

ЕЛЕКТРОННЕ МОДЕЛЮВАННЯ

ISSN 1024-2572

ЭЛЕКТРОННОЕ
МОДЕЛИРОВАНИЕ

**ELECTRONIC
MODELING**

Многомерное моделирование
и численные методы

Информационные технологии

Объединяющий процесс
и качество

Параллельные вычисления

Системные методы
и моделирование

Редколегія

Головний редактор: чл.-кор. НАН України **В.В. МОХОР**

Заступники головного редактора:

канд. техн. наук **О.В. ВАСИЛЬЄВ**,
д-р техн. наук **С.Д. ВИННИЧУК**,
канд. техн. наук **Г.О. КРАВЦОВ**,
д-р техн. наук **В.С. ХАРЧЕНКО**

В.о. відповідального секретаря: канд. техн. наук **В.В. ЧЬОЧЬ**

Редакційна колегія:

д-р. техн. наук **В.О. АРТЕМЧУК**,
акад. НАН України **В.П. БОЮН**,
д-р техн. наук **О.А. ВЛАДИМИРСЬКИЙ**,
д-р юридич. наук **Д. ШТІТІЛІС** (Литва),
канд. техн. наук **О.М. ДИБАЧ**,
д-р техн. наук **В.Ю. ЗУБОК**,
д-р техн. наук **О.Ф. КАТКОВ** (Польща),
канд. техн. наук **І.В. КОЦЮБА**,
д-р техн. наук **Л.В. КОВАЛЬЧУК**,
акад. НАН України, **Ю.М. МАЦЕВИТИЙ**,
д-р фіз.-мат. наук **М.Л. МИРОНЦОВ**,
чл.-кор. НАН України **О.О. ПОПОВ**,
канд. техн. наук **М.В. ПРАЗЯН**,
д-р техн. наук **В.Д. САМОЙЛОВ**,
чл.-кор. НАН України **С.Є. САУХ**,
д-р техн. наук **В.П. СИМОНЕНКО**,
д-р техн. наук **І.С. СКАРГА-БАНДУРОВА**,
д-р техн. наук **О.А. ЧЕМЕРИС**,
д-р філос. з інф. безпеки **А.В. ШАЛАГІНОВ** (Норвегія),
д-р техн. наук **С.С. ШЕВЧЕНКО**,
д-р техн. наук **А.В. ЯЦИШИН**

Регіональні редактори:

Prof. **E. Dshalalow**
Department of Applied
Mathematics, Florida
Institute of Technology,
Melbourne FL 32901, USA,
edshalalow@cfl.rr.com

Dr. **Stan Lipovetsky**
GfK Custom Research North America,
8401 Golden Valley Road,
Minneapolis, Minnesota
55427-0900, USA,
stan.Lipovetsky@gfk.com

Prof. **V. Sree Hari Rao**
Department of Mathematics
Jawaharlal Nehru
Technological University,
Hyderabad 500872, India,
vshrao@yahoo.com

Редакційна рада:

проф. **R.P. AGARWAL** (США),
проф. **Ю.А. БЕЛОВ** (Україна),
проф. **H. DADUNA** (Німеччина),
проф. **H.I. FREEDMAN** (Канада),
проф. **T. KACZOREK** (Польща),
проф. **J. KORBICZ** (Польща),
акад. НАН України **A.A. МАРТИНЮК** (Україна),
проф. **A.I. ПЕТРЕНКО** (Україна),
акад. НАН України **Б.С. СТОГНІЙ** (Україна),
проф. **J. SOLDEK** (Польща),
акад. НАН України **A.K. ШИДЛОВСЬКИЙ** (Україна),
проф. **V.A. VUJICICH** (Сербія)

ЗМІСТ

Математичне моделювання та обчислювальні методи

І.П. Каменева, В.О. Артемчук, А.В. Яцишин, О.А. Владимирський

Імовірнісні моделі подання знань для підтримки прийняття рішень в умовах ризику та невизначеності на прикладі галузі охорони атмосферного повітря 3-20

В.І. Гавриш

Математичні моделі локального нагрівання елементів електронних пристроїв 21-40

Інформаційні технології

Г.А. Землянко, В.С. Харченко

Забезпечення кібербезпеки системи багатофункційних флотів БПЛА для моніторингу критичної інфраструктури: аналіз вразливостей, атак і контрзаходів 41-54

О.В. Лебідь

Застосування алгоритмів штучного інтелекту в глобальній енергетичній індустрії 55-69

Л.О. Митько

Кібербезпека в енергетиці на тлі швидкого розвитку штучного інтелекту 70-77

Обчислювальні процеси та системи

А.М. Карітон, R.V. Baranenko, H.V. Sokol, M.Yu. Okhrymenko

АДАПТИВНЕ КОМБІНОВАНЕ КОДУВАННЯ МЕРЕЖІ КАНАЛІВ ДЛЯ КОГНІТИВНИХ РАДІОМЕРЕЖ З КООПЕРАТИВНОЮ РЕТРАНСЛЯЦІЄЮ 78-89

В.В. Міщук, Г.В. Фесенко

Аналіз методів та засобів комп'ютерного зору для мобільних систем пошуку вибухонебезпечних предметів 90-111

Застосування методів та засобів моделювання

О.М. Башкатов

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАБРУДНЕНЬ ПОВІТРЯНОГО СЕРЕДОВИЩА МІСТА ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ТЕМАТИЧНИХ ДІАГРАМ 112-122

DOI: <https://doi.org/10.15407/emodel.46.01.055>
УДК. 004.89; 621.3; 351/354; 658

О.В. Лебідь

Вінницький національний аграрний університет
Україна, 21008, Вінниця, вул. Сонячна, 3
тел. +38(098) 888 26 06; e-mail: sshlebid@gmail.com

Застосування алгоритмів штучного інтелекту в глобальній енергетичній індустрії

Проаналізовано кібербезпеку, енергозбереження, мінімізацію втрат електроенергії, діагностику несправностей, та відновлювані джерела енергії. Для кожної сфери енергетики визначено конкретні інженерні проблеми, для яких проаналізовано використання алгоритмів штучного інтелекту (ШІ). В результаті досліджень показано, що алгоритми ШІ можуть покращити процеси виробництва, розподілу, зберігання, споживання та торгівлі енергією.

К л ю ч о в і с л о в а: штучний інтелект, нейромережі, енергетика, електроенергетика, відновлювальні джерела, машинне навчання, кібербезпека, енергетичний сектор, Smart Grid.

З початком цифрової трансформації в енергетиці було відзначено, що на різних етапах виробництва, транспортування та споживання енергії для зменшення витрат і зниження штрафних санкцій за брак енергії можуть бути використані такі сучасні інформаційні технології відповідно до «Національної стратегії розвитку штучного інтелекту до 2030 року» [1]:

- Промисловий Інтернет речей (IoT у промисловості) для телевімірювання параметрів енергетичної системи.
- Технології аналізу великих даних (Big Data) з плануванням прогнозу поведінки енергетичної системи.
- BIM (Building Information Model) — технології для об'єктів енергетики (електростанцій, підстанцій, об'єктів видобутку та переробки тощо).
- ГІС-технології для об'єктів енергетики, пов'язаних з транспортуванням паливоенергетичних ресурсів (електропередачі, трубопровідна мережа тощо).
- Технологія дистанційного зондування Землі для спостереження за природними та техногенними факторами.

- Супутникові навігаційні системи для контролю дискретного транспорту спільно з ГІС-технологіями.

Крім того, для уніфікації та спрощення обміну даними пропонується створити онтологічну модель діяльності підприємства (Business Entity Ontological Model — БЕОМ). Використання БЕОМ в рамках галузі в цілому дозволяє створити цілісну динамічно еволюційну модель, яка структурує та описує діяльність із завданнями, організаційними структурами, територіями та об'єктами, що дозволяють організувати та передавати накопичений досвід у конкретних ситуаціях [2].

Поєднання енергії та штучного інтелекту (ШІ) створює колосальний спектр можливостей для галузі. Лише на ринку відновлюваних джерел енергії застосування ШІ може перевищити 75,82 мільярда доларів до 2030 р., згідно з дослідженнями Precedence Research. Ці дані добре узгоджуються з оцінками Forbes про те, що до 2024 р. зростання штучного інтелекту в секторі досягне 50 %. ШІ має численні програми, починаючи від інтелектуальних мереж і закінчуючи системами управління та прогнозування збоїв. Тоді як розумні електромережі використовують цифровий зв'язок, щоб реагувати на локальні зміни у використанні, системи прогнозування збоїв мають вирішальне значення для пом'якшення небезпеки. Ці випадки використання показують, що застосування послуг з розробки енергетичного програмного забезпечення може бути життєздатним рішенням для трансформації ніші. Деякі з цих послуг включають ШІ, машинне навчання (МН) і Data Science для цифровізації галузі [2].

Опитування понад 500 відповідальних керівників енергетичних компаній, проведене у 2019 р., 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 %) (рис. 1.)

Технології ШІ підтримують функціонування систем енергозабезпечення, з урахуванням існуючих тенденцій технологічного розвитку та трансформації моделей організації роботи енергетичних ринків 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.

ШІ має потенціал для підвищення ефективності, надійності та безпеки глобальної енергетичної інфраструктури. ШІ-алгоритми використовуються для вирішення різних завдань, включаючи:

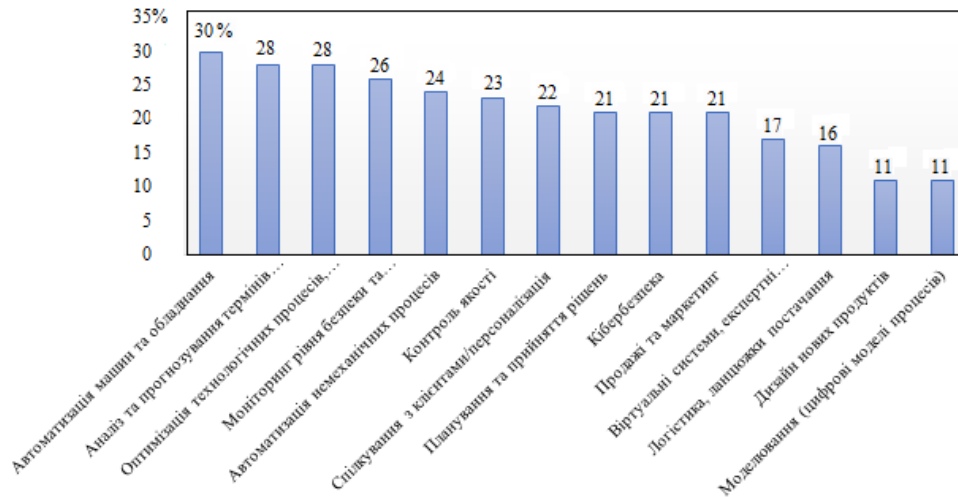


Рис. 1. Застосування ШІ енергетичними компаніями

- **Управління попитом на енергію.** ШІ використовується для прогнозування попиту на енергію та розробки стратегій для його оптимізації. Це допомагає скоротити пікові навантаження та підвищити ефективність використання енергії.

- **Оптимізація мережі.** Використовується для оптимізації роботи енергетичних мереж, включаючи розподілення електроенергії та управління потоками енергії, що допомагає підвищити надійність та стійкість мережі.

- **Прогнозування та запобігання збоєм.** Технології ШІ застосовують для прогнозування та запобігання збоєм в енергетичній інфраструктурі, що допомагає скоротити час простою та підвищити безпеку.

- **Поліпшення безпеки.** ШІ використовується для підвищення безпеки енергетичної інфраструктури, включаючи виявлення та запобігання атакам.

У табл. 1 представлено використання алгоритмів ШІ для підтримки кібербезпеки в енергетичному секторі.

Забезпечення оптимізації споживання електроенергії та зниження втрат є критично важливою метою для забезпечення стабільності та ефективності енергетичного сектора. Оптимізація споживчої енергії призводить до зменшення витрат енергії без втрати якості обслуговування, що включає використання ефективних технологій та систем у будівлях, промисловості та інших галузях, щоб зменшити енерговитрати. Також важливо впроваджувати системи управління енергією, які можуть точно контролювати споживану електроенергію та регулювати її в залежності від потреб.

Зниження втрат електроенергії, є головним завданням для підвищення ефективності електроенергетичних систем. Втрати енергії відбуваються під час транспортування та розподілу електроенергії через мережі, і вони можуть бути зумовлені технічними проблемами, включаючи неправильну ізоляцію, посилені опори в лініях передачі тощо. Змінення цих втрат вимагає впровадження нових технологій та методів моніторингу, які допомагають виявляти та усувати проблеми в мережах енергопостачання [3].

Загальною оптимізацією споживання електроенергії та зниження втрати є забезпечення надійного та стабільного енергопостачання для всіх споживачів, зниження витрат на енергію та зменшення негативного впливу на навколишнє середовище.

У табл. 2. наведено використання алгоритмів ШІ для підтримки енергозбереження та зменшення втрат електроенергії в енергетичній інфраструктурі.

Автоматизоване управління та оптимізація електромережі, сприяючи застосуванню інтелектуальних агентів та алгоритмів машинного навчання, спрямоване на розвиток та впровадження інноваційних рішень для ефективного керування електромережею з метою досягнення найвищої ефективності та надійності системи.

Таблиця 1

Застосування алгоритмів ШІ в кібербезпеці в енергетичному секторі		
Застосування доменів кібербезпеки	Інженерні проблеми	Алгоритми ШІ
Виявлення кіберфізичних аномалій	Передача даних між генераторами в межах одного балансуєчого органу та кореляція поведінки	k — означає кластеризацію
Виявлення кібератак і збоїв в електромережах	Прогноз на основі історичних даних і журналів, зібраних одиницями вимірювання вектора	РФ, метод зваженого голосування
eIoT кібербезпека	Моделювання нападу на інтелектуальну систему управління енергією	РФ, XGBoost
Виявлення крадіжки енергії	Моделювання крадіжки енергії в Smart Grid	ансамбль МЛ
Кібербезпека енергетичних систем	Аналіз впливу кібербезпеки на системи моніторингу та контролю	нечіткий метод АНР і TOPSIS
Кібербезпека підключених електромобілів	Виявлення введення помилкових даних	SVM

Сучасні виклики в енергетиці вимагають нових способів оптимізації управління багатоенергетичними системами для зниження витрат енергії та обмеження забруднення навколишнього середовища. Недавнє дослідження розробило інноваційний підхід, який використовує методи машинного навчання для ефективного управління енергетичною системою в реальному часі. Головна мета цього підходу — досягнення енергетичної ефективності шляхом оптимізації використання ресурсів та дотримання екологічних стандартів.

Дослідження включало розробку алгоритмів на базі глибокого навчання та підкріпленого навчання для автоматичного управління енергетикою в режимі реального часу. Методи, такі як Deep Deterministic Policy Gradient (DDPG) та мережі з наведенням безпеки, використовувалися для створення агентів, які приймають оптимальні рішення про розподіл ресурсів для забезпечення ефективної роботи системи. Дослідження також охопило інтелектуальне управління енергетичним співтовариством, де особливий акцент був на управлінні домашніми системами зберігання енергії та впровадженні рівноправної торгівлі енергією. Розроблена модель використовує марківський процес прийняття рішень для формалізації торгівлі енергією та розробки алгоритму оптимізації, що ґрунтується на нечіткому Q-навчанні [4].

Таблиця 2

Використання алгоритмів ШІ для енергозбереження та зменшення втрат електроенергії		
Домени енергозбереження	Інженерні проблеми	Алгоритми ШІ
Промислова робототехніка	Оптимізація траєкторії робота пакетувальника	Диференціальний ЕА
Обробна промисловість	Планування потоку перестановки для пакетних машин	Гібрид АСО
Зменшення втрат електроенергії при розподілі електроенергії	Оптимізація розташування компенсаторів реактивної потужності	НІ
Планування енергетичного шляху	Проблема споживання електроенергії для веж БПЛА	Змодельований алгоритм виразу
Розумні будинки	Системи домашньої автоматизації	ДЦ
Енергоефективність у мережах 5G	Прогноз часу прибуття пакета	LSTM
Реагування на попит в енергетичних мережах	Інтеграція контролера HVAC з механізмом ML для розпізнавання активності	RF

Результати дослідження підтверджують вдалість цього підходу, здатного аналізувати та передбачати майбутні тенденції в попиті та використанні відновлюваних джерел енергії. Такі підходи можуть ефективно підтримувати енергетичні потреби спільнот та сприяти створенню стійких та надійних «розумних мереж». Проведені результати досліджень надають підстави для мінімізації рахунків за електроенергію та підвищення енергетичної ефективності в енергетичних спільнотах [4].

У табл. 3 представлено приклади застосування алгоритмів ШІ для вирішення інженерних проблем в управлінні Smart Grid.

Важливе значення має прогнозування навантаження електроенергії, оскільки воно дозволяє операторам мереж [5]:

планувати виробництво електроенергії: оператори мереж використовують прогнози навантаження для планування виробництва електроенергії з урахуванням попиту. Це допомагає уникнути дефіциту електроенергії під час пікових навантажень;

оптимізувати розподіл електроенергії: використання прогнозів навантаження для оптимізації розподілу електроенергії між різними споживачами, що допомагає зменшити втрати електроенергії та забезпечити надійний розподіл електроенергії;

знижити витрати: використовуються прогнози навантаження для зниження витрат на виробництво та розподіл електроенергії, що досягається за рахунок зменшення пікових навантажень та оптимізації роботи мереж.

Таблиця 3

Застосування алгоритмів AI для управління Smart Grid		
Застосування Smart Grid	Інженерні проблеми	Алгоритми ШІ
Управління потоками електроенергії	Впровадження інтелектуального агента, який керує електромережею	RL, DQN
Забезпечення стабільності Smart Grid	Прогнозування стабільності Smart Grid	DT, NB, SVM, логістична регресія, k-NN, ANN
Управління трансформатором	Архітектура мультиагентних систем	Багаточастотність рішення, різні алгоритми
Управління мультиенергетичними системами	Автоматизація управління енергією в режимі реального часу	LSTM, DDPG, безпечна мережа
Розумна енергетична спільнота	Проблеми прийняття рішень у одноранговій торгівлі енергією	MDP, нечітке Q-навчання

Прогнозування навантаження електроенергії здійснюється за допомогою різних методів, включаючи:

- *Екстраполяцію.* Цей метод використовує історичні дані для прогнозування майбутнього навантаження.

- *Аналіз тенденцій.* Даний метод використовує історичні дані для виявлення тенденцій, які можуть бути використані для прогнозування майбутнього навантаження.

- *Моделі машинного навчання.* Дані моделі використовують статистичні методи для навчання на історичних даних і прогнозування майбутнього навантаження.

Використання ШІ для прогнозування навантаження електроенергії забезпечує більш точні прогнози, ніж традиційні методи. Це досягається за рахунок використання ШІ для навчання на більших обсягах даних і виявлення складних взаємозв'язків між факторами, що впливають на навантаження.

Для різних апаратних платформ у сфері енергетики є декілька інструментів, які допомагають прискорити процес розробки додатків або підвищити загальну продуктивність алгоритмів ШІ та МН [6]. Це особливо важливо для оптимізації енергетичних систем, прогнозування споживання енергії, контролю над роботою об'єктів енергетики та забезпечення ефективного використання ресурсів. Застосування сучасних інформаційних технологій, таких як аналіз великих даних, інтернет-речей та геоінформаційних систем, дозволяє підвищити надійність та продуктивність енергетичних систем, що сприяє зростанню інтересу до використання ШІ у сфері відновлюваної енергетики. На рис. 2. представлено модель МН в енергетиці.

Дана модель складається з чотирьох основних етапів:

- *Збір даних:* На даному етапі збираються дані, які будуть використовуватися для навчання моделі. Дані збираються із різноманітних джерел, таких як датчики, системи моніторингу та аналітики.

- *Видилення ознак:* На цьому етапі з набору даних виділяються значущі ознаки. Значимі ознаки — це ознаки, які мають важливе значення для вирішення задачі.

- *Тренування моделі:* Даний етап зосереджується на навчання на наборі даних, який включає в себе як значущі ознаки, так і цільову змінну.

- *Використовування моделі:* Даний етап використовується для прогнозування або класифікації даних.

Далі наведено приклади того, як ШІ використовується для прогнозування навантаження електроенергії [7]:

- Компанія Google використовує ШІ для прогнозування навантаження електроенергії в Каліфорнії. Ці прогнози використовуються

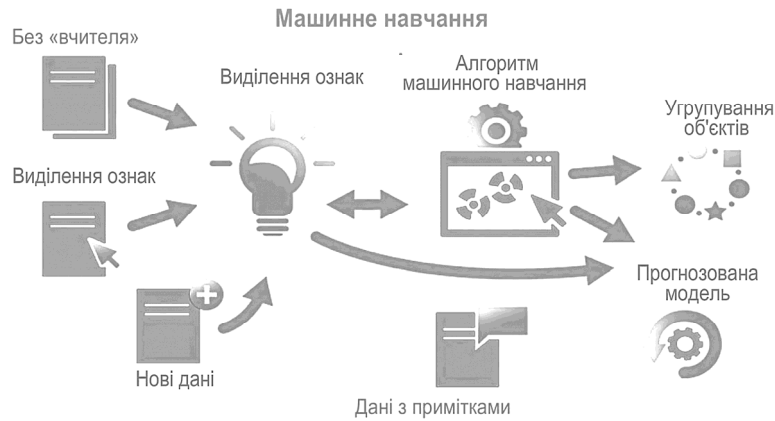


Рис. 2. Модель МН в енергетиці

для планування виробництва електроенергії і оптимізації розподілу електроенергії.

- Компанія Siemens використовує ШІ для прогнозування навантаження електроенергії в Німеччині. Дані прогнози використовуються для зниження втрат електроенергії і забезпечення надійного розподілу електроенергії.

- Компанія Duke Energy використовує ШІ для прогнозування навантаження електроенергії в Північній Кароліні. Ці прогнози використовуються для зниження витрат на виробництво та розподіл електроенергії.

- Програмне забезпечення GMDH Shell вкладає найновіші математичні алгоритми та забезпечує швидке та надійне прогнозування навантаження на електроенергію на основі наданих історичних даних. Програма створює набір моделей, які стають дедалі складнішими на кожному рівні. Потім такі моделі застосовуються до історичних даних і обчислюється похибка. Як тільки подальше ускладнення моделей припиняє гідне підвищення якості прогнозування, процес закінчується [3]. Такий алгоритм прогнозування навантаження на електроенергію дозволяє уникнути створення надскладних моделей, які витрачають ресурси процесора і не дають реальних прогнозних переваг. Натомість моделі, побудовані GMDH Shell з використанням унікального алгоритму GMDH (груповий метод обробки даних), прості, швидкі та виключно точні з точки зору прогнозування. Програмне забезпечення для прогнозування електроенергії GMDH Shell досить просте у використанні завдяки ряду застосованих шаблонів, розроблених для різних галузей промисловості, включаючи електроенергетику.

Короткострокове прогнозування навантаження в «розумних мережах», стає все важливішим завданням у сучасній енергетиці. В умовах зростаючого використання відновлюваних джерел енергії та розподіленої генерації, точне передбачення навантаження є ключовим для забезпечення стабільності та ефективності системи. У цьому контексті, застосування методів МН для короткострокового прогнозування навантаження в «розумних мережах» набуває особливого значення.

Дослідники зосереджуються на розробці та вдосконаленні алгоритмів, які здатні аналізувати складні залежності та нерівномірності в споживанні електроенергії. В рамках цього підходу, було проведено дослідження, що спрямоване на застосування МН-технік, таких як нейронні мережі, ансамблі дерев рішень та рекурентні нейронні мережі, для прогнозування навантаження. Використано різноманітні дані, такі як історичні дані споживання, погодні умови, календарні фактори тощо, для покращення точності прогнозу [8]. Результати дослідження підтверджують ефективність застосування МН-підходів у короткостроковому прогнозуванні навантаження. Отримані прогнози дозволяють операторам Smart Grids більш точно адаптувати виробництво та розподіл електроенергії з урахуванням змінних умов. Це сприяє підвищенню ефективності та надійності енергетичних систем, а також сприяє зниженню витрат та викидів шкідливих газів, що є важливими завданнями в сучасній енергетиці. У табл. 4. наведено застосування алгоритмів ШІ для прогнозування енергетичного навантаження.

Наразі спостерігається широкомасштабне розгортання сенсорних пристроїв, таких як інтелектуальні лічильники та пристрої вимірювання комплексної амплітуди (Phasor Measurement Unit (PMU)) або мікро-PMU. Методи МН аналізують основні характеристики даних PMU, щоб визначити час, типи та місце розташування подій. Зокрема, методи навчання можуть одночасно створювати змінні функції і пов'язувати їх з типом події або мітками розташування [9].

Наприклад, методи МН успішно застосовуються для ідентифікації подій в енергосистемі, включаючи дерево рішень, метод опорних векторів, штучні нейронні мережі, блоки довготривалої короткочасної пам'яті та гібридне МН. Вони в основному зосереджені на швидкій ідентифікації події після її появи, але не мають можливості передбачити подію до того, як вона станеться. Для вирішення цього питання була створена модель прогнозування подій в енергосистемі (рис. 3).

ШІ має великий потенціал для вирішення різних інженерних завдань у сфері відновлюваної енергетики. Далі наведено, застосування алгоритмів ШІ в галузі відновлювальної енергетики [4]:

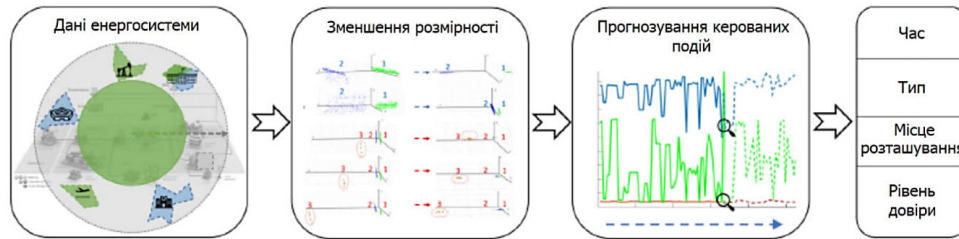


Рис. 3. Модель прогнозування подій в енергосистемі за допомогою МН

- *Прогнозування виробництва енергії:* Моделі МН та нейронні мережі аналізують дані про погоду, сонячне випромінювання, вітер та інші фактори, щоб прогнозувати, скільки електроенергії буде вироблено від сонячних панелей, вітрових турбін та інших джерел відновлюваної енергії. Це допомагає додатково планувати роботу енергосистем і забезпечувати стабільну подачу електроенергії.

- *Оптимізація виробництва:* Алгоритми оптимізації використовуються для налаштування параметрів роботи вітрових турбін, сонячних батарей і батарейних систем для максимізації виробництва енергії та зниження витрат.

- *Управління енергосистемою:* Системи управління енергією, які пропонують алгоритми ШІ, допомагають автоматично керувати розподі-

Таблиця 4

Алгоритм ШІ для прогнозування енергетичного навантаження		
Домени прогнозування	Інженерні проблеми	Алгоритми ШІ
Оцінка навантаження для планування мікромережі	Створення профілів навантаження та визначення розмірів генераторних агрегатів	SOM
Прогнозування регіонального електричного навантаження	Прийняття адаптивної мережевої системи нечіткого висновку	АНФІС
Smart Grid	Короткострокове прогнозування навантаження	SVR, XGBoost, AdaBoost, випадковий ліс, LightGBM, DLR, Bi-LSTM, GRU
Прогноз навантаження будівлі	Завантажити прогноз часових рядів	Багатозмінний LSTM

лом електроенергії між високими джерелами виробництва та споживачами з урахуванням змінених умов та цільових параметрів, таких як мінімальні витрати або максимальна стабільність мережі.

- *Діагностика та обслуговування:* Алгоритми МН допомагають аналізувати дані з датчиків, що дозволяє передбачити можливості поломки чи збої в обладнанні, такі як вітрові турбіни або сонячні панелі.

- *Досконалення ефективності системи зберігання енергії:* ШІ використовується для підвищення ефективності батарейних систем шляхом розробки алгоритмів управління зарядом і розрядом батарей на основі прогнозу виробництва та споживання електроенергії.

- *Оптимізація мережі:* Алгоритми ШІ використовуються для планування та оптимізації розташування сонячних панелей, вітрових турбін та інфраструктури передачі, щоб максимізувати постачання відновлюваної енергії споживачам.

Застосування алгоритмів ШІ у відновлюваній енергетиці, дозволить значно підвищити ефективність та стабільність енергосистеми, зменшити викид CO₂ та сприяти переходу до більш сталої та екологічно чистої енергетики [10].

Табл. 5. показує застосування алгоритмів штучного інтелекту для вибраних інженерних задач у відновлюваній енергетиці.

Проведений аналіз дозволив ідентифікувати кілька відкритих дослідницьких проблем щодо кібербезпеки та ефективності алгоритмів ШІ в енергетичному секторі. Слід зазначити, що всі впроваджені ІТ-рішення

Таблиця 5

Застосування алгоритмів ШІ у відновлюваній енергетиці		
Домени відновлюваної енергії	Інженерні проблеми	Алгоритми ШІ
Сонячна енергія	Короткострокове прогнозування виробництва фотоелектричної енергії	Лінійні методи, деревоорієнтовані алгоритми, ШНМ, ГРНН, ГВО
Енергія вітру	Короткострокове прогнозування вітроенергетики	MVEW-DNN
Енергія води	Прогнозування виробничої потужності гідроелектростанцій	Методи регресії ML
Геотермальна енергія	Моделювання під поверхневих характеристик геотермального резервуару	ML для прогнозування часового ряду
Енергія біомаси	Оцінка надземної біомаси швидкорослих дерев	ДТ, РФ, ГТБ, АдБ, КРР, СВМ, к-НН



Рис. 4. Найбільше використання ШІ в енергетичному секторі

повинні підтримувати безпеку енергетичних систем, які є життєво важливими компонентами критичної інфраструктури. В умовах цифрової трансформації енергетична безпека тісно пов'язана із забезпеченням кібербезпеки енергетичних систем. У цьому відношенні виклики відкритих досліджень пов'язані із захистом і конфіденційністю цифрових даних, створених кінцевими користувачами енергетичних систем. Зокрема, коли датчики терміналів збирають конфіденційні дані про профілі споживання енергії, роботу пристрою тощо, існує вразливість до неконтрольованого витоку даних.

На основі проведеного аналізу, було розроблено карту світу з кольоровим кодуванням, яке показує рівень використання ШІ в енергетичному секторі в різних країнах (рис. 4). Окрім цього, даний рисунок, показує, що використання ШІ в енергетичному секторі зростає в глобальному масштабі. Це пов'язано з тим, що ШІ стає все більш доступним, а також з тим, що енергетичні компанії усвідомлюють потенціал ШІ для підвищення ефективності та надійності енергетичної системи.

Згідно з рисунком найбільше використання ШІ в енергетичному секторі спостерігається в США, Китаї, Європейському Союзі та Японії. У цих країнах ШІ використовується в широкому спектрі застосувань, включаючи прогнозування попиту на електроенергію, управління генеруючими потужностями, підвищення ефективності споживання енергії та забезпечення безпеки та надійності енергетичної системи.

Отже, важливо підкреслити, що всі впроваджені ІТ-рішення підтримують безпеку енергетичних систем, які є життєво важливими компонентами критичної інфраструктури. В епоху цифрової трансформації енергетична безпека є тісно пов'язаною із забезпеченням кібербезпеки енергетичних систем.

Висновки

Аналіз показав, алгоритми ШІ ефективно підтримують прогнозування енергетичного навантаження та оптимізацію ресурсів виробництва електроенергії. Зокрема, алгоритми ШІ можуть виявляти несправності силових трансформаторів, ліній електропередач, гідроелектрогенераторів, фотоелектричних систем і вітрових турбін. Крім того, різні методи та методи ШІ можуть значно покращити сонячну, вітрову, гідро-, геотермальну енергію та енергію біомаси.

Таким чином, не зважаючи на наявність значної інерції в енергетичному секторі, впровадження цифрових технологій у розвиток відновлюваної енергетики є першочерговим місцем, оскільки бізнеси виробництва цих видів енергії вирізняються інноваційністю та модернізацією поміж традиційних джерел виробництва електроенергії. в цифрових технологіях для управління мінливістю та непостійністю цих джерел. Цифрові технології, такі як аналітика даних, МН, ШІ та розумні мережі, необхідні для забезпечення надійного постачання енергії та оптимізації виробництва та розподілу енергії. Запровадження цифрових технологій в енергетичному секторі є довгостроковим процесом, вимагає часу на інтеграцію, тестування і поступове впровадження нових рішень. Важливо пам'ятати, що цифрові технології не обмежуються лише виробництвом електроенергії, але також включають у себе управління мережами та зберігання енергії.

Процес впровадження цифрових технологій в енергетичному секторі потребує планування, координації та співпраці між урядом, промисловими підприємствами та науковими установами. Крім того, навчання персоналу, адаптація існуючої інфраструктури та забезпечення кібербезпеки є важливими викликами на шляху до цифрової трансформації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Національна стратегія розвитку штучного інтелекту в Україні 2021—2030. Міністерство освіти і науки України Національна академія наук України. Інститут проблем штучного інтелекту. Київ. 2021. 34 с.
2. Стратегія розвитку штучного інтелекту в Україні: монографія. А.І. Шевченко, С.В. Барановський, О.В. Білокобильський та інш. [За заг. ред. А.І. Шевченка]. Київ: ІПШІ, 2023. 305 с.

3. Штучний інтелект в енергетиці: аналіт. доповідь. Суходоля О.М. К.: НІСД, 2022. 49 с.
4. Перспективи застосування інформаційних технологій в енергетичній сфері. П. Романюк. матеріали Міжнародної наукової інтернет-конференції, (м. Тернопіль, Україна — м. Преворськ, Польща, 6—7 лютого 2023 р.) / [редкол.: О. Патряк та ін.]; ГО «Наукова спільнота»; WSSG w Przeworsku. Тернопіль: ФО-П Шпак В.Б. С. 56—59.
5. Інтелектуальні системи в електроенергетиці. Теорія та практика: навчальний посібник. Стаднік М.І., Видмиш А.А., Штуць А.А., Колісник М.А. Вінниця: ТОВ «ТВО-РІ», 2020. 332 с.
6. Zhou, S.; Hu, Z.; Gu, W.; Jiang, M.; Zhang, X.-P. Artificial Intelligence Based Smart Energy Community Management: A Reinforcement Learning Approach. *CSEE J. Power Energy Syst.* 2019, 5, 1—10
7. Xu, C.; Li, C.; Zhou, X. Interpretable LSTM Based on Mixture Attention Mechanism for Multi-Step Residential Load Forecasting. *Electronics* 2022, 11, 2189
8. Said, D.; Elloumi, M.; Khoukhi, L. Cyber-Attack on P2P Energy Transaction between Connected Electric Vehicles: A False Data Injection Detection Based Machine Learning Model. *IEEE Access* 2022, 10, 63640–63647.
9. Ibrahim, B.; Rabelo, L.; Gutierrez-Franco, E.; Clavijo-Buritica, N. Machine Learning for Short-Term Load Forecasting in Smart Grids. *Energies* 2022, 15, 8079
10. Заруба Д.С, Швець М.Ю, Хохлов Ю.В. Машинне навчання для прогнозування споживання та генерації електроенергії. *MicrosysElectronAcoust*, 2019, vol. 24, no. 6. С. 17—21. DOI: 10.20535/2523-4455.2019.24.6.186996

Отримано 23.08.2023;
після доопрацювання 17.10.2023

REFERENCES

1. National Strategy for the Development of Artificial Intelligence in Ukraine 2021-2030. (2021). Ministry of Education and Science of Ukraine, National Academy of Sciences of Ukraine, Institute of Artificial Intelligence Problems. Kyiv
2. Shevchenko A.I., Baranovskyi S.V., Bilokobylskyi O.V. and others (2023). Strategy for the development of artificial intelligence in Ukraine: monograph [According to general ed. A.I. Shevchenko]. Kyiv: IPSHI, 305 p.
3. Sukhodolia O.M. (2022). "Shchutchnyi intelekt v enerhetytsi: analitychna dopovid." Kyiv: NISD. 49 p
4. Romanuk P. (2023). "Perspektyvy zastosuvannya informatsiinykh tekhnolohii v enerhetychnii sferi." Materials of the International Scientific Internet Conference. Ternopil, Ukraine — Przeworsk, Poland, 6-7 February 2023, pp. 56-59
5. Stadnik M.I., Vidmysh A.A., Shtuts A.A., Kolisnyk M.A. (2020). "Intelektual'ni systemy v elektroenerhetytsi. *Teoriia ta praktyka: navchal'nyi posibnyk.*" Vinnitsia: TOV "TVORI". 332 p.
6. Zhou S., Hu Z., Gu W., Jiang M., Zhang X.-P. (2019). "Artificial Intelligence Based Smart Energy Community Management: A Reinforcement Learning Approach." *CSEE J. Power Energy Syst.*, 5, 1-10.
7. Ibrahim B., Rabelo L., Gutierrez-Franco E., Clavijo-Buritica N. (2022). "Machine Learning for Short-Term Load Forecasting in Smart Grids." *Energies*, 15, 8079.
8. Xu C., Li C., Zhou X. (2022). "Interpretable LSTM Based on Mixture Attention Mechanism for Multi-Step Residential Load Forecasting." *Electronics*, 11, 2189.

9. Said, D.; Elloumi, M.; Khoukhi, L. (2022). Cyber-Attack on P2P Energy Transaction between Connected Electric Vehicles: A False Data Injection Detection Based Machine Learning Model. P.63640–63647.
10. Zaryba D.S., Shvets M.Y., Khokhlov Y.V. Machine learning for electricity consumption and generation forecasting. *MicrosystElectronAcoust*, 2019, vol. 24, no. 6. pp. 17-21. DOI: 10.20535/2523-4455.2019.24.6.186996

Received 23.08.2023;
after revision 17.10.2023

O.V. Lebid

THE APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE
ALGORITHMS IN THE GLOBAL ENERGY INDUSTRY

Cyber security, energy conservation, minimization of electricity losses, fault diagnosis, and renewable energy sources were analyzed. Specific engineering problems have been defined for each field of energy, for which the use of artificial intelligence algorithms has been analyzed. Research has shown that AI algorithms can improve the processes of energy production, distribution, storage, consumption and trading.

Key words: artificial intelligence, neural networks, energy, machine learning, cybersecurity, electrical power generation, renewable energy, energy sector.

ЛЕБІДЬ Олександр Васильович, асистент кафедри комп'ютерних наук та економічної кібернетики Вінницького національного аграрного університету. У 2011 р. закінчив Вінницький національний технічний університет, Інститут інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії, факультет комп'ютерних систем та мереж. Область наукових досліджень — комп'ютерне моделювання, розробка мобільних додатків, штучний інтелект, комп'ютерні мережі.