

УДК 001.18:004.89:005:303.4

DOI: 10.37332/2309-1533.2023.1.21

JEL Classification: C45, L86, O30, Q21, Q40

Дзюбановська Н.В.,
д-р екон. наук, доцент,
професор кафедри прикладної математики,
Західноукраїнський національний університет, м. Тернопіль

ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ ДО ФОРМУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ МЕРЕЖІ МАЙБУТЬОГО ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Dziubanovska N.V.,
dr.sc.(econ.), assoc. prof., professor at the
department of application mathematics,
West Ukrainian National University, Ternopil

INNOVATIVE APPROACHES TO BUILDING THE ENERGY NETWORK OF THE FUTURE USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Постановка проблеми. У контексті зростання попиту на енергію та збільшення використання відновлювальних джерел енергії виникає потреба у більш складній та інтегрованій енергетичній мережі, яка забезпечуватиме стабільний та ефективний розподіл електроенергії. Однак, реалізація цієї потреби залежить від ряду перепон, таких як високі витрати на будівництво та модернізацію енергетичної інфраструктури, складна координація між різними енергетичними системами та ризики, пов'язані зі змінами клімату та іншими природними факторами.

Інноваційні рішення для розв'язання цих проблем може забезпечити штучний інтелект шляхом використання розумних алгоритмів для керування та оптимізації енергетичних систем. Останні можуть враховувати багато факторів, таких як попит на електроенергію, наявність відновлювальних джерел енергії, безпека в енергосистемі та інші чинники, що допоможуть забезпечити більш стабільну та надійну енергетичну мережу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сьогодні із стрімким розвитком цифрових технологій існує досить багато наукових доробків, присвячених застосуванню штучного інтелекту в енергетичній галузі. Адаптація до складних завдань збором та обробкою великої кількості даних є ключовим викликом у використанні штучного інтелекту в енергетичній мережі. Для їх подолання потрібні надійні та безпечні системи збирання та зберігання даних, а також ефективні алгоритми обробки та аналізу даних з метою забезпечення точності та надійності результатів, отриманих за допомогою штучного інтелекту.

Зокрема, О. Г. Гриб, Г. А. Сендерович, О. В. Дяченко, І. Т. Карпатюк, С. В. Швець здійснили аналіз цифровізації енергетики та виділили декілька основних напрямів її розвитку, серед яких – штучний інтелект [1]. О. М. Тімченко, В. В. Небрат, В. Е. Лір, О. С. Биконя, Ю. В. Дубас у своєму дослідженні розглянули існуючі національні практики та досвід міжнародного співробітництва у сфері цифровізації енергетики і надали пропозиції щодо реалізації концепції інтелектуальної енергетичної мережі в рамках цифрової трансформації економіки України [2].

Багато науковців у своїх дослідженнях застосовують алгоритми штучного інтелекту для прогнозування попиту на енергоспоживання. Так, Д. М. Карпа, І. Г. Цмоць, Ю. В. Опотяк обґрунтовують вибір нейромережевих структур для оброблення статистичних даних з метою прогнозування та виявлення аномальних показників споживання енергоресурсів [3]. І. В. Гарячевська, С. Ю. Мовенко розробили моделі прогнозування часових рядів для отримання якомога точнішого прогнозу споживання та вироблення електроенергії з урахуванням використання альтернативних джерел енергії [4]. П. О. Черненко, В. О. Мірошник застосували штучну нейронну мережу глибинного навчання eResNet та за її допомогою побудували модель для короткострокового прогнозування електричного навантаження електропостачальної компанії [5]. О. С. Живогляд у своїй праці досліджувала задачу прогнозування дискретних значень потужності споживання електричної енергії, яка вирішується з використанням одного з методів штучних нейронних мереж – обмеженої машини Больцмана [6].

Проте, вимагає подальшого наукового дослідження опрацювання підходів до формування енергетичної мережі майбутнього із застосуванням алгоритмів штучного інтелекту для підвищення ефективності її роботи. Доцільно обґрунтувати основні напрямки застосування штучного інтелекту і

визначити їхню ефективність для розв'язання важливих проблем енергетики в сучасному волатильному середовищі.

Постановка завдання. Мета статті – сформулювати поняття «енергетична мережа майбутнього», виокремити основні виклики, з якими стикається сьогодні енергетична система, що вимагають нових інноваційних підходів та рішень, а також здійснити аналіз можливостей застосування алгоритмів штучного інтелекту для підвищення ефективності її роботи.

Виклад основного матеріалу дослідження. В умовах сьогодні енергетичні мережі відіграють важливу роль, оскільки забезпечують електроенергією і теплом мільйони людей і підприємств у всьому світі. Енергетичні мережі також служать для забезпечення роботи критичних інфраструктурних систем, таких як транспорт, медицина, комунікації та інформаційні технології. Однак зростання населення та стрімкий розвиток світової економіки призводить до збільшення попиту на енергію, що може призвести до недостатньої потужності енергетичної мережі. Крім того, сучасна енергетична система стикається з рядом інших викликів, що вимагають нових інноваційних підходів та рішень, зокрема: зменшення викидів парникових газів, підвищення ефективності та безпеки енергосистем, розвиток відновлюваних джерел енергії тощо.

Зменшення викидів парникових газів та боротьба зі зміною клімату є критично важливими завданнями для людства і мають безпосередній вплив на майбутнє нашої планети та життя на ній. Багато країн приймають національні законодавчі акти та програми зменшення викидів парникових газів. Наприклад, Європейський союз зобов'язався до 2030 року зменшити викиди газів на 40 % від рівня 1990 року, а до 2050 року – до нуля. Крім того, промислові компанії по всьому світу також вживають заходів для зменшення викидів парникових газів, зокрема, переходять на використання відновлюваних джерел енергії, таких як сонячна та вітрова енергія, що зменшує їх залежність від копалин та скорочує викиди парникових газів.

Україна також стикається з проблемою викидів парникових газів в атмосферу, не зважаючи на те, що їх обсяг з 1990 р. по 2021 р. скоротився на 75,6 % (рис. 1). За даними Державної служби статистики [7], в 2021 році викиди забруднюючих речовин в атмосферу склали 3788,8 тис. т. або на 113,5 тис. т (на 3,1 %) більше, ніж у минулому році. І це, беручи до уваги, що статистичні дані за 2014–2021 рр. відображені без урахування тимчасово окупованої території Автономної Республіки Крим, м. Севастополя та частини тимчасово окупованих територій у Донецькій та Луганській областях.

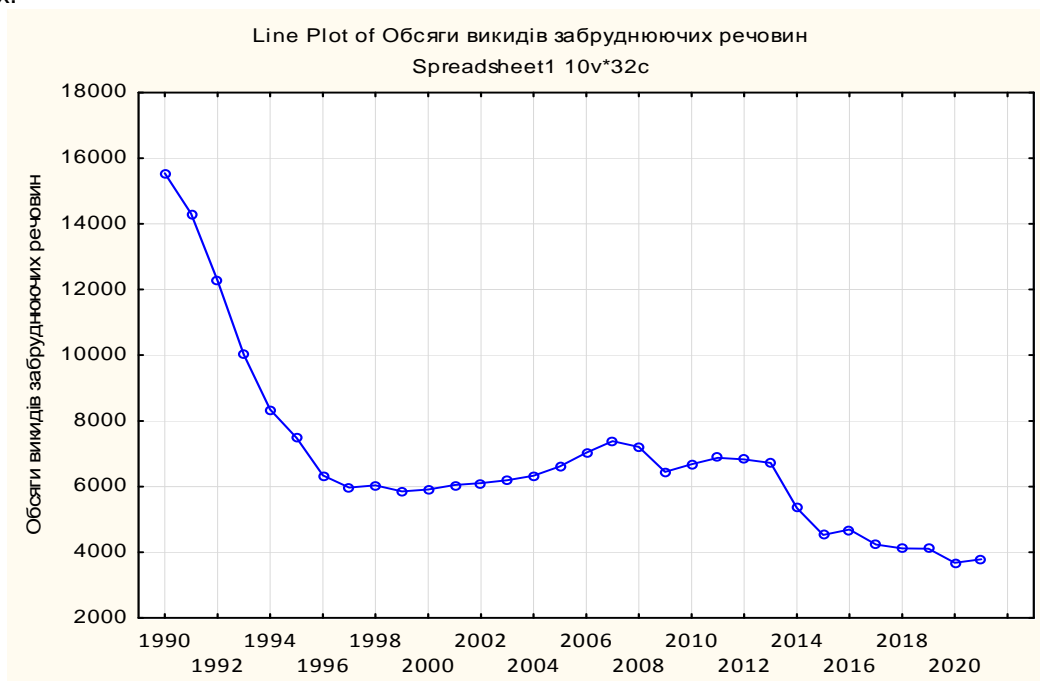


Рис. 1. Викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря України

Джерело: розроблено автором на основі даних [7] засобами ПП STATISTICA 10

Станом на 2021 рік, за даними моніторингових спостережень, у міських поселеннях 4,2 % проб (7121 із 170546) атмосферного повітря містять забруднюючі речовини у концентраціях, що перевищують гранично допустимі (4,2 % – 7684 із 180913 у 2020, 4,0 % – 8148 із 204311 у 2019 проти 3,8 % – 9076 із 240989 у 2018), у сільських поселеннях – 0,5 % (проти 0,9 % у 2020, 1,3 % у 2019, 1,1 % у 2018) [8].

Штучний інтелект (далі – ШІ) дасть змогу підтримувати баланс між виробництвом та споживанням електроенергії, забезпечуючи ефективне управління електромережами та знижуючи

неефективні витрати. Це зменшить залежність від традиційних джерел енергії та знизить викиди парникових газів. ШІ через алгоритми глибинного навчання може використовуватись для оптимізації енергетичних мереж, які забезпечують постачання електроенергії, і дозволить підвищити ефективність її використання та знизити викиди парникових газів. Крім того, їх застосування може допомогти виявляти складні шаблони та залежності в процесах виробництва, що сприятиме виявленню додаткових можливостей для підвищення енергоефективності.

За допомогою алгоритмів глибинного навчання розробляють системи моніторингу, які в режимі реального часу аналізують дані про роботу енергетичної мережі та прогнозують можливі аварії й відмови обладнання. Вони також можуть забезпечувати більш ефективне керування енергетичними мережами та підвищувати їх стійкість до різних впливів. Енергоефективні алгоритми керування великими енергетичними системами забезпечують енергетичну безпеку та передбачають можливі кібератаки на енергетичну інфраструктуру.

Будь-які порушення безпеки енергетичної системи можуть призвести до серйозних наслідків, включаючи аварії, витрату енергоресурсів, а також загрози життю та здоров'ю людей. У зв'язку з цим, необхідно використовувати захисні технології та алгоритми, які дозволяють виявляти та запобігати кібератакам. Використання ШІ та машинного навчання забезпечить високий рівень захисту енергетичної системи від кібератак. Зокрема, за допомогою машинного навчання можна аналізувати великі масиви даних, які отримуються в процесі роботи енергетичної системи. За результатами цього аналізу можна виявляти аномальні поведінки та вразливості, які можуть стати об'єктом кібератаки, на їх основі розробляти превентивні заходи, які мінімізують ризики кібератак на енергетичну систему.

Методи і алгоритми ШІ є потужним інструментом для прогнозування різноманітних подій і явищ. Інтелектуальний аналіз даних у енергетичному секторі економіки можна застосувати для передбачення попиту на електроенергію. Це допоможе зменшити надлишкове виробництво енергії, що спричинює викиди парникових газів, та забезпечить більш ефективне використання ресурсів. Попит на електроенергію відображається показником кінцевого енергоспоживання, що характеризує загальний обсяг енергії, яку використовує населення, підприємства та інші сектори економіки країни для задоволення своїх потреб. Розглядаючи ряд статистичних даних для України протягом 2007–2020 рр. (рис. 2), бачимо, що споживання енергії за досліджуваний період зменшилось на 38182 тис. т.н.е., проте ці зміни в основному пов'язані із подорожчанням енергоресурсу та зменшенням промислового виробництва товарів у зв'язку з кризовими економічно-політичними явищами [9].

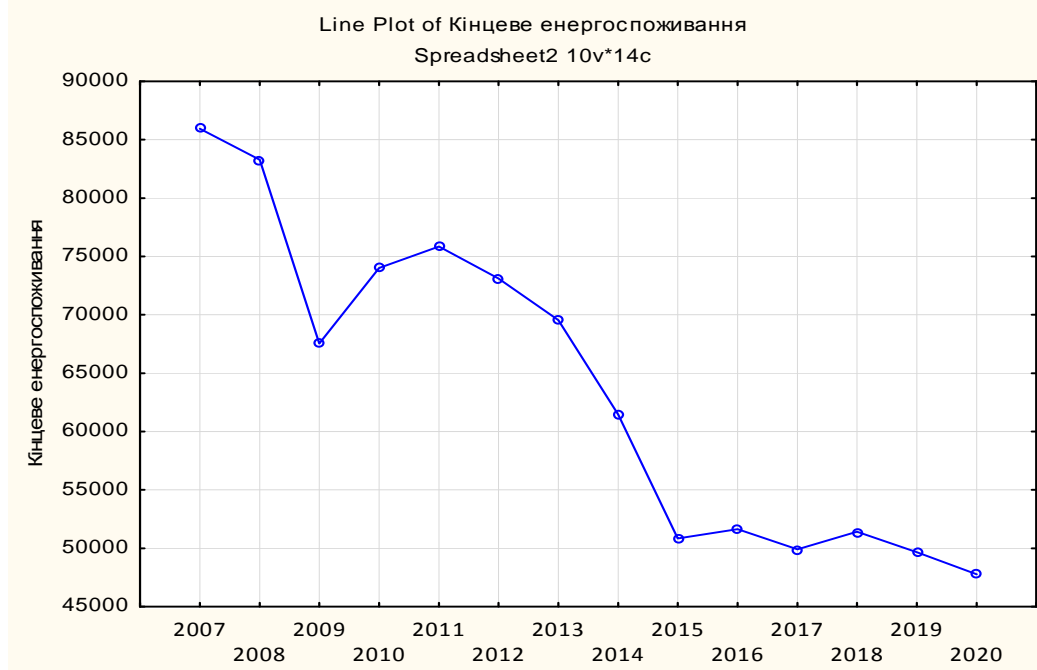


Рис. 2. Динаміка кінцевого енергоспоживання в Україні

Джерело: розроблено автором на основі даних [7] засобами ПП STATISTICA 10

Маючи прогнозні значення показника енергоспоживання, можна здійснити ряд заходів для ефективного планування виробництва та постачання електроенергії: якщо передбачається збільшення споживання електроенергії, можна забезпечити достатню кількість резервних енергетичних потужностей для забезпечення постачання енергії в пікові години; якщо очікується скорочення споживання електроенергії, можна знизити її виробництво, щоб уникнути перевиробництва та зменшити негативний вплив на навколишнє середовище.

Також, за допомогою прогнозів можна забезпечити оптимальну роботу системи розподілу електроенергії, що зменшить втрати енергії та забезпечить більш ефективне використання енергетичних ресурсів. Застосування ШІ для прогнозування енергоспоживання чи витрат на енергію передбачає використання різних алгоритмів інтелектуального аналізу даних, зокрема:

– нейронні мережі – це один з найпоширеніших методів для прогнозування попиту на енергоспоживання і витрат на енергію. Нейронні мережі можуть використовуватись для аналізу великої кількості даних та створення складних моделей, які здатні передбачати споживання енергії в майбутньому;

– дерева рішень – це алгоритми, що використовуються для виявлення залежностей між різними факторами та визначення важливості кожного із них для прогнозування витрат на енергію;

– генетичні алгоритми – це методи оптимізації, що засновані на біологічній еволюції. Вони можуть використовуватись для знаходження найбільш ефективних параметрів моделей прогнозування витрат на енергію;

– метод опорних векторів – це метод машинного навчання, який може використовуватись для виявлення залежностей між такими факторами, як історичні дані споживання енергії, кількість населення, економічне зростання, кліматичні умови та прогнозування витрат на енергію;

– байєсівські мережі – це методи статистичного аналізу, що дозволяють оцінювати ймовірності отримання різних результатів та прогнозувати витрати на енергію на основі аналізу даних.

Кожен з цих алгоритмів має свої переваги та недоліки, тому вибір конкретного залежить від потреб та характеристик системи прогнозування витрат на енергію.

Застосування технологій відновлюваної енергії в країнах світу зростає, і Україна не є винятком. Наша держава має значний потенціал для використання сонячної та вітрової енергії, а також біомаси та гідроенергетики. Уряд України вживає заходів для стимулювання розвитку відновлюваної енергетики, включаючи фінансову підтримку та інвестиції в цей сектор. Як видно з рис. 3, енергоспоживання із використанням відновлюваних джерел енергії протягом останніх років стрімко зростає.

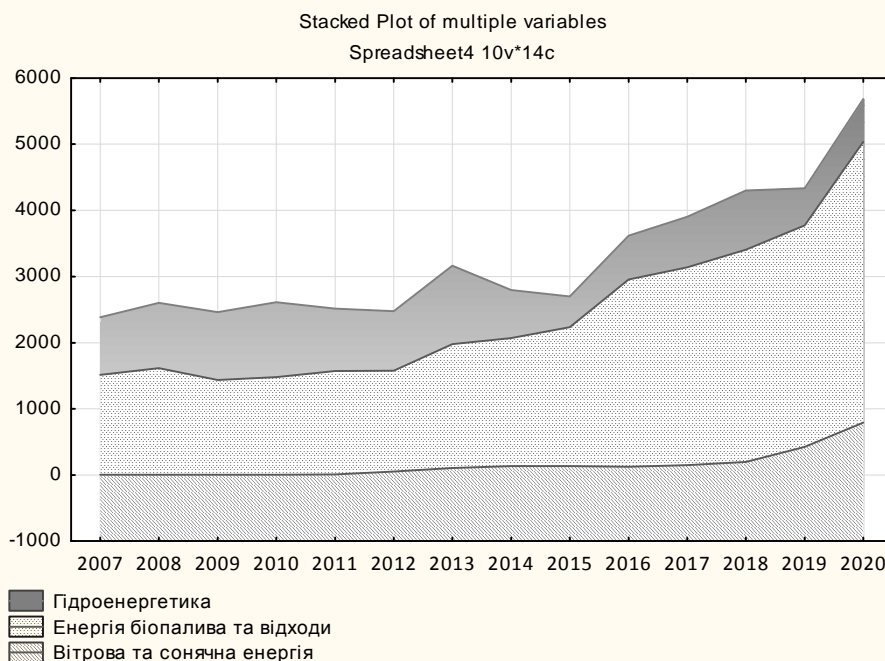


Рис. 3. Енергоспоживання на основі відновлюваних джерел в Україні

Джерело: розроблено автором на основі даних [7] засобами ПП STATISTICA 10

Застосування ШІ для прогнозування енергоспоживання, у випадку використання відновлюваних джерел енергії, таких як сонячна енергія та вітрова енергія, стає важливим елементом виробництва, розподілу та використання енергії. Системи, які засновані на ШІ, можуть допомогти збирати та аналізувати дані про погодні умови, щоб зрозуміти, коли буде найбільш ефективним використання сонячної енергії або вітрової енергії. Вони можуть забезпечити оптимальне використання ресурсів в реальному часі, забезпечуючи більш ефективне виробництво та зберігання енергії. Крім того, ШІ може допомогти у плануванні та прогнозуванні пікових навантажень та оптимізувати енергетичні мережі.

Отже, говорячи про поняття «енергетична мережа майбутнього», під ним будемо розуміти інтегровану та автоматизовану систему, що використовує відновлювані джерела енергії та забезпечує стабільне і безперебійне постачання електроенергії для споживачів. Основним

завданням існування такої енергетичної мережі є перехід до низьковуглецевих технологій, підвищення ролі відновлюваної енергетики і використання енергоефективних технологій та інновацій.

Для забезпечення автоматизації та оптимізації процесів управління такою енергетичною мережею, створення нових систем і підсистем, розробки нових алгоритмів одним із технологічних засобів є ШІ, що дасть змогу підвищити ефективність використання енергії, забезпечити стабільність та надійність енергетичної системи, а також зменшити витрати на її утримання. За допомогою алгоритмів машинного навчання можна передбачати попит на електроенергію, визначати найбільш ефективні шляхи передачі енергії, розподіляти навантаження між різними джерелами енергії, виявляти та усувати несправності у енергетичній системі, аналізувати енергетичне споживання і, таким чином, забезпечувати безперебійну роботу всієї системи.

Основні принципи застосування ШІ в енергетиці полягають у використанні алгоритмів машинного навчання та інших методів для оптимізації різних процесів в енергетичній системі (рис. 4).

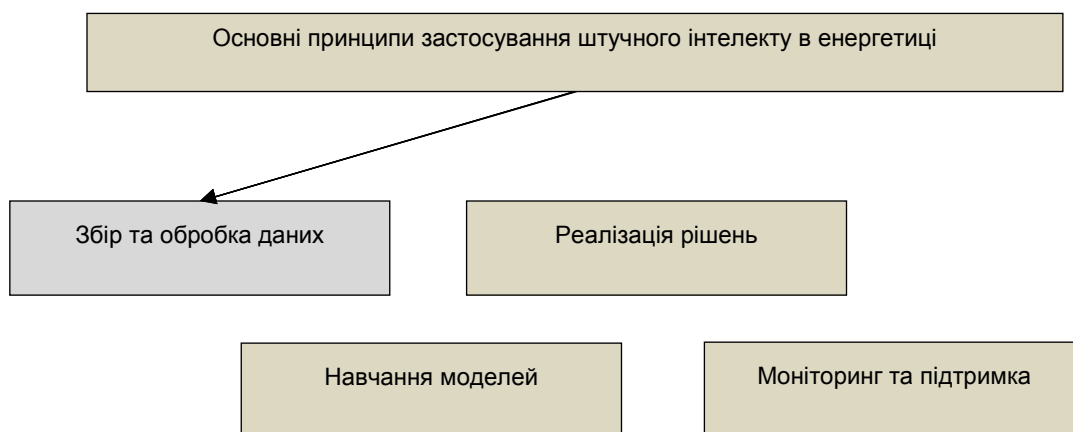


Рис. 4. Основні принципи застосування штучного інтелекту в енергетиці

Джерело: розроблено автором

Ці принципи можна узагальнити наступним чином:

Збір та обробка даних: для застосування методів ШІ в енергетиці необхідно зібрати велику кількість даних з різних джерел, таких як сенсори, датчики, енергетичні лічильники тощо. Ці дані потім обробляються та піддаються аналізу для визначення паттернів та трендів.

Навчання моделей: на основі даних, зібраних з різних джерел, створюються моделі ШІ, які можуть використовуватися для передбачення попиту на електроенергію, прогнозування вітрової та сонячної енергії, автоматичного регулювання потужності, оптимізації навантаження тощо. Навчання моделей вимагає використання спеціальних алгоритмів машинного навчання та обробки даних.

Реалізація рішень: на основі даних та навчених моделей розробляються рішення для оптимізації енергетичних систем. Вони можуть бути використані для автоматичного регулювання потужності, передбачення попиту, розподілу навантаження та інших функцій, які можуть покращити ефективність енергетичної системи та зменшити споживання електроенергії.

Моніторинг та підтримка: використання методів ШІ також дозволяє зібрати велику кількість даних про роботу енергетичної системи та її компонентів, включаючи дані про стан та ефективність роботи різного обладнання, споживання енергії й інші параметри.

Висновки з проведеного дослідження. Застосування ШІ в енергетиці є дуже актуальним напрямком, який може сприяти значним покращенням у функціонуванні та розвитку енергетичної системи. За допомогою методів машинного навчання та інших алгоритмів ШІ можна створити моделі, які відслідковуватимуть зміни в енергетичній системі та розроблятимуть рекомендації щодо підтримки її ефективності та безпеки. Наприклад, системи моніторингу можуть автоматично виявляти аномальні ситуації та попереджати про можливі відмови в роботі енергетичної системи.

Крім того, методи ШІ можуть бути використані для автоматичного планування та оптимізації роботи енергетичних систем. Особливо це стосується систем, які використовують відновлювальні джерела енергії, де нерівномірний характер виробництва енергії може створювати проблеми з підтримкою стабільної роботи системи.

Отже, використання методів ШІ для моніторингу та підтримки енергетичних систем може покращити їх ефективність, знизити витрати та покращити безпеку роботи. У зв'язку з цим, автоматизація та оптимізація роботи енергетичних мереж є ключовими завданнями сьогодення, що допоможуть забезпечити їх сталу та безперебійну роботу, зменшення негативного впливу на

навколишнє середовище, більш точне та ефективне використання ресурсів тощо. Для України це питання також є надзвичайно важливим, особливо після того, як вітчизняна енергомережа зазнала подекуди непоправних втрат внаслідок повномасштабного вторгнення росії на територію нашої держави.

Література

1. Аналіз перспектив розвитку цифрової енергетики в Україні / Hryb O., Senderovich G., Diachenko O., Karpaliuk I., Shvets S. *Вісник Національного технічного університету ХПІ. Серія: Гідравлічні машини та гідроагрегати*. 2020. № 1. С. 85-90.
2. Організаційно-економічні детермінанти розвитку цифрової енергетики в Україні / Тімченко О. М., Небрат В. В., Лір В. Е. та ін. *Економіка і прогнозування*. 2019. № 3. С. 78-100.
3. Karpa D. M., Tsmots I. H., Opotiak Y. V. Нейромережеві засоби прогнозування споживання енергоресурсів. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2018. Випуск 28(5). С. 140-146. URL: <https://doi.org/10.15421/40280529> (дата звернення: 12.01.2023).
4. Гарячевська І. В., Мовенко С. Ю. Розробка штучних нейронних мереж для прогнозування споживання електроенергії. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. 2018. № 3(1). С. 250-259. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkhdtu_2018_3%281%29__37 (дата звернення: 12.01.2023).
5. Черненко П. О., Мірошник В. О. Короткострокове прогнозування електричного навантаження електропостачальної компанії з використанням штучної нейронної мережі глибинного навчання. *Праці Інституту електродинаміки НАН України*. 2018. № 50. С. 5-11. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/PIED_2018_50_3 (дата звернення: 12.01.2023).
6. Zhyvoglyad O. Прогнозування електроспоживання на базі нейронної мережі. *Електронна та Акустична Інженерія*. 2019. № 2(1). С. 39-42. URL: <https://doi.org/10.20535/2617-0965.2019.2.1.163127> (дата звернення: 12.01.2023).
7. Державна служба статистики України. URL: <https://ukrstat.gov.ua/> (дата звернення: 12.01.2023).
8. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2021 році. URL: <https://mepr.gov.ua/diyalnist/napryamky/ekologichnyj-monitoryng/natsionalni-dopovidi-pro-stan-navkolyshnogo-prirodnogo-seredovyshha-v-ukrayini/> (дата звернення: 12.01.2023).
9. Бухаріна Л. М., Титарчук Д. І. Формування ефективної енергозберігаючої політики промислового підприємства. *Академічний огляд*. 2016. № 2. С. 72-76. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ao_2016_2_10 (дата звернення: 12.01.2023).

References

1. Hryb, O., Senderovich, G., Diachenko, O., Karpaliuk, I. and Shvets, S. (2020), "Analysis of the prospects for the development of digital energy in Ukraine", *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu KhPI. Seria: Hidravlichni mashyny ta hidroahrehaty*, no. 1, pp. 85-90.
2. Timchenko, O.M., Nebrat, V.V. et al. (2019), "Organizational and economic determinants of the development of digital energy in Ukraine", *Ekonomika i prohnozuvannia*, no. 3, pp. 78-100.
3. Karpa, D.M., Tsmots, I.H. and Opotiak, Y.V. (2018), "Neural network tools for predicting energy resource consumption", *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy*, Issue 28(5), pp. 140-146, available at: <https://doi.org/10.15421/40280529> (access date January 12, 2023).
4. Hariachevska, I.V. and Movenko, S.Yu. (2018), "Development of artificial neural networks for electricity consumption forecasting", *Visnyk Khersonskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu*, no. 3(1), pp. 250-259, available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkhdtu_2018_3%281%29__37 (access date January 12, 2023).
5. Chernenko, P.O. and Miroshnyk, V.O. (2018), "Short-term forecasting of electric load of a power supply company using a deep learning artificial neural network", *Pratsi Instytutu elektrodynamiky NAN Ukrainy*, no. 50, pp. 5-11, available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/PIED_2018_50_3 (access date January 12, 2023).
6. Zhyvoglyad, O. (2019), "Forecasting of electricity consumption based on neural network", *Elektronna ta Akustychna Inzheneriia*, no. 2(1), pp. 39-42.
7. "State Statistics Service of Ukraine", available at: <https://ukrstat.gov.ua/> (access date January 12, 2023).
8. "National Report on the State of the Environment in Ukraine in 2021", available at: <https://mepr.gov.ua/diyalnist/napryamky/ekologichnyj-monitoryng/natsionalni-dopovidi-pro-stan-navkolyshnogo-prirodnogo-seredovyshha-v-ukrayini/> (access date January 12, 2023).
9. Bukharina, L.M. and Tytarchuk, D.I. (2016), "Forming an effective energy-saving policy for an industrial enterprise", *Akademichnyi ohliad*, no. 2, pp. 72-76, available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ao_2016_2_10 (access date January 12, 2023).