається тенденція до суттєвого зростання цифрових енергетичних бізнес-проектів. У 2020 році інвестиції венчурного капіталу на ранній стадії в енергоефективні та гнучкі стартапи з новими або інноваційними бізнес-моделями (Таблиця 3) становили близько 900 мільйонів доларів США (без урахування зовнішніх інвестицій у розмірі в середньому 150 мільйонів доларів США в одну угоду), що на 20% більше, ніж у 2019 році і втричі більше рівня фінансування в 2016 році²².

²¹ Carey Scott. How EDF is using audio to monitor its nuclear power plant equipment. Computerworld. 2018. 06 Feb. URL: <https://www.computerworld.com/article/3427522/how-edf-is-using-audio-to-monitor-its-nuclear-power-plant-equipment.html>

²² Innovative Energy Start-Ups. A key vehicle for realising clean energy transitions / IEA. 2021. 29 June. URL: <https://www.iea.org/articles/innovative-energy-start-ups>

4. Виклики та перешкоди використання штучного інтелекту в енергетиці

Обережність ставлення енергетичних компаній до широкого застосування ШІ пояснюється не тільки побоюванням щодо ризиків пошкодження роботи капіталоміємної енергетичної інфраструктури чи вимог відшкодування збитків з боку споживачів у випадку порушення стабільності надання послуги енергопостачання.

Опитування понад 500 відповідальних керівників енергетичних компаній, проведене компанією Siemens у 2019 році, вказує на досить обмежене використання ШІ за окремими напрямками. Найчастіше ШІ застосовується за такими напрямками: більш розумна автоматизація машин та обладнання (обрали 30 % респондентів): прогнозування обслуговування активів (28 %) та оптимізація процесів, машин, програмного забезпечення чи інструментів (28 %) ²³.

Загальні підсумки опитування щодо застосування ШІ у різних аспектах функціонування виробничого процесу наведено у Таблиці 2.

Таблиця 2

Застосування ШІ в енергетичних компаніях

| Напрямок використання ШІ в енергетичних компаніях | Використання ШІ (2019 рік) |
|---|----------------------------|
| Автоматизація машин та обладнання | 30 % |
| Аналіз та прогнозування термінів технічного обслуговування | 28 % |
| Оптимізація технологічних процесів, машин та програмного забезпечення | 28 % |
| Моніторинг рівня безпеки та запобігання інцидентам | 26 % |
| Автоматизація немеханічних процесів | 24 % |
| Контроль якості | 23 % |
| Спілкування з клієнтами/персоналізація | 22 % |
| Планування та прийняття рішень | 21 % |
| Кібербезпека | 21 % |
| Продажі та маркетинг | 21 % |
| Віртуальні системи, експертні системи, чат-боти | 17 % |
| Логістика, ланцюжки постачання | 16 % |
| Дизайн нових продуктів | 11 % |
| Моделювання (цифрові моделі процесів) | 11 % |

Водночас, основним бар'єром для подальшого впровадження ШІ в енергетиці є опір змінам/консерватизм працівників (обрали 85 % респондентів дослідження ²⁴). Така інерція до впровадження нової технології часто пояснюється існуючою організаційною культурою в компаніях, коли працівники побоюються втратити місце роботи (ШІ їх замінить) та довірити ШІ приймати важливі рішення що впливатимуть на активи, за які вони несуть відповідальність.

Іншим чинником формування опору ШІ є недосконалість технологій з точки зору конкретних технічних аспектів їх застосування та взаємосумісності з іншим обладнанням. Широка різноманітність «розумного обладнання» та велика кількість виробників не дозволяє на даний момент стандартизувати вимоги щодо проектування, виробництва та використання такого обладнання, а також щодо

²³ Next-Gen Industrial AI Energy Sector / Siemens. URL: <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:fef90d09-6876-4510-b29b-bb6d60374793/siemens-next-gen-industrial-ai-energy-sector.pdf>

²⁴ Там само.

обробки даних та обміну інформацією з іншим обладнанням. Користувачам такого обладнання необхідно докладати додаткових зусиль щодо вибору визначеного типу обладнання та його виробника, яке має узгоджуватись з вимогами, виставленими в процесі підключення операторами надання окремих послуг, наприклад вимогами операторів розподільчих мереж.

Окрім того, досить часто основні режими роботи обладнання не узгоджуються з режимами та процедурами роботи оператора розподільчих мереж. Наприклад у випадку від'єднання споживача від мережі внаслідок аварійного відключення та при наступному відновленні електропостачання оператором розумне обладнання, за замовчуванням, не буде включено в роботу (відповідні установки на програмному та апаратному рівні), що потребуватиме здійснення ручного підключення обладнання та налагодження його режимів роботи. Це може стати суттєвою проблемою коли споживачі, особливо домогосподарства, не мають достатнього рівня знань для здійснення подібних процедур.

Ще однією проблемою є те, що самі по собі системи ІІІ, як системи що підключені до цифрових мереж, вразливі до кібератак. Кількість та масштаб кібератак і спектр кіберзагроз енергетичній інфраструктурі постійно зростають. Кібератака може спричинити втрату контролю над технологічним обладнанням та процесами, що, у свою чергу, спричинить фізичні збитки та повсюдне порушення функцій енергозабезпечення.

На додаток до впливу на роботу обладнання (критичні служби, домогосподарства та підприємства)²⁵ кібератака може призвести до збитків на мільйони або навіть мільярди доларів для електричних компаній²⁶, включаючи витрати на боротьбу з кібератакою (тобто виявлення, розслідування, стримування та відновлення) та її наслідками (наприклад, втрати від зриву бізнесу, втрати інформації, втрати доходу та пошкодження обладнання)²⁷.

Серед найбільш резонансних прикладів – кібератаки на систему нафтопродуктопроводів США (Colonial Pipeline) у травні 2021 року²⁸. Атака зупинила роботу всіх трубопроводів системи на п'ять днів. За деякими оцінками при зупинці роботи Colonial Pipeline понад 10-12 днів країна опинилась би перед необхідністю зупинити транспортне сполучення (автобусне та інші види транспорту) через відсутність моторного палива. Хімічні та нафтопереробні заводи також припинили би роботу, оскільки неможливо було б розподілити продукцію, яку вони виробляють. У свою чергу це б призвело до необхідності скорочувати виробництво нафти на родовищах.

Міністерство енергетики США вважає кібербезпеку в енергетичному секторі одним із найважливіших і найскладніших викликів національної безпеки, а

²⁵ Analysis of the Cyber Attack on the Ukrainian Power Grid: E-ISAC report. 2016. 18 March. URL: https://ics.sans.org/media/E-ISAC_SANS_Ukraine_DUC_5.pdf

²⁶ Міненерговугілля має намір утворити групу за участю представників усіх енергетичних компаній, що входять до сфери управління Міністерства, для вивчення можливостей щодо запобігання несанкціонованому втручанню в роботу енергомереж / Міністерство енергетики України : офіц. сайт. 2016. 12 лют. URL: http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/publish/article?art_id=245086886

²⁷ Cyber resilience / IEA. URL: <https://www.iea.org/reports/power-systems-in-transition/cyber-resilience>; Blowers Misty, Iribarne Jose, Kott Alexander. The Future Internet of Things and Security of its Control Systems. URL: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1610/1610.01953.pdf>

²⁸ Kelly Stephanie, Resnick-ault Jessica. One password allowed hackers to disrupt Colonial Pipeline, CEO tells senators. *Reuters*. 2021. 09 June. URL: <https://www.reuters.com/business/colonial-pipeline-ceo-tells-senate-cyber-defenses-were-compromised-ahead-hack-2021-06-08/>

енергетична інфраструктура є «ключовою метою для супротивників»²⁹. США вважають, що Китай і Росія спроможні тимчасово порушувати роботу критичної енергетичної інфраструктури й неодноразово уже здійснювали такі атаки. Отже, системи ІІІ в енергетиці також є вразливими до кібератак і потребують додаткових зусиль щодо забезпечення їх захисту³⁰.

Важливими аспектами, які сьогодні формують цілий набір проблем, пов'язаних із проблематикою застосування ІІІ, є питання безпеки та захисту прав людини³¹, зокрема в частині захисту персональних даних.

Це стосується й побутових споживачів. Зокрема власники систем «розумний дім» чи розумного обладнання побоюються розкриття приватної інформації, що може бути опосередковано здійснено шляхом зчитування даних датчиків, встановлених у будинку та обладнанні. Дослідження показали, що найбільшою перешкодою для прийняття розумних лічильників є страх розкрити приватну інформацію, не знаючи, як саме вона використовується. Ці побоювання виправдані, оскільки досі немає регламенту щодо обробки цих конфіденційних даних, які є важливими для електроенергетичної системи майбутнього³².

Ще один напрям критики ІІІ - це зростання споживання енергії. На обробку великої кількості даних витрачається багато електроенергії³³. Використовуючи ІІІ для трансформації енергетичної системи важливо також враховувати, що самі центри обробки даних впливатимуть на обсяги енергоспоживання, відповідно, їх треба проектувати якомога більш енергоефективними та максимально кліматично нейтральними. Розширення використання ІоТ також має серйозні наслідки для споживання енергії. Насамперед, це витрати на електроенергію, пов'язані з підключенням пристроїв до мережі. Це проблема, якою потрібно керувати і слід переконатися, що споживання енергії підключення до мережі не стане надмірним, оскільки все більше пристроїв розроблено з мережевими функціями.

²⁹ Cybersecurity threats escalate in the energy sector. Energy Monitor. 2021. 17 Feb. URL: <https://www.energymonitor.ai/tech/digitalisation/cybersecurity-threats-escalate-in-the-energy-sector>

³⁰ Securing America's Energy Infrastructure from Cyber Threats / U.S. Department of Energy. 2021. 26 July. URL: <https://www.energy.gov/articles/securing-americas-energy-infrastructure-cyber-threats> ; Див.: URL: <https://www.energy.gov/ceser/office-cybersecurity-energy-security-and-emergency-response>

³¹ Universal Declaration of Human Rights / United Nations. URL: https://www.un.org/en/udhrbook/pdf/udhr_booklet_en_web.pdf.

Системи ІІІ можуть обмежити базові права людини, зокрема що відображенні у наступних статтях: Стаття 2 – Право на недискримінаційність; Стаття 3 – Право на життя та персональну безпеку; Стаття 12 – Право на приватність; Стаття 19 – Право на свободу думки та висловлювання; Стаття 23 – Право на працю; Стаття 25 – Право на адекватні умови життя.

³² Комісія ЄС розробила чотири основні етичні принципи для ІІІ, а саме: ІІІ має поважати вимоги законів; етичні принципи та цінності суспільства; бути надійним з технічної точки зору та уникати соціальної шкоди. Див.: URL: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/ethics-guidelines-trustworthy-ai>

³³ Багато блокчейнів, і зокрема деякі криптовалюти, використовують механізм перевірки, відомий як консенсус підтвердження роботи або «доказ роботи» (*proof-of-work*). Цей механізм потребує величезної обчислювальної потужності і призводить до значного споживання електроенергії. Тільки у Bitcoin зараз споживається понад 100 ТВт-год на рік, що еквівалентно річному споживанню електроенергії в Нідерландах. Див.: URL: <https://www.ica.org/events/blockchain-applications-an-energy-perspective>; <https://www.aramis.admin.ch/Default?DocumentID=68053&Load=true>

Заходи з енергозбереження мають стосуватися механізму консенсусу підтвердження роботи: окремі блокчейни можуть переключитися на альтернативні механізми консенсусу, які не покладаються на підтвердження роботи, тоді як політика компанії та державна політика може бути спрямована на запобігання підтвердженню роботи. блокчейнів, а також заохочувати впровадження блокчейнів за допомогою альтернативних механізмів консенсусу.

5. Штучний інтелект – пріоритетний напрям розвитку енергетики

Проведений аналіз демонструє позитивні аспекти застосування ШІ та чинники, які суттєво стримують його впровадження в енергетиці. У найближчі роки все ж очікується невідворотне проникнення ШІ у різні аспекти діяльності енергетичних компаній. Цифровізація та застосування ШІ є ключовим способом та інструментом, що дозволяє керувати великими та все більш складними системами.

ШІ є інструментом успішної трансформації енергетичного сектора, оскільки дозволяє інтегрувати новітні та перспективні технологічні новації в енергетиці та обумовлені ними зміни в організації функціонування систем енергозабезпечення (децентралізація виробництва та розподілення енергії та електрифікації різноманітних технологічних процесів).

Децентралізація зумовлена збільшенням розгортання малих розподілених географічно генеруючих потужностей, наприклад таких як сонячні та вітрові електростанції, які підключаються до локальної розподільчої мережі. Електрифікація транспорту та будівель (опалення та охолодження), побутового споживання, включає в себе велику кількість нових навантажень, таких як електротранспорт, теплові насоси та електричні котли, побутові роботи тощо. Усі ці нові активи на боці попиту та пропозиції ускладнюють енергетичний сектор, водночас роблячи застосування ШІ для моніторингу, управління та контролю вирішальним чинником успіху енергетичної трансформації.

Технології ШІ можуть підтримувати функціонування систем енергозабезпечення, з урахуванням існуючих тенденцій технологічного розвитку та трансформації моделей організації роботи енергетичних ринків³⁴ кількома способами, включаючи кращий моніторинг, експлуатацію та обслуговування активів енергетики; досконаліші системні операції та контроль у реальному часі; впровадження нових моделей енергетичних ринків та бізнес-моделей тощо (Таблиця 3).

Таблиця 3

Технологічний розвиток та трансформація моделей організації роботи енергетичних ринків³⁵

| Новітні технології | Бізнес-моделі | Дизайн ринку | Особливості роботи системного оператора |
|---|--|---|---|
| Перетворення відновлюваної енергії в інші форми енергії: у тепло (<i>power-to-heat</i>), у газ (<i>power-to-hydrogen/methane</i> ³⁶) | Агрегатори, ³⁷ наприклад віртуальні електростанції (<i>Virtual power plants - VPPs</i>) | Скорочення періодичності фіксації значень (<i>time granularity</i>) даних щодо трансакцій на ринку (деталізація даних у часі) ³⁸ | Майбутня роль оператора системи розподілу |

³⁴ Детальніше пояснення новітніх енергетичних технологій та бізнес-моделей, що розвиваються на цифрових платформах наведено у Додатку 1.

³⁵ Складено за: Innovation landscape for a renewable-powered future: solutions to integrate variable renewables. IRENA. 2019. p. 164. URL: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Feb/IRENA_Innovation_Landscape_2019_report.pdf

³⁶ Див.: URL: <https://www.ica.org/reports/hydrogen>

³⁷ Посередники між малими гравцями та ринком, які дозволяють споживачам продавати свої керовані навантаження та електроенергію, яку вони генерують та/або накопичують у засобах накопичення.

³⁸ Ціни змінюються у часі (коливання добові, тижневі, сезонні, тривалі), чим частіше здійснюються вимірювання значень тим точніше можна вираховувати вартість об'ємів передачі енергії та точність розрахунків.

| | | | |
|---|---|---|--|
| Перетворення відновлюваної енергії у «накопичену енергію» (<i>power-to-power</i>) для зміщення поточного профіциту енергії у періоду дефіциту енергії ³⁹ | Пірингова торгівля (<i>peer-to-peer (P2P)</i>) | Збільшення деталізації даних у просторі (<i>space granularity</i>) щодо трансакцій на ринку ⁴⁰ | Співпраця між операторами систем передачі та розподілу |
| Акумуляторні батареї ⁴¹ на стороні споживача (за лічильником) | Енергія як послуга (<i>Energy-as-a-service - EaaS</i>) | Інноваційні рішення ринку допоміжних послуг | Віртуальні повітряні лінії |
| Акумуляторні батареї промислового рівня | Моделі оплати у міру використання (<i>Pay-as-you-go - PAYG</i>) | Переформатування ринку потужності | Удосконалене прогнозування генерації ВДЕ |
| Розумні зарядки електромобіля | Моделі власності громад (енергетичні кооперативи) | Ринкова інтеграція децентралізованих енергетичних систем (<i>distributed energy resources</i>) | Інноваційна робота гідроакумуляуючих насосних станцій |
| Розумне обладнання (<i>Internet of Things</i>) | | Регіональні/локальні ринки | Зміна пропускної спроможності ліній (<i>Dynamic line rating - DLR</i>) |
| ШІ та великі бази даних (<i>Artificial intelligence and big data</i> ⁴²) | | Чистий розрахунок (Net billing schemes) | Віртуальні лінії передачі (<i>Virtual power lines - VPLs</i>) |
| Блокчейн (<i>Blockchain</i>) | | Багатозонні тарифи (Time-of-use tariffs) | |
| Мікромережі ВДЕ ⁴³ | | | |
| Розумні мережі (<i>Smart Grids</i>) | | | |

Безумовно, самостійно жодна окрема технологія не є вирішенням всіх проблем, проте як частину сукупного інструментарію ШІ створюють якісну технологічну зміну, що дозволяє справлятися із викликами функціонування все більш складних енергетичних систем.

Здійснення енергетичного переходу, розширення використання ВДЕ, підвищення гнучкості енергетичних систем та попиту на енергію потребує значних інвестицій у модернізацію енергетичної інфраструктури. Бізнес-моделі, базовані на використанні цифрових технологій, уможливають цю модернізацію дешевшими та ефективнішими способами.

³⁹ Для прикладу: технології стисненого газу, кінетичні акумулятори (гідро- та механічні).

⁴⁰ Ціни змінюються в залежності від місця виробництва/постачання (об'єми контрактів, об'єми ринків, відстань транспортування, спроможність мереж), чим більше/детальніше охоплення за географічним розміщенням та кількістю трансакцій тим точніше можна вираховувати вартість об'ємів передачі енергії.

⁴¹ Energy Storage / IEA. URL: <https://www.iea.org/reports/energy-storage>

⁴² Системи ШІ можуть змінювати власну поведінку без явного перепрограмування. Вони роблять це, збираючи та аналізуючи великі набори даних. Інтелектуальні інструменти допомагають керувати складними енергосистемами, отримуючи для цього необхідну інформацію обробляючи великі бази даних. Див.: URL: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Sep/IRENA_AI_Big_Data_2019.pdf

⁴³ Інтегрована енергетична інфраструктура, заснована на розподіленій генерації електроенергії (вітрова, сонячна, гідроенергія), формує локальні міні-мережі, потужністю від якій може варіюватися від кіловат (кВт) до понад 100 мегават (МВт). Хоча зазвичай вони автономні, вони також можуть підключатися до основної мережі. Див.: URL: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Sep/IRENA_Renewable_mini-grids_2019.pdf

Зростаючий інтерес венчурних інвесторів і великих корпорацій до цифрових енергетичних стартапів свідчить про високі очікування щодо зростання в цьому секторі.

6. Подолання перешкод застосуванню ШІ в енергетиці України

Подальший розвиток нових технологій та бізнесмоделей залежить від державної політики запровадження ШІ та відповідної законодавчої та регуляторної бази. Енергетичним компаніям необхідні визначені державні пріоритети та законодавчі рамки, які можуть допомогти їм розвивати свою діяльність у цьому напрямі.

Споживачі потребують нормативно-правових актів, які можуть захистити їх від зловживань, забезпечити прозорість використання і захищеність їхніх персональних даних, якими вони діляться з цифровими компаніями.

Отже, необхідно не тільки зрозуміти бар'єри застосуванню ШІ у практичній діяльності енергетичних компаній, але й знайти адекватні рішення.

Далі ми висвітлимо деякі напрями прикладення зусиль для розширення сфери застосування ШІ.

Запровадження нових бізнес-моделей

Аналіз існуючих перешкод застосування ШІ⁴⁴ дозволяє запропонувати ряд шляхів їх подолання, з точки зору моделей ведення бізнес-процесів (Таблиця 4).

Таблиця 4

Подолання перешкод застосуванню ШІ в енергетиці

| Бар'єри для впровадження ШІ | Можливі цифрові рішення | Приклади бізнес-моделей |
|---|---|---|
| Потенційні вигоди обмежені та розподілені між різними організаціями | Розвиток систем моніторингу, прогнозування та торговельних послуг для розширення кола учасників, що отримують вигоди від застосування ШІ. Створення систем «поєднання» ресурсів для досягнення достатнього масштабу для залучення інвесторів. | Віртуальні електростанції, які агрегують розподілені енергетичні ресурси та дозволяють брати участь на ринках електроенергії. |
| Недостатні стимули, низька та/або повільна окупність інвестицій | Цифрові додатки та платформи, які об'єднують кілька потоків створення цінності, щоб покращити економію від масштабу. Цей метод, відомий як «накопичення цінності» (value stacking), може підвищити віддачу та скоротити періоди окупності. | Технологічні рішення як «від електромобіля до мережі» (<i>Vehicle-to-grid</i>), дозволяють відправляти електроенергію в мережу, коли вони не використовуються. Використання децентралізованих систем (<i>DER</i>) для зниження рахунків за електроенергію, зниження пікового попиту або регулювання напруги та частоти. |
| Високі початкові витрати на активи та/або фінансовий ризик, відсутність доступу до фінансування | Програми, платформи керування або ліцензоване програмне забезпечення, які позбавляють потреби володіти обладнанням чи інфраструктурою чи інвестувати в них. Дистанційний моніторинг і контроль. | Застосування моделі «енергія як послуга» (<i>Energy-as-a-service</i>) на ефективні та розумні системи охолодження або опалення, інфраструктуру зарядки чи інші послуги. |

⁴⁴The potential of digital business models in the new energy economy / IEA. 2022. 07 Jan. URL: <https://www.iea.org/articles/the-potential-of-digital-business-models-in-the-new-energy-economy>

| | | |
|---|---|--|
| Обмежений доступ кінцевих споживачів до енергії, розумних технологій, платіжних засобів чи фінансів | Автономне розумне обладнання. Мобільні платежі, віртуальні гаманці та інші додатки чи платформи для цифрових платежів. | Запровадження послуги «оплата по факту» (<i>Pay-as-you-go</i>) для користувачів поза мережею. |
| Відсутність нормативного регулювання/вимог використання ШІ в розподільчих мережах | Багатосторонні угоди в конфігурації покупець-продавець за допомогою ІТ-платформ. | Онлайн-платформи (<i>peer-to-peer</i>), які дозволяють користувачам торгувати електроенергією, виробленою їхніми власними активами без посередника/мережі. |

Забезпечення правової підтримки застосування ШІ в енергетиці

Окрім належної мережевої інфраструктури та цифрових технологій для поширення ШІ у практичній діяльності енергетичного сектора потрібне також сприятливе до інновацій регуляторне середовище. Зокрема, робота таких бізнес моделей як P2P чи VPP можлива в тому випадку, якщо виробникам і споживачам буде дозволено брати участь в агрегаціях і якщо ролі потенційних зацікавлених сторін чітко визначені в правовій базі. Прикладом законодавчого врегулювання такого стимулу є розпорядження Федеральної комісії з регулювання енергетики США (*Federal Energy Regulatory Commission - FERC*), що дозволяє децентралізованим систем (DER) конкурувати на оптових ринках електроенергії⁴⁵. Відповідно до розпорядження кожен оператор системи розподілу має розробити план відповідності встановленому порядку інтеграції DER (Порядок 2222) у широкому спектрі вимог, включаючи взаємозв'язок DER, склад і розмір агрегації, обмін інформацією та даними, а також координацію між операторами системи розподілу DER тощо. За деякими оцінками інтеграція DER з підтримкою ШІ зростатиме на 10 % щорічно протягом наступного десятиліття і стане ринком з обсягом майже 500 мільйонів доларів⁴⁶.

Політичні пріоритети та завдання з розвитку нормативної бази визначено й для учасників енергетичних ринків у ЄС. Зокрема, Директива ЄС щодо загальних правил роботи внутрішнього ринку електроенергії від 2019 року (*Directive (EU) 2019/944*)⁴⁷ ставить завдання:

- створення нових категорій учасників ринку:
«громадський енергетичний кооператив» (*citizen energy communities*)⁴⁸.
Енергетичні кооперативи вважаються продуктом співробітництва громадян та

⁴⁵ FERC Order 2222 Recommendations for the U.S. Department of Energy—Outline / U.S. Department of Energy. URL: https://www.energy.gov/sites/default/files/2021-04/EAC%20FERC%20Order%202222%20Recommendations%202021-04-15_finalDraft.pdf ;

Sean. Understanding the true impact of FERC Order 2222 on America's Energy Grid / Veritone. 2021. 18 Nov. URL: <https://www.veritone.com/blog/understanding-the-true-impact-of-ferc-order-2222-on-americas-energy-grid/>

⁴⁶ Growth in the AI-Enabled Distributed Energy Resources Integration Market Is Anticipated to Reach \$481 Million by 2030. Guidehouse Insights. 2021. 24 Aug. URL: <https://guidehouseinsights.com/news-and-views/growth-in-the-ai-enabled-distributed-energy-resources-integration-market-is-anticipated-to-reach-481>

⁴⁷ Directive (EU) 2019/944 of the European Parliament and of the Council of 5 June 2019 on common rules for the internal market for electricity and amending Directive 2012/27/EU / EUR-Lex : an official website of the European Union. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32019L0944>

⁴⁸ **Citizen energy community means** a legal entity that:

- a) is based on voluntary and open participation and is effectively controlled by members or shareholders that are natural persons, local authorities, including municipalities, or small enterprises;
- b) has for its primary purpose to provide environmental, economic or social community benefits to its members or shareholders or to the local areas where it operates rather than to generate financial profits; and may engage in generation, including from renewable sources, distribution, supply, consumption, aggregation, energy storage, energy efficiency services or charging services for electric vehicles or provide other energy services to its members or shareholders.

місцевих суб'єктів системи енергозабезпечення. Такі кооперативи можуть створювати децентралізовані системи енергозабезпечення, які надаватимуть можливість учасникам кооперативу забезпечувати свої потреби генеруючими потужностями, наявними в рамках такої локальної системи. «Розподілений» таким чином в кооперативі обсяг енергії не підпадає під застосування тарифних надбавок та інших платежів і зборів (призначених для централізованої мережі).

«просьюмер» (*active customer*)⁴⁹ – кінцевий споживач (група), що споживає або зберігає електроенергію, вироблену в межах своїх приміщень (розташованих в обмежених межах), або продає власно вироблену електроенергію чи бере участь у механізмах підвищення гнучкості системи або управління попитом (схеми енергоефективності).

«незалежний агрегатор» (*independent aggregator*) є учасником ринку, який не пов'язаний із постачальником та забезпечує «агрегацію»⁵⁰ (функцію об'єднання декількох споживачів або виробленої електроенергії для продажу, купівлі чи аукціону на будь-якому ринку електроенергії).

- сприяння розвитку механізмів реагування на попит (самостійного регулювання обсягів енергоспоживання – *demand side management*), шляхом усунення правових перешкод впровадженню та створенню стимулів розгортання систем інтелектуального вимірювання (*smart metering systems*⁵¹) та зменшення періодичності вимірювання потоку енергії цими системами, а також запровадження механізмів повноцінної участі споживачів у роботі енергетичного ринку (надання їм можливості споживати, зберігати та продавати електроенергію, вироблену власноруч, забезпечуючи гнучкість системи, наприклад, за допомогою накопичення енергії для зберігання за допомогою електромобілів).
- внесення змін у законодавство для надання споживачам права працювати на ринку на рівних умовах, з такими ж правами та обов'язками як у традиційних учасників та за принципами, що не спотворюють конкуренцію. Зокрема дозволити місцевим громадським енергетичним кооперативам ставати операторами систем розподілу у звичному розумінні (на визначеній території) або «операторами закритої системи розподілу» (децентралізованої системи).
- заохочення модернізації розподільних мереж, наприклад, шляхом впровадження розумних мереж, побудованих таким чином, щоб заохочувати децентралізоване виробництво та енергоефективність.

⁴⁹ **Active customer** means a final customer, or a group of jointly acting final customers, who consumes or stores electricity generated within its premises located within confined boundaries or, where permitted by a Member State, within other premises, or who sells self-generated electricity or participates in flexibility or energy efficiency schemes, provided that those activities do not constitute its primary commercial or professional activity.

Active customer is entitled to:

- a) operate either directly or through aggregation;
- b) sell self-generated electricity, including through power purchase agreements;
- c) participate in flexibility schemes and energy efficiency schemes;
- d) delegate to a third party the management of the installations required for their activities, including installation, operation, data handling and maintenance, without that third party being considered to be an active customer.

⁵⁰ **Aggregation** means a function performed by a natural or legal person who combines multiple customer loads or generated electricity for sale, purchase or auction in any electricity market.

⁵¹ **Smart metering system** means an electronic system that is capable of measuring electricity fed into the grid or electricity consumed from the grid, providing more information than a conventional meter, and that is capable of transmitting and receiving data for information, monitoring and control purposes, using a form of electronic communication.

- розвитку систем накопичення енергії (акумуляторів). Наголошується на створенні умов конкурентного розвитку таких технологій, зокрема акцентується увага на тому, що системні оператори не повинні володіти, розвивати, керувати або експлуатувати системи накопичення енергії.

Стандартизація обладнання та протоколів обміну інформацією

Іншим джерелом невизначеності, з яким стикаються нові підприємства при впровадженні ШІ, є сумісність із існуючими платформами та системами, а також потенційні проблеми, пов'язані з процесами оновлення. Оскільки технології швидко розвиваються, стандартизація та сумісність мають вирішальне значення.

Сумісність різних типів даних, пристроїв і додатків дозволяє системам працювати надійно, просто та безпечно. Щоб забезпечити безперебійну роботу систем таким чином, необхідно розробити технічні стандарти, особливо для протоколів зв'язку. Серед інших вимог ці стандарти можуть включати вимоги щодо відкритості даних і потоку інформації, а також щодо впровадження кібербезпеки за проектом.

Директива ЄС щодо загальних правил роботи внутрішнього ринку електроенергії від 2019 року також ставить задачу запровадження систем інтелектуального обліку, які повинні бути взаємосумісними та мати можливість надавати дані, необхідні для систем управління енергією споживачів. Системи мають забезпечувати взаємодію на прикладному рівні застосування розумного обладнання, відповідно до найкращих практик обміну даними, з огляду на перспективи впровадження технологічних та програмних рішень для застосування інноваційних енергетичних послуг та розгортання розумних мереж.

Розробку технічних стандартів, які мають полегшити впровадження новітніх технологій, можуть очолити національні уряди, міжнародні організації або промислові компанії. Низка інституцій уже розробляють необхідні стандарти. Міжнародна електротехнічна комісія (МЕК) публікує стандарти електронного та технічного обладнання. Міжнародна організація зі стандартизації (ISO) розробляє цілий спектр стандартів для діяльності підприємств, Міжнародний союз електрозв'язку (МСЕ) готує стандарти у сфері телекомунікацій. Європейський комітет з електротехнічної стандартизації (CENELEC) відповідає за європейську стандартизацію в галузі електротехніки.

Ці та інші міжнародні інституції, як і національні уряди, мають забезпечити запровадження стандартів, які визначатимуть можливі технологічні рішення реалізації проєктів запровадження та використання цифрових технологій в енергетиці (у генерації, магістральних та розподільних мережах, системах управління розподіленою генерацією, системах інтелектуального комерційного обліку, ринку генерації й енергетичних послуг, забезпечення безпеки обміну інформацією тощо).

Формування баз даних та доступ

Відкритий доступ до даних, пов'язаних з енергетикою, є життєво важливим для зусиль щодо реалізації потенціалу, який створюється ШІ. Такі інструменти, як онлайн-реєстри продуктів можуть допомогти в розробці цілеспрямованіших підходів до політики використання розумного обладнання, розширенні сфери застосування нових бізнес-моделей з використанням ШІ, досягненні більшого рівня енергозбереження, гнучкості та надійності функціонування систем енергозабезпечення. Ряд країн (ЄС, Канада, США, Японія) працюють над формуванням онлайн-баз даних продуктів з детальними характеристиками та

функціями, пов'язаними з продуктивністю, включаючи дані про енергоефективність. Завдяки відкритому доступу до даних компоненти в екосистемі ШІ можуть взаємодіяти один з одним, щоб визначити нові способи спільної роботи для підвищення ефективності кінцевого використання.

Використання готових стандартів і протоколів, а також інформаційних, електронних комунікаційних та комп'ютерних систем в енергетичному секторі дозволить забезпечити передачу двонаправлених інформаційних потоків, які формуватимуть сукупності «великих» наборів даних, потрібних для ефективного і оптимального управління сучасною енергосистемою.

У практичному вимірі важлива ініціатива галузевих асоціацій з вироблення стандартизованих підходів до використання цифрових систем. Для прикладу, Асоціація енергетичних мереж (ENA) нещодавно створила стандартизований процес підключення розумних теплових насосів і транспортних засобів до електричних мереж⁵², що дозволяє формувати відкриті бази даних щодо ефективності функціонування обладнання (формує відкриті показники для порівняння для всіх споживачів) та знизити бар'єри для виходу на ринок.

Однією з ключових проблем ШІ є якість великих даних (*big data*), за допомогою яких розробляються алгоритми ШІ. Наявних сьогодні даних не завжди достатньо або недостатньо даних хорошої якості, щоб розробити системи, які можуть працювати зі складними сценаріями. Незважаючи на те, що цифрові технології невпинно удосконалюються, щоб вирішити ці проблеми (наприклад, хмарні сервери та алгоритми оптимізації керування даними), питання необхідності збільшення обчислювальних потужностей залишається гострим. Окрім того, зростання обчислювальної потужності, яке спостерігається останніми роками, зараз доповнюється експоненціальним зростанням доступності даних, здебільшого завдяки підключенню пристроїв IoT.

Ще одна проблема, пов'язана з даними, – це проблема упередженості (*biases*). Якщо джерело даних, що надходять у системи ШІ, є упередженим за своєю природою, то й процеси прийняття рішень будуть упередженими, що призведе до помилкових або небажаних результатів. Таким чином, упередженість в системах штучного інтелекту має бути зменшена наскільки це можливо.

Кібербезпека

Конфіденційність і безпека даних стають серйозними проблемами, оскільки все більше даних про споживачів збирається за допомогою пристроїв, підключених до мережі. Споживачі можуть зіткнутися з проблемами, пов'язаними з розкриттям приватної інформації, недобросовісною комерційною практикою, підтвердженням проведених трансакцій чи оплатою послуг, обманом і крадіжкою особистих даних⁵³. Зниження потенційних ризиків у сфері обміну інформацією потребує встановлення вимог законодавства щодо конфіденційності та кібербезпеки та стандартизації протоколів обробки інформації тощо⁵⁴.

У Північній Америці, Європі, Китаї та Індії уряди вже створили правові рамки для кібербезпеки. Наприклад, Загальний регламент ЄС про захист даних

⁵² Lempriere Molly. ENA launches streamlined network connection process for EVs and heat pumps. Current+. 2021. 09 Jun. URL: <https://www.current-news.co.uk/news/ena-launches-streamlined-network-connection-process-for-evs-and-heat-pumps>

⁵³ Ferris Nick, Van Renssen Sonja. Cybersecurity threats escalate in the energy sector. Energy Monitor. 2021. 17 Feb. URL: <https://www.energymonitor.ai/tech/digitalisation/cybersecurity-threats-escalate-in-the-energy-sector>

⁵⁴ Cyber resilience / IEA. URL: <https://www.iea.org/reports/power-systems-in-transition/cyber-resilience>

(GDPR) має на меті надати користувачам контроль над їхніми персональними даними, вимагаючи від контролерів та обробників даних дотримання заходів безпеки та конфіденційності.

У США Міністерство енергетики є лідером з питань кібербезпеки в енергетичному секторі. Міністерство енергетики опублікувало серію дорожніх карт для підвідомчих галузей, які пропонують конкретні заходи кібербезпеки для стійких енергетичних систем. У сфері енергетики у США також діє окрема спеціалізована організація, завданням якої є розроблення стандартів кібербезпеки для енергетичного сектора та контроль за їх дотриманням.

Загалом система кіберзахисту енергетичної інфраструктури США може вважатись однією з найкращих у світі, зокрема зважаючи на її присутність на різних рівнях управління енергетичним сектором країни. Так, у структурі Міністерства енергетики США (*Department of Energy – DOE*) створено окремий підрозділ з кібербезпеки, енергетичної безпеки та кризового реагування (*Office of Cybersecurity, Energy Security, and Emergency Response – CESER*), який формує галузеву політику з питань забезпечення стійкості енергетичної інфраструктури країни, і зокрема її кіберзахисту⁵⁵. Створено окрему організацію з надійності електрозабезпечення, яка на практиці розробляє стандарти надійності⁵⁶ щодо організації захисту критичної інфраструктури, зокрема кіберзахисту (*North American Electric Reliability Corporation – NERC*⁵⁷). Національний регулятор енергетичних ринків (*The Federal Energy Regulatory Commission – FERC*⁵⁸) також має відповідний підрозділ (*Office of Energy Infrastructure Security – OEIS*⁵⁹), який надає допомогу та відстежує дотримання учасниками ринку вимог щодо кіберзахисту. При NERC діє інформаційно-аналітична платформа (*Electricity Information Sharing and Analysis Center – E-ISAC*⁶⁰) яка надає практичну допомогу учасникам енергетичного ринку у підготовці та зменшенні кібер- та фізичних загроз безпеці.

Зазначимо, що через висхідну динаміку появи нових викликів та загроз у сфері цифрових технологій система забезпечення кіберзахисту потребуватиме постійної уваги та уточнення. Так, після аналізу причин та дій з подолання наслідків кібератаки на систему трубопроводів Colonial Pipeline у США були посилені вимоги щодо підготовки критичної інфраструктури до впливу загроз різного типу⁶¹. 12 травня Президент США Д. Байден підписав⁶² розпорядження про вдосконалення федеральної кібербезпеки.

⁵⁵ Див.: URL: <https://www.energy.gov/ceser/office-cybersecurity-energy-security-and-emergency-response>

⁵⁶ «Стандарт надійності» означає затверджений рівень вимоги до експлуатації існуючих об'єктів енергетики, включаючи захист кібербезпеки, та проектування запланованих доповнень або модифікацій таких об'єктів настільки, наскільки це необхідно для забезпечення надійної роботи системи. Див.: URL: <https://www.nerc.com/pa/Stand/Pages/ReliabilityStandards.aspx>

⁵⁷ Див.: URL: <https://www.nerc.com/Pages/default.aspx>

⁵⁸ Див.: URL: <https://www.ferc.gov/>

⁵⁹ Див.: URL: <https://www.ferc.gov/office-energy-infrastructure-security-oeis>

⁶⁰ Див.: URL: <https://www.eisac.com/s/>

⁶¹ Див.: URL: <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/speeches-remarks/2021/05/13/remarks-by-president-biden-on-the-colonial-pipeline-incident/>

⁶² Див.: URL: <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2021/05/12/fact-sheet-president-signs-executive-order-charting-new-course-to-improve-the-nations-cybersecurity-and-protect-federal-government-networks/>

Розпорядженням Президента США передбачено⁶³ посилення процесу обміну інформацією про загрози та інциденти із залученими компаніями, які будуть або є постачальниками послуг у сфері кіберзахисту, впровадження жорсткіших стандартів кібербезпеки у федеральному уряді, запровадження методології багатофакторної автентифікації та шифрування, покращення безпеки ланцюжка постачання програмного забезпечення, вдосконалення системи захисту та реагування на інциденти тощо. Також створено Раду з огляду рівня кібербезпеки (the Cyber Safety Review Board⁶⁴), якій доручається моніторинг загроз, ризиків та стану кібербезпеки.

В Україні питанню кібербезпеки також приділяється суттєва увага. Водночас, процес формування систем кібербезпеки енергетичної інфраструктури не є простим та знаходиться на початковому етапі. Міністерство енергетики України лише розпочало реалізацію плану заходів з підвищення рівня кібербезпеки енергетичної галузі, зокрема у 2021 році було розроблено проєкт Концепції забезпечення кібербезпеки в енергетичному секторі України. Були також заявлені плани щодо створення галузевого центру кібербезпеки⁶⁵.

Соціальне визнання

Соціальні бар'єри, як раніше зазначалось, також є перешкодою для впровадження ШІ, особливо серед споживачів, які турбуються про конфіденційність даних. За цим напрямом слід формувати політику довіри до цифрових технологій та впевненості людини у захисті її прав. ЄС демонструє приклад реалізації такої політики. Так, «Біла книга зі штучного інтелекту. Європейський підхід до досконалості і довіри»,⁶⁶ опублікована 19 лютого 2020 року, визначає за мету представити можливі зміни, «які сприятимуть надійному та безпечному розвитку штучного інтелекту в Європі при повній повазі цінностей і прав громадян ЄС».

Єврокомісія запропонувала створити правові засади для штучного інтелекту, засновані на «досконалості й довірі», які б забезпечували партнерство між приватним і державним секторами (поєднання зусиль по всьому ланцюжку дій – від досліджень до створення стимулів для прийняття рішень, зокрема для малих і середніх підприємств) та захист основних прав споживачів, зокрема, у разі використання ШІ в системах високого ризику, тобто в системах, які можуть порушувати права громадян, наприклад, право на недоторканність приватного життя.

⁶³ Executive Order on Improving the Nation's Cybersecurity / The White House. 2021. 12 May. URL: <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/presidential-actions/2021/05/12/executive-order-on-improving-the-nations-cybersecurity/>

Серед інших заходів федеральний уряд має запровадити: security best practices; advance toward Zero Trust Architecture; accelerate movement to secure cloud services, including Software as a Service (SaaS), Infrastructure as a Service (IaaS), and Platform as a Service (PaaS); centralize and streamline access to cybersecurity data to drive analytics for identifying and managing cybersecurity risks; invest in both technology and personnel to match these modernization goals; improve the security and integrity of the software supply chain, with a priority on addressing critical software.

⁶⁴ Пропонована модель подібна Раді транспортної безпеки США (the National Transportation Safety Board), яка аналізує безпеку авіатранспорту та розслідує авіаварії та інциденти.

⁶⁵ Міненерго працює над створенням галузевого операційного центру кібербезпеки / Міністерство енергетики України : офіц. сайт. 2021. 02 черв. URL: http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/article?art_id=245542980&cat_id=35109 ; В Україні обговорили Концепцію кібербезпеки в енергетичній галузі. *Укрінформ*. URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/3240383-v-ukraini-obgovorili-koncepciu-kiberbezpeki-v-energeticnij-galuzi.html>

⁶⁶ WHITE PAPER On Artificial Intelligence - A European approach to excellence and trust. Brussels, 19.2.2020 COM(2020) 65 final / European Commission : An official website of the European Union. URL: https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/commission-white-paper-artificial-intelligence-feb2020_en.pdf

Одним із рішень щодо зниження ризиків зловживань у сфері використання даних є здійснення «деперсоніфікації» та «агрегації» даних⁶⁷. Запроваджуючи правила поводження з даними, механізми захисту та «деперсоніфікації», інформуючи про рівень захисту даних уряди країн можуть сприяти ширшому прийняттю цифрових бізнес-моделей.

Державне регулювання має сприяти зміцненню довіри до цифрових технологій та застосуванню ШІ, встановлюючи запобіжні заходи для забезпечення та захисту доступу третіх сторін до даних клієнтів. Наприклад, Директива ЄС щодо загальних правил роботи внутрішнього ринку електроенергії від 2019 року⁶⁸ вимагає, щоб треті сторони, які беруть на себе «встановлення, експлуатацію, обробку даних та обслуговування» приладів обліку, дотримувалися суворих правил захисту даних та конфіденційності ЄС. Пропонується також запровадити сертифікацію учасників системи обміну інформацією на відповідність вимогам закону.

Цифрові компанії та їхні клієнти за своєю природою вразливі до потенційних кібератак, оскільки покладаються на підключені пристрої та технології. А уряди у співпраці з відповідними зацікавленими сторонами можуть гарантувати, що весь енергетичний ланцюжок створення вартості є кіберстійким, чи то за допомогою нормативної бази, створення рекомендацій з передового досвіду, чи то за допомогою міжнародної сертифікації або інших подібних механізмів.

Посилення спроможності телекомунікаційних мереж

Трьома основними елементами цифровізації є дані, аналітика та підключення. Поширення використання розумного обладнання має супроводжуватись і розвитком комунікаційної спроможності мереж. Інформаційно-комунікаційні пристрої, такі як датчики, лічильники, розумні пристрої збирають дані, які потім аналізуються інтелектуальними алгоритмами, які, у свою чергу, активують елементи керування або інші фізичні дії. Телекомунікаційні мережі пов'язують усі ці процеси разом. Слабке або ненадійне з'єднання порушує зв'язок, перешкоджаючи передачі даних обліку та перериваючи функціонування цифрових технологій (наприклад у системі онлайн-платежів або у межах платформ для торгівлі електроенергією).

Щоб забезпечити надійний зв'язок між пристроями та користувачами телекомунікаційну інфраструктуру необхідно розвинути так, щоб вона могла обробляти велику кількість пристроїв у мережі та охоплювати якомога більше людей з перспективним зростанням об'ємів обміну інформацією у майбутньому. Розвиток

⁶⁷ Загалом розрізняють різні категорії персональних даних. ISO/IEC 19441 (2017) розрізняє п'ять категорій або «станів» ідентифікації даних:

- *Ідентифіковані дані*: дані, які можна однозначно пов'язати з конкретною особою, оскільки вони містять особисту інформацію, що дозволяє ідентифікувати.
- *Псевдонімізовані дані*: дані, для яких усі персональні ідентифікатори замінені псевдонімами. Призначення псевдоніма таке, що його неможливо скасувати розумними зусиллями, за винятком сторони, яка виконала це призначення.
- *Непов'язані псевдонімізовані дані*: дані, для яких усі особисті ідентифікатори безповоротно стираються або замінюються псевдонімами. Зв'язок не може бути відновлений розумними зусиллями, в тому числі стороною, яка виконувала доручення.
- *Анонімні дані*: дані, які не пов'язані з атрибутами, які можна змінити (тобто значення атрибутів рандомізовані або узагальнені) таким чином, що існує розумний рівень впевненості, що особа не може бути ідентифікована, прямо чи опосередковано, дані окремо або в поєднанні з іншими даними.
- *Агреговані дані*: статистичні дані, які не містять записів індивідуального рівня та поєднані з інформацією про достатньо різних осіб, які неможливо ідентифікувати за атрибутами індивідуального рівня.

⁶⁸ Directive (EU) 2019/944 of the European Parliament and of the Council of 5 June 2019 on common rules for the internal market for electricity and amending Directive 2012/27/EU / Eur-Lex : An official website of the European Union. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32019L0944>

технологій комунікації, спроможних у режимі реального часу передавати величезні об'єми інформації (наприклад бездротової технології 5G) є умовою забезпечення цифрової революції в енергетиці.

Європейська стратегія «Єдиний цифровий ринок» надає пріоритет розвитку інфраструктури 5G для задоволення вимог цифрових технологій. Необхідні також цілеспрямовані ініціативи урядів для підтримки цифровізації життєдіяльності суспільства.

Розвиток потенціалу користувачів та обмін знаннями

Цифровізація призводить і до змін у способах управління та розвитку людського капіталу.

Урядовці, розробники енергетичної політики повинні бути поінформовані про останні події в цифровому світі, його тенденції та майбутні наслідки. Цього можна досягти за допомогою найму цифрових експертів до агенцій, що розробляють енергетичну політику, через програми підвищення кваліфікації штатного персоналу, його регулярну участь у конференціях, семінарах та тренуваннях.

Суб'єктам енергетичного сектора та підприємствам загалом необхідно інвестувати в підвищення кваліфікації та навчання своїх працівників керувати та експлуатувати енергетичні активи та системи цифрового формату, інакше потенційна перевага застосування нових технологій не буде повністю реалізована. Перекваліфікація є засобом подолання страху перед втратою роботи. З іншого боку навчання може позитивно вплинути на суспільну готовність прийняти та ефективно використовувати ШІ на виробництві та повсякденному житті.

Для кінцевих споживачів доцільно запровадити інформаційні компанії, спрямовані на демонстрацію можливостей технологій ШІ реалізувати потенціал енергоефективності або вигод участі в механізмах регулювання попиту та потенційної економії витрат для споживачів.

Приватний сектор, уряди та міжнародні установи можуть відігравати важливу роль, підтримуючи навчання цифровим навичкам. Для прикладу, Глобальна комісія МЕА з переходу на чисту енергію, орієнтовану на людей, створена у 2021 році, підтримує цифрове підвищення кваліфікації для забезпечення соціально доступного та справедливого переходу на нові енергетичні технології.

Інтеграція концепції ШІ в систему стратегічного планування

Аналіз перешкод застосуванню цифрових технологій дозволяє сформулювати висновок, що для цілей керованого процесу розширення використання ШІ у практичній діяльності необхідно сформулювати цілісну стратегію, яка б охоплювала різні аспекти.

Дискусія, проведена провідними експертами у сферах ШІ та енергетики, дозволила виділити дев'ять принципів, які дозволять активізувати цей процес⁶⁹.

Ці принципи доцільно поєднати у три групи:

Проектування

1. Автоматизація – необхідно одразу проектувати генеруюче та мережеве обладнання для автоматизованої роботи та підвищення автономності ШІ.

2. Сталість – слід запроваджувати найбільш енергоефективну інфраструктуру, а також найкращі методи запобігання шкоди довкіллю.

⁶⁹ Harnessing Artificial Intelligence to Accelerate the Energy Transition / WEF. September 2021. URL: <https://www.weforum.org/whitepapers/harnessing-artificial-intelligence-to-accelerate-the-energy-transition>

3. Дизайн – необхідно забезпечити розвиток ШІ на основі критеріїв зручності використання та легкості інтерпретування даних.

Впровадження

4. Дані – слід встановити стандарти даних, механізми обміну даними та платформи для підвищення доступності та якості даних.

5. Стимули – необхідно створювати такий дизайн ринку та нормативно-правову базу, які дозволять у повній мірі використовувати переваги ШІ.

6. Освіта – слід сформуванати серед споживачів та персоналу енергетичних компаній людиноцентричний підхід до застосування ШІ й інвестувати в освіту відповідно до рівня розвитку технологій ШІ та навичок роботи з ним.

Управління

7. Управління ризиками – необхідно узгодити загальний технологічний, методологічний та освітній підхід до управління ризиками, представленими ШІ.

8. Стандарти – слід впроваджувати сумісні стандарти програмного забезпечення та інтерфейси взаємодії.

9. Відповідальність – переконайтеся, що етика та відповідальне використання є основою процесу розробки та розгортання ШІ.

7. Завдання щодо розвитку ШІ в енергетиці України

Всі суб'єкти енергетичного сектору, передусім енергетичні компанії та органи державної влади, повинні долучитись до розроблення політики у сфері використання технологій ШІ в енергетичному секторі та забезпечити її реалізацію з метою створення сприятливого середовища для розкриття всього потенціалу ШІ.

Зазначимо, що в Україні процес застосування ШІ знаходиться на початковому етапі. Схвалено лише загальні концептуальні підходи щодо розвитку технологій штучного інтелекту в Україні (грудень 2020 року)⁷⁰ та попередній загальний план її розвитку (травень 2021)⁷¹.

Схвалена Концепція розвитку ШІ в Україні визначає мету, принципи та завдання розвитку технологій штучного інтелекту в Україні, хоча в ній робиться акцент більше на сфері науково-технологічних досліджень. У Концепції визначаються пріоритетні напрями запровадження ШІ, серед яких, з огляду на застосування до сфери енергетики, слід виділити:

- впровадження технологій штучного інтелекту у сфері освіти, економіки, управління та оборони, інших сферах для забезпечення довгострокової конкурентоспроможності України на міжнародному ринку;
- забезпечення доступу до інформації (баз даних, реєстрів тощо), її використання під час розроблення технологій штучного інтелекту для виробництва товарів та надання послуг;
- підвищення рівня професійної підготовки спеціалістів для забезпечення сфери технологій штучного інтелекту кваліфікованими кадрами.

У застосуванні до енергетичної сфери відзначимо такі завдання Концепції:

⁷⁰ Про схвалення Концепції розвитку штучного інтелекту в Україні : Розпорядження Кабінету Міністрів України від 2 грудня 2020 р. № 1556-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1556-2020-%D1%80#Text>

⁷¹ Про затвердження плану заходів з реалізації Концепції розвитку штучного інтелекту в Україні на 2021-2024 роки : Розпорядження Кабінету Міністрів України від 12 травня 2021 р. № 438-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/438-2021-%D1%80#Text>

- стимулювання розвитку підприємництва в галузі штучного інтелекту шляхом забезпечення доступу інноваційних підприємств до інвестицій, партнерства з венчурними фондами, організації бізнес-заходів за участю українських ІТ-підприємців за кордоном, поліпшення бізнес-клімату тощо;
- мотивація суб'єктів господарювання до запровадження ШІ шляхом забезпечення їх доступу до освітніх програм/інформаційних порталів;
- перекваліфікація людей, робота яких може бути автоматизована в найближчі п'ять-десять років, запровадження державного замовлення на підготовку ІТ-спеціалістів та дослідників даних;
- стимулювання партнерства держави та бізнесу у сфері інноваційних проєктів, а також удосконалення законодавства у відповідній сфері.

У свою чергу, План заходів з реалізації прийнятої Концепції передбачає запровадження практичних інструментів:

- прийняття законопроекту про розвиток штучного інтелекту;
- проведення інформаційних кампаній, спрямованих на популяризацію основ штучного інтелекту в закладах середньої освіти, проведення конференцій та семінарів щодо запровадження та використання технологій штучного інтелекту;
- забезпечення державної підтримки використання технологій штучного інтелекту в пріоритетних галузях економіки (прийняття Державної програми);

Але поки що технології ШІ впроваджуються на практиці за ініціативою лише обмеженого кола українських компаній (див. Додаток 2).

Застосування новітніх енергетичних технологій загалом та цифрових технологій зокрема потребують законодавчого стимулювання. Прикладом такого законодавчого стимулювання розвитку цифрових технологій в системах електропостачання та, відповідно, використання технологій ШІ є Директива ЄС про ринок електроенергії від 2019 року⁷². Водночас Україна знаходиться лише на початку цього довгого шляху і навіть вимога щодо адаптації законодавства України до положень законодавства ЄС не забезпечує швидкого запровадження законодавчих стимулів застосування ШІ.

Наприклад, до Закону України «Про ринок електричної енергії»⁷³ у період 2019-2021 роки (після прийняття згаданої Директиви ЄС) було внесено лише зміни щодо використання систем накопичення енергії. Очевидно, що цей факт свідчить про поточний рівень технологічної неготовності та соціального несприйняття пропонування Директивою ЄС нових механізмів організації роботи енергетичного ринку, а також про побоювання використання технологій ШІ з боку фахівців електроенергетичної галузі України. Більш того відсутність корегування законодавства, що регулює функціонування ринку електроенергії, у той час як окремі

⁷² Directive (EU) 2019/944 of the European Parliament and of the Council of 5 June 2019 on common rules for the internal market for electricity and amending Directive 2012/27/EU / EUR-Lex : An official website of the European Union. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32019L0944>

⁷³ Про ринок електричної енергії : Закон України від 13.04.2017 № 2019-VIII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2019-19#Text>

Система накопичення енергії — електроустановка, що включає обладнання для зберігання енергії, інженерні споруди, обладнання для перетворення енергії та пов'язане з ними допоміжне обладнання, яка приєднана до системи передачі або системи розподілу електричної енергії або мереж електростанції, або мереж споживача з метою відбору електричної енергії, накопичення, перетворення та зберігання енергії, а також подальшого відпуску електричної енергії в систему передачі або розподілу електричної енергії або в мережі електростанції, або в мережі споживача.

{Частина першу статті 1 доповнено пунктом 95-1 згідно із Законом [№ 1396-IX від 15.04.2021](#)

положення загаданої Директиви ЄС відображаються у іншому галузевому законодавстві, демонструє факт відсутності системного стратегічного плану трансформації енергетичного сектора України.

Зокрема Законом України «Про енергетичну ефективність» вводиться поняття «розумні мережі»⁷⁴ та ставиться завдання затвердження Концепції впровадження «розумних мереж» в Україні й середньострокового Плану заходів із їх упровадження.

При цьому передбачається розробка дорожньої карти впровадження «розумних мереж» в Україні (ст. 15 Закону), яка має включати заходи за такими напрямками: геоінформаційні системи; системи моніторингу та управління електромережами; системи інтелектуального обліку електроенергії; інтеграція відновлюваної енергетики; інтеграція накопичувачів електричної енергії; інфраструктура для електромобілів; розвиток каналів зв'язку; кібербезпека.

Цим законом також встановлюється вимога до регулятора енергетичних ринків (Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг), у межах компетенції забезпечити: стимулювання участі споживачів, які мають можливість керувати своїм споживанням, у ринку електричної енергії; спростити їм доступ до участі в роботі ринків балансування, резервування, допоміжних та інших послуг; стимулювання впровадження «розумних мереж» шляхом встановлення системи економічного заохочення для оператора системи передачі та операторів систем розподілу електричної енергії.

Очевидно, що успіх розвитку «розумних мереж», підвищення гнучкості системи за рахунок послуг «регулювання попиту» і розширення використання ІІІ для реалізації цих можливостей залежить від чіткої координації дій всіх учасників енергетичного ринку. Створення такої координації потребуватиме чіткішого відображення в галузевому законодавстві України Директиви ЄС 2019/944 та залучення до роботи операторів системи передачі та розподілу.

Розробникам політики розвитку галузі та системним операторам потрібно буде переглянути існуючу практику функціонування енергетичних ринків та створити справді розвинені та лібералізовані ринки електроенергії. Для цього необхідно створити дійсно рівні умови для розподіленої генерації по відношенню до потужних енергоблоків і усунути регуляторні перешкоди. Оскільки багато випадків використання ІІІ в енергетичному секторі стосуються власників малих розподілених енергетичних ресурсів, вони повинні мати недискримінаційний доступ до системи енергозабезпечення та відповідних режимів її функціонування (ринок допоміжних послуг).

Існуючі проблеми із запровадженням повноцінного ринку електроенергії в Україні, збереження перешкод для вільного підключення до електромереж установок споживачів, збереження практики адміністративного регулювання цін та тарифів на енергетичних ринках України суттєво обмежують конкретні переваги нових енергетичних технологій та бізнес-моделей з використанням цифрових технологій та автоматизованих платформ торгівлі електроенергією.

⁷⁴ Про енергетичну ефективність : Закон України 21 жовтня 2021 р. № 1818-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1818-20#Text>

Розумні мережі — електричні мережі, що об'єднують в економічно доцільний спосіб учасників ринку електричної енергії та дозволяють керувати передачею енергії та її споживанням з метою підвищення надійності електропостачання та безвідмовності роботи енергетичної системи.

Відповідно, найпершим пріоритетом державної політики в енергетичній сфері є виправлення недоліків в організації енергетичних ринків та запровадження справді вільних від ручного керування конкурентних енергетичних ринків.

Враховуючи те, що енергосистема декарбонізується та децентралізується, слід переосмислити модель управління мережею та розглянути нові й більш децентралізовані архітектури для доступу до мережі, експлуатації та управлінських рішень. Зокрема в регіональному та національному моделюванні енергетичних систем та плануванні інфраструктури планувальники повинні враховувати роль, яку можуть відігравати інтелектуально розподілені енергетичні ресурси (DER) з підтримкою ШІ. Сьогоднішнє енергетичне моделювання часто ігнорує розподільчі мережі та не враховує можливості для них стати джерелом гнучкості енергосистеми й стати цінними учасниками процесу управління її режимами.

Для пришвидшення проникнення цифрових технологій в практичну діяльність енергетичного сектора України необхідно переглянути існуючу законодавчу та регуляторну базу та усунути перешкоди у напрямку інтеграції нових технологічних рішень у діяльність енергетичних ринків України⁷⁵. Зокрема, необхідно забезпечити розробку відповідного нормативно-правового та технічного забезпечення розвитку «розумних мереж» для полегшення інтеграції розподілених джерел енергії з використанням накопичувачів енергії, створення платформи керування потужністю інтегрованих розподілених джерел енергії, забезпечення реалізації міжнародних стандартів функціональної сумісності обладнання інтелектуальних мереж⁷⁶. Як перший крок у цьому напрямі доцільно завершити розробку концептуального документа щодо засад державної політики із комплексного впровадження «розумних мереж» в Україні⁷⁷.

Також можна рекомендувати виділення в окремий розділ питання застосування технологій, що потребують застосування ШІ (а саме: розподілених енергетичних ресурсів (DER), розумних мереж (Smart grids), мікромереж, систем регулювання попиту (DSM), розумного обладнання (IoT) тощо) при розробленні Планів розвитку системи передачі електроенергії⁷⁸, які розробляє оператор системи передачі (НЕК «Укренерго») відповідно до положень Закону України «Про ринок електричної енергії».

⁷⁵ Це стосується не тільки базових нормативно-правових документів, що регламентують практичну діяльність систем електрозабезпечення (Кодексу системи передачі, Кодексу системи розподілу, Правил улаштування електроустановок, Правил безпечної експлуатації електроустановок, Правил роздрібного ринку електричної енергії тощо), але й цілого ряду законів України що визначають функціонування та взаємодію на енергетичних ринках (Про ринок електричної енергії, Про засади функціонування ринку електричної енергії України тощо).

⁷⁶ Smart grid технології. Впровадження в Україні та світовий досвід / Міністерство енергетики України : офіц. сайт. URL: http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/article?art_id=245253369&cat_id=35109

⁷⁷ Міненерго розробило Концепцію впровадження «розумних мереж» в Україні до 2035 / Міністерство енергетики України : офіц. сайт. 2021. 16 вер. URL: http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/publish/article?art_id=245578517

Прийняття Концепції суттєво полегшить проникненню технологій ШІ у діяльність суб'єктів енергетичного ринку України, оскільки згідно з цим документом «розумні мережі» пропонують раціональний спосіб реалізації таких завдань, як: інтеграція ВДЕ; інтеграція розподіленої генерації; прогнозування й управління піковим навантаженням та балансуванням надлишкової енергії; стимулювання активних споживачів (просьюмерів); формування відповіді на попит та формування цін; запровадження агрегації систем накопичення енергії; надання послуг з енергоефективності; інтеграція електромобілів, систем інтелектуальної зарядки.

⁷⁸ НКРЕКП схвалила План розвитку системи передачі на 2022 – 2031 роки / Укренерго: офіц. сайт. 2021. 10 груд. URL: <https://ua.energy/zagalni-novyny/nkrekp-shvalyla-plan-rozvytku-systemy-peredachi-na-2022-2031-roky/>

Розширення використання децентралізованих систем енергозабезпечення з опорою на використання локальних генеруючих потужностей різного типу та застосування цифрових технологій може стати складовою планування систем регіонального енергозабезпечення, зокрема місцевих енергетичних планів⁷⁹. У зв'язку з цим потребує удосконалення метрологічна та регламентна база національного енергетичного регулятора (НКРЕКП) щодо підготовки та погодження інвестиційних планів регіональних компаній з розвитку систем енергозабезпечення з метою усунення перешкод на шляху впровадження цифрових технологій, доступу третіх сторін до мереж та роботи на енергетичних ринках, застосування нових бізнес-моделей роботи на енергетичному ринку.

Мова йде зокрема і про створення можливостей для формування нової категорії гравців на енергетичному ринку, таких як «енергосервісні компанії», які надають кінцевим споживачам послуги (енергетичні продукти: освітлення, тепло, кондиціонування) «під ключ». Новітні енергетичні технології та використання «розумного обладнання» разом із новими бізнес-моделями, які дозволяє реалізувати ІІІ, стають все більш привабливою нішею на енергетичному ринку.

Оскільки управління та експлуатація мереж стають все складнішими, зокрема на рівні розподільчих мереж, оператори електромереж повинні переглянути потенціал цілого ряду цифрових технологій (наприклад, машинне навчання, квантові обчислення, технологія блокчейн тощо) для розширення способів використання цифрових технологій у своїй практичній діяльності.

Причому це не є лише вимогою часу для слідування розвитку нових технологій та способів управління, а й зумовлене міжнародними зобов'язаннями України: у зв'язку з приєднанням у березні 2022 року Об'єднаної енергетичної системи України до Європейської мережі системних операторів передачі електроенергії (ENTSO-E)⁸⁰ застосування окремих технологій штучного інтелекту стає обов'язковою вимогою.

Оператор системи передачі енергії України НЕК «Укренерго» уже розпочав процес автоматизації технологічних процесів, щоб як учасник ENTSO-E брати повноцінну участь у механізмах торгівлі електроенергії ринку ЄС, зокрема з метою виходу на європейські аукціони. Наявність автоматизованих систем керування підприємством є однією з бізнес-необхідностей для системних операторів – членів ENTSO-E, запорукою прозорості для партнерів. Очевидно, що ті ж самі вимоги будуть стосуватись всіх енергетичних компаній України, якщо вони виявлять бажання брати участь у торгах в країнах ЄС, що лише посилюватиме практичний запит на розвиток спроможностей енергетичних компаній в застосуванні технологій ІІІ.

⁷⁹ Закон України «Про енергетичну ефективність» передбачає розробку місцевих енергетичних планів. Їх розробляють органи місцевого самоврядування й затверджує місцева рада (ст. 6 Закону).

Законом також визначається завдання прийняття плану дій сталого енергетичного розвитку та клімату, який може бути об'єднаний з місцевим енергетичним планом.

План дій сталого енергетичного розвитку та клімату — документ стратегічного планування, що може розроблятися на замовлення органу місцевого самоврядування і визначає довгострокові цілі сталого енергетичного розвитку територіальної громади (у тому числі об'єктів на відповідній території) та економічно обгрунтовані заходи, спрямовані на досягнення національної цілі з енергоефективності. Див.: URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1818-20#Text>

⁸⁰ Continental Europe successful synchronisation with Ukraine and Moldova power systems / ENTSO-E 2022. 16 March. URL: <https://www.entsoe.eu/news/2022/03/16/continental-europe-successful-synchronisation-with-ukraine-and-moldova-power-systems/>

У загальному випадку розробникам державної політики застосування ІІІ в енергетиці та власникам енергетичних компаній при плануванні розвитку слід забезпечити дотримання таких вимог щодо впровадження ІІІ в енергетиці (Таблиця 5)⁸¹.

Таблиця 5

Вимоги щодо розширення застосування ІІІ в енергетиці

| | |
|---|--|
| Технічні вимоги | Апаратне забезпечення: |
| | Програмне забезпечення: |
| | Людський досвід: |
| Необхідні заходи політики | |
| Регуляторні вимоги | |
| Ролі відповідальність стейкхолдерів та | Системні оператори: |
| | Власники/оператори DER (наприклад, агрегатори): |
| | Цифрові компанії: |

Керівникам енергетичних компаній/комунальних підприємств слід проаналізувати, як вони можуть використовувати ІІІ, які проблеми це може допомогти вирішити, і які нормативні акти слід прийняти, щоб втілити цю

⁸¹ Artificial Intelligence and Big Data. Innovation landscape brief. IRENA. 2019. p. 24. URL: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Sep/IRENA_AI_Big_Data_2019.pdf

⁸² Data Science – це наука про методи аналізу даних та отримання у результаті цього нової інформації та нових знань. Вона пересікається з такими областями знань, як машинне навчання (Machine Learning) та наукою про мислення (Cognitive Science), і технологіями роботи з великими масивами даних (Big Data). Див.: URL: <https://ain.ua/special/data-science/>

технологію в життя. Для компаній це буде стратегічним рішенням: чи приймати рішення ІІІ, закупаючи їх у зовнішніх постачальників, чи розвивати необхідні можливості та рішення самостійно. Тут доцільно почати з вивчення найкращих практик для відомих випадків використання, інвестувати в розвиток персоналу, який був би здатний керувати інтеграцією систем ІІІ у повсякденну діяльність компанії.

Освіта та підготовка кадрів у сфері застосування ІІІ, а також програми перепідготовки персоналу енергетичних компаній мають стати активним інструментом державної політики. При цьому слід зазначити, що за напрямком освіти у сфері цифрових та інформаційних технологій Україна є досить розвиненою країною з істотним науково-освітнім потенціалом для розвитку. Зацікавленість сферою ІІІ спровокувала зміну підходів до освіти: збільшилась пропозиція курсів перепідготовки та підвищення кваліфікації на базі якісних онлайн-платформ для навчання. За останні 5 років кількість ІТ-фахівців в Україні зросла вдвічі. Станом на кінець 2021 року уже 28 компаній та 2000 розробників в Україні безпосередньо спеціалізувались на розробці технологій ІІІ⁸³.

Адаптується до потреб ринку і система вищої школи, цілий ряд вишів пропонують підготовку фахівців у сфері комп'ютерних наук, інформаційних технологій, систем та засобів штучного інтелекту. Водночас, є й проблеми в підготовці фахівців у системі вищої школи: застарілість освітніх програм та окремих навчальних дисциплін ІТ-спеціальностей, їх невідповідність очікуванням індустрії, низький рівень інвестицій у дослідження проблем розвитку штучного інтелекту⁸⁴.

А спеціалізовані програми підготовки фахівців для енергетичної галузі з акцентом на використанні ІІІ взагалі є поодинокими⁸⁵. Це вимагає перегляду програм підготовки фахівців для енергетичної галузі та запровадження спеціалізації за напрямом технології ІІІ в енергетиці.

Необхідна також система галузевого співробітництва з питань застосування ІІІ. Розширення співробітництва між суб'єктами енергетичного сектора може включати спільну роботу з науково-дослідних робіт, обмін найкращими практичними підходами для впровадження принципів ІІІ та демонстрацію випадків використання. Поширення передового досвіду, проведення спеціалізованих конференцій, семінарів, виставок буде хорошим стимулом для популяризації технологій ІІІ, створення партнерства з розвитку цифрових технологій та їх практичного застосування. Прикладом такого комунікаційного заходу з питань застосування ІІІ у сфері публічного управління може бути круглий стіл організований НІСД⁸⁶ та Експертним комітетом з питань розвитку сфери штучного інтелекту (створеним Мінцифри України)⁸⁷ із залученням компаній ІТ-сектору України. Подібні заходи доцільно поширити на галузевий рівень, приділяючи увагу, зокрема, проблематиці використання ІІІ в енергетиці.

⁸³ Токарев С. Сьогодні та майбутнє АІ. *Українська правда*. 2021. 22 лист. URL: <https://www.epravda.com.ua/columns/2021/11/22/679970/>

⁸⁴ Бахрушин В. Штучний інтелект і освіта. *ZN.UA*. 2020. 15 черв. URL: <https://zn.ua/ukr/EDUCATION/shtuchniy-intelekt-i-osvita-350946.html>

⁸⁵ Див.: URL: https://web.kpi.kharkov.ua/pec/uk/ess_uk/

⁸⁶ В НІСД відбувся круглий стіл «Штучний інтелект як трансформаційна сила» / НІСД. 2021. 22 жовт. URL: <https://niss.gov.ua/news/novyny-nisd/v-nisd-vidbuvsya-kruhlyy-stil-shtuchnyy-intelekt-yak-transformatsiyasyla>

⁸⁷ Мінцифра сформувала експертний комітет з питань розвитку сфери штучного інтелекту / Міністерство та Комітет цифрової трансформації України : офіц. сайт. 2020. 17 січ. URL: <https://thedigital.gov.ua/news/mintsifra-sformovala-ekspertniy-komitet-z-pitan-rozvitku-sferi-shtuchnogo-intelektu>

Висновки

Новітні енергетичні технології та бізнес-моделі роботи на енергетичних ринках відкривають нові можливості для виробників, постачальників та споживачів енергії як щодо підвищення ефективності їх виробничої діяльності чи споживання енергії, так і щодо можливості отримання економічної вигоди від участі в роботі на ринку. Ідеться про розширення використання відновлюваних джерел енергії, децентралізації енергозабезпечення, участі в регулюванні попиту, наданні послуг з балансування системи чи прямої онлайн-торгівлі електроенергією на біржах.

Водночас, використання нових можливостей залежить від опанування учасниками енергетичного ринку інтелектуальних систем управління та обліку, цифрових платформ обміну та обробки інформацією, технологій штучного інтелекту та машинного навчання. Фактично успіх чергової технологічної революції в енергетиці залежить від застосування технологій штучного інтелекту усіма учасниками, залученими до процесу енергозабезпечення.

Така ситуація створює суттєві виклики для будь-якої країни, оскільки потребує як технологічної готовності енергетичного сектора, тобто наявності відповідного інтелектуального обладнання та програмного забезпечення, так і професійної готовності персоналу до застосування технологій ШІ і їх соціокультурного сприйняття цих технологій.

Сьогодні, ці напрями розширення використання ШІ в енергетиці є пріоритетними для сфери державного управління та формування необхідних стратегічних документів державної політики й програмних рішень щодо фінансування проєктів розвитку енергетики країни. Необхідно прийняти, щонайменше на рівні енергетичного сектора, загальну концепцію впровадження ШІ в енергетиці, програм розвитку технологій ШІ на національній базі, програм освіти та підвищення кваліфікації персоналу енергетичних компаній у сфері ШІ.

Окрім стратегічних завдань постає проблема готовності чинної моделі енергетичного ринку до використання новітніх технологій на базі ШІ. Це стосується передусім прозорості та стабільності функціонування ринку електроенергії країни. Якщо правила роботи ринку будуть нестабільними, не кажучи про пряме адміністративне втручання в його роботу, що впливатиме на цінові параметри та терміни виконання угод (операцій), реалізація потенціалу використання ШІ та новітніх енергетичних технологій буде нівельована. Така ситуація буде й надалі стримувати модернізацію енергетичного сектора України.

Водночас, вимушена необхідність України відбудовувати енергетичну інфраструктуру після масштабних руйнувань, спричинених агресією Росії, практична інтеграція енергетичних систем України до європейських систем (наприклад, синхронізація роботи Об'єднаної енергосистеми України із Європейською мережею системних операторів передачі електроенергії (ENTSO-E)) надають Україні шанс здійснити модернізацію енергетичного сектора країни на сучасній технологічній базі та з використанням технологій ШІ.

Огляд нових технологій, механізмів управління та бізнес-моделей в енергетиці, створених з використанням технологій штучного інтелекту

Blockchain⁸⁸ (Блокчейн). Загалом Блокчейн є децентралізованим (розподіленим) публічним (відкритим) цифровим реєстром, який записує будь-які транзакції цінностей: гроші, товари, майно, робота чи голоси. Це також взаємопов'язаний і постійно розширюваний список записів, які надійно зберігаються в одноранговій мережі. Кожен учасник з доступом може одночасно переглядати інформацію без жодної точки збою, створюючи довіру до системи в цілому.

В енергетиці блокчейн – це базові цифрові платформи, які дозволяють будувати автоматичні, децентралізовані програми обліку⁸⁹.

Таким чином, технологія blockchain дозволяє реалізувати розумні контракти (*Smart Contracts*, які виконуються автоматично за встановленим алгоритмом), які можна використовувати для фіксації операцій купівлі-продажу енергії багатьох учасників без посередника, для кращого керування енергосистемами та інтеграції більшої частки ВДЕ.

Virtual Power Plant (VPP) (Віртуальна електростанція) – це хмарна розподілена електростанція, яка об'єднує потужності мережі децентралізованих, середніх енергоблоків, а також гнучких споживачів і систем зберігання електроенергії з метою збільшення виробництва електроенергії, а також торгівлі або продажу електроенергії на ринку електроенергії⁹⁰.

Така система децентралізованих генеруючих потужностей лише віртуально пов'язана та керується єдиною централізованою системою управління. Складовими системи можуть бути виробники електроенергії (наприклад, вітряні, біогазові, сонячні, гідроелектростанції або ТЕЦ), споживачі електроенергії (просьюмери), накопичувачі електроенергії (акумулятори) або установки, що працюють за принципом перетворення «енергія в X» (наприклад, електроенергія-тепло та електроенергія-газ)⁹¹.

Найбільші сьогоденні віртуальні електростанції вже перевищили сукупну потужність найбільших атомних електростанцій.

Demand Side Management⁹² (регулювання попиту) може бути використано в різний спосіб. Найчастіше послугу продають у формі гарантії «стабільності» графіку споживання, що надають великі промислові компанії, які компенсують фактичну нерівномірність графіку регулюванням обладнання. Також послугу управління попитом надають постачальники енергії шляхом застосування механізмів (цінових

⁸⁸ Див.: URL: https://www3.weforum.org/docs/WEF_Building-Blockchains.pdf

⁸⁹ Див.: URL: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Feb/IRENA_Landscape_Blockchain_2019.pdf

⁹⁰ Див.: URL: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Feb/IRENA_Innovation_Aggregators_2019.PDF

⁹¹ Див.: URL: <https://www.next-kraftwerke.com/knowledge/what-is-a-virtual-power-plant>

⁹² Див.: URL: <https://www.iea.org/reports/demand-response> ; <https://www.iea.org/programmes/digital-demand-driven-electricity-networks-initiative>

стимулів) оптових ринків та ринків потужності, що застосовуються до споживачів, примушуючи їх до зміни обсягів споживання. Розширення використання механізмів регулювання попиту можна досягти шляхом заохочення нових бізнес-моделей, що формуються завдяки застосуванню цифрових технологій та встановлення стандартів керованості розумного обладнання та приладів.

Для прикладу, за оцінками МЕА цифровізація може знизити глобальний попит на енергію в будівельному секторі до 10 % до 2040 року і може збільшити здатність реагувати на попит більш ніж у десять разів. Ця функція буде реалізовуватись за рахунок використання потенціалу розумного обладнання. До 2050 року може бути розгорнуто 11 мільярдів розумних пристроїв (IoT), які таким чином потенційно можуть стати інструментом реагування на виробництво енергії на стороні споживача⁹³.

Peer-to-Peer trading (P2P)⁹⁴ (Пірингова торгівля) це модель онлайн-торгівлі, де споживачі можуть торгувати електроенергією між собою без посередників за узгодженою ціною. Це модель, де споживачі-просюмери можуть ділитися надлишками наявної/виробленої ними енергії з іншими споживачами в рамках децентралізованої мережі, до якої вони належать, ще більше заохочуючи споживання та розгортання розподіленої відновлюваної генерації.

Energy-as-a-service (EaaS)⁹⁵ (Енергія як послуга) – це бізнес-модель, за якої клієнти платять за енергетичні послуги без необхідності робити будь-які авансові капіталовкладення. Моделі EaaS зазвичай мають форму підписки на електричні пристрої, що належать сервісній компанії, або управління використанням енергії для надання бажаної енергетичної послуги.

Pay-as-you-go (PAYG)⁹⁶ (Модель оплати в міру використання) – це хмарна модель оплати спожитої енергії, яка нараховує плату залежно від використання ресурсів, тобто, коли обчислюються тільки фактично необхідні ресурси. Така модель позбавляє клієнтів на ринках від тягаря повного відшкодування вартості інвестицій в генеруючі потужності наперед. Натомість право власності на енергогенеруюче обладнання (для освітлення чи приготування їжі) передається споживачеві з часом, за узгодженим планом періодичних фіксованих платежів.

Internet of Things (IoT)⁹⁷ (Розумне обладнання) – це розумні пристрої, які відстежують, передають та інтерпретують інформацію з оточення в режимі реального часу. Інтернет речей (IoT) дає змогу збирати значущі дані та оптимізувати систему, уможливорює створення розумних мереж (*Smart Grids*), оскільки покращує видимість енергосистем, що стають дедалі складнішими та децентралізованими та

⁹³ Див.: URL: <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2019>

⁹⁴ Див.: URL: https://irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Jul/IRENA_Peer-to-peer_trading_2020.pdf

⁹⁵ Див.: URL: <https://www.rff.org/publications/issue-briefs/energy-service-business-model-expanding-deployment-low-carbon-technologies/>

⁹⁶ Див.: URL: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Jul/IRENA_Pay-as-you-go_models_2020.pdf?la=en&hash=7A2E7A7FF8B5BAB7748670876667628A39DE40D5

⁹⁷ Див.: URL: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Sep/IRENA_Internet_of_Things_2019

підвищують швидкість реагування на зміну режимів роботи пристроїв, підключених до мережі.

Smart Grids⁹⁸ (Розумні мережі) – це електрична мережа, яка використовує цифрові та інші передові технології для моніторингу та керування постачанням електроенергії з усіх джерел для задоволення різноманітних потреб кінцевих споживачів електроенергії. Розумні мережі координують потреби та можливості всіх виробників електроенергії, операторів мереж, кінцевих користувачів та зацікавлених сторін ринку електроенергії, щоб забезпечити якомога ефективнішу роботу усіх частин системи, мінімізуючи витрати в мережі та вплив на навколишнє середовище, максимізуючи надійність, стійкість та стабільність системи.

Енергетичні компанії світу мають стратегічні плани стати компаніями – лідерами у застосуванні цифрових технологій та направляють значні ресурси на інновації, розумне обладнання та розгортання розумних електричних мереж.

Наприклад, компанія Enel запустила Network Digital Twin, цифрову платформу, яка створює сучасні та точні віртуальні копії фізичних мереж електропостачання й їх компонентів та системної динаміки, що дозволяє покращити роботу та проектування мережі, інтегрувати розподілені енергетичні ресурси та управління робочою силою. У 2020 році державна мережева корпорація Китаю (State Grid Corporation of China) також оголосила про плани інвестувати біля 3,5 мільярда доларів США у цифрову інфраструктуру. У 2021 році вона разом із Національною комісією розвитку та реформ Китаю оголосили про пілотний проект із розробки платформи для торгівлі зеленою енергією на основі технології блокчейн. Виробники обладнання для електричних мереж, такі як Siemens, General Electric і Hitachi Energy, зробили цифрові технології основою свого бізнесу⁹⁹.

Distributed Energy Resources (DER)¹⁰⁰ – (Розподілені енергетичні ресурси) – це ресурси невеликі або середні за обсягом (об'ємом), які потенційно можуть надавати послуги енергосистемі, і безпосередньо підключені до місцевої розподільчої мережі або до мереж кінцевого споживача. DER включають розподілену генерацію (ВДЕ), накопичувачі енергії в кінцевого споживача (акумулятори за лічильником) і послуги регулювання навантаження (управління обсягами споживання), що реалізується реагуванням режимів роботи розумного обладнання, побутової техніки, використанням електромобілів з розумною зарядкою (ЕМ), систем опалення (теплові насоси, електричні котли, увімкнені за допомогою розумних лічильників та сервісів передачі даних) тощо.

Dynamic line rating (DLR)¹⁰¹. Динамічний рейтинг ліній електропередачі (DLR) дозволяє визначити фактичну (а не передбачувану) пропускну спроможність ліній передачі з урахуванням реальних погодних умов (температура довкілля, сонячне

⁹⁸ Див.: URL: <https://www.ica.org/reports/smart-grids>

⁹⁹ Див.: URL: <https://www.ica.org/reports/smart-grids>

¹⁰⁰ Див.: URL: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Feb/IRENA_Market_integration_distributed_system_2019.pdf?la=en&hash=2A67D3A224F1443D529935DF471D5EA1E23C774A

¹⁰¹ Див.: URL: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Jul/IRENA_Dynamic_line_rating_2020.pdf?la=en&hash=A8129CE4C516895E7749FD495C32C8B818112D7C

опромінення, швидкість та напрям вітру, вологість тощо) у поєднанні з моніторингом стану ліній в реальному часі. Технологія DLR зменшує перевантаження на лініях електропередачі, оптимізує використання активів, підвищує ефективність і знижує витрати. Оператор мережі аналізує DLR постійно в режимі реального часу з метою мінімізації перевантажень в мережі¹⁰².

Net billing schemes¹⁰³ (Чистий розрахунок) – це система ціноутворення, спосіб стягнення плати, а також компенсації споживачам на основі фактичної ринкової вартості електроенергії, яка балансує те, що вони споживають, і те, що вони вливають у мережу.

Virtual power lines (VPLs)¹⁰⁴ (Віртуальні лінії передачі). VPL забезпечують широкомасштабну інтеграцію сонячної та вітрової енергії без перевантаження мережі або перерозподілу, дозволяють уникнути потреби у великих інвестиціях в розвиток мереж через необхідність приєднання ВДЕ. VPL складаються із систем накопичення енергії місцевої постачальної компанії, підключених до мережі в двох ключових точках: одна на стороні пропозиції, що зберігає надлишки генерації з відновлюваних джерел, які не могли бути передані через перевантаження мережі; інша на стороні попиту, заряджається, коли дозволяє потужність мережі, а потім розряджається, коли це необхідно.

Time-of-use tariffs¹⁰⁵ (Багатозонні тарифи) – це система тарифів, що змінюються в часі (в українській термінології зонні тарифи), стимулюють коригування навантаження, чи то ручне, чи то автоматичне. Це дозволяє клієнтам заощадити на витратах на енергію, одночасно приносячи користь системі.

Energy Storage¹⁰⁶ (Накопичувачі енергії, акумуляторні батареї) – це технології, що можуть накопичувати надлишок енергії у мережі/виробника в один момент часу та повертати її у мережу/споживачу в інший. Технології допомагають вирівнювати графік навантаження системи та створювати кращу умови інтеграції ВДЕ в систему.

Сьогодні промислові стаціонарні батареї великої ємності використовуються великими підприємствами та розподільчими мережами для балансування попиту та пропозиції енергії. До 2030 року очікується, що об'єм потужностей дрібних акумуляторних батарей значно збільшиться, доповнюючи промислові системи.

Батареї (у приміщеннях/на території споживача) підключаються за лічильником промислових або побутових споживачів, насамперед з метою економії рахунків за електроенергію.

Станом на кінець 2020 року загальна ємність акумуляторних батарей, встановлених в електромережах, становила близько 17 ГВт. У 2020 році кількість

¹⁰² Див.: URL: <https://leg.co.ua/stati/dinamicheskij-reyting-linii-rasshirenje-propusknoj-sposobnosti-setey.html>

¹⁰³ Див.: URL: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Feb/IRENA_Net_billing_2019.pdf?la=en&hash=DD239111CB0649A9A9018BAE77B9AC06B9EA0D25

¹⁰⁴ Див.: URL: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Jul/IRENA_Virtual_power_lines_2020.pdf?la=en&hash=C58043124D596D1CF75395066817C38B55AC1983

¹⁰⁵ Див.: URL: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Feb/IRENA_Innovation_ToU_tariffs_2019.pdf?la=en&hash=36658ADA8AA98677888DB2C184D1EE6A048C7470

¹⁰⁶ Див.: URL: <https://www.irena.org/costs/Power-Generation-Costs/Energy-Storage>

установок зросла на 50 % порівняно з посереднім 2019 роком. Загалом було додано понад 5 ГВт потужності, з них такі країни як Китай і США встановили понад 1 ГВт кожна. На ринку продовжують домінувати установки, що встановлюють в розподільчих електромережах¹⁰⁷.

Загальні інвестиції в акумуляторні батареї зросли майже на 40 % у 2020 році до 5,5 мільярдів доларів США. Витрати на батареї в мережного (великої ємності) обладнання зросли більш ніж на 60 %, що зумовило приплив інвестицій у відновлювані джерела енергії та зростання присутності цифрових платформ торгівлі електроенергією, зокрема аукціонів зі зберігання енергії. Проте інвестиції в приватні (за лічильником) акумулятори впали на 12 %, оскільки ці активи, як правило, фінансуються домогосподарствами та малими й середніми компаніями, які загалом більше постраждали від кризи Covid-19. У Європі спостерігається зворотна тенденція, коли падіння встановлення накопичувачів в локальних мережах компенсувалось встановленням акумуляторів у приватних приміщеннях. Провідним ринком у Європі зараз є Німеччина, де кількість установок з лічильником зросла майже вдвічі. Подібна тенденція спостерігається і в Японії, де ємність домашніх акумуляторних систем у 2020 році зросла до 300 МВт.

У липні 2021 року Китай оголосив про плани встановити понад 30 ГВт накопичувачів енергії до 2025 року (без урахування насосних гідроакумуляторів (ГАЕС), що забезпечить майже десятикратне збільшення його встановленої потужності станом на 2020 рік. За оцінками МЕА загальна встановлена потужність акумуляторних систем накопичення енергії у світі до 2030 року сягне понад 500 ГВт.

¹⁰⁷ Див.: URL: <https://www.iea.org/reports/energy-storage>

Окремі практичні приклади застосування ШІ у сфері енергетики

Для підвищення безпеки, надійності та ефективності в системах енергозабезпечення будівель розроблено алгоритм автоматичного виявлення порушень режимів її роботи. Технології ШІ дозволяють автоматизувати обробку даних в режимі реального часу і виявляти випадки аварійної ситуації. Модель передбачає аналіз історичних даних щодо типових збоїв та алгоритмів машинного навчання, що поступово підвищує точність визначення можливих аномалій або несправностей, а також тип і місце цих порушень. Оскільки алгоритм може прийняти рішення протягом 20-50 мс, буде достатньо часу для впровадження відповідних повністю автоматизованих контрзаходів¹⁰⁸.

Технологія ШІ використовується для вироблення рішень. Розуміння звичок, цінностей, мотивації та навіть особистості споживача ще більше зміцнює збалансованість та підвищує ефективність розумної мережі і розробки політики та дає змогу зрозуміти людські мотиви, пов'язані з впровадженням відновлюваної енергії, і можливі напрями зміни поведінки споживачів для оптимізації всієї енергетичної системи¹⁰⁹.

Точне прогнозування режимів роботи ВДЕ допомагає підвищити ефективність роботи та надійність енергосистеми. Дослідниками був розроблений алгоритм ШІ для прогнозування погодних умов із самонавчанням і технологія прогнозування виробництва енергії відновлюваної генерацією, що об'єднали великі набори історичних даних і вимірювань у реальному часі з місцевих метеостанцій, сенсорних мереж, супутників і камер зображення неба¹¹⁰.

Алгоритм на основі штучного інтелекту під назвою EUPHEMIA був розроблений для розрахунку цін на електроенергію на добу наперед у Європі та розподілу потужності транскордонної передачі на добу вперед¹¹¹. EUPHEMIA щодня використовується для розрахунку поєднаних цін на електроенергію на добу наперед для 25 європейських країн (Австрія, Бельгія, Хорватія, Чехія, Данія, Естонія, Фінляндія, Франція, Німеччина, Угорщина, Ірландія, Італія, Латвія, Литва, Люксембург, Нідерланди, Норвегія, Польща, Португалія, Румунія, Словаччина, Словенія, Іспанія, Швеція та Велика Британія) із середньою щоденною вартістю узгоджених угод понад 200 мільйонів євро.

Прикладів застосування ШІ в електроенергетиці з кожним роком все більше¹¹².

Одним з таких практичних кейсів є використання цієї технології у Google. Компанія Deepmind, що є частиною Google, зменшила використання електроенергії

¹⁰⁸ Physics-based Interval Data Models to Automate and Scale Home Energy Performance Evaluations / U.S. Department of Energy. URL: <https://www.energy.gov/sites/default/files/2019/05/f62/bto-peer%E2%80%93932019-fraunhofer-physics-based-interval-data-models-automate.pdf>

¹⁰⁹ Jucikas Tadas. Artificial Intelligence and the future of energy. Medium. 2017. 02 Nov. URL: <https://medium.com/wepower/artificial-intelligence-and-the-future-of-energy-105ac6053de4>

¹¹⁰ EERE Success Story – Solar Forecasting Gets a Boost from Watson, Accuracy Improved by 30% / U.S. Department of Energy. 2015. 27 Oct. URL: <https://www.energy.gov/eere/success-stories/articles/eere-success-story-solar-forecasting-gets-boost-watson-accuracy>

¹¹¹ EUPHEMIA Public Description. Single Price Coupling Algorithm / Nord Pool. 2020. 12 Oct. URL: <https://www.nordpoolgroup.com/globalassets/download-center/single-day-ahead-coupling/euphemia-public-description.pdf>

¹¹² IT технології: застосування в електроенергетиці. Kosatka. Media. 2020. 20 бер. URL: <https://kosatka.media/uk/category/blog/news/it-tehnologii-primenenie-v-elektroenergetike>

у своїх центрах обробки даних на 15 %. Це стало можливим завдяки обробці системою операційних даних компанії за останні кілька років, на основі яких програмою була створена модель скорочення споживання для окремих підрозділів. Нещодавно Deermind та британський оператор передачі електроенергії National Grid ESO провели переговори про застосування штучного інтелекту у прогнозуванні попиту на електроенергію у Великій Британії з метою знизити енергоспоживання всієї країни на 10 %.

А французький оператор передачі RTE для управління своїми активами обрав моделювання за допомогою створення «цифрових близнюків». Програма MONA здатна моделювати стратегії управління усіма активами оператора в коротко-, середньо- та довгостроковій перспективі. «Цифрові близнюки» відображають кожен актив у мережі, наприклад підстанцію, зі своєю динамікою старіння, інформацією про необхідність технічного обслуговування та оновлення, кількістю та вартістю операцій залежно від конкретного випадку.

Технологія машинного навчання дозволяє німецькому оператору передачі 50Hertz передбачити втрати у мережі на день наперед. У 2018 році 50Hertz витратив 70 млн євро на придбання електроенергії для покриття втрат (2.5 ТВт·год). Запроваджена оператором модель на основі нейронної мережі здатна зменшити витрати до 1 % (700 тис. євро). Кожні 15 хвилин збираються дані про інтеграцію вітрової та сонячної енергії, а також силу вітру, рівень інсоляції та температуру в 70 різних місцях мережі – це формує основу, на якій нейронна мережа вчиться прогнозувати втрати.

Компанії все частіше намагаються використовувати блокчейн в енергетичному секторі. Одна з найвідоміших блокчейн-компаній LO3 Energy має багатий досвід створення рішень для енергомереж, що охоплюють лічильники електроенергії, з'єднані з комп'ютерними пристроями, що вимірюють обсяг і якість електроенергії, та здатних взаємодіяти з іншими пристроями у мережі для активації енергетичних транзакцій. Споживачі визначають свої преференції через спеціальний мобільний додаток, де вони мають можливість обрати бажаний вид генерації та ціну, яку готові платити. У свою чергу, іспанська енергокомпанія ACCIONA Energía використовує блокчейн для підтвердження походження електроенергії з ВДЕ.

ІІІ дозволяє підвищити ефективність використання енергії. Для прикладу, французький стартап BeeBryte використовує ІІІ для прогнозування потреби будівлі в тепловій енергії, щоб забезпечити опалення та охолодження в потрібний час, підтримуючи комфорт і температуру в межах робочого діапазону, встановленого замовником. Це дозволяє заощадити до 40 % на рахунках за комунальні послуги завдяки комбінації підвищення ефективності та перенесення навантаження на періоди, коли електроенергія є найдешевшою, а в системі доступна відновлювана електроенергія¹¹³.

Територіальні громади та місцева влада також розглядають можливості для оптимізації енергоспоживання за допомогою новітніх технологій та потенціалу ІІІ. Лондон запускає найбільший у світі проект vehicle-to-grid¹¹⁴. Майже сто електробусів BYD ADL Enviro400EV, кожен з яких має залізо-фосфатну батарею на 382 кВт·год, будуть брати участь у пілотному проекті, здатному видавати в мережу 1,1 МВт електроенергії за потреби у вигляді послуг з балансування. Компанія Siemens

¹¹³ The software and IoT revolution for an energy-efficient HVAC-R / Beebryte. URL: <https://www.beebryte.com/>

¹¹⁴ Див.: URL: <https://www.energy-storage.news/byd-electric-buses-used-in-worlds-largest-vehicle-to-grid-project-in-london/>

розпочала тестування спеціального пристрою для обліку електроенергії, що споживається для зарядки електромобілів¹¹⁵. Meter Integrated Charger (MIC) інтегрується у стандартні системи обліку з дистанційною передачею даних і дозволяє визначати вартість зарядки електромобіля та сукупні витрати протягом визначеного періоду часу. Запровадження MIC дозволить оптимізувати зарядку електротранспорту та змістити його на позапікові періоди доби, що дозволить розвантажити мережі і зберегти значні фінансові ресурси споживачів. Рішення Siemens eMobility включатиме розетку лічильника того самого типу, що використовується практично в кожному будинку, зі стандартною, комерційно доступною зарядною станцією для електромобілів.

Цифрова команда оператора Fingrid три роки тому вирішила звернутися до місцевих стартапів у сфері IoT для того аби запустити цифровий онлайн-моніторинг роботи мереж та підстанцій. На кожній підстанції встановлено близько 500 датчиків для вимірювання температури, вібрації, вологості та акустики. Напрацьовані рішення масштабуватимуться по всій країні. Для впровадження існує потужний фінансовий мотив – близько 60 % операційних витрат Fingrid припадає на технічне обслуговування, що здебільшого спричинене плановими відключеннями для діагностування мережного обладнання.

Технології ШІ дозволяють запровадити і нові бізнес-моделі на ринку. Поєднання розумних лічильників з управлінням попитом, системами акумуляування і розподіленою генерацією формує новий дизайн енергетичного ринку – так звану енергетичну хмару (Energy Cloud, або ж virtual power plant (VPP)). Перші моделі таких ринків уже запроваджуються в окремих штатах США, Великобританії, Нідерландах і Німеччині. Компанія Tesla для просування свої накопичувачів Powerwall приєдналася до віртуальної електростанції (VPP), оператором якої є компанія National Grid (Оператор системи передачі у США та Великобританії). Відтепер власники акумуляторів Powerwall¹¹⁶ зможуть постачати надлишкову електроенергію у мережу й таким чином заробляти близько 1000 дол. на рік. Tesla вже має подібний досвід продажів надлишкової електроенергії з акумуляторів Powerwall в Австралії. Клієнти National Grid в штатах Массачусетс та Род-Айленд тепер можуть зареєструвати свій акумулятор Powerwall у програмі-агрегаторі Connected Solutions. Місцева енергетична компанія через віртуальну електростанцію (VPP) має доступ до наявних потужностей у Powerwall для використання її за необхідності.

Цифровий стартап Resilience Energy зі штату Вірджинія (США) розробив комплексну сервісну послугу для власників домашніх ВДЕ, яка автоматизує виробництво, управління й продаж електроенергії та готова постачати його за принципом франшизи Uber¹¹⁷. Запропонований алгоритм ШІ надає послугу домогосподарствам, що забезпечує енергетичну самодостатність власників будинків та зменшує їх рахунки за електроенергію на 80 %. Клієнти можуть продавати надлишок електроенергії на спотовому ринку та пропонувати додаткову ємність наявних акумуляторів для оператора системи передачі енергії (для забезпечення виконання функції балансування нерівномірності виробництва-споживання електроенергії).

¹¹⁵ Див.: URL: <https://www.tdworld.com/test-and-measurement/article/21139422/siemens-mobility-division-intelligent-traffic-systems-siemens-to-test-solution-for-measuring-ev-charging-consumption-in-new-york>

¹¹⁶ Див.: URL: <https://electrek.co/2019/06/21/tesla-powerwall-earn-national-grid-virtual-power-plant/>

¹¹⁷ Див.: URL: <https://www.energyliveneews.com/2019/01/15/renewable-energy-firm-aims-to-become-uber-of-electricity/>

Електротехнічна компанія Schneider Electric та інвестиційна компанія Huck Capital створили спільне підприємство 5D Energy, яке постачатиме комплексне рішення з енергозабезпечення за принципом «енергія як послуга»¹¹⁸. Технологічною базою виступатиме модульна мікромережа, яку підприємство зможе пропонувати за визначену в довгостроковому контракті абонентську плату зацікавленим сторонам. Максимальна потужність такої мікромережі може сягати 5 МВт, технічно вона може бути розміщена на об'єктах замовника. Такі системи дозволяють легко створити локальну мережу виробників електроенергії з ВДЕ і забезпечити її ефективну взаємодію як зі споживачами, так і з ринком електроенергії в цілому, а також надавати споживачам можливість заробляти на ринках допоміжних послуг: на управлінні гнучкістю попиту, на ринку потужності тощо.

У найближче десятиліття ІТ-технології стануть невід'ємною складовою успіху енергетичних компаній і в Україні. Адже наразі в Україні понад 150 тисяч ІТ-спеціалістів, частина з яких уже працює зі згаданими технологіями, але переважно на зовнішнього замовника. Це важливий сигнал для українських компаній, які мають бути конкурентними на новому лібералізованому ринку електроенергії з великою кількістю не тільки вітчизняних, а й іноземних гравців.

Слід зазначити, що приклади застосування технологій ІІІ в Україні є, хоча вони поки що поодинокі. Проекти застосування цифрових технологій реалізуються переважно окремими компаніями в рамках співробітництва з відомими компаніями виробниками сучасних рішень у сфері автоматизації технологічних процесів або розробників програмного забезпечення. Південнокорейська Корпорація КТ (яка є найбільшим провайдером інтегрованих телекомунікаційних послуг в Південній Кореї) висловила зацікавленість у розвитку співпраці з Україною в напрямку розвитку в Україні «розумних» мереж (Smart Grid)¹¹⁹.

Міненерго України заявило про готовність у розвитку такої співпраці з метою використання досвіду Республіки Корея, яка є світовим лідером з розвитку та впровадження сучасних технологій в електроенергетиці, зокрема, технологій «розумних» мереж. 30 жовтня 2020 року підписано Меморандум про взаєморозуміння щодо впровадження «розумного» обліку електроенергії між Міністерством енергетики України та корейською корпорацією КТ. На рівні співпраці компаній був укладений Меморандум про взаєморозуміння між АТ «Хмельницькобленерго» (оператор системи розподілу) та Корпорацією КТ, який передбачав встановлення та використання передової вимірювальної інфраструктури, що дозволить підвищити енергоефективність шляхом впровадження технологій, що використовують ІІІ та великі дані (big data)¹²⁰.

Впровадження технологій ІІІ, для підвищення ефективності керування технологічним процесом на ТЕС реалізує компанія ДТЕК Енерго¹²¹. Впроваджені технології ІІІ у режимі реального часу аналізують сотні параметрів і розраховують оптимальний режим використання обладнання в конкретний момент часу на основі

¹¹⁸ Див.: URL: <http://surl.li/chvob>

¹¹⁹ Міненерго зацікавлене у модернізації електроенергетики України на базі найсучасніших технологій / Міністерство енергетики України : офіц. сайт. 2021. 03 лют. URL: http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/publish/article?art_id=245511023

¹²⁰ «Хмельницькобленерго» та південнокорейська корпорація КТ: співпрацю розпочато! / Хмельницькобленерго. 2020. 30 лист. URL: <https://hoe.com.ua/post/hmelnietskoblenergo-ta-pivdennokorejska-korporatsija-kt-spivpratsju-rozpochato-.html>

¹²¹ Штучний інтелект для ДТЕК Енерго / ДТЕК. URL: <https://dtek.com/media-center/news/iskusstvennyy-intellekt-dlya-dtek-energo/>

історичних та поточних даних. За результатами аналізу даних ШІ надає машиністам підказки, наприклад, про те, де є можливість економніше використовувати паливо. За період реалізації проєкту у 2019-2020 роках загальний ефект від нього сягнув 480 млн грн — це вартість зекономленого палива (порівняно з тим періодом, коли машиністи не керувалися підказками ШІ).

Компанія МХП Еко Енерджи ввела в промислову експлуатацію систему «віртуального помічника енергетика»¹²². Впроваджена цифрова технологія завдяки використанню розроблених алгоритмів обробки даних та машинного навчання забезпечує точніше прогнозування споживання та оптимізацію витрат на електроенергію на виробничих площадках. Під час пілотного етапу застосування технології було підраховано, що це заощаджує мільйони гривень щомісяця.

Слід відзначити й ініціативи громадських організацій щодо поширення цифровізації життєдіяльності місцевих громад. Так 2 лютого 2022 року за підтримки Міністерства цифрової трансформації України відбулася зустріч представників бізнесу, народних депутатів, міністерств та інших суб'єктів, зацікавлених в реалізації концепції Smart City. На зустрічі обговорили плани розроблення необхідних нормативних актів, спрямованих на запровадження комплексного підходу до управління життєдіяльністю міст на основі цифрових технологій та ШІ¹²³.

¹²² МХП: штучний інтелект покращує роботу енергетиків. *Українська правда*. 2020. 3 серп. URL: <https://www.epravda.com.ua/news/2020/08/3/663660/>

¹²³ Розробляється проєкт концепції Smart City / Асоціація міст України. 2022. 02 лют. URL: <https://auc.org.ua/novyna/rozroblyayetsya-proyekt-koncepciyi-smart-city>