



*ЦЕНТР УКРАЇНСЬКИХ СТУДІЙ ПРИ  
ВАРШАВСЬКІЙ ШКОЛІ ЕКОНОМІКИ  
АНАЛІТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ No WP2024/05 UKR*

**СТРАТЕГІЧНИЙ ПОТЕНЦІАЛ  
МІКРОМЕРЕЖ ВІДНОВЛЮВАНОЇ  
ЕНЕРГЕТИКИ:  
ГЛОБАЛЬНІ ТРАНСФОРМАЦІЇ ТА  
ДЕТЕРМІНАНТИ СТАЛОГО РОЗВИТКУ**

**Володимир Липов<sup>1</sup>,  
Наталя Ушенко<sup>2</sup>, Вікторія Гурочкіна<sup>3</sup>,  
Томаш Шапіро<sup>4</sup>, Лариса Шаульська<sup>5</sup>**

**2024**

---

<sup>1</sup> Інститут економіки та прогнозування НАН України, Київ, (Україна), [lyrov\\_vl@ukr.net](mailto:lyrov_vl@ukr.net).

<sup>2</sup> Київський столичний університет імені Бориса Грінченка, Київ, (Україна), [ushenko\\_nv@ukr.net](mailto:ushenko_nv@ukr.net).

<sup>3</sup> SGH Варшавська школа економіки та Зеленогурський Університет (Польща), Київський інститут бізнесу та технологій, Київ, (Україна), [vhuroc@sgh.waw.pl](mailto:vhuroc@sgh.waw.pl), [viktoriov2005@ukr.net](mailto:viktoriov2005@ukr.net)

<sup>4</sup> SGH Варшавська школа економіки, Варшава, (Польща), [tszapiro@sgh.waw.pl](mailto:tszapiro@sgh.waw.pl)

<sup>5</sup> Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, (Україна), [shaulska@knu.ua](mailto:shaulska@knu.ua)

## **CSUkr – Аналітичні дослідження**

*Серія емпіричних та аналітичних наукових досліджень Центру українських студій Варшавської школи економіки (CSUkr SGH) документує наукові роботи співавторів із Польщі та інших країн. Метою досліджень є поєднання експертних знань із практичними рішеннями, заснованими на поглибленому розумінні сучасних соціально-економічних процесів. Зокрема, CSUkr SGH спрямовує свої зусилля на підтримку розвитку наукових зв'язків між Україною та Польщею у контексті відбудови України та її співпраці з країнами Європейського Союзу та іншими міжнародними партнерами. Тематика досліджень охоплює питання міграції, соціально-економічних змін, наукової співпраці та розвитку інновацій, а також інтеграції України до Європейського дослідницького простору. Обговорювані теми безпосередньо впливають на якість освіти, формування майбутніх лідерів та їхню готовність долати глобальні виклики. Центр CSUkr SGH запрошує до співпраці науковців, експертів, здобувачів вищої освіти та представників бізнесу, зацікавлених у розробці дослідницьких проєктів і їх практичному застосуванні, а також у обміні знаннями та розвитку наукової співпраці.*

*Seria empirycznych i analitycznych opracowań naukowych Centrum Studiów Ukrainiskich w Szkole Głównej Handlowej w Warszawie (CSUkr SGH) dokumentuje badania współpracowników w Polsce i poza jej granicami. Celem badań jest wiedza ekspercka i praktyczne rozwiązania budowane dzięki pogłębianiu rozumienia współczesnych procesów społeczno-ekonomicznych. W szczególności celem Centrum jest wspieranie rozwoju więzi naukowych pomiędzy Ukrainą i Polską w kontekście odbudowy Ukrainy i jej współpracy z krajami Unii Europejskiej i jej partnerami. Badania te dotyczą problemów migracji, zmian społeczno-ekonomicznych, współpracy naukowej oraz rozwoju innowacji, a także integracji Ukrainy z Europejską Przestrzenią Badawczą. Podejmowane tematy mają wpływ na jakość edukacji, kształtowanie przyszłych liderów oraz ich gotowość do sprostania globalnym wyzwaniom. Centrum CSUkr SGH zaprasza do współpracy badaniach, w wymianie wiedzy i naukowej współpracy naukowców, ekspertów, studentów oraz przedstawicieli gospodarki zainteresowanych rozwojem projektów badawczych i ich zastosowań.*

*The series of empirical and analytical scientific studies conducted by the Center for Ukrainian Studies at the Warsaw School of Economics (CSUkr SGH) documents research collaborations involving authors from Poland and other countries. The aim of these studies is to integrate expert knowledge with practical solutions, grounded in a deep understanding of contemporary socio-economic processes. Specifically, CSUkr SGH focuses its efforts on fostering the development of academic connections between Ukraine and Poland in the context of Ukraine's reconstruction and its cooperation with the European Union and other international partners. The research topics cover issues such as migration, socio-economic transformations, scientific cooperation, innovation development, and Ukraine's integration into the European Research Area. The discussed themes have a direct impact on the quality of education, the formation of future leaders, and their preparedness to address global challenges. The CSUkr SGH invites academics, experts, higher education students, and business representatives to collaborate on research projects, their practical applications, knowledge exchange, and the advancement of scientific partnerships.*

### **ГРАФІЧНИЙ ДИЗАЙН**

**Анна Алтухова**

**Центр українських студій при Варшавській школі економіки**

**SGH Варшавська школа економіки**

## СТРАТЕГІЧНИЙ ПОТЕНЦІАЛ МІКРОМЕРЕЖ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ: ГЛОБАЛЬНІ ТРАНСФОРМАЦІЇ ТА ДЕТЕРМІНАНТИ СТАЛОГО РОЗВИТКУ

Володимир Липов, Інститут економіки  
та прогнозування НАН України Київ, (Україна).  
Наталя Ушенко, Київський столичний університет  
імені Бориса Грінченка, Київ, (Україна).  
Вікторія Гурочкіна, SGH Варшавська школа економіки,  
Зеленогурський Університет (Польща),  
Київський інститут бізнесу та технологій, Київ, (Україна).  
Томаш Шапіро, SGH Варшавська школа економіки, Варшава, (Польща).  
Лариса Шаульська, Київський національний університет  
імені Тараса Шевченка (Україна).

### АБСТРАКТ

*У дослідженні представлено результати дослідження, метою якого було визначення стратегічного потенціалу впровадження технологій цифровізації у виробництві відновлюваної енергії через створення мікромереж відновлюваної енергії, а також вплив таких технологій на процеси еволюційної глобалізації. Відновлювана енергія є ключовим елементом забезпечення сталого розвитку. Різноманітність альтернативних джерел енергії та велика кількість виробників, здатних пропонувати електроенергію, підкреслюють необхідність створення малих енергетичних мікромереж. Розглянута у дослідженні бізнес-модель розумних мікромереж здатна стимулювати реструктуризацію системи виробництва та ринків розподілу електроенергії. У дослідженні проведено структурний, функціональний, системний та інституційний аналіз. Обговорено характеристики цифрових платформ як організаційної форми розумних мікромереж. Ці платформи забезпечують синергетичний ефект, об'єднуючи малих виробників відновлюваної енергії у мікромережі, що формують двосекторну модель енергетичної промисловості. Аналізується механізм побудови енергетичних систем, заснованих на принципах "Індустрії 5.0", а також аспекти прискорення глобальних цілей сталого розвитку.*

### ЗМІСТ

1	Вступ .....	3
2	Огляд літератури .....	5
	2.1 Розвиток відновлюваної енергетики у світі .....	6
	2.2 Розвиток відновлюваної енергетики в Україні.....	10
3	Цифрові платформи та мікромережі відновлюваної енергетики.....	15
	3.1 Мікромережі відновлюваної енергії.....	16
	3.2 «Індустрія 5.0» – модель розвитку мікромереж відновлюваної енергетики.....	19
	3.3 Мікроглід-екосистема та прискорення сталого розвитку .....	20
4	Глобалізаційний контекст розвитку мікромереж ВДЕ .....	26
5	Висновки .....	30
6	Література .....	33
7	Анотація .....	39

## 1 Вступ

Метою дослідження є визначення стратегічного потенціалу впровадження технологій цифровізації та відновлюваної енергогенерації, формування мікромереж відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) та їх вплив на еволюційні процеси глобалізації. Аналіз включає вплив цих процесів на економіку, навколишнє середовище та світові енергетичні ринки, роль цифровізації в оптимізації енергетичного сектору, а також демократизацію відносин у цій сфері. Зазначено важливість сталого розвитку, пов'язаних з ним цілей та шляхів впровадження нових енергетичних технологій, особливо в контексті викликів і загроз, зокрема, збройних конфліктів. Поглиблення глобалізаційних процесів призводить до трансформацій цивілізаційних концепцій, економічних та соціальних запитів стейкхолдерів у національних системах. Це, в свою чергу, вимагає змін у функціонуванні енергетичного ринку, зростанні ролі та значення цифрових технологій. У кінцевому підсумку трансформуються практично всі складові життєдіяльності суспільства. Це особливо важливо, коли ці зміни зачіпають системоутворюючі галузі економіки. Головне місце серед них посідає виробництво електроенергії.

Енергетичний сектор відіграє парадоксальну роль у житті суспільства. Розвиток технологій, що спираються на використання електричної енергії, забезпечує підвищення життєвого рівня суспільства. Водночас енергетика є найбільшим споживачем невідновлюваних ресурсів та джерелом забруднення навколишнього середовища. Тому сталий розвиток окремих країн і людства в цілому багато в чому залежить від здатності розв'язувати ці суперечливі завдання. Підвищення рівня задоволення потреб людини має відбуватися одночасно з обмеженням негативних наслідків інтенсифікації використання цих ресурсів.

У цьому контексті цифровізація енергетичного сектору та впровадження технологій відновлюваної енергогенерації безпосередньо сприяє досягненню низки цілей сталого розвитку. Серед них основними є: ЦСР 7 - «Забезпечення доступу всіх людей до прийнятних за ціною, надійних, сталих і сучасних джерел енергії», ЦСР 9 - «Створення стійкої інфраструктури, сприяння всеохоплюючій і сталій індустріалізації та інноваціям», ЦСР 11 - «Забезпечення відкритості, безпеки, життєстійкості й екологічної стійкості міст і населених пунктів», ЦСР 12 - «Забезпечення переходу до раціональних моделей споживання і виробництва». Опосередкованими цілями є: ЦСР 8 - «Сприяння безперервному, всеохоплюючому і сталому економічному зростанню, повній і продуктивній зайнятості та гідній праці для всіх», ЦСР 13 - «Вжиття невідкладних заходів щодо боротьби зі зміною клімату та її наслідками», ЦСР 14 - «Збереження та

раціональне використання океанів, морів та морських ресурсів на користь сталого розвитку», ЦСР 15 - «Захист, відновлення та сприяння управлінню екосистемами, раціональне управління лісами, боротьба з опустелюванням, зупинка та повернення назад деградації земель та припинення втрати біологічного різноманіття» («Трансформація нашого світу», 2015).

Цифровізація та використання альтернативних джерел відновлюваної енергії відкривають нові перспективи для галузі. Нарощування загальної потужності та підвищення коефіцієнта корисної дії станцій відновлюваної енергогенерації супроводжується зменшенням негативних екологічних викидів. Забезпечується оптимізація роботи цілого комплексу підприємств генерації, акумуляції та розподілу енергетичних потоків. Створюються можливості для подолання природних монополій на ринках виробництва, передачі, розподілу, роздрібною торгівлі електричною енергією. Зростає потенціал поглиблення диференціації оптового та роздрібного ринків, збільшення кількості їх учасників. Відкриваються перспективи переходу від ієрархічно інтегрованої організації до двосекторної моделі. У ньому традиційна централізована структура доповнюється локальними децентралізованими мікромережами. Вони об'єднують як звичайних споживачів електроенергії, так і домашні господарства, малі та середні підприємства, які можуть самостійно виробляти та постачати на ринок надлишки електроенергії. Таким чином, формуються передумови для трансформації конкурентних відносин на локальному та глобальному ринках.

Цифровізація енергетичного сектору особливо важлива в умовах воєнної агресії з боку росії. Події осені 2022 року продемонстрували важливість реорганізації всього комплексу галузевих підприємств у процесі оперативного реагування на виклики та вдосконалення енергетичної інфраструктури країни. У цих умовах досліджуються можливості, які забезпечують впровадження інформаційних технологій та розвиток цифрових платформ, див. Гриценко, Липов (2020), для подолання загроз невизначеності та нестабільності функціонування енергосистеми у воєнний час, період повоєнного відбудови економіки України, забезпечення сталого розвитку.

Робота структурована з чотирьох розділів. У вступі актуалізовано тему дослідження та окреслено поточні тенденції. У розділі 2 представлено огляд літератури у сфері трансформаційних змін енергетичного сектору на основі цифровізації та активного впровадження відновлюваних джерел енергогенерації. Це включає аналіз цілей сталого розвитку та того, як цифрові платформи (ЦП) впливають на виробництво

та розподіл електроенергії, а також характеристики та переваги альтернативної енергетики.

У розділі 3 обговорюється вплив ЦП і мікромереж ВДЕ на трансформацію глобальних і локальних енергетичних систем, спрямовану на перехід від централізованих до децентралізованих моделей. Розглядаються можливості підвищення енергоефективності та зниження витрат завдяки технологіям, що дозволяють об'єднати виробників і споживачів на основі ЦП для забезпечення ефективного використання відновлюваних ресурсів. Розглядається вплив цифрових платформ та мікромереж ВДЕ на перебудову енергетичного сектору в контексті концепції «Індустрія 5.0». Досліджується, як ці платформи, поєднуючи генерацію, зберігання і розподіл енергії за допомогою технологій штучного інтелекту, Інтернету речей та блокчейну, створюють кіберфізичні системи та підтримують децентралізовану енергетику. Вони сприяють підвищенню стійкості та якості життя територіальних громад, одночасно інтегруючись у глобальні енергомережі для досягнення стійкого розвитку та економічної стабільності.

У розділі 4 автори акцентують увагу на концепції Smart Grid (розумних мікромереж), яка передбачає модернізацію енергетичної системи за рахунок використання інноваційних технологій, таких як інформаційні та телекомунікаційні технології. Розділ 5 детально описує екосистему розумних мереж, її гнучкість, автоматизацію та стабільність мережі, які досягаються завдяки конвергенції мікромереж і місцевих виробників відновлюваної енергії. Мікромережі розглядаються для забезпечення ефективного використання розподілених енергетичних ресурсів (DER), таких як сонячні панелі, домашні батареї та інші відновлювані джерела енергії. У розділі автори представляють деталі формування мікромереж на основі відновлюваної енергії, які зменшують залежність від викопного палива та централізованих енергетичних систем і сприяють демократизації енергетичних відносин. Підкреслено орієнтацію мікромереж на місцеві потреби та їх зосередженість на стратегічному розвитку глобальних енергетичних ринків, тим самим змінюючи баланс економічного впливу між країнами. Робота завершується заключними висновками, пропозиціями, списком джерел та анотаціями польською та англійською мовами.

## **2 Огляд літератури**

Цей розділ складається з двох підпунктів. У підпункті 2.1 представлено огляд глобальних та національних процесів і тенденцій розвитку ВДЕ (на прикладі України), що відображають прагнення до енергетичної безпеки та сталого розвитку. При цьому показано, що інвестиційні ризики та політична нестабільність залишаються значними

перешкодами для розвитку ВДЕ. У підпункті 2.2 подано огляд статистичних даних, який демонструє, що Україна активно розвиває відновлювану енергетику, прагнучи збільшити потужність до 30 ГВт до 2030 року, але стикається з фінансовими труднощами та зростаючим рівнем ризиків, зокрема через воєнну агресію росії проти України.

## **2.1. Розвиток відновлюваної енергетики у світі**

Вже на початку XXI століття Ж.-Ш. Роше та Ж. Тіроль (2003) звертають увагу на формування за рахунок використання платформної бізнес-моделі двостороннього характеру ринків. Визнання революційної ролі ЦП як інноваційної інституційної форми та бізнес-моделі цілком виправдано у назві робіт Г. Паркера та ін. (2016). Зниження транзакційних витрат, як ключова характеристика бізнес-моделі платформи, знаходиться в центрі уваги досліджень М. Мангера (2018).

Водночас суттєві зміни відбуваються у сфері виробництва електричної енергії, див. Л. Руй та ін. (2022). Розвиток альтернативної енергетики, заснованої на використанні відновлюваних джерел, створив можливість звернення до «малої енергії» в межах приватних домогосподарств, див. К. Ференбахер (2017). Наступним кроком у її розвитку є формування мікромереж з виробництва та розподілу електроенергії. М. Хоссейн та ін. (2016) досліджують роль інформаційних та комунікаційних технологій у розвитку мережевої відновлюваної енергетики. Вони, за даними Н. Дженкінс та ін. (2015), надають можливість якісної інтелектуальної оцінки (розумного вимірювання) варіантів планування та організації мережевої роботи. Використання платформної моделі відкриває шлях до забезпечення взаємодії між ними. Л. Кіслінг (2016) та Р. Таборс у співавторстві (2017) зосереджуються на вивченні особливостей його організації.

Брейер (2017) досліджує вплив інтеграції цифрових технологій на децентралізацію енергетики та роль мікромереж у забезпеченні гнучкості та стабільності енергетичних систем. Автор наголошує, що розвиток мікромереж за підтримки цифрових платформ дозволяє не лише підвищити енергоефективність, а й демократизувати доступ до енергії та посилити роль місцевих громад у виробництві та споживанні електроенергії. Зокрема, Брейер аналізує потенціал мікромереж у контексті сталого розвитку та скорочення викидів парникових газів, що вписується в глобальні цілі трансформації енергії.

Наукова література демонструє зростаюче розуміння ринкового потенціалу платформної форми взаємодії у сфері виробництва та розподілу електроенергії, див. Srnicek (2017). Важливою складовою забезпечення ефективності енергетичних мікромереж є можливість накопичення та подальшого перерозподілу тимчасових надлишків генерації енергії. Економічні та політичні аспекти цього процесу перебувають

у центрі уваги дослідження Г. Тімільсіної та ін. (2012). Ю. Параг та Б. Совакул (2016) підкреслюють ключову роль у змінах, що відбуваються, можливості акцентують увагу на ключовій ролі у зміні можливостх поєднання домогосподарствами у межах екосистем платформ ринкових позицій виробників та споживачів електричної енергії та входження цього ринку у еру прос'юмеризму. Важливим аспектом цього є зовнішньоекономічна політика держави в контексті економічної безпеки, дтв. Гурочкіна та ін. (2021, 2024). У свою чергу Т. Морстін зі співавторами (2018) досліджують вплив взаємодії малих мікроекономічних суб'єктів-виробників електроенергії на трансформацію національної системи енерговиробництва.

Спробу глобальної економічної оцінки розвитку сонячної електроенергетики домогосподарств зробили Т. Ланг та ін. (2015). Аналогічне дослідження ринку США підготувала Національна лабораторія відновлюваної енергетики (National Renewable Energy Lab.), див. Р. Фу та ін. (2017). Синергетичні ефекти формування мережевих структур, що об'єднують відновлювані джерела генерації у країнах глобального Півдня та Німеччині розглядаються у колективному дослідженні Г. Кірхгофа зі співавторами (2016). Переваги та проблеми, що породжуються розвитком прос'юмеризму у енергетичній сфері Німеччини досліджуються В.-П. Шиллом та ін. (2017). С.Кван (2017) вивчає вплив особливостей економічного середовища на організацію мереж територіального розподілу електроенергії, що виробляється сонячними електростанціями приватних домогосподарств. У свою чергу група вчених на чолі з С. Каміло (2017) зосереджується на дослідженні економічної доцільності розвитку сонячної енергетики домогосподарств у Португалії. Комплексне дослідження провідного досвіду багатьох країн світу щодо розвитку відновлюваної енергетики та перспективних напрямів розвитку зеленої енергетики представлено у праці О.Корогодової та ін. (2022).

Увагу вчених привертають питання стимулювання розвитку приватної енергогенерації. Серед досліджень відповідної тематики можна відзначити роботу З. Абдмуле та ін. (2015). Автори зосереджуються на дослідженні кращих практик стимулювання інтеграції у галузі відновлюваної енергетики. С. Боренштейн (2017) вивчає вплив таких інструментів як тарифи та податкові пільги. У свою чергу, С. Ейд та ін. (2014) досліджують можливості застосування практик відшкодування мережевих витрат та перехресного субсидування. С.Хагерман та ін. (2016), Т. Ланг та ін. (2016) досліджують можливості малої мережевої електроенергетики за відсутності підтримки з боку держави. Особливості конкуренції як стимулу розвитку мережевої енергетики розглядаються в роботі С. Комелло та С. Райхельштейна (2017).



Розвиток відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) привернув значну увагу в усьому світі через зростання уваги до енергетичної безпеки, стійкості та пом'якшення зміни клімату. Ці процеси досліджуються у роботі Н. Севостьянова, А. Шафороста (2024) і Л.Шаульська та ін. (2021). Очікується, що потужність ВДЕ суттєво зросте з рекордним зростанням у 320 ГВт, запланованим на 2022 рік, про це йдеться в роботі І. Труніна та ін. (2022). Цей перехід до ВДЕ зумовлений такими факторами, як технологічний прогрес, зниження витрат і підвищення ефективності, що зазначається у роботах І. Карабегович, В. Долечек (2015), І. Карабегович (2021). І. Карбовська та ін. (2021) зазначають, що запровадження ВДЕ сприяє зменшенню залежності від викопного палива, підвищенню енергетичної безпеки та сприянню сталому розвитку. Такі країни, як Ісландія, Кенія та Латвія, лідирують у виробництві електроенергії з ВДЕ, тоді як інші, такі як Україна та Великобританія, демонструють швидке зростання, що підтверджує у своїй роботі І. Карбовська та ін. (2021). Інвестиції в технології ВДЕ також призвели до збільшення можливостей працевлаштування в усьому світі. Автор наукової праці А. Клепачка (2019) зазначає, що просування ВДЕ узгоджується з цілями сталого розвитку та вимагає постійної підтримки та навчання. Саме тому для ефективного впровадження та розвитку відновлюваних джерел енергії необхідні комплексні підходи, що включають державну підтримку, залучення інвестицій, розширення освітніх програм та розвиток технічної бази. Такий системний підхід сприятиме прискоренню переходу до стійких енергетичних моделей, зменшенню викидів парникових газів та досягненню енергетичної незалежності, що є важливим для країн із високою залежністю від імпорту енергоносіїв, таких як Україна.

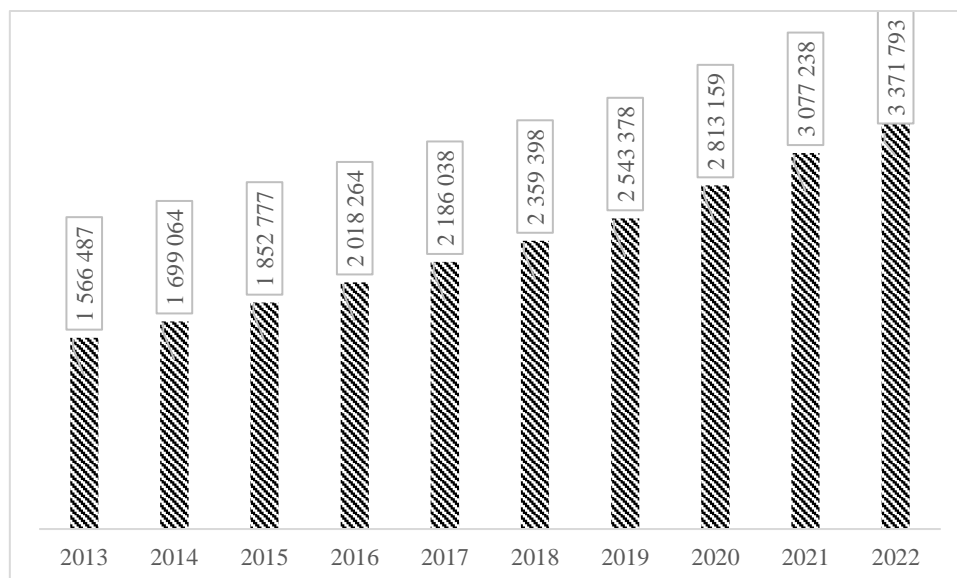
Україна має значний потенціал у цьому секторі, входить до 20 найкращих країн для інвестицій у відновлювану енергетику, що доводять автори праці А. Вороніна, П. Панасюка (2022). А ринок відновлюваної енергетики країни продемонстрував зростання, зокрема сонячної, вітрової та гідроенергії, і про це зазначають автори А.Печенюк та ін. (2022). Проте проблеми залишаються, зокрема інвестиційні ризики через політичну нестабільність і правову невизначеність, за даними В. Якубіва та ін. (2019), Ж. Харламова та ін. (2016). При цьому українська громадськість демонструє попит на відновлювану енергетику та готовність до її впровадження, за даними А. Кузьор та ін. (2021). Враховуючи такі тенденції ряд науковців прийшли до думки, що для подальшого розвитку сектору Україні необхідно запровадити політику підтримки, залучити інвестиції та вдосконалити практику енергоменеджменту, за роботою І. Клопова (2015), С. Денисюка та ін. (2023). Триваюча війна вплинула на сектор відновлюваної енергетики, що вимагає зосередження уваги на відбудові та розвитку в післявоєнний період. Проте в цілому,

відновлювана енергетика в Україні має значний потенціал і перспективи для подальшого зростання, проте для його реалізації необхідні стратегічні кроки, такі як створення сприятливих умов для інвесторів, забезпечення стабільності правової бази та подолання існуючих ризиків. Попри виклики, пов'язані з війною та політичною нестабільністю, наявний попит серед громадськості на екологічно чисту енергію свідчить про готовність країни до змін. У післявоєнний період Україна має можливість не тільки відновити інфраструктуру, а й трансформувати її відповідно до сучасних стандартів сталого розвитку, посилюючи свою енергетичну безпеку та незалежність.

Аналіз глобальних тенденцій зростання потужностей відновлюваної енергетики з 2013 по 2022 рік демонструє значне та послідовне зростання в усьому світі. Дані, як показано на рисунку 2.1, демонструють збільшення загальної потужності відновлюваної енергії більш ніж у два рази, з 1 566 487 МВт у 2013 році до 3 371 793 МВт у 2022 році.

На рисунку 2.1 показано тенденції динаміки зростання потужностей відновлюваної енергетики у світі. Відновлювані джерела енергії активно впроваджуються в багатьох країнах завдяки нижчим технологічним витратам, підтримці урядів і підвищенню обізнаності про важливість екологічної стійкості та безпеки енергетичних систем. Це стало головним чинником поступового зменшення залежності від традиційних джерел енергії, таких як вугілля та нафта, і переорієнтації на сонячну, вітрову, гідро та інші відновлювані джерела енергії.

### Загальна кількість відновлюваних джерел енергії



Дж .: опр. авторами.

**Рисунок 2.1.** Динаміка показників використання відновлюваної енергії у світі, яка характеризує зростання уваги сучасного світу на відновлювальній енергетиці, демонструє поступове, але стабільне зростання як у масштабах глобального виробництва

*енергії, так і в розвитку технологій та інфраструктури для впровадження цих джерел енергії.*

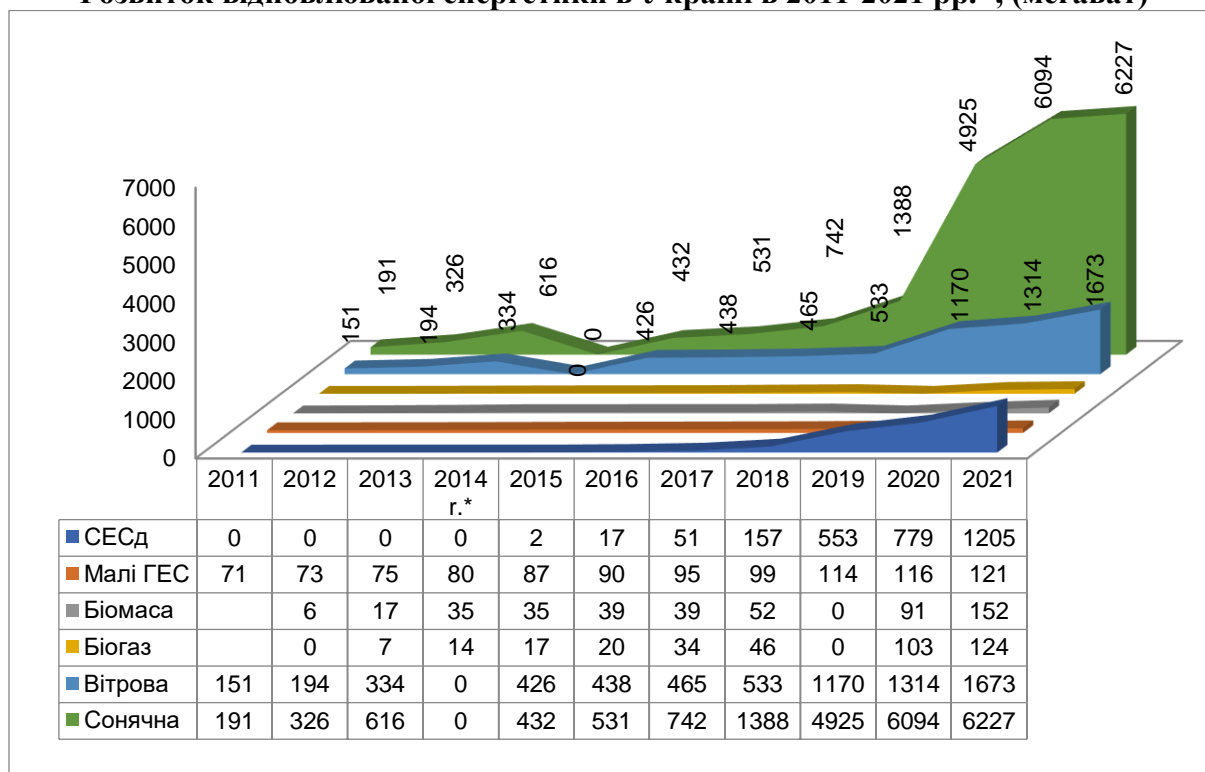
Це зростання відображає потужне глобальне прагнення до більш чистих, стійких енергетичних рішень, яке стимулюється такими факторами як технологічний прогрес, скорочення витрат і глобальний акцент на енергетичній безпеці, стійкості до зміни клімату та скороченні викидів парникових газів. Дана тенденція підкреслює колективну міжнародну прихильність ВДЕ, наголошуючи на важливості подальшої підтримки політики, інвестицій та технічної освіти в цьому секторі для прискорення переходу до моделей сталої енергетики, що має вирішальне значення для країн, які значно залежать від імпорту енергетичних ресурсів, зокрема для України.

## **2.2 Розвиток відновлюваної енергетики в Україні**

На Всесвітньому економічному форумі в Давосі 24 травня 2022 року було презентовано проєкт зі збільшення потужності відновлюваної енергетики в Україні до 2030 року з 9 до 30 ГВт, див. Троценко (2022). Це узгоджується зі світовими тенденціями, які сприяють розвитку ВДЕ як інструменту посилення енергетичної безпеки та прискорення сталого розвитку, про що зазначають І. Труніна та ін. (2022), В. Захарій і Т. Ковальчук (2021). Ряд авторів підтримують таку позицію щодо зусиль країни у напрямі узгоджень з глобальними та європейськими ініціативами, такими як REPowerEU, спрямованими на диверсифікацію джерел енергії та зменшення залежності від викопного палива, див. С. Денисюк та ін. (2023), В. Гурочкіна і С. Когут (2024). Правові та організаційні засади її реалізації закладені Законом України «Про альтернативні джерела енергії», прийнятим Верховною Радою України у грудні 2003 року. Він визначає правові, економічні, екологічні та організаційні засади використання альтернативних джерел енергії та сприяння розширенню їх використання в паливно-енергетичному комплексі (2003). Дані, представлені на рис. 2.2, свідчать про наявність потенціалу для розвитку відновлюваної енергетики в Україні та досягнення певних успіхів у її розвитку.

До цього процесу залучаються великі енергетичні компанії, малі та середні підприємства, окремі домогосподарства. Так, приріст виробництва електроенергії домогосподарствами на основі використання сонячних панелей у 2020 та 2021 роках становив 40,9 та 54,7% відповідно. За цей же період виробництво енергії за рахунок використання біомаси малими фермерськими господарствами зросло на 62,8 та 67,0%.

### Розвиток відновлюваної енергетики в Україні в 2011-2021 рр. <sup>6</sup>, (мегават)



Дж. : розраховано на основі даних Державного агентства з енергоефективності та енергозбереження України (Energy, 2022).

**Рисунок 2.2.** Сформовані дані характеризують тенденцію до зростання загальної встановленої потужності відновлюваної енергетики в Україні з 2011 по 2021 рік. Особливо високий приріст продемонстрували сонячна енергетика та вітрові електростанції, де потужність збільшилася в десятки разів, особливо після 2018 року. Інші джерела, такі як біомаса, біогаз та малі ГЕС, також показують поступове зростання, але з меншими темпами. Загальний тренд свідчить про посилення інтересу та інвестицій в цей сектор, що відповідає глобальній тенденції переходу до чистої енергії, хоча й залишає можливості для подальшого розвитку біоенергетики та малих ГЕС.

Загальна кількість побутових сонячних енергетичних систем (СЕСд) на кінець 2021 року становила 44 888 одиниць, загальна встановлена потужність – 1 205 МВт, обсяг реалізованої електроенергії за «зеленим» тарифом – 1 094 млн кВт·год (Держагентство, 2022). Разом з тим, потенціал розвитку відновлюваної енергетики в Україні використовується далеко не повною мірою. Стримуючими факторами є обмеженість власних фінансових ресурсів, недостатня рентабельність інвестицій, а також підвищений ризик, пов'язаний зі значною залежністю від погодних умов. Варто зазначити, що інвестиційні ризики лише зросли внаслідок військової агресії Росії. Ще

<sup>6</sup>До 2014 року з урахуванням потужностей, розташованих в АР Крим та окупованих частинах Луганської та Донецької областей (разом 633,7 МВт).

одним наслідком цього є виникнення проблем із заповненням джерел покриття «зеленими» тарифами.

До цього процесу залучаються великі енергетичні компанії, малі та середні підприємства, окремі домогосподарства. Так, приріст виробництва електроенергії домогосподарствами на основі використання сонячних панелей у 2020 та 2021 роках становив 40,9 та 54,7% відповідно. За цей же період виробництво енергії за рахунок використання біомаси малими фермерськими господарствами зросло на 62,8 та 67,0%. Загальна кількість побутових сонячних енергетичних систем домогосподарств (СЕС) на кінець 2021 року становила 44 888 одиниць, загальна встановлена потужність – 1 205 МВт, обсяг реалізованої електроенергії за «зеленим» тарифом – 1 094 млн кВт·год (Держагентство, 2022). Разом із тим потенціал розвитку відновлюваної енергогенерації в Україні використовується далеко не в повній мірі.

Чинниками, що перешкоджають або гальмують розвиток відновлюваної енергетики в Україні, виступають такі аспекти, як обмеженість власних фінансових ресурсів, недостатня окупність інвестицій, підвищена ризиковість, пов'язана із суттєвою залежністю від погодних умов, обмежені можливості монетизації надлишків генерації. Цей комплекс чинників представлено на рис. 2.3.



*Дж .: опр. авторами.*

**Рисунок 2.3.** Чинники, що спільно або окремо знижують ефективність розвитку відновлювальних джерел енергії та створюють додаткові виклики для сталого розвитку цієї галузі в Україні.

Можна визначити наступні перешкоди для розвитку переробленої енергії, представлені на рисунку 2.3:

- Дефіцит державних і приватних фінансів для інвестування у відновлювану енергетику суттєво гальмує реалізацію нових проєктів, зокрема малих і середніх об'єктів ВДЕ. Багато українських компаній, що працюють у секторі енергетики, не мають достатніх обігових коштів або доступу до довгострокового кредитування на вигідних умовах, а державні ресурси здебільшого спрямовуються на термінові потреби оборони і відновлення;
- Інвестиції у відновлювану енергетику часто потребують значних початкових витрат, тоді як окупність таких проєктів триває довше порівняно з традиційними джерелами енергії. Через невизначеність щодо «зелених» тарифів та потенційні ризики інвестори зазвичай оцінюють такі проєкти як менш привабливі, що негативно позначається на обсягах залученого капіталу;
- Відновлювані джерела енергії, зокрема сонячна та вітрова генерація, значною мірою залежать від природних умов, які можуть бути непередбачуваними. Зміни клімату та екстремальні погодні явища, що останніми роками стають дедалі частішими, можуть впливати на стабільність генерації та призводити до непередбачуваних спадів у виробництві енергії. Це змушує операторів енергетичних систем шукати способи балансування енергомережі, що потребує додаткових інвестицій у накопичувальні системи або інтеграцію з іншими джерелами;
- Надмірне виробництво енергії з відновлюваних джерел енергії (коли вироблена енергія перевищує поточний попит) залишається невикористаною сферою для монетизації. Україні бракує сучасних технологій для зберігання електроенергії у великих масштабах, як системи електрохімічної, гідроакумуляції, керованої у часі біогенерації, установки водневої генерації та акумуляції. Лишаються обмеженою можливістю використання потенціалу інтеграції української енергосистеми з європейською. Все перелічене не дозволяє повною мірою використовувати можливості енергогенерації в пікові моменти виробництва ВДЕ.

Варто зазначити, що інвестиційні ризики лише посилились внаслідок воєнної агресії з боку росії. Ще одним її наслідком є виникнення проблем з наповненням джерел покриття «зелених» тарифів.

З метою подолання цих перешкод та стабільному розвитку відновлюваної енергетики важливу роль у фінансуванні «зелених» проєктів відіграють, крім іноземних інвестицій - гранти та кредити, а також підтримка міжнародних фінансових організацій, таких як ЄС, Світовий банк, Європейський банк реконструкції та розвитку (ЄБРР).

Процеси інвестування в системи акумулювання енергії та створення умов для інтеграції вітчизняної енергосистеми з європейською ENTSO-E значно підвищує надійність і стабільність відновлюваних джерел. Варто виділити ще важливість процесів децентралізації у контексті забезпечення розподіленої генерації, які підтримують громади, зменшивши залежність від централізованих мереж і підвищуючи стійкість до кризових ситуацій. Україна досягла значного прогресу в розвитку ВДЕ, особливо у секторах сонячної та вітрової енергетики. Однак для повного розкриття цього потенціалу необхідно вирішити питання фінансових обмежень, підвищити рентабельність інвестицій і зменшити ризики, пов'язані з високою залежністю від погодних умов. Проблеми також посилюються через підвищені інвестиційні ризики та перебої, спричинені військовою агресією Росії, що ускладнює фінансування «зелених тарифів». Продовження підтримки та стратегічних заходів є необхідними для забезпечення та розширення потужностей відновлюваної енергетики України.

Для подолання викликів, з якими стикається розвиток відновлюваної енергетики в Україні, перспективним рішенням є створення невеликих мереж генерації електроенергії або мікромереж, які забезпечують децентралізоване і стійке виробництво та розподіл енергії на місцевому рівні. У наступному розділі розглядаються шляхи подолання обмежень у відновлюваній енергетиці шляхом формування та розширення практик цифрових платформ для мікромереж як стратегічного підходу для подолання цих викликів та підвищення енергетичної незалежності.

### **3 Цифрові платформи та мікромережі відновлюваної енергетики**

У цьому розділі розкрито сутність та соціально-економічні характеристики впливу цифрових платформ та мікромереж відновлюваної енергетики (ВДЕ) у трансформаційних змінах локальних та глобальних мереж енергогенерації від превалювання централізованих до децентралізованих систем. Представлено теоретичну модель енергетичної трансформації з використанням цифрових технологій, яка розкриває вплив цифрових технологій на енергетичний сектор, проводячи паралелі з еволюцією змін, такими як перехід від газового до електричного освітлення у 1980-х роках.

У підрозділі 3.1 розглядається концепція «Індустрії 5.0» як передового етапу розвитку мікромереж ВДЕ. Представлено вплив цифрових платформ на реалізацію процесів виробництва, зберігання та розподілу енергії в децентралізованих енергетичних системах. Обговорювалася технологічна інтеграція таких інструментів, як Інтернет речей, блокчейн і штучний інтелект для побудови інтелектуальних віртуальних електростанцій і гібридних енергетичних систем. Аналіз зосереджений на перевагах автоматизації енергетичних процесів і проблемах, пов'язаних з трансформацією енергетичного сектору. Зокрема, було відзначено важливість модульності віртуальних електростанцій, яка дозволяє гнучко управляти розподіленими енергоресурсами. Підрозділ завершується обговоренням соціально-економічних аспектів впровадження «Індустрії 5.0» у мікромережах відновлюваної енергетики, включаючи посилення місцевої енергетичної незалежності, демократизацію доступу до енергії та скорочення викидів парникових газів.

У підрозділі 3.2 представлено аналіз статистичних даних щодо розвитку відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) на глобальному та локальному рівнях. Представлено динаміку збільшення потужностей відновлюваної енергетики з особливим акцентом на тенденції інтеграції мікромереж в енергетичні системи. Аналіз даних підтверджує, що країни, що розвиваються, включно з Україною, активно розвивають технології відновлюваної енергетики для підвищення енергетичної безпеки та зменшення викидів CO<sub>2</sub>. Підрозділ містить порівняння ключових показників, таких як кількість мікро- та макроенергетичних установок та рівень частки відновлюваної енергії в національних енергосистемах. Також були визначені виклики, такі як відсутність стабільних джерел фінансування та зростання геополітичних ризиків, які впливають на темпи енергетичного переходу в деяких регіонах.

Підрозділ 3.3 обговорює процеси інтеграції мікромереж відновлюваної енергії в глобальні та національні енергетичні системи. Представлено функціональність



цифрових платформ, що підтримують управління мікромережами, та їх роль у підвищенні стабільності та ефективності енергопостачання. Аналіз зосереджений на процесі переходу від централізованих до децентралізованих енергетичних систем, який є ключовим для досягнення глобальних цілей сталого розвитку. Також представлено вплив мікрогрид-інтеграції на розвиток місцевих громад, зокрема посилення енергетичної незалежності, створення нових бізнес-моделей та підтримку інноваційних технологій в енергетиці. Нарешті, регуляторні та технічні проблеми, пов'язані з широким впровадженням мікромереж відновлюваних джерел енергії, обговорюються в контексті нестабільності енергетичних ринків і збільшення кількості споживачів.

### **3.1 Мікромережі відновлюваної енергії**

Технологічним базисом та організаційним центром формування екосистеми мікромереж ВДЕ на локальному рівні виступають цифрові платформи, які виконують важливу функцію у забезпеченні результативності ланцюжку створення вартості між виробником та споживачем. Специфіка функціонування мікромереж ВДЕ полягає у тому, що виробник та споживач в залежності від ситуації можуть змінювати ролі, виконувати функції виробника або споживача, тобто набувають статусу прос'юмера, див. Н. Шайн (2016).

У результаті функціонуючі на базі платформ мікромережі ВДЕ, є елементами енергетичної системи місцевої громади та національної системи, поєднуючи централізовану та децентралізовану моделі енергетичних систем. При цьому функціонал цифрових платформ здатний підвищити ефективність використання станцій ВДЕ домогосподарств або МСП, зменшити термін окупності інвестицій для приватних власників та знизити витрати для споживачів, мінімізувати ризики щодо безперервності надання послуг, див. В. Липов (2023).

У сучасних умовах цифрові платформи стали тим інструментом збору даних, аналізу, координації та розподілу енергетичних потоків, який забезпечує мережеву взаємодію між виробником та споживачем, завдяки постійному моніторингу даних про функціонування мікромережі, див. В. Липов, Н. Ушенко (2023).

Цифрова трансформація виступає основним джерелом змін у перебудові функціонування локальних та централізованих енергосистем, а цифрові платформи виконують функцію модернізації, формування комбінованих енергетичних систем. Концепція «платформізації» в енергетичному секторі зосереджується на виробничих процесах на основі даних, мережевій співпраці між незалежними виробниками енергії та переході до горизонтальної взаємодії між ними. При цьому слід зазначити, що

поширення цифрових платформ призводить до нових викликів у секторі. Серед них - реіндустріалізація, взаємодія P-2-P, зміни відносин власності та зміни в конкурентній політиці, розширення можливостей забезпечення національної безпеки та економічної стабільності.

Логічним буде перейти до визначення впливу платформізації як на великих виробників енергії, так і на МСП, встановити концептуальну основу для розуміння переходу до децентралізованих і комбінованих енергетичних мереж. Напрями змін у енергетичній галузі визначаються ключовими тенденціями розвитку і впровадження нових технологій, зростанням динаміки енергетичних ринків, посиленням ролі та важливості їх державного регулювання в умовах підвищеної волатильності та невизначеності в бізнес-середовищі.

Департамент енергетики Управління електроенергетики США є показовим у контексті визнання національної важливості цього процесу, метою інтеграції відновлюваної енергетики є просування системного проектування, планування та експлуатації електричної мережі (Офіс, 2020). Серед першочергових дій:

- скорочення викидів вуглецю та інших забруднювачів повітря шляхом збільшення використання відновлюваних джерел енергії та іншої чистої розподіленої генерації;
- збільшення використання активів за рахунок інтеграції розподілених систем і навантажень клієнтів для зниження пікового навантаження і тим самим зниження витрат на електроенергію;
- сприяння досягненню стандартів портфеля відновлюваних джерел енергії для відновлюваної енергетики та енергоефективності;
- підвищення надійності, безпеки та відмовостійкості від додатків мікромереж у захисті критичної інфраструктури та зонах електромережі з високим ступенем обмеженості;
- скорочення використання палива шляхом забезпечення роботи електромобілів.

Таким чином, нинішня цифрова трансформація в енергетиці буде поступовою, але зрештою змінить структуру галузі, переводячи її від централізованих до децентралізованих та комбінованих систем. При цьому інтеграція мікромереж ВДЕ фокусується на включенні відновлюваної, розподіленої енергогенерації, зберігання енергії та реагування на попит у систему розподілу та передачі електроенергії.

### 3.2 «Індустрія 5.0» – модель розвитку мікромереж відновлюваної енергетики

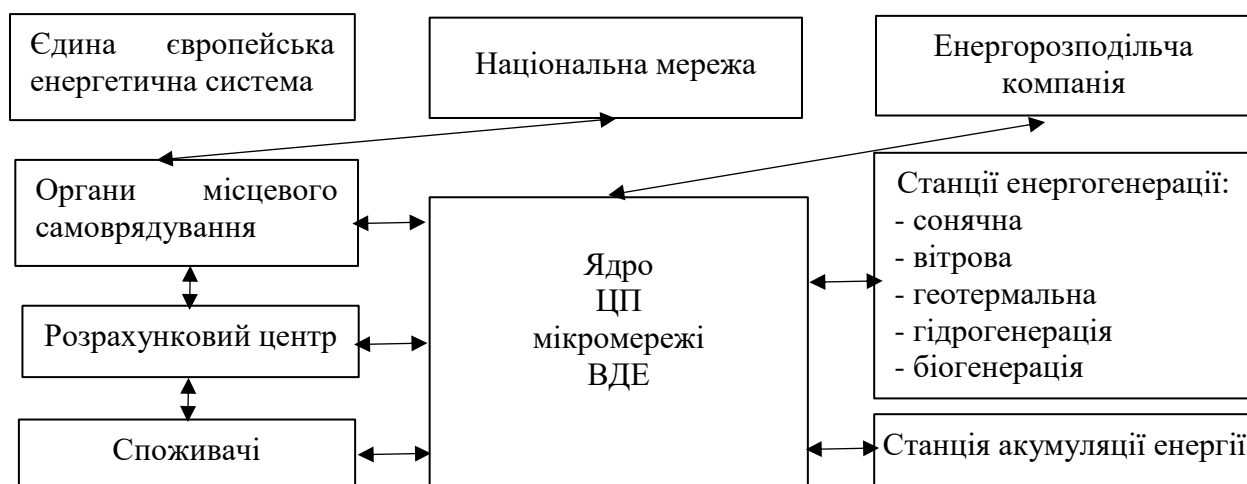
Представлено аналіз просторових механізмів змін у енергетичному секторі, визначено специфіку впливу цифрових платформ і мікромереж ВДЕ на структурні трансформації, операційну ефективність, а також роль державного регулювання в контексті інтеграції нових технологій з існуючими структурами. А. Ренді та ін. (2021) зазначають, що впровадження цифрових платформ у межах малої генерації енергії дозволяє енергетичному сектору прийняти модель «Індустрія 5.0», інтегруючи процеси виробництва, зберігання та розподілу енергії як компоненти єдиної системи соціально-відповідальної взаємодії в суспільстві.

За допомогою таких проєктів, як Siemens IREN2 та мікромережа Brooklyn, ця цифрова трансформація використовує технології, такі як Інтернет речей, блокчейн та штучний інтелект, для створення «розумних віртуальних електростанцій» – саморегульованих кібер-фізичних систем, що підтримують децентралізовані, стійкі та ефективні енергетичні мережі як на місцевому, так і на глобальному рівнях.

Застосування цифрових платформ у мережі мікрогрід демонструє інноваційний потенціал розвитку глобального енергоринку в контексті реалізації «Індустрії 5.0», що включає в себе повний цикл виробничих та управлінських процесів - генерацію, накопичення, підтримку, розподіл та споживання енергії в єдиній системі та демократизацію залучення мешканців територіальних громад до вирішення завдань посилення енергетичної стійкості, підвищення якості життя в громаді.

Відмінною особливістю побудови цифрових платформ у сфері генерації енергії на базі Індустрії 5.0 є повна автоматизація взаємодії між усіма учасниками процесу виробництва та споживання енергії. Цифрові платформи забезпечують можливість оперативного реагування на зміни, що відбуваються у внутрішній системі під впливом зовнішнього середовища. Ядро платформи як технологічна складова моделі «Індустрія 5.0» в енергетичній сфері забезпечує координацію діяльності всіх складових. Цифровий двійник мікромережі ВДЕ забезпечує можливість відстежування процесів, що відбуваються в екосистемі цифрової платформи фізичними об'єктами. Інтернет речей, цифрові екосистеми, великі дані, системи алгоритмічного управління і штучного інтелекту є елементами технологічного забезпечення діяльності мікромереж ВДЕ. На рис. 3.1 представлено структуру цифрової платформи в системі глобальної енергогенерації.

### Структура цифрової платформи мікромережі ВДЕ в системі глобальної енергогенерації



Дж. : опр. авторами.

**Рисунок 3.1.** Схема ілюструє структуру цифрової платформи мікромережі ВДЕ в системі глобальної енергогенерації. Він демонструє інтеграцію різних виробників енергії, включаючи сонячну, вітрову, гідро, геотермальну, біоенергетику, комбіновані джерела енергії та станції акумуляції - «просьюмерів». Вони формують ядро платформи мікромережі ВДЕ. Вона працює як енергетичний півострів, що взаємодіє з національною енергетичною мережею. Остання в свою чергу приєднана до Єдиної європейської енергетичної системи.

На рисунку 3.1 представлено структурні елементи цифрової платформи мікромережі ВДЕ. Модель застосування принципів «Індустрії 5.0» в енергетиці передбачає інтеграцію в єдину локальну екосистему цифрової платформи власників персональних дахових сонячних (фотоелектричних) систем, вітро-, біо- та гідроенергетичних установок, станцій акумуляції. Тим самим забезпечується мотивація їх власників до монетизації надлишків енергогенерації завдяки можливості приєднання до роздрібного ринку електричної енергії. При цьому низькі трансакційні витрати на обмін енергетичними потоками залишаються мінімальними.

Ядро цифрової платформи є основною технологічною складовою моделі «Індустрія 5.0» в мікромережі ВДЕ, яка забезпечує координацію дій всіх компонентів. Їх застосування дає можливість об'єднати в єдиному виробничому процесі максимально широке число учасників або технологічних складових незалежно від їх просторового розташування (локальне/глобальне) і характеру взаємозв'язку (ієрархічна підпорядкованість, горизонтальна взаємодія). У цьому підрозділі розкрито зміст інтеграції мікромереж ВДЕ у систему «Індустрія 5.0» в контексті посилення соціальної складової взаємодії територіальних громад з метою посилення енергетичної стійкості.

Структурна складова моделі мікромережі ВДЕ включає елементи, що забезпечують генерацію, акумуляцію, розподіл енергетичних потоків, збір та аналіз відповідних даних, оперативне реагування та управління енергетичними потоками в мікромережі ВДЕ, інтеграцію з національною та через неї з Єдиною європейською енергетичною системою.

Реалії цієї проблематики з урахуванням суспільно-політичного життя глобалізованого світу проявляються у двох контекстах. По-перше, повноцінна підтримка реалізації глобальних цілей сталого розвитку з акцентом на синергію цифрових та зелених трансформацій. По-друге, посилення стійкості ланцюжків доданої вартості до кризових явищ та процесів (воєнних подій, епідемій та ін.). У сукупності це сприяє тяжінню соціально-економічних систем загалом та, зокрема, енергетичної системи до глобальної інтеграції на основі трансформацій умов і компонентів системи життєзабезпечення людей.

### **3.3 Мікрогрід-екосистема та прискорення сталого розвитку**

Концепція Smart Grid полягає у впровадженні інноваційних технологій, зокрема технологій ВДЕ, інформаційних і телекомунікаційних технологій, у енергетичні системи з метою підвищення їх ефективності, економічності, стабільності та надійності роботи. Завдяки цьому мережа ВДЕ стає більш автоматизованою, гнучкою та здатною до самостійного контролю. Розбудова екосистеми мікрогрідів на шляху прискорення сталого розвитку сприяє інтеграції відновлюваних джерел енергії та мінімізації негативного впливу на довкілля, зменшуючи залежність від традиційних джерел енергії, а також забезпечує локальну енергетичну незалежність громад, підвищуючи стійкість до зовнішніх кризових факторів. К. Андрющенко та ін. (2019) розглядають впровадження технології Smart Grid як природну еволюцію енергетичної системи, яка покращує енергоефективність і забезпечує точні розрахунки. Мікромережі ВДЕ об'єднують на локальному рівні невеликих виробників електроенергії (фермерські господарства, малі підприємства, домогосподарства, комунальні підприємства). А.Квасинський та ін. (2016) визначають їх як *«...групу взаємопов'язаних станцій генерації ВДЕ в системі розподілу енергетичних потоків у чітко визначених межах, які діють як єдина контрольований об'єкт щодо мережі...»*.

Основні характеристики мікромереж ВДЕ включають: автоматизацію управління та моніторинг, двосторонній обмін енергії та даних, інтеграцію відновлюваних джерел енергії, скорочення витрат в мережі та економію ресурсів, розвиток децентралізованих систем.

1. Автоматизація управління та моніторинг. Завдяки інтелектуальним датчикам і системам моніторингу Smart Grid автоматично відстежує стан мережі та оперативне реагування на зміни, що допомагає уникати перебоїв у електропостачанні.

2. Двосторонній обмін інформацією та енергією. Технологія Smart Grid дозволяє енергетичним компаніям і споживачам обмінюватися даними в режимі реального часу, оптимізуючи споживання енергії, знижуючи витрати для користувачів і допомагаючи підтримувати стабільність системи.

3. Інтеграція відновлюваних джерел енергії (ВДЕ). Smart Grid полегшує роботу сонячних і вітрових електростанцій, які зазвичай характеризуються нестабільністю генерації, і допомагає стабілізувати їх вплив на загальну енергосистему.

4. Зменшення втрат мережі та економія ресурсів. Оптимізовані технології управління та енергозбереження зменшують втрати енергії під час транспортування та розподілу, роблячи систему екологічнішою.

5. Розвиток децентралізованих систем. Підтримка мікромереж і розподіленої генерації дозволяє створювати автономні енергосистеми на рівні окремих громад або підприємств.

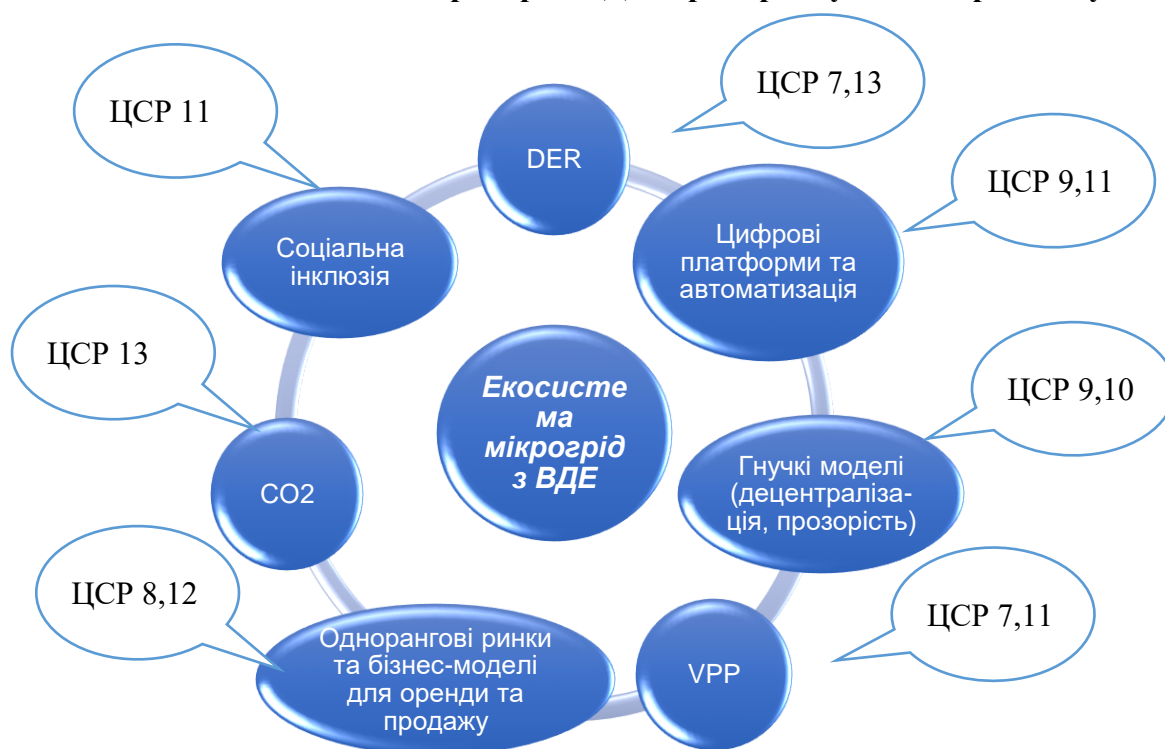
Концепція Smart Grid спрямована на створення більш стійкої, надійної та адаптивної енергетичної системи, яка здатна відповідати сучасним викликам, таким як збільшення попиту на електроенергію, інтеграція ВДЕ та нарощування енергоефективності.

Мікромережі ВДЕ сприяють досягненню сталого енергетичного розвитку, оскільки вони забезпечують інтеграцію відновлюваних джерел енергії та сприяють енергетичній автономії на місцевому рівні. Побудова екосистеми мікромережі ВДЕ передбачає взаємодію кількох ключових компонентів, серед яких формування локальної енергогенерації на основі використання технологій розподілених енергетичних ресурсів (DER), використання ЦП для автоматизації та ефективного управління енергетичними потоками, а також бізнес-моделі монетизації надлишків енергогенерації. Такі системи не лише сприяють скороченню викидів парникових газів, але й підвищують енергетичну безпеку та гнучкість енергетичних мереж, зменшують залежність від централізованого постачання енергії.

Враховуючи численні екологічні та соціально-економічні переваги, мікромережа ВДЕ стає ключовим елементом у розвитку стійкого енергетичного майбутнього, сприяючи досягненню глобальних цілей сталого розвитку. На рис. 3.2 представлено

структурні елементи екосистеми мікромереж ВДЕ та розкрито комплементарність системи цінностей в контексті досягнення глобальних цілей сталого розвитку.

### Екосистема мікромереж ВДЕ через призму сталого розвитку



Дж. : опр. авторами.

**Рисунок 3.2.** Структурні елементи екосистеми мікромереж ВДЕ роковують комплементарність системи цінностей в контексті прискорення реалізації глобальних цілей сталого розвитку. Основним пріоритетом серед набору цінностей є ЦСР 11 «Забезпечення відкритості, безпеки, сталості та сталості міст та населених пунктів».

У структурі екосистеми мікромережі ВДЕ на рис. 3.2, що забезпечують прискорення сталого розвитку доцільно виділити ключові елементи:

1. Локальна енергогенерація та технології розподілених ресурсів енергогенерації (DER).
2. Інтеграція з цифровими платформами та автоматизація.
3. Функціонування моделей оренди та продажу надлишкової енергії.
4. Модульні та віртуальні електростанції (VPP).
5. Децентралізований обмін енергією через цифровий енергетичний ринок.
6. Екологічні та соціально-економічні переваги мікромереж ВДЕ.

Локальна енергогенерація та технології розподілених ресурсів енергогенерації (DER). Локальні виробники енергії - малі підприємства, фермерські господарства,

домогосподарства та комунальні підприємства, що генерують електроенергію з відновлюваних джерел, таких як сонячні панелі, малі вітрові установки, біоенергетичні системи. DER - невеликі комплекси активів, що генерують, акумулюють, здійснюють обмін та перерозподіл енергії. Складовими є rooftop PV-панелі, домашні акумуляторні батареї, малі вітрові турбіни, які забезпечують гнучкість у використанні електроенергії на місцевому рівні. Локальна генерація з використанням ВДЕ, таких як вітрова генерація, сонячні панелі, сприяє досягненню ЦСР 7 (Доступна та чиста енергія), оскільки розширює доступ до стабільної та екологічної електроенергії, особливо в ізольованих районах. Вона також підтримує ЦСР 13 (Боротьба зі зміною клімату) завдяки скороченню викидів парникових газів, що виниють при традиційному виробництві енергії з викопного палива.

Інтеграція з ЦП та автоматизація – по-перше, це використання ЦП для автоматизації процесів обміну та продажу енергії в межах локальних мереж мікрогрід. Ці платформи дозволяють скоротити трансакційні витрати та покращити контроль за розподілом енергоресурсів. По-друге, впровадження систем управління DER, що координують роботу різних енергетичних активів у межах мікромережі, забезпечують стабільність постачання енергії. Автоматизація забезпечує інтеграцію таких пристроїв, як сонячні панелі та акумулятори, у віртуальні електростанції та інші великі модульні мережі.

Розвиток ЦП для бізнесу і однорангових ринків тісно пов'язаний із впровадженням технологій DER. DER-активи, як-от сонячні панелі або невеликі акумулятори, дають можливість як для самостійного споживання енергії, так і для її продажу в межах мікромережі ВДЕ. Це створює новий рівень енергетичної автономії, дозволяючи об'єднувати ресурси у віртуальні електростанції та знижувати навантаження на центральні енергомережі. Застосування цифрових платформ спрощує транзакції в DER середовищі, автоматизуючи обмін електроенергією та інтеграцію пристроїв, таких як розподілені сонячні панелі. Це сприяє розвитку цифрових енергетичних ринків, де учасники можуть купувати чи продавати надлишки енергії через ЦП. У поєднанні з технологіями розумних мереж, цифрова автоматизація дозволяє оптимізувати виробництво і споживання в децентралізованих системах, підвищуючи стійкість і ефективність енергоспоживання. Такі зміни стимулюють розвиток ринку домашнього енергоменеджменту, сприяють зростанню частки відновлюваних джерел та заохочують споживачів до активного управління власною енергетикою.

Використання ЦП для управління DER сприяє досягненню ЦСР 9 (Промисловість, інновації та інфраструктура) шляхом впровадження інноваційних



рішень у секторі енергетики. Автоматизація процесів допомагає забезпечити стабільне енергопостачання, підтримуючи досягнення ЦСР 11 (Сталий розвиток міст і громад).

Однорангові ринки та бізнес-моделі оренди засобів акумуляції та продажу надлишкової енергії, такі як локальні ринки, де власники DER можуть продавати надлишки виробленої енергії іншим учасникам мікромережі, які цього потребують. Це дозволяє підвищити ефективність використання генерованої енергії та знизити навантаження на централізовану мережу. Інноваційні бізнес-моделі для оренди та спільного використання (наприклад, моделі «pay-per-use» або оренда обладнання (станції накопичення) для домогосподарств, які не можуть собі дозволити придбання та установку власних станцій ВДЕ.

Локальні ринки сприяють розвитку сталих моделей споживання і виробництва (ЦСР 12), оскільки стимулюють ефективніше використання енергоресурсів і мінімізують надмірне навантаження на центральні мережі. Можливість продажу надлишків енергії також допомагає досягти ЦСР 8 (Гідна праця та економічне зростання) через створення нових можливостей використання власних ресурсів на основі використання нових бізнес-моделей, відкриття нових енергетичних ринків.

Об'єднання локальних DER в модульну структуру сприяє функціонуванню єдиної віртуальної електростанції. VPP дозволяє централізовано контролювати велику кількість розподілених ресурсів, підтримувати енергобаланс у мережі та забезпечувати резервні потужності. Крім того, модульність для гнучкої інтеграції дозволяє швидко адаптувати та інтегрувати нові енергетичні ресурси, підлаштовуючись під потреби локальних споживачів та реагуючи на зміни попиту.

Віртуальні електростанції сприяють досягненню ЦСР 7, забезпечуючи стабільне і чисте енергопостачання через координацію розподілених ресурсів. Модульність VPP підтримує гнучкість та швидку адаптацію до зміни попиту, що є важливим для забезпечення надійності енергопостачання в містах і сільських районах (ЦСР 11).

Децентралізований обмін енергією через цифровий енергетичний ринок. ЦП забезпечує підвищену прозорість і сприяє створенню гнучких моделей управління енергією. Вона підтримує функціонування децентралізованого ринку, дозволяючи учасникам мікромережі ВДЕ обмінюватися енергією в реальному часі та взаємодіяти з централізованою енергосистемою. Застосування цифрових технологій дозволяє автоматизувати процеси обміну енергією, знижуючи витрати на ведення бізнесу та підвищуючи конкурентоспроможність локальної енергетики. Цей елемент сприяє досягненню ЦСР 9, стимулюючи розвиток цифрових рішень для енергетичної

інфраструктури та підвищуючи конкурентоспроможність локальних енергетичних ринків. Водночас, підтримує ЦСР 10 (Зменшення нерівності) шляхом надання доступу до дешевої та чистої енергії для більшої кількості людей.

Екологічні та соціально-економічні переваги мікромереж ВДЕ, що використовують ВДЕ, суттєво знижують залежність від викопного палива, що допомагає скоротити викиди парникових газів та сприяє покращенню екологічної ситуації. В цілому мікромережі забезпечують інклюзію на енергетичному ринку, стабільне енергопостачання, особливо в умовах криз чи перебоїв у роботі централізованої мережі. Використання мікромережі ВДЕ сприяє підвищенню енергетичної безпеки та сталому розвитку місцевих громад. При цьому знижується залежність від викопного палива, сприяючи підтримці ЦСР 13. Крім того, забезпечення стабільного енергопостачання навіть під час криз підвищує енергетичну безпеку громад, що відповідає ЦСР 11.

Структурні елементи в екосистемі мікромережі ВДЕ підвищує їх ефективність та гнучкість. Це сприяє економічному зростанню та сталому розвитку на основі налагодження нових форм та інструментів ринкових відносин завдяки інтеграції ВДЕ та цифрових технологій.

Сучасний підхід до децентралізації та диверсифікації енергопостачання, а також технологій енергоменеджменту покращує економічні та екологічні результати, забезпечуючи більш ефективне управління ресурсами та підтримуючи інновації в енергетичному секторі.

#### 4 Глобалізаційний контекст розвитку мікромереж ВДЕ

Формування мікромереж ВДЕ пов'язане з процесами глобалізації. Варто враховувати двосторонній характер цього процесу, взаємний вплив глобалізації та розвитку мікромереж ВДЕ. Парадоксальним чином посилення локалізації в енергетичній сфері зумовлює суттєві зміни на глобальному рівні. Відбувається ґрунтова трансформація сектору енергогенерації, глобальних енергетичних ринків, системи взаємозв'язків і взаємозалежностей між країнами і цілими регіонами - учасниками глобальної взаємодії. Заслуговує на увагу дослідників і той факт, що розповсюдження наслідків цієї трансформації виходить далеко за межі суто економічних відносин. Забезпечуються демократизація відносин між виробниками і споживачами енергії, ліквідація монополізму в системах централізованої енергогенерації, див. Ф. Морет, П. Пінсон (2018). Демократизація взаємодії учасників мікромереж ВДЕ на місцевому рівні, завдяки скороченню залежності від викопних енергетичних ресурсів дає поштовх процесу демократизації міжнародних відносин у енергетичній сфері. Розвиток мікромереж ВДЕ сприяє скороченню залежності імпортерів викопного палива від країн - постачальників. Відкривається можливість перерозподілу центрів глобального впливу, зміни ролі і місця окремих країн і навіть регіонів, демократизації взаємодії на глобальному рівні. Розвиток взаємодії у власників станцій ВДЕ на локальному рівні набуває особливого значення контексті розгортання зусиль з підтримки стійкого розвитку, див. Т. Бауенс, Н. Ере (2017). Зупинимося на окремих аспектах взаємодії розвитку мікромереж ВДЕ і глобалізації більш детально.

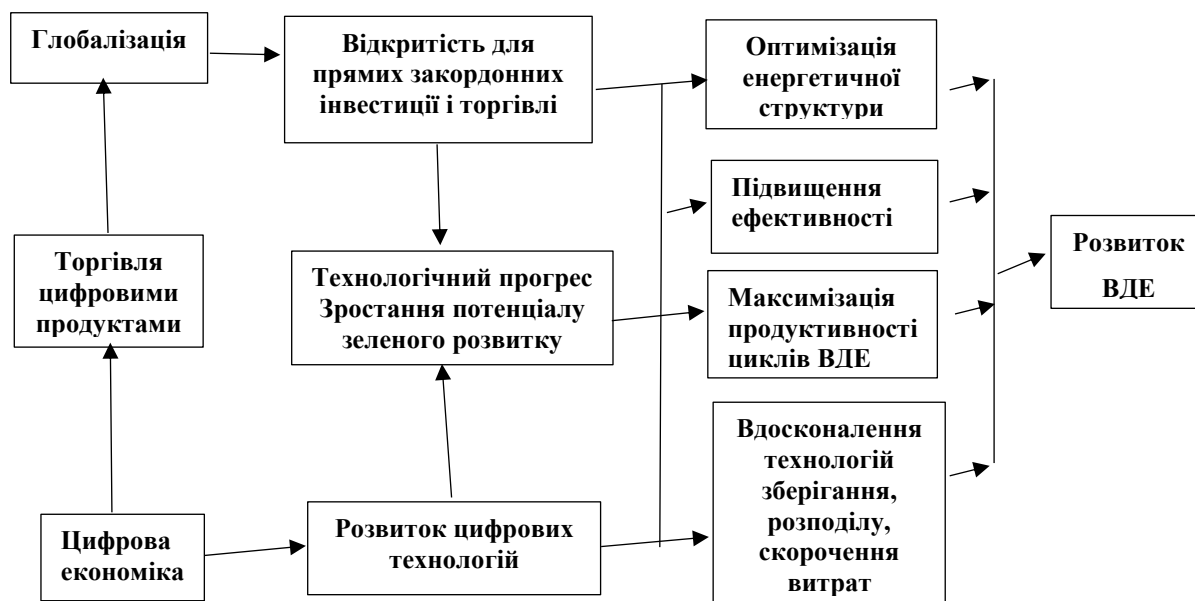
Автори дослідження «Вплив глобалізації економіки на відновлювану енергетику в країнах ОЕСР» пропонують розглядати економічну глобалізацію як механізм сприяння поширенню ВДЕ у якості елемента підтримки стійкого розвитку, див. Г. Гозгор та ін. (2020). Можна виділити кілька складових цього процесу. Цілком передбачувано інтенсифікація міжнародної взаємодії, забезпечувана глобалізацією, сприяє й розвитку відновлюваної енергогенерації. Чим інтенсивніше країна взаємодіє з зовнішнім оточенням, тим швидше інноваційні технології, до яких відносяться й технології ВДЕ, попадають на внутрішні ринки інших країн, полегшується запозичення відповідних знань та навичок роботи з ними, див. Ф. Зерен, Н. Аку (2020). Водночас, Н. Дойтч, С. Нарайн (2016) зазначають, що спрощується міжнародний рух інвестицій, спрямованих на підтримку розвитку ВДЕ в різних регіонах світу. Рівень розвитку відновлюваної генерації в країні залежить і може бути представлений як функція від таких показників, як рівень розвитку фінансового сектору, доступність прямих іноземних інвестицій,

рівень доходу населення, та цін на електроенергію, див. Anton та Afloarei (2020). Виробники відповідного обладнання, фінансові інститути країн, які вони представляють виявляються зацікавленими у підтримці просування своєї продукції на глобальних ринках. В кінцевому підсумку глобалізація суттєво полегшує швидке розповсюдження та масштабування технологій відновлюваної енергогенерації. У свою чергу об'єднання окремих станцій ВДЕ у мікромережі, завдяки можливості монетизації надлишкової енергогенерації забезпечує підвищення ефективності використання обладнання та прискорення його окупності. Ключовими чинниками, що впливають на інтенсифікацію цього процесу та особливості його прояву в окремих країнах є дохід та рівень викидів вуглекислого газу на душу населення, ступінь розвитку та характер організації системи централізованої енергогенерації, співвідношення та рівень ціни на вивантажені та відновлювані джерела енергії, рівень та характер підтримки впровадження останніх зі сторони держави.

У контексті теми дослідження особливий інтерес представляє взаємозв'язок між глобалізацією, впровадженням цифрових технологій та розвитком відновлюваної енергогенерації. Цифровізація економічних відносин відкриває широкі можливості для торгівлі цифровими продуктами та використання цифрових технологій для полегшення здійснення міжнародних торгових операцій та прямого міжнародного інвестування, як ключових компонентів економічної глобалізації. У поєднанні зі стимулюванням подальшого розвитку цифрових технологій вона забезпечує прискорення технологічного прогресу та зростання потенціалу зеленого розвитку. В енергетичній сфері ці процеси проявляються через вдосконалення технологій зберігання, та розподілу енергії, скорочення витрат, скорочення пов'язаних з цим витрат, максимізації продуктивності та підвищенні ефективності циклів ВДЕ. Результатом стає оптимізація енергетичної структури (див. рис. 4.1), див. З.Чжан та ін. (2022).

Водночас, варто враховувати, що розвиток мікромереж ВДЕ справляє зворотній вплив на процеси глобалізації. Створення мікромереж ВДЕ сприяє посиленню ефективності використання потенціалу джерел відновлюваної енергогенерації. Скорочується її ціна. Вже зараз формується ситуація, коли традиційна централізована система енергопостачання виявляється неконкурентоспроможною у порівнянні з розподіленими системами енергогенерації. Зростає частка ВДЕ у структурі споживання енергії. За твердженням експертів корпорації McKinsey до 2050 р. частка джерел ВДЕ в глобальному споживанні енергії має досягти від 65 до 80 %, див. McKinsey&Company (2024).

### Механізм впливу глобалізації та цифровізації економіки на розвиток відновлюваної енергогенерації



Дж. : опр. авторами.

**Рисунок 4.1.** Структурні елементи механізму впливу глобалізації та цифровізації економіки на розвиток ВДЕ характеризують процеси оптимізації енергетичної структури, що в подальшому впливає на розвиток відновлюваної енергетики.

На рисунку 4.1. представлено структурну модель механізму впливу глобалізації та цифровізації економіки на розвиток відновлюваної енергетики. Модель показує, як відкритість для прямих іноземних інвестицій, торгівля та розвиток цифрових технологій сприяють оптимізації енергетичної структури, підвищенню ефективності та максимізації ефективності відновлюваних джерел енергії. Крім того, наголошено на важливості вдосконалення технологій зберігання та розподілу енергії з метою зниження витрат. Така систематизація даних дозволяє ідентифікувати ключові процеси, що впливають на перетворення енергії, підтримує планування стратегій розвитку відновлюваної енергетики та вказує на зв'язки між глобалізацією, цифровізацією та сталим розвитком енергетичного сектору.

Зростання ролі систем розподіленої енергогенерації створює можливості демонополізації енергетичних ринків. У першу чергу розвинені країни, розташовані у кліматичних зонах зі сприятливими умовами до сонячної енергогенерації активно переходять до створення систем розподіленої генерації. Централізовані системи втрачають конкурентні переваги. Вже сьогодні окремі міста у США на 80 % забезпечують власні енергетичні потреби за рахунок ВДЕ. Мікромережі отримують

широке поширення у якості ключового елемента системи енергозабезпечення. Поєднання на базі цифровізації розвитку технологій ВДЕ і технологій, що забезпечують зростання ефективності використання енергетичних ресурсів, створює можливості суттєвого скорочення використання викопного палива. Країни-експортери нафту та газу, стикаються з загрозою швидкої втрати джерел забезпечення розвитку власної економіки, а також втрати важелів впливу у глобалізованому світі. Відкривається перспектива чергового перерозподілу ролі й місця в глобальній економіці не лише окремих країн, але й їх груп, окремих регіонів світу.

Розвиток мікромереж ВДЕ водночас є продуктом глобалізації та інструментом її подальшого розвитку навіть у часи, коли загальний тренд її активного розвитку змінюється на протилежний. Парадоксальність цього процесу лише підкреслюється тим фактом, що в основі ідеї формування мікромереж ВДЕ є намагання забезпечити можливість вирішувати локальні проблеми певної громади не покладаючись на зовнішнє джерело енергозабезпечення. Однак навіть у цьому випадку отриманий результат виходить далеко за межі цієї громади.

## 5 Висновки

Актуальний геополітичний ландшафт, що характеризується посиленнями зусиллями агресорських країн щодо компрометації енергетичної безпеки України, підкреслює термінову необхідність у новаторських рішеннях для підтримання стабільності енергетичної системи країни. У цьому контексті розвиток маломасштабних відновлюваних джерел енергії є особливо перспективним. Україна досягла значних успіхів у розширенні своїх потужностей у сфері сонячної енергії та біомаси, особливо через малий фермерський сектор. Незважаючи на ці досягнення, повний потенціал генерації відновлюваної енергії залишається в значній мірі недосяжним. Серед факторів, які впливають на це, є обмежені фінансові ресурси, доступні для підприємств і домогосподарств, недостатня державна підтримка та підвищені інвестиційні ризики, пов'язані з триваючим воєнним конфліктом, які загострили невизначеність щодо життєздатності зобов'язань по «зелених» тарифах.

Життєздатною стратегією для подолання цих викликів є об'єднання малих виробників електроенергії - тих, хто використовує відновлювані ресурси, такі як сонячна, вітрова, гідро- та біомаса, в локальних мікромережах. Створення цих мікромереж полегшується завдяки розвитку цифрових платформ, які забезпечують «peer-to-peer» взаємодію на енергетичних ринках та обмін надлишками енергогенерації. Ці платформи створюють можливості для обміну електроенергією між учасниками, підвищуючи загальну ефективність енергетичних систем, а також скорочуючи терміни окупності інвестицій в енергогенеруюче та накопичувальне обладнання завдяки оптимізованому використанню. Ця взаємопов'язана модель не лише підтримує ефективне використання обладнання, але й підвищує надійність місцевих енергопостачань, що, в свою чергу, призводить до зниження витрат на електрику, дозволяючи реалізацію надлишкової продукції, яка в іншому випадку могла б залишитися невикористаною.

Україна продовжує свій євроінтеграційних шлях, при цьому існує значний потенціал для подальшої взаємодії на транскордонному рівні, зокрема через ініціативи, такі як проекти Єврорегіону. Однак перехід до цифрового та платформного виробництва й розподілу електроенергії має свої власні виклики. Серед них необхідність точного збору даних від учасників платформи, зростаюче значення віртуальних компонентів у виробництві енергії та виникнення мережевих структур, які функціонують як ланцюги доданої вартості в секторі. Цей перехід сприяє об'єднанню численних малих виробників

електроенергії в єдину віртуальну виробничу мережу, що принципово трансформує відносини власності в галузі.

Розвиток мікромереж відновлюваної енергогенерації на локальному рівні водночас є результатом поширення глобальних трендів і сам перетворюється на вагомий чинник глобальних змін. Поява і швидке розповсюдження мікромереж у багатьох країнах на всіх континентах є результатом зростання на стику тисячоліть відкритості національних економік, полегшення обміну між країнами матеріальними, фінансовими та інтелектуальними активами, посилення уваги до проблем забезпечення сталого розвитку. З протилежної сторони, успіхи розвитку відновлюваної енергетики, у значній мірі зумовлені поширенням мікромереж ВДЕ, призводять до суттєвих глобальних змін. Вони стосуються не лише економічної сфери. Демоніполізація енергетичних ринків супроводжується демократизацією взаємодії між їх учасниками. Цей процес поширюється з локального на глобальний рівень. Зростання частки відновлюваної енергії у глобальному її споживанні призводить до змін на ринках викопного палива, зміни ролі і місця країн-експортерів у світовій економіці.

Щоб повністю використати переваги, які пропонують малі мережі відновлюваної енергії, необхідний комплексний підхід. Це має включати широкий спектр державних політик, що охоплюють структурні інвестиції, науково-технічний розвиток, регіональні ініціативи, регулювання цін і підтримку підприємницької діяльності. Конкретні заходи можуть включати надання субсидій і пільгових кредитів, цілеспрямовані фінансові стратегії, податкові та митні пільги, а також створення потужних систем навчання та консультаційної підтримки для операторів малих енергетичних мереж. Крім того, створення підтримуючого правового середовища та спрощення документальних процесів буде критично важливим для сприяння розвитку ініціатив мікромереж.

Поява малих мереж відновлюваної енергії здатна суттєво змінити конкурентну динаміку на енергетичних ринках. Зростаюча конкуренція між численними малими виробниками доповнюється їх конкуренцією з системою централізованого енерговиробництва, потенційно спонукаючи шукати можливості на міжнародних ринках. Цей зсув представляє собою відхід від класичної моделі природної монополії до більш конкурентної, чотирирівневої ринкової структури, яка відкрита для глобальної конкуренції.

В умовах триваючих загроз для енергетичної системи України ефективна координація та адаптація всіх компонентів системи є надзвичайно важливими. Вкрай необхідно максимізувати потенціал для генерації, розподілу та зберігання енергії, при



цьому маломасштабні відновлювані джерела енергії пропонують значну гнучкість та адаптивність у відповідь на змінювані умови. Формування мікромереж очікується принесе синергетичні переваги, які підвищуватимуть ефективність використання станцій енергогенерації, сприятимуть підтримці стабільності на енергетичному ринку і, врешті-решт, зміцнять національну енергетичну безпеку. Дане дослідження аналізує перспективи та виклики, пов'язані з розвитком маломасштабних мереж відновлюваної енергії в Україні, зосереджуючи увагу на ролі цифрових платформ і мікромереж у підвищенні енергоефективності, стабільності та безпеки. Інтегруючи дані з існуючої літератури, аналіз узгоджує глобальні тенденції з сучасним енергетичним ландшафтом України, підкреслюючи нагальну необхідність стратегічних інвестицій у малі відновлювані джерела енергії. Цей підхід є важливим для забезпечення енергетичного майбутнього України на тлі триваючих геополітичних напружень, тим самим посилюючи стійкість країни перед зовнішніми загрозами.

## 6 Література

‘A unique object. How the completion of the Dniester hydro-accumulating power plant will affect the reduction of the deficit of maneuvering capacities’. (2021) [online] [https://uhe.gov.ua/media\\_tsentr/novyny/unikalniy-obekt-yak-dobudova-dnistrovskoi-gaes-poznachitsya-na-skorochenni](https://uhe.gov.ua/media_tsentr/novyny/unikalniy-obekt-yak-dobudova-dnistrovskoi-gaes-poznachitsya-na-skorochenni). (In Ukrainian).

‘The Role of Science, Technology, and Innovation in Promoting Renewable Energy by 2030’. (2019) Geneva, UNCTAD, 51 p.

‘Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development’. Resolution of the UN General Assembly dated September 25, 2015 (2015) [online] <https://sdgs.un.org/2030agenda> (accessed 03 January 2023).

Abdmouleh, Z., Alammari, R. and Gastli, A. (2015) ‘Review of Policies Encouraging Renewable Energy Integration & Best Practices’. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 45, pp. 249–262.

Andriushchenko K., Tepliuk M., Boniar S., Ushenko N. and Liezina A. (2019) ‘Influence of cost drivers on value-oriented management of investment activity of companies’, *Investment Management and Financial Innovations*, 16(3), pp. 353-364.

Anton, S.G.; Afloarei Nucu, A.E. (2020). The effect of financial development on renewable energy consumption. A panel data approach. *Renew. Energy*. 2020, Vol. 147, P. 330–338. DOI: 10.1016/j.renene.2019.09.005

Bauwens, T., Eyre, N. (2017). Exploring the links between community-based governance and sustainable energy use: Quantitative evidence from Flanders. *Ecological Economics*, No 137, P. 163-172. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2017.03.006

Bilianskyi, O. and Lypov, V. (2022) ‘Regulation of Competition in the Economy of Platforms: Problems and Tools’, *Ekonomika Ukraine*, Vol. 2 (723), pp. 3 – 19. (In Ukrainian).

Borenstein, S. (2017) ‘Private Net Benefits of Residential Solar PV: the Role of Electricity Tariffs, Tax Incentives, and Rebates’. *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists*, Vol. 4(S1), pp. 85 – 122.

Breuer, H. (2017) ‘A Microgrid Grows in Brooklyn’. [online] <https://www.siemens.com/global/en/company/stories/research-technologies/energytransition/a-microgrid-grows-in-brooklyn.html>

Camilo, F., Castro, R., Almeida, M. and Pires, V. (2017) ‘Economic Assessment of Residential PV Systems with Self-Consumption and Storage in Portugal’. *Solar Energy*, Vol. 150(Jul), pp. 353–362.

Comello, S. and Reichelstein, S. (2017) ‘Cost Competitiveness of Residential Solar PV: The Impact of Net Metering Restrictions’. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 75(Aug), pp. 46–57.

Denysiuk, S., Biellokha, H., Cherneshchuk, I., Lysyi, V. (2023). Global trends in implementation of renewable energy sources and features of their implementation during the recovery of Ukraine's economy. *Power engineering: economics, technique, ecology*. 2022.No 4 p. 7-23

Doytch, N., Narayan, S. (2016). Does FDI influence renewable energy consumption? An analysis of sectoral FDI impact on renewable and non-renewable industrial energy consumption. *Energy Econ*. Vol. 54, 291–301. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2015.12.010>

Eid, C., Reneses G., Javier, F., Mar'in, P. and Hakvoort, R. (2014). 'The Economic Effect of Electricity Net-Metering with Solar PV: Consequences for Network Cost Recovery, Cross Subsidies and Policy Objectives'. *Energy Policy*, Vol. 75(Dec), pp. 244–254.

Elblox Platform. The Regional P2P Energy Market. (2021) [online] <https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/palvelut/alkuperatakuun-sertifikaatti/tapahtumamamatskut/case-elblox.pdf>

Energy efficiency. State Agency on Energy Efficiency and Energy Saving of Ukraine. [online] <https://sae.gov.ua/uk/content/energy-efficiency> (accessed 26 November 2022)

European Commission: Directorate-General for Research and Innovation, Renda, A., Schwaag Serger, S., Tataj, D., Morlet, A., Isaksson, D., Martins, F., Mir Roca, M., Hidalgo, C., Huang, A., Dixon-Declève, S., Balland, P., Bria, F., Charveriat, C., Dunlop, K., & Giovannini, E. (2021). *Industry 5.0, a transformative vision for Europe : governing systemic transformations towards a sustainable industry*, Publications Office of the European Union. <https://data.europa.eu/doi/10.2777/17322>

Fehrenbacher, K. (2017). 'Five Trends for the Smart Energy Home of the Future'. *Greentech Media*, Jan; EIA. 2017 (June). [online] <https://www.greentechmedia.com/articles/read/5-trends-for-the-smart-energy-home-of-the-future> (accessed 2 November 2024).

Fu, R., Feldman, D., Margolis, R., Woodhouse, M. and Ardani, K. (2017) 'US Solar Photovoltaic System Cost Benchmark: Q1 2017'. Tech. rept. National Renewable Energy Lab. (NREL), Golden, CO (United States). [online] <https://www.nrel.gov/docs/fy17osti/68580.pdf>

Global Energy Perspective 2024. <https://www.mckinsey.com/industries/energy-and-materials/our-insights/global-energy-perspective>

Hagerman, S., Jaramillo, P. and Morgan, M. (2016). 'Is Rooftop Solar PV at Socket Parity Without Subsidies?' *Energy Policy*, Vol. 89(Feb), pp. 84–94.

Hossain, M. S., Madloul, N. A., Rahim, N. A., Selvaraj, J., Pandey, A. K., Khan, A. F. (2016) 'Role of smart grid in renewable energy: An overview'. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 60, pp. 1168–1184.

Hrytsenko, A. and Lypov V. (2020) 'Information Platforms as a Network Institutional Transformation', *Journal of Institutional Studies*, Vol. 12(2), pp. 132-148. DOI: 10.17835/2076-6297.2020.12.2.132-148. (In Russian).

Hurochkina V., Nahaieva O., Rymar O., Chorny O., Makhnats L., and Shyshpanova N. (2021). 'Foreign state economic policy in the context of economic security'. *Journal of*

*Management Information and Decision Sciences*, 24(3), 1-14. <https://www.abacademies.org/journals/month-march-year-2021-vol-24-issue-3-journal-jmids-past-issue.html>

Hurochkina, V., Kohut, S. (2024). Formation of the energy balance of Ukraine using renewable energy sources. *"Economy. Finances. Management: Topical issues of science and practical activity"*. 4 (66). 109-133. DOI: 10.37128/2411-4413-2023-4-8

Jenkins, N., Long, C., Wu, J. (2015)'An Overview of the Smart Grid in Great Britain'. *Engineering*, Vol.1 (4), pp. 413–421.

Karabegović, I. (2021). Tendency of global capacity development of renewable energy sources in the world in the last ten years. *Contemporary Materials*. XII–2(2021) P. 166 – 183. DOI: <https://doi.org/10.7251/COMEN2102166K>

Karabegović, I., Dolecek, V. (2015). Development and implementation of renewable energy sources in the world and European Union. *Contemporary Materials*. VI–2 (2015) P. 130 – 148.

Karbovska, L., Yakushik, I., Feshchenko, E.Y., Kalina, I., Kozlova, A. (2021). Sustainable development of the economy and increasing energy security based on the use of res: problems and prospects. *Financial and credit activity: problems of theory and practice*, 2, 438-446.

Kharlamova, G., Nate, S., Chernyak, O. (2016). Renewable energy and security for Ukraine: challenge or smart way? *The Journal of international studies*, 9, 88-115.

Kiesling, L. (2016) 'Implications of Smart Grid Innovation for Organizational Models in Electricity Distribution'. *Smart Grid Handbook*, [online]<https://ssrn.com/abstract=2571251>

Kirchhoff, H., Kebir, N., Neumann, K., et al. (2016) 'Developing mutual success factors and their application to swarm electrification: microgrids with 100% renewable energies in the Global South and Germany'. *J Clean Prod*, Vol. 128, pp. 190-200.

Klepacka, A. (2019). Significance of renewable energy sources in sustainable development. *Annals PAAAE*, XXI(1), 55-64. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0013.0852>.

Klopov I. World trends in the development of renewable energy sources. Collection of scientific papers of the Cherkasy State University of Technology. Series: Economic sciences. 2015. Issue 40(1). P. 59-64. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Znpchdtu\\_2015\\_40%281%29\\_\\_11](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Znpchdtu_2015_40%281%29__11) (In Ukrainian).

Korohodova, O.O., Chernenko, N.O., Moiseienko, T.Y., Hlushchenko. Y.I. (2022). 'Analysis of the attractiveness of renewable energy in individual countries'. *Journal of economic reforms*. Vol. 3(47). pp. 74–82.

Kuzior, A., Lobanova, A., Kalashnikova, L. Green Energy in Ukraine: State, Public Demands, and Trends. *Energies* 2021, 14, 7745. <https://www.mdpi.com/1996-1073/14/22/7745>

Kwan, C. (2012) 'Influence of local environmental, social, economic and political variables on the spatial distribution of residential solar PV arrays across the United States'. *Energy Policy*, Vol. 47(Aug), pp. 332–344.

Kwasinski, A., Weaver, W. and Balog, R. S., 2016 'Microgrids and other local area power and energy systems'. Cambridge University Press, Cambridge. [online] <http://dx.doi.org/10.1017/CBO9781139002998>. (accessed 26 November 2022).

Kwasinski, Alexis 2016. *Quantitative Model and Metrics of Electrical Grids' Resilience Evaluated at a Power Distribution Level*. *Energies*, Vol. 9, Issue. 2, p. 93.

Lang, T., Gloerfeld, E. and Girattemptedmpt B. (2015) 'Don't Just Follow the Sun – A Global Assessment of Economic Performance for Residential Building Photovoltaics'. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 42 (Feb), pp. 932–951.

Lypov V. V. "Mosquito flotilla" on the energy front: small energy networks based on digital platforms. *Economic Theory*. 2023. No. 2. P. 53–70. DOI: <https://doi.org/10.15407/etet2023.02.053> (In Ukrainian).

Lypov, V., Ushenko, N. (2023). The impact of platformization on the development of the renewable energy market in Ukraine: risks and prospects for development. *Modeling the development of the economic systems*, (4), 244–251. <https://doi.org/10.31891/mdes/2023-10-33> (In Ukrainian).

Matviienko H., Kucherko S., Yanovska V., Ternovsky V., Hurochkina V., Kęsy M. *Governmental Management and Regulatory Measures for Advancing AI in the Ukrainian Energy Sector as a Basis for Rapid and sustainable development of the Ukrainian Economy*. Proceedings of the 13th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT), pp. 303-307, 21-23.09.2023. [http://acit.wunu.edu.ua/Download/ACIT'2023\\_Conference%20Program.pdf](http://acit.wunu.edu.ua/Download/ACIT'2023_Conference%20Program.pdf)  
McKinsey&Company (2024).

Moret, F., Pinson, P. (2018). Energy Collectives: A Community and Fairness Based Approach to Future Electricity Markets. *IEEE Trans. Power Syst.* No 34, P. 3994–4004. DOI: 10.1109/TPWRS.2018.2808961.

Morstyn, T., Farrell, N., Darby, Sarah J. and McCulloch, M. (2018) 'Using Peer-to-Peer Energy-Trading Platforms to Incentivize Prosumers to Form Federated Power Plants'. *Nature Energy*, Vol. 3(2), pp. 94-101.

Olivella-Rosell, P., Bullich-Massagué, E., Aragüés-Peñalba, M., Sumper, A., Ottesen, S.Ø., Vidal-Clos, J.-A. and Villafáfila-Robles, R., (2018) 'Optimization problem for meeting distribution system operator requests in local flexibility markets with distributed energy resources'. *Applied Energy, Elsevier*, Vol. 210(C), pp. 881-895.

Parag, Y. and Sovacool, B. (2016) 'Electricity market design for the prosumer era'. *Nature Energy*, Vol. 1(4), pp. 16-32.

Parker, G., Van Alstyne, M. and Choudary, S. (2016) *Platform Revolution: How Networked Markets Are Transforming the Economy and How to Make Them Work for You*. W W Norton & Company. 352 pp.

Pecheniuk A., Garasymchuk I., Potapskyi P., Vusatyi M., Dubik V., Pukas V. (2022) Renewable Energy of Ukraine in Global Energy Transformations. *Grassroots Journal of Natural Resources*, 5 (4), 19-33. <https://doi.org/10.33002/nr2581.6853.050402>

Przekształcamy nasz świat: Agenda na rzecz zrównoważonego rozwoju 2030. Rezolucja przyjęta przez Zgromadzenie Ogólne w dniu 25 września 2015 r. [https://www.unic.un.org.pl/files/164/Agenda%202030\\_pl\\_2016\\_ostateczna.pdf](https://www.unic.un.org.pl/files/164/Agenda%202030_pl_2016_ostateczna.pdf)

Rochet, J. and Tirole, J. (2003) 'Platform Competition in Two-Sided Markets'. *Journal of the European Economic Association*, Vol. 1(4), pp. 990–1029.

Šajn, N. (2016) Electricity 'Prosumers'. [online] [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2016/593518/EPRS\\_BRI\(2016\)593518\\_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2016/593518/EPRS_BRI(2016)593518_EN.pdf) (accessed 26 November 2022).

Schill, W.-P., Zerrahn, A., Kunz, F. (2017) 'Prosumage of solar electricity: Pros, cons, and the system perspective'. *Economics of Energy & Environmental*, Vol. 6, No. 1, pp. 7-32.

Sevostyanov, N.A., Shaforost, A.O. (2024). Core Directions of Renewable Energy Sources Development. *2024 6th International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE)*, 1-5.

Shaulska L., Kovalenko S., Allayarov S., Sydorenko O. and Sukhanova A. (2021) 'Strategic enterprise competitiveness management under global challenges'. *Academy of Strategic Management Journal*, № 20, Vol. 4, pp. 1–7.

Srnicek N. (2017) *Platform Capitalism*. Cambridge: Polity Press, 92 p.

Tabors, R., Caramanis, M., Ntakou, E., Parker, G, Van Alstyne, M., Centolella, P. and Hornby, R. (2017) 'Distributed Energy Resources : New Markets and New Products'. In: *Proceedings of the 50th Hawaii International Conference on System Sciences*, pp. 38 – 45.

Timilsina, G., Kurdgelashvili, L. and Narbel, P. (2012) 'Solar Energy: Markets, Economics and Policies'. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 16(1), pp. 449–465.

Trotsenko, L. DTEK initiates an increase in the capacity of green energy in Ukraine. (24.05.2022) [online] <https://ua.korrespondent.net/business/companies/4480792-dtek-initsiuiie-zbilshennia-potuzhnosti-zelenoi-enerhetyky-v-ukraini>. (In Ukrainian).

Trunina, I.M., Pryakhina, K.A., Yakymets, S. (2022). Research on the Development of Renewable Energy Sources in the World Due to the War in Ukraine. *2022 IEEE 4th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES)*, 1-5.

U.S. Department of Energy (DOE). 2020 Smart Grid System Report. [https://www.energy.gov/sites/default/files/2022-05/2020%20Smart%20Grid%20System%20Report\\_0.pdf](https://www.energy.gov/sites/default/files/2022-05/2020%20Smart%20Grid%20System%20Report_0.pdf)

Voronin, A., Panasiuk, P. (2022). State of renewable energy of Ukraine and prospective directions of development. *Scientific opinion: Economics and Management*. Scientific view: Economics and Management, № 1 (77). P. 70-75.

Yakubiv, V.M., Maksymiv, Y., Hryhoruk, I.I., Popadynets, N.N., Piatnychuk, I. (2019). Development of renewable energy sources in the context of energy management. *Journal of Vasyl Stefanyk Precarpathian National University*. Vol. 6, No. 3-4 (2019), 77-87.

Zaharii, V.K., Kovalchuk, T. (2021). Renewable energy: world development trends and Ukraine. *Herald UNU. International Economic Relations And World Economy*. p.70-76. <http://www.visnyk-econom.uzhnu.uz.ua/>

Zeren, F., Akkus, H.T. (2020). The relationship between renewable energy consumption and trade openness: New evidence from emerging economies. *Renew. Energy* 2020, 147, 322–329. DOI: 10.1016/j.renene.2019.09.006

Zhang, Z., Su, L., Jin, W., Yang, Y. (2022). The Impact of Globalization on Renewable Energy Development in the Countries along the Belt and Road Based on the Moderating Effect of the Digital Economy. *Sustainability* 2022, 14(10), 6031; <https://doi.org/10.3390/su14106031>

## 7 АНОТАЦІЯ

### ABSTRAKT

*W opracowaniu przedstawiono wyniki badania, którego celem było określenie strategicznego potencjału wdrożenia technologii cyfryzacji w produkcji energii odnawialnej, poprzez tworzenia mikrosieci energii odnawialnej oraz wpływu takiej technologii na procesy ewolucyjnej globalizacji. Energia odnawialna jest kluczowym elementem zapewnienia zrównoważonego rozwoju. Różnorodność alternatywnych źródeł energii oraz duża liczba producentów zdolnych do oferowania energii elektrycznej podkreślają potrzebę tworzenia małych mikrosieci energetycznych. Rozważany w opracowaniu model biznesowy inteligentnych sieci może stymulować restrukturyzację systemu produkcji oraz rynków dystrybucji energii elektrycznej. W badaniu przeprowadzono analizę strukturalną, funkcjonalną, systemową oraz instytucjonalną. Omówiono cechy platform cyfrowych jako formy organizacyjnej. Platformy te zapewniają efekt synergii łącząc małych producentów energii odnawialnej w mikrosieci, co prowadzi do modelu dwusektorowego dla przemysłu energetycznego. Analizowany jest mechanizm budowania systemów energetycznych opartych na zasadach "Przemysłu 5.0" oraz aspektach przyspieszania globalnych celów zrównoważonego rozwoju.*

### ABSTRACT

*The study presents the results of research aimed at determining the strategic potential of implementing digitalization technologies in renewable energy production through the creation of renewable energy microgrids, as well as the impact of such technologies on the processes of evolutionary globalization. Renewable energy is a key element in ensuring sustainable development. The diversity of alternative energy sources and the large number of producers capable of supplying electricity underscore the need for the creation of small energy microgrids. The business model of smart microgrids considered in the study has the potential to stimulate the restructuring of the production system and electricity distribution markets. The study conducted structural, functional, systemic, and institutional analyses. The characteristics of digital platforms as an organizational form of smart microgrids were discussed. These platforms provide a synergistic effect by integrating small renewable energy producers into microgrids, forming a two-sector model for the energy industry. The study analyzes the mechanism for building energy systems based on the principles of "Industry 5.0," as well as aspects of accelerating global sustainable development goals.*