

С.В. Зайченко¹, д-р техн. наук, проф., ORCID 0000-0002-8446-5408
Д.Г. Дерев'янку¹, канд. техн. наук, доцент, ORCID 0000-0002-4877-5601

А.Р. Трачук¹, аспірант

Н.І. Жукова¹, канд. техн. наук, доцент, ORCID 0000-0002-4215-6981

¹Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ОЦІНКА КОМПЛЕКСНИХ ПОКАЗНИКІВ ПРОГНОЗУВАННЯ СТРАТЕГІЧНОГО РОЗВИТКУ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ УКРАЇНИ В СТРУКТУРІ ВІДНОВЛЮВАЛЬНОЇ НАЦІОНАЛЬНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ УКРАЇНИ

Стаття присвячена системному огляду сучасних тенденцій використання відновлювальних джерел енергії та їх впливу на енергетичну систему країни. Основою аналізу є оцінка ступеня технологічної зрілості технологій відновлювальної енергетики, ефективності їх впровадження в порівнянні з традиційними джерелами енергії. Завдяки широкому спектру аналізу стаття робить важливий внесок у розуміння перспектив і детермінант ефективного впровадження відновлювальної національної енергетики в контексті сучасних енергетичних викликів і може слугувати основою для подальших досліджень у цій галузі.

У цій статті основним методом для прогнозування було обрано метод Хольта - для побудови прогнозних моделей для чотирьох ключових компонентів відновлювальних джерел енергії (ВДЕ) в Україні — вітру, сонця, гідроенергії та біомаси. За результатами прогнозування авторами визначено перспективи розвитку відновлювальної національної енергетики в Україні. Отримані результати підкреслюють стратегічну важливість активізації зусиль у сфері розвитку, залучення інвестицій і перегляду енергетичної політики з метою її узгодження з глобальними тенденціями до вуглецевої нейтральності економіки. Розроблено відповідні рекомендації щодо перегляду Енергетичної стратегії України та оптимізації нормативно-правової бази для ефективного нагляду за належним станом усіх генерувальних потужностей енергосистеми. У світлі цих прогнозів стаття наголошує на необхідності проактивних заходів для забезпечення сталого та зростання екологічно чистого стратегічного сектору - відновлювальної національної енергетики України.

Ключові слова: відновлювальна енергія, системи прогнозування, метод Хольта, біомаса, сонячна енергія, енергія вітру, ТЕС на біомасі, ВДЕ (відновлювальні джерела енергії).

Вступ

У суспільстві виникають нові проблеми, особливо складні на стику наук, вирішення яких можливе лише з урахуванням системи взаємозв'язків об'єктів реального світу. Тому системність стає одним із головних аспектів практичної діяльності, забезпечує ефективні шляхи подолання проблемних ситуацій за допомогою системних досліджень, реалізованих на основі системного підходу [1].

Основою системного дослідження є розробка загальних методів і засобів аналізу та синтезу об'єктів дослідження, формалізація опису їх інтегральних характеристик, аналіз зв'язків між компонентами системи та середовищем. Таким чином, системність стає одним із основних аспектів практичної діяльності, що зумовлює проведення комплексних досліджень при вирішенні практичних завдань. Одним із таких завдань є ефективність функціонування систем енергозабезпечення, яка є однією з найважливіших характеристик забезпечення життєдіяльності та розвитку регіону. Підвищення енергоефективності та енергетичної безпеки, перехід до раціональної моделі ресурсоспоживання з мінімальними витратами на виробництво, перетворення, транспортування та споживання енергоносіїв є пріоритетами стратегічного розвитку регіонів. Необхідною умовою реалізації цієї стратегії є впровадження в енергетичний баланс України відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) [2].

Україна має багаторічний досвід практичного використання відновлюваних джерел енергії. За розрахунковими даними довгострокової програми «Енергозбереження та підвищення енергоефективності України до 2050 р.» завдяки реалізації повного потенціалу використання відновлюваних джерел енергії в Україні є реальні перспективи підвищення рівня генерувальних потужностей на основі ВДЕ. У зв'язку з цим актуальною є розробка методології комплексної оцінки потенціалу ВДЕ та їх залучення до енергетичного балансу країни на основі системних досліджень, що потребує розробки методів аналізу та синтезу енергетичних систем з ВДЕ [3-6].

Ряд статей присвячено дослідженню методів аналізу та синтезу енергетичних систем, які можна класифікувати та згрупувати за типами джерел енергії: вітрова, сонячна, гідроенергетика та біоенергетика.

Дослідженню питання поступового та достатньо планомірного розвитку відновлювальної енергетики у світі присвячені роботи [4-10]. Проаналізовано перехід світової енергетики на відновлювальні джерела енергії. Гібридні системи відновлювальної енергії можуть забезпечити опалення, охолодження та електроенергію для промислових процесів, використовуючи значну частку відновлювальної енергії. Відновлювальні джерела енергії можуть включати паливо, отримане з джерел біоенергії, геотермальну, сонячну теплову та відновлювальну електроенергію з сонячної, вітрової, гідро- та геотермальної енергії. Для подолання просторових і транспортних проблем потрібна більш чітка місцева інтеграція відновлювальної енергії. Досліджуються новітні перспективи, які сприяють впровадженню нових технологій чистої енергії. Дослідження можуть спрямовувати розробку та реалізацію стратегій для підтримки переходу до сталого та низьковуглецевого майбутнього. Було досліджено, що використання відновлюваної енергії може сприяти розвитку людства. Було розглянуто позитивний зв'язок між впровадженням відновлювальної енергії та людським розвитком у трьох вимірах: здоров'я, освіта та дохід. Розвиток відновлювальної енергетики дуже тісно пов'язаний з розвитком усього людства загалом, що, враховуючи теоретичні та практичні наслідки, сприятиме більш інтенсивному та ефективному використанню відновлювальної енергії для досягнення цілей сталого розвитку. Доведено, що цільові показники скорочення енергоємності зменшують споживання викопного палива та надлишкові викиди забруднюючих речовин завдяки розвитку відновлювальних джерел енергії, про що свідчать наявні дослідження. Вплив цільових показників енергоємності на розвиток відновлюваної енергетики на різних рівнях економіки було проаналізовано шляхом застосування моделі частково лінійного функціонального коефіцієнта з панельними даними. Відновлювальні джерела енергії можуть сприяти досягненню цілей зниження енергоємності. Потрібна політична воля для прийняття цільової політики управління та інструментів, адаптованих до місцевих умов для розвитку відновлювальної енергетики. Урбанізація та зростання населення спричинюють викиди вуглецю, а також необхідність переходу на відновлювальні джерела енергії, що вимагає дослідження впливу гібридних систем накопичення відновлювальної енергії на досягнення цілей сталого розвитку. Розглянуто техніко-економічну оцінку автономної гібридної системи в сільській громаді з дефіцитом мережі. Але комплексна прогнозна оцінка розвитку відновлювальних джерел на основі кількох джерел врахована недостатньо. Тому це питання потребує глибшого дослідження, особливо в ракурсі реалій України.

Дослідженню питання розвитку вітроенергетики присвячені роботи [11-16]. Проаналізовано причини, чому одні країни надають енергії вітру важливу роль у декарбонізації своїх електроенергетичних систем, тоді як інші приділяють цій технології набагато менше уваги. Зроблена оцінка поточного стану, проблем і обмежень інтегрованих у будівлі вітряних турбін і технологій мікро- або маломасштабної вібрації, спричиненої вітром, щоб покращити їх продуктивність, ефективність, надійність і економічну ефективність. Досліджено сучасний рівень, застосування та технічні характеристики, які оптимізують ці технології для ефективної роботи в умовах нерівномірних потоків вітру та широкого діапазону швидкостей вітру. Досліджуються відновлювальні джерела енергії океану (такі як офшорний вітер і хвилі), які є багатими та важливими енергетичними ресурсами для підтримки майбутніх цілей щодо нульових викидів вуглецю. Однак їхня переривчастість енергії та висока вартість перешкоджають комерціалізації та широкомасштабному впровадженню цих океанських енергетичних технологій. Основна увага зосереджена на проблемах підвищення диспетчеризації океанських енергетичних ферм шляхом вивчення потенціалу гібридної вітрової та хвильової енергетичної платформи з системами накопичення енергії. Інтеграція енергії вітру в енергетичні системи може ефективно знизити експлуатаційні витрати та споживання енергії. У всьому світі частка вітрової енергії швидко зростає і, за прогнозами, досягне або навіть перевищить 40% усієї виробленої енергії протягом наступних десятиліть у багатьох частинах світу. Техніко-економічні підходи можна поєднувати з більш цілісними підходами, які враховують вплив на суспільство та навколишнє середовище, коли ми рухаємося до глибоко декарбонізованих мереж. Проведено огляд досліджень екологічного водню, який розглядається як фундаментальний компонент у прискоренні енергетичного переходу та розширенні можливостей для сталого майбутнього.

Дослідженню питання розвитку сонячної енергетики присвячені роботи [17-21]. Проаналізовано доцільність використання концентрованої сонячної енергії шляхом розробки нового стійкого процесу виробництва металевих компонентів і поєднання адитивного виробництва та сонячної енергії. Досліджено фактори, які впливають на здатність домогосподарства приймати сонячну енергію. Забезпечення справедливого доступу до сонячної енергії створює підтримку енергетичного переходу та сприяє зусиллям із подолання енергетичної бідності. В останні десятиліття сонячні технології продемонстрували багатообіцяюче майбутнє в зеленій енергетиці. Потенціал сонячної енергії 235 країн і територій було вивчено як перший крок до розвитку сонячної енергетики в цих регіонах. Було надано порівняння статусу сонячної енергії між країнами та територіями, враховуючи концентровану сонячну енергію та встановлену фотоелектричну потужність для кожного континенту. І галузь сонячної енергетики все ще має явні прогалини в створенні перспективних моделей прогнозування. У найближчі три десятиліття сонячна енергетика може стати другим за потужністю джерелом енергії. Будівництво нових сонячних

електростанцій дозволить країнам виробляти приблизно 25% загальної світової потреби в електроенергії до 2050 року. Протягом багатьох років автономні сонячні фотоелектричні системи приділяли велику увагу, оскільки вони можуть забезпечувати чисту та дешеву електроенергію для громад у сільській місцевості, особливо в країнах, що розвиваються. В Європейському Союзі відбувається екологічний перехід із використанням відновлювальних джерел енергії.

Враховуючи вищевикладене, в проаналізованих роботах недостатньо уваги приділено питанню прогнозування комплексного показника виробництва електроенергії з одночасним врахуванням чотирьох видів енергії: вітрової, сонячної, гідроенергетики та біоенергетики. Саме тому автори вирішили приділити особливу увагу вирішенню та розгляду цього питання як стратегічної складової розвитку відновлювальної національної енергетики України.

Враховуючи вищевикладене, можна зробити висновок про необхідність дослідження питання прогнозування відновлення національної економіки України за певними детермінантами.

Мета і завдання дослідження

Метою даного дослідження є проведення оцінки комплексних показників прогнозування стратегічного розвитку відновлювальних джерел енергії (ВДЕ) в Україні та їхнього впливу на структуру відновлювальної національної енергетики країни. Дослідження спрямоване на аналіз та оцінку розвитку чотирьох ключових компонентів ВДЕ - вітроенергетики, сонячної енергії, гідроенергетики та біоенергетики. Завдання дослідження включають:

- розробка та застосування методів прогнозування, включаючи метод Хольта, для визначення очікуваного зростання встановлених потужностей кожного компонента ВДЕ.
- аналіз та інтерпретація результатів прогнозування, зокрема визначення стратегічно важливих тенденцій у розвитку кожного типу ВДЕ.
- формулювання рекомендацій для удосконалення енергетичної стратегії України до 2050 року з урахуванням глобальних тенденцій до вуглецевої нейтральності.

Матеріал і результати дослідження

На основі попередніх досліджень було обрано для побудови прогнозних параметрів методом Хольта наступні стратегічні види відновлювальної енергії: сонячна, вітрова, гідро- та біоенергетика.

Метод Хольта використовується для прогнозування часових рядів, коли є тенденція до зростання чи зниження значень часових рядів. А також для серій, коли дані не для повного циклу (наприклад, для неповного року для місячного прогнозу). Постійні згладжування в методі Хольта ідеологічно відіграють ту ж роль, що і константи в простому експоненційному згладжуванні. Метод Хольта використовується для прогнозування часових рядів, коли є тенденція до збільшення або зменшення значень часових рядів. Основними залежностями та закономірностями методу Хольта є такі [22]:

Експоненціально-згладжений ряд:

$$L_t = kY_t + (1-k)(L_{t-1} - T_{t-1}), \quad (1)$$

де L_t – згладжене значення за поточний період;

k – коефіцієнт згладжування ряду;

Y_t – поточні значення ряду;

L_{t-1} – згладжене значення за попередній період;

T_{t-1} – значення тренду за попередній період.

Визначення значення тренду:

$$T_t = b(L_t - L_{t-1}) + (1-b)T_{t-1}, \quad (2)$$

де T_t – значення тренду за поточний період;

b – коефіцієнт згладжування тренду;

L_t – експоненціально-згладжене значення за поточний період;

L_{t-1} – експоненціально-згладжене значення за попередній період;

T_{t-1} – значення тренду за попередній період.

Побудова прогнозу за методом Хольта:

$$\hat{Y}_{t+p} = L_t + pT_t, \quad (3)$$

де \hat{Y}_{t+p} – прогноз за методом Хольта на період;

L_t – експоненціально-згладжене значення за останній період;

p – порядковий номер періоду, на який складається прогноз;

T_t – тренд за останній період.

Постійні згладжування в методі Хольта ідеологічно відіграють ту ж роль, що і константа в простому експоненційному згладжуванні. Вони вибираються, наприклад, перебираючи ці параметри з деяким кроком. Також можуть бути використані менш складні за кількістю обчислень алгоритми. Головне, що завжди можна підібрати таку пару параметрів, яка дає високу точність моделі на тестовій множині, а потім використовувати цю пару параметрів у реальному прогнозуванні.

Головне, що завжди можна підібрати таку пару параметрів, яка дає високу точність моделі на тестовій множині, а потім використовувати цю пару параметрів у реальному прогнозуванні. У моделі Хольта параметри згладжування характеризують ступінь адаптації моделі до змін ряду спостережень. Вони визначають швидкість реакції моделі на зміни, що відбуваються в розвитку. Чим їх більше, тим швидше модель реагує на зміни. Звичайно, для стійких рядів їх значення більше, а для нестійких – менше. У різних методах прогнозування використовується різний підхід до їх визначення. Їх можна прийняти за фіксовані, а найкраще значення можна визначити методом вибору, щоб похибка прогнозу на крок вперед була найменшою. Альтернативою цьому підходу є динамічна зміна параметрів згладжування. У еволюційних і симплексних методах планування параметри адаптації постійно змінюються на кожному кроці. Для параметра згладжування генерується кілька значень [22].

Аналіз даних із джерел [23], зокрема Укрстату, дав змогу сформувати вихідну базу даних для прогнозування у табл. 1.

Таблиця 1. Динаміка розвитку встановленої потужності вде в Україні за 2012-2021 рр., МВт)

Рік	Встановлена потужність (за видами відновлювальних джерел енергії), МВт			
	ВІТРОВА	СОЛЯЧН А	ГЕС	ТЕС на біомасі
2012 рік	230	326	5410	20
2013 рік	320	616	5410	23
2014 рік	380	411	5780	27
2015 рік	410	432	5810	32
2016 рік	301	568	6220	38
2017 рік	330	742	6330	43
2018 рік	530	1388	6100	48
2019 рік	1150	4925	6150	51
2020 рік	230	6320	5849	67
2021 рік	230	8541	7350	109

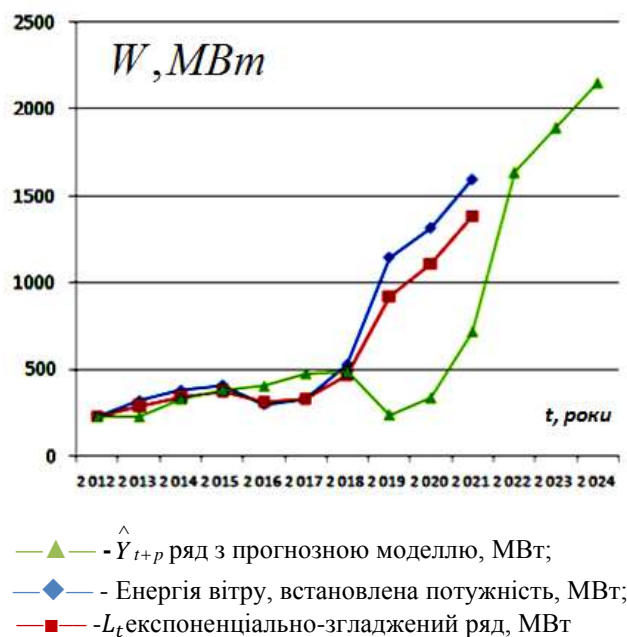


Рисунок 1 - Прогнозування динаміки розвитку встановленої потужності вітроенергетики України за методом Хольта:

Як видно (рис. 1) із побудованого графіка щодо встановленої потужності вітроенергетики в Україні отримано такі результати побудови прогнозної моделі: до 2026 р. збільшення обсягу встановленої потужності вітроенергетики прогнозується до рівня 2500 МВт, що підтверджує, що в Україні необхідно приділяти особливу увагу активізації розвитку нових генерувальних потужностей у сфері вітроенергетики.

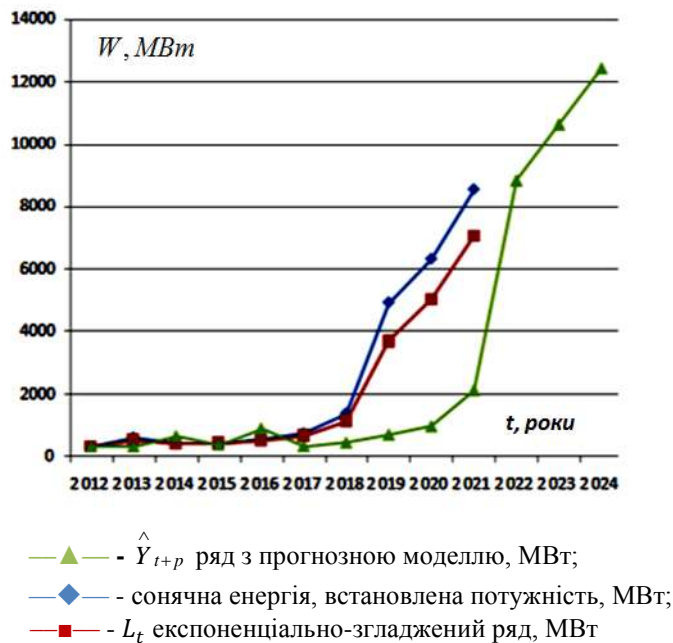


Рисунок 2 - Прогнозування динаміки розвитку встановленої потужності сонячної енергетики в Україні за методом Хольта

Як видно (рис. 2) - побудований графік показує, що серед усіх видів ВДЕ найбільш перспективним є розвиток сонячної енергетики, оскільки до 2026 року за допомогою прогнозу ми отримали такі результати, які показують зростання встановленої потужності сонячної енергії до рівня 14000 МВт. Це свідчить про необхідність зосередити особливу увагу на залученні додаткових інвестицій у розвиток сонячної енергетики в Україні.

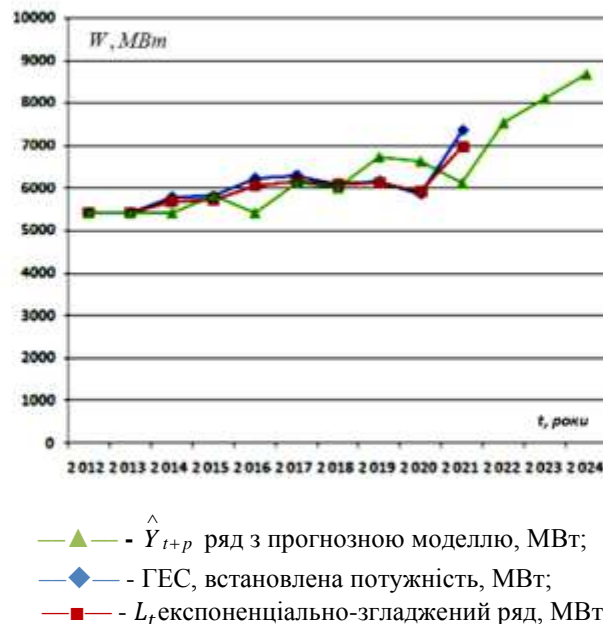


Рисунок 3 - Прогнозування динаміки розвитку встановленої потужності гідроелектростанцій України за методом Хольта

Як бачимо (рис. 3) – провівши відповідні розрахунки та проаналізувавши динаміку розвитку гідроелектростанцій (ГЕС) в Україні, ми дійшли висновку, що цей напрямок відновлювальної енергетики

також є дуже важливим, оскільки прогнози розрахунки показують, що до 2026 року встановлена потужність гідроелектростанцій в Україні зросте до рівня 9000 МВт. Це підтверджує, що галузь гідроенергетики є другою в Україні за рівнем розвитку порівняно з іншими стратегічними складовими ВДЕ в Україні

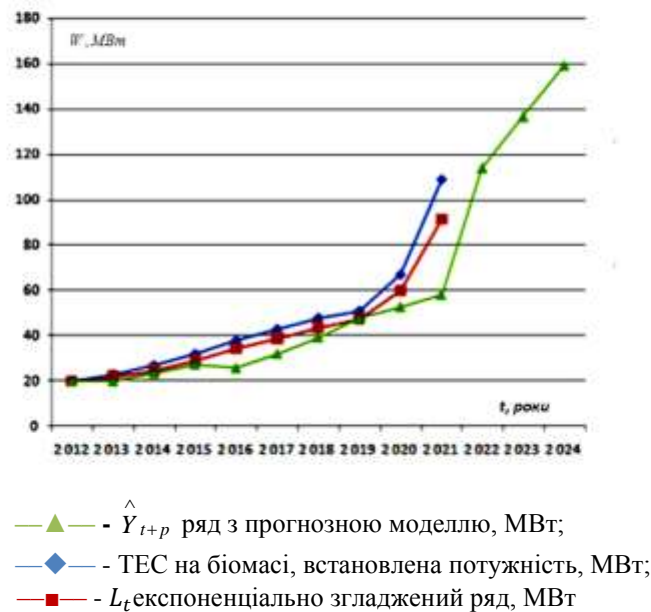


Рисунок 4 - Прогнозування динаміки розвитку встановленої потужності ТЕС України на біомасі за методом Хольта

Як бачимо з (рис. 4) – результати аналізу графіка, який показує встановлену потужність ТЕС на біомасі в Україні, свідчать про те, що незважаючи на те, що за встановленою потужністю сфери біоенергетики ще перебуває в стадії становлення, за активної підтримки держави існує значна ймовірність того, що найближчим часом ця галузь швидко розвиватиметься: прогнозна модель передбачає збільшення встановленої потужності ТЕС на біомасі до 180 МВт до 2026 р. Це доводить для нас стратегічну важливість та екологічність цього виду ВДЕ, який можна і потрібно розвивати найближчим часом.

Розвиток енергетичної системи безпосередньо впливає на конкурентоспроможність національної економіки та рівень життя всього населення України. Відповідно, стратегічним завданням для будь-якої країни є забезпечення країни економічно обґрунтованими та екологічно безпечними енергетичними ресурсами.

Сьогодні вітрова та сонячна енергетика є одним із найперспективніших напрямів розвитку енергетичної незалежності країни. Доречно звернути увагу на те, що використання енергії з біомаси також стабільно зростає. Разом з тим, для України, враховуючи глобальні виклики у сфері декарбонізації енергетичного сектору, необхідно звернути увагу особливо на модернізацію гідроелектростанцій в Україні, а це реабілітація гідроелектростанцій, вдосконалення нормативно-правового забезпечення та інтенсивний розвиток енергетичних компаній.

Висновки

За допомогою методу Хольта були побудовані відповідні прогнози моделі для чотирьох стратегічно важливих компонентів ВДЕ: вітрової, сонячної, гідро- та біомаси.

У результаті розрахунків і побудови прогнозних моделей автори дійшли наступних висновків:

Отримано наступні результати побудови прогнозної моделі:

- до 2026 року прогнозується збільшення встановленої вітроенергетичної потужності до рівня 2500 МВт, що підтверджує необхідність приділяти особливу увагу в Україні активізації розвитку нових генерувальних потужностей у сфері вітроенергетики. ;

- серед усіх видів ВДЕ найбільш перспективним є розвиток сонячної енергетики, оскільки до 2026 року за допомогою прогнозу ми отримали такі результати, що свідчать про зростання встановленої потужності сонячної енергетики до рівня 14000 МВт. Це свідчить про необхідність зосередити особливу увагу на залученні додаткових інвестицій у розвиток сонячної енергетики в Україні;

- провівши відповідні розрахунки та проаналізувавши динаміку розвитку гідроелектростанцій (ГЕС) в Україні, ми дійшли висновку, що цей напрямок ВДЕ також є дуже важливим, оскільки прогнози розрахунки показують, що до 2026 року встановлена потужність гідроелектростанцій в Україні зросте до

9000 МВт. Це підтверджує, що галузь гідроенергетики є другою в Україні за рівнем розвитку порівняно з іншими стратегічними складовими ВДЕ в Україні;

- результати розрахунків прогностичних значень встановленої потужності теплових електростанцій (ТЕС) на біомасі в Україні свідчать про те, що, незважаючи на те, що сфера біоенергетики ще перебуває в стадії формування за встановленою потужністю, з активної підтримки держави існує значна ймовірність того, що найближчим часом ця галузь швидко розвиватиметься: прогностична модель передбачає збільшення встановленої потужності ТЕС на біомасі до 180 МВт до 2026 року. Це доводить для нас стратегічну важливість та екологічність цього виду ВДЕ, який можна і потрібно розвивати найближчим часом.

Враховуючи систематизацію наукових досліджень та результати прогнозування змін у використанні енергії з відновлюваних джерел, важливо вжити таких заходів:

- переглянути Енергетичну стратегію України до 2050 року та розробити нові стратегічні напрями розвитку з урахуванням світових тенденцій у напрямку вуглецево-нейтрального розвитку національної економіки;

- розвивати комунальний електротранспорт задля покращення стану довкілля та зменшення паливної залежності від інших країн;

- оптимізувати та модифікувати нормативно-правове середовище для ефективного контролю та нагляду за підтримкою належного стану енергетичних підприємств.

Список використаної літератури

1. Zaichenko S. et al. Substantiation of diagnostic parameters of autonomous sources of electric energy on the basis of the internal combustion engine at development of system of technical diagnostics //POWER ENGINEERING: economics, technique, ecology. – 2020. – №. 3. – С. 29-34..

2. Зайченко, С., Дерев'яно, Д. (2023). Порівняння енергетичної ефективності синхронного генератора з двигуном іскрового запалювання на різних видах палива. У системах, рішеннях і контролі в енергетиці V (стор. 155-177). Cham: Springer Nature Switzerland.

3. Зайченко С., Шевчук С., Опришко В., Прядко С., Халем А. (2020, травень). Підвищення енергоефективності автономного джерела електроенергії шляхом регулювання газорозподілу двигуна внутрішнього згорання. У 2020 році IEEE 7-а міжнародна конференція з енергетичних інтелектуальних систем (ESS) (стор. 262-265). IEEE.

4. Кульбовський І., Голуб Г., Скляренко І., Сорочинська О., Гуренкова О., Кияшко В., Харута В. (2020). Дослідження моделі функціонування виробничо-технологічного потенціалу відділень електропостачання метрополітену. У транспортних засобах – матеріали міжнародної конференції (с. 416-420).

5. [Голуб Г., Кульбовський І., Скок П., Бамбура О., Мельниченко О., Харута В., Третиниченко Ю. (2020). Системна модель інформаційних потоків у мережах системи електропостачання в проектах транспортної інфраструктури. У транспортних засобах – матеріали міжнародної конференції (с. 132-135).

6. Walmsley, TG, Philipp, M., Picón-Núñez, M., Meschede, H., Taylor, MT, Schlosser, F., & Atkins, MJ (2023). Hybrid renewable energy utility systems for industrial sites: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 188, 113802.

7. Onu, P., Pradhan, A., & Mbohwa, C. (2023). The potential of industry 4.0 for renewable energy and materials development—The case of multinational energy companies. *Heliyon*, 9(10).

8. Nguyen, TTH, Phan, GQ, Tran, TK, & Bui, HM (2023). The role of renewable energy technologies in enhancing human development: Empirical evidence from selected countries. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 8, 100496.

9. Ge, T., Ge, Y., Lin, S., & Ji, J. (2023). Do energy intensity reduction targets promote renewable energy development? Evidence from partially linear functional-coefficient models. *Energy Strategy Reviews*, 49, 101165.

10. Wali, SB, Hannan, MA, Ker, PJ, Abd Rahman, MS, Tiong, SK, Begum, RA, & Mahlia, TI (2023). Techno-economic assessment of a hybrid renewable energy storage system for rural communities towards achieving sustainable development goals. *Energy Strategy Reviews*, 50, 101217.

11. Schneider, N., & Rinscheid, A. (2024). The (de-) construction of technological legitimacy: Contending storylines surrounding wind energy in Austria and Switzerland. *Technological Forecasting and Social Change*, 198, 122929.

12. Calautit, K., & Johnstone, C. (2023). State-of-the-art review of micro to small-scale wind energy harvesting technologies for building integration. *Energy Conversion and Management*: X, 100457.

13. [13]Gao, Q., Bechlenberg, A., Vakis, AI, Ertugrul, N., Jayawardhana, B., & Ding, B. (2022). Techno-economic assessment of offshore wind and hybrid wind-wave farms with energy storage systems. Available at SSRN 4358078.

14. Qu, LN, Ji, BX, Lim, MK, Shen, Q., Li, LL, & Tseng, ML (2023). A hybrid static economic dispatch optimization model with wind energy: Improved pathfinder optimization model. *Energy Reports*, 10, 3711-3723.

15. Loth, E. (2023). Wind energy value and deep decarbonization design, what's next?. *Next Energy*, 1(4), 100059.
16. AlZohbi, G., AlShuhail, L., & Almoaikel, A. (2023). An estimation of green hydrogen generation from wind energy: A case study from KSA. *Energy Reports*, 9, 262-267.
17. Cañadilla, A., Rodríguez, G., Romero, A., Caminero, MA, & Dura, OJ (2023). Sustainable production of copper components using concentrated solar energy in material extrusion additive manufacturing (MEX-CSE). *Sustainable Materials and Technologies*, e00799.
18. Arroyo, Á., Basurto, N., Casado-Vara, R., Timiraos, M., & Calvo-Rolle, JL (2024). A Hybrid Intelligent Modeling approach for predicting the solar thermal panel energy production. *Neurocomputing*, 565, 126997.
19. Kraaijvanger, CW, Verma, T., Doorn, N., & Goncalves, JE (2023). Does the sun shine for all? Revealing socio-spatial inequalities in the transition to solar energy in The Hague, The Netherlands. *Energy Research & Social Science*, 104, 103245.
20. Sayed, MA, Ahmed, MM, Azlan, W., & Kin, LW (2023). Peer to Peer Solar Energy Sharing System for Rural Communities. *Cleaner Energy Systems*, 100102.
21. Pourasl, HH, Barenji, RV, & Khojastehzhad, VM (2023). Solar energy status in the world: A comprehensive review. *Energy Reports*, 10, 3474-3493.
22. Kotsialos, A., Papageorgiou, M., & Poulimenos, A. (2005). Holt-winters and neural-network methods for medium-term sales forecasting. *IFAC Proceedings Volumes*, 38(1), 133-138.
23. State Statistics Service of Ukraine [Electronic resource]. Available at: <http://www.ukrstat.gov.ua>.

S. Zaichenko¹, Dr. Sc. (Eng.), Prof., ORCID 0000-0002-8446-5408

D. Derevianko¹, Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Prof, ORCID 0000-0002-4877-5601

A. Trachuk¹, Ph.D. student

N. Zhukova¹, Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Prof, ORCID 0000-0002-4215-6981

¹**National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”**

EVALUATION OF COMPLEX INDICATORS FOR FORECASTING THE STRATEGIC DEVELOPMENT OF RENEWABLE ENERGY SOURCES OF UKRAINE WITHIN THE STRUCTURE OF RENEWABLE NATIONAL ENERGY INDUSTRY OF UKRAINE

The article is devoted to a systematic review of modern trends in the use of renewable energy sources and their impact on the country's energy system. The basis of the analysis is the assessment of the degree of technological maturity of renewable energy technologies, the effectiveness of their implementation in comparison with traditional energy sources. Thanks to a wide range of analysis, the article makes an important contribution to understanding the prospects and determinants of effective implementation of renewable national energy in the context of modern energy challenges and can serve as a basis for further research in this field.

In this article, the Holt method was chosen as the main method for forecasting - to build forecast models for four key components of renewable energy sources (RES) in Ukraine - wind, solar, hydropower and biomass. Based on the forecasting results, the authors determined the prospects for the development of renewable national energy in Ukraine. The obtained results emphasize the strategic importance of intensifying efforts in the field of development, attracting investments and revising the energy policy with the aim of aligning it with global trends towards a carbon-neutral economy. Appropriate recommendations have been developed regarding the revision of the Energy Strategy of Ukraine and the optimization of the legal framework for effective supervision of the proper condition of all generating capacities of the energy system. In the light of these forecasts, the article emphasizes the need for proactive measures to ensure the sustainable and growth of the ecologically clean strategic sector - renewable national energy of Ukraine.

Key words: *renewable energy, forecasting systems, Holt's method, biomass, solar energy, wind energy, TPP (Thermal power plant) on biomass, RES (renewable energy sources).*

References

1. Zaichenko S. et al. Substantiation of diagnostic parameters of autonomous sources of electric energy on the basis of the internal combustion engine at development of system of technical diagnostics //POWER ENGINEERING: economics, technique, ecology. – 2020. – № 3. – С. 29-34..

2. Zaichenko, S., & Derevianko, D. (2023). Comparison of the Energy Efficiency of Synchronous Power Generator with Spark Ignition Engine Using Different Types of Fuels. In *Systems, Decision and Control in Energy V* (pp. 155-177). Cham: Springer Nature Switzerland.

3. Zaichenko, S., Shevchuk, S., Opryshko, V., Pryadko, S., & Halem, A. (2020, May). Autonomous electric power source energy efficiency improvement by internal combustion engine gases distribution control. In 2020 IEEE 7th International Conference on Energy Smart Systems (ESS) (pp. 262-265). IEEE.
4. Kulbovskiy, I., Holub, H., Skliarenko, I., Sorochynska, O., Gurenkova, O., Kyiashko, V., & Kharuta, V. (2020). Investigation of the model of functioning of production and technological potential of subway power supply departments. In Transport Means-Proceedings of the International Conference (pp. 416-420).
5. Holub, H., Kulbovskiy, I., Skok, P., Bambura, O., Melnychenko, O., Kharuta, V., & Tretynychenko, Y. (2020). System model of information flows in networks of the electric supply system in transport infrastructure projects. In Transport Means-Proceedings of the International Conference (pp. 132-135).
6. Walmsley, TG, Philipp, M., Picón-Núñez, M., Meschede, H., Taylor, MT, Schlosser, F., & Atkins, MJ (2023). Hybrid renewable energy utility systems for industrial sites: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 188, 113802.
7. Onu, P., Pradhan, A., & Mbohwa, C. (2023). The potential of industry 4.0 for renewable energy and materials development—The case of multinational energy companies. *Heliyon*, 9(10).
8. Nguyen, TTH, Phan, GQ, Tran, TK, & Bui, HM (2023). The role of renewable energy technologies in enhancing human development: Empirical evidence from selected countries. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 8, 100496.
9. Ge, T., Ge, Y., Lin, S., & Ji, J. (2023). Do energy intensity reduction targets promote renewable energy development? Evidence from partially linear functional-coefficient models. *Energy Strategy Reviews*, 49, 101165.
10. Wali, SB, Hannan, MA, Ker, PJ, Abd Rahman, MS, Tiong, SK, Begum, RA, & Mahlia, TI (2023). Techno-economic assessment of a hybrid renewable energy storage system for rural communities towards achieving sustainable development goals. *Energy Strategy Reviews*, 50, 101217.
11. Schneider, N., & Rinscheid, A. (2024). The (de-) construction of technological legitimacy: Contending storylines surrounding wind energy in Austria and Switzerland. *Technological Forecasting and Social Change*, 198, 122929.
12. Calautit, K., & Johnstone, C. (2023). State-of-the-art review of micro to small-scale wind energy harvesting technologies for building integration. *Energy Conversion and Management: X*, 100457.
13. Gao, Q., Bechlenberg, A., Vakis, AI, Ertugrul, N., Jayawardhana, B., & Ding, B. (2022). Techno-economic assessment of offshore wind and hybrid wind-wave farms with energy storage systems. Available at SSRN 4358078.
14. Qu, LN, Ji, BX, Lim, MK, Shen, Q., Li, LL, & Tseng, ML (2023). A hybrid static economic dispatch optimization model with wind energy: Improved pathfinder optimization model. *Energy Reports*, 10, 3711-3723.
15. Loth, E. (2023). Wind energy value and deep decarbonization design, what's next?. *Next Energy*, 1(4), 100059.
16. AlZohbi, G., AlShuhail, L., & Almoaikel, A. (2023). An estimation of green hydrogen generation from wind energy: A case study from KSA. *Energy Reports*, 9, 262-267.
17. Cañadilla, A., Rodríguez, G., Romero, A., Caminero, MA, & Dura, OJ (2023). Sustainable production of copper components using concentrated solar energy in material extrusion additive manufacturing (MEX-CSE). *Sustainable Materials and Technologies*, e00799.
18. Arroyo, Á., Basurto, N., Casado-Vara, R., Timiraos, M., & Calvo-Rolle, JL (2024). A Hybrid Intelligent Modeling approach for predicting the solar thermal panel energy production. *Neurocomputing*, 565, 126997.
19. Kraaijvanger, CW, Verma, T., Doorn, N., & Goncalves, JE (2023). Does the sun shine for all? Revealing socio-spatial inequalities in the transition to solar energy in The Hague, The Netherlands. *Energy Research & Social Science*, 104, 103245.
20. Sayed, MA, Ahmed, MM, Azlan, W., & Kin, LW (2023). Peer to Peer Solar Energy Sharing System for Rural Communities. *Cleaner Energy Systems*, 100102.
21. Pourasl, HH, Barenji, RV, & Khojastehnezhad, VM (2023). Solar energy status in the world: A comprehensive review. *Energy Reports*, 10, 3474-3493.
22. Kotsialos, A., Papageorgiou, M., & Poulimenos, A. (2005). Holt-winters and neural-network methods for medium-term sales forecasting. *IFAC Proceedings Volumes*, 38(1), 133-138.
23. State Statistics Service of Ukraine [Electronic resource]. Available at: <http://www.ukrstat.gov.ua>.

Надійшла: 06.02.2024
Received: 06.02.2024