

ГЛОБАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ЕНЕРГЕТИКИ ТА ЕНЕРГЕТИЧНА БЕЗПЕКА

GLOBAL PROBLEMS OF POWER ENGINEERING AND ENERGY SECURITY

УДК 621.316

DOI 10.20535/1813-5420.4.2022.273360

С.П. Денисюк, д-р техн. наук, проф., ORCID 0000-0002-6299-3680

Г.С. Белоха, к.т.н., ORCID 0000-0003-4277-367X

І.С. Чернечук, аспірант, ORCID 0000-0001-6895-7843

В.В. Лисий, аспірант, ORCID 0000-0003-3714-7623

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

СВІТОВІ ТЕНДЕНЦІЇ ВПРОВАДЖЕННЯ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ ТА ОСОБЛИВОСТІ ЇХ РЕАЛІЗАЦІЇ ПРИ ВІДНОВЛЕННІ ЕКОНОМІКИ УКРАЇНИ

Розглянуто світові тенденції впровадження відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) та особливості їх реалізації при відновленні економіки України.

Показано, що світовий енергетичний сектор переживає фундаментальну трансформацію, тому є необхідною розробка нової парадигми енергетичної безпеки, яка забезпечить надійність та доступність при одночасному скороченні викидів, а зелена енергетика є безумовним світовим трендом найближчих десятиліть. Визначено, що диверсифікація нашого енергопостачання шляхом інвестування у ВДЕ є одним із перспективних шляхів захистити себе від ризиків енергетичної залежності. Проаналізовано стан та ефективність використання ВДЕ на початку третього десятиліття XXI ст. (за даними Renewable Energy Policy Network for the 21st Century та The International Renewable Energy Agency).

Надана консолідована енергетична та кліматична статистика за 2021 р. згідно документа World Energy & Climate Statistics – Yearbook 2022 (Світова енергетична та кліматична статистика – щорічник 2022) з співставлення статистичних даних окремих країн та України. Аналіз ефективності впровадження різних типів ВДЕ на рівні світових ринків та України за період 2010–2021 рр. та 2020–2021 рр. оцінено з використанням середніх розрахункових собівартостей виробництва електроенергії протягом усього життєвого циклу цих електростанцій (LCOE).

При розгляді європейської політики у сфері ВДЕ та енергоефективності представлено графік розвитку відновлюваної енергетики в ЄС та характеристика плану REPowerEU, розроблений Європейською Комісією, де викладено курс на зменшення споживання нафти та газу в цілому, а також впровадження та використання «зелених» джерел енергії. Наведена детальна характеристика розвитку відновлюваної енергетики в Україні у 2020–2021 рр., а також світові тренди ВДЕ, що впливатимуть на відбудову економіки України. Показано вплив повномасштабної війни, розв'язаної росією проти України, на функціонування відновлюваної енергетики в Україні, виділено основні напрямки відновлення нашої країни у повоєнний час з використанням ВДЕ.

Ключові слова: відновлювані джерела енергії, енергетична політика, енергетичний перехід, собівартість виробництва електроенергії, енергетика України, відновлення економіки

Вступ

Світовий енергетичний сектор переживає фундаментальну трансформацію. У той час, як рух до чистих нульових викидів CO₂ приносить чіткі та стійкі переваги безпеки, процес переходу також тягне за собою ризики. Оскільки енергетичні системи стають все більш взаємопов'язаними, складними та різноманітними, поряд із традиційними ризиками енергетичної безпеки з'являються нові питання безпеки. Традиційні гасла щодо енергетичної безпеки, зокрема важливість різноманітних джерел енергії, поставок і маршрутів, залишаються такими ж актуальними, як і раніше, але до них додаються нові міркування та виклики. При цьому важливої актуальності набуває проблематика впливу енергетики на зміну клімату та використання «зеленої енергетики».

У Єгипті на курорті Шарм-ель-Шейх 7 листопада 2022 р. стартував щорічний саміт ООН з питань зміни клімату COP27 [1]. Президент COP27, міністр закордонних справ Єгипту Самех Шукрі, заклик

лідерів не дозволити продовольчій та енергетичній кризам, пов'язаним із вторгненням Росії в Україну, стати на шляху дій щодо зміни клімату. У свою чергу, президент конференції COP26 Алок Шарма підтвердив: «Брутальна та протизаконна війна Путіна в Україні спровокувала численні глобальні кризи: поставила під загрозу енергетичну та продовольчу безпеку, спричиняє інфляцію та зростання боргу» та вказав, що «у виконанні зобов'язань, взятих нами в Глазго, є певний прогрес». Нагадаємо, що на конференції COP26 (м. Глазго, 2021 р.) був підписаний так званий Кліматичний пакт та узгоджено низку зобов'язань, зокрема, поступово скорочувати використання вугілля – одного з найбільш забруднювальних видів викопного палива; зупинити вирубку лісів до 2030 року; скоротити викиди метану на 30% до 2030 року.

Домовленості, яких досягнули учасники саміту, не зобов'язують країни з найбільшими обсягами шкідливих викидів докласти додаткових зусиль, щоб скоротити їх. Повна угода COP27, частиною якої є створення фонду допомоги вразливим країнам у боротьбі зі зміною клімату, також підтвердила мету утримати глобальне потепління на рівні 1,5 °C порівняно з доіндустріальним рівнем, що є ключовою вимогою багатьох країн. Угода не посилила формулювання щодо скорочення викидів парникових газів, які призводять до потепління на планеті. В остаточному тексті також не згадується про поступову відмову від викопного палива, включаючи нафту і газ. Конференція COP27 підтвердила, що диверсифікація нашого енергопостачання шляхом інвестування у відновлювані джерела енергії (ВДЕ) – це спосіб захистити себе від ризиків енергетичної залежності.

1. Зелена енергетика – безумовний світовий тренд найближчих десятиліть

Ще до початку конференції COP27 Генеральний Секретар ООН Антоніу Гутерріш, Генеральний Секретар ООН запропонував план із п'яти пунктів щодо збільшення використання ВДЕ у всьому світі [2]:

1. Ми маємо зробити технології в галузі ВДЕ глобальним суспільним благом, у тому числі усунувши пов'язані з правом інтелектуальної власності бар'єри для передачі технологій.

2. Ми повинні покращити глобальний доступ до ланцюжків постачання компонентів та сировини для технологій відновлюваної енергетики.

У 2020 році у світі було встановлено енергонакопичувачі загальною потужністю 5 ГВт. До 2030 року нам необхідно довести потужність енергонакопичувачів до 600 ГВт.

3. Ми маємо боротися з бюрократизмом, який стримує реалізацію проектів у галузі енергії сонця та вітру. Нам необхідно прискорити процес отримання дозволів та наростити зусилля щодо модернізації електромереж. У Європейському Союзі на отримання дозволу на будівництво парку вітротурбін йде вісім років, а США – десять.

4. Світ має відмовитися від енергосубсидій на викопне паливо і натомість використати засоби для захисту вразливих груп населення від енергетичних потрясінь та інвестувати у справедливий перехід до сталого майбутнього.

5. Необхідно потроїти інвестиції у ВДЕ. Це стосується як багатосторонніх банків розвитку та інституцій з фінансування розвитку, так і комерційних банків. Усі повинні активізуватися та різко збільшити інвестиції у ВДЕ.

Глобальна енергетична криза, спричинена вторгненням росії в Україну, призводить до глибоких та довготривалих змін, які можуть прискорити перехід до більш стійкої та безпечної енергетичної системи, йдеться в останньому виданні «Глобальний енергетичний огляд» МЕА (World Energy Outlook 2022, WEO-2022) [3].

Варто пам'ятати, що, незважаючи на те, що криза 1970-х років принесла багато економічних труднощів і труднощів, вона також послужила поштовхом для диверсифікації енергетики та швидких технологічних інновацій. Слід також зазначити, що безпечною енергетична система може бути тільки досягнута належним інвестуванням у механізми безпеки, які забезпечують відповідні буфери в системі. Після нафтової кризи 1970-х років світ тривалий час інвестував у традиційні аспекти енергетичної безпеки, включаючи заснування МЕА, яке стало основою сучасної системи енергетичної безпеки. Поточна енергетична криза ще раз підтверджує необхідність інвестувати в систему, яка передбачає нові ризики для енергетичної безпеки в епоху декарбонізації.

Сьогоднішня енергетична криза спричиняє безпрецедентний за масштабами та складністю шок. В умовах невинних геополітичних та економічних проблем енергетичні ринки залишаються надзвичайно вразливими, а криза нагадує про крихкість і нестійкість нинішньої глобальної енергетичної системи. Згідно з аналізом національних зобов'язань, щодо фінансування та розвитку інфраструктури, Міжнародне енергетичне агентство заявило, що лише два з 55 компонентів, необхідних для того, щоб до 2050 року планета досягла нульових викидів, можуть бути досягнуті. Такими зобов'язаннями є розгортання електромобілів і перехід на світлодіодне освітлення. Фактори як закриття вугільних електростанцій і уловлювання вуглекислого газу з атмосфери поки що не є першочерговими.

Поряд з короткостроковими заходами, спрямованими на захист споживачів від наслідків кризи, багато урядів зараз вживають більш довгострокові кроки. Деякі з них намагаються збільшити або диверсифікувати постачання нафти і газу, а багато хто прагне прискорити структурні зміни. Найбільш

помітними заходами реагування є Закон США про зниження інфляції, пакет ЄС «Fit for 55» і REPowerEU, японська програма «Зелена трансформація» (GX), прагнення Кореї збільшити частку ядерної енергетики і ВДЕ у своєму енергетичному балансі, а також амбітні цілі в галузі чистої енергетики в Китаї та Індії.

Згідно зі Сценарієм заявленої політики WEO-2022, який базується на останніх політичних установах у всьому світі, ці нові заходи сприятимуть зростанню глобальних інвестицій у чисту енергетику до понад 2 трлн. дол. США на рік до 2030 року, що на 50% перевищує рівень 2021 р. У міру того, як ринки відновлюють баланс за цим сценарієм, економія шляхом використання вугілля є тимчасовою, оскільки ВДЕ, за підтримки ядерної енергетики, демонструють стійкий ріст. Міжнародні енергетичні ринки зазнають глибокої переорієнтації у 2020-х роках, оскільки країни пристосовуються до розриву потоків росія–Європа. Очікується, що у 2025 році буде досягнута найвища точка глобальних викидів.

У другій половині 2021 року розпочалася найбільша енергетична криза в сучасній історії, що посилилася вторгненням російської федерації в Україну на початку 2022 року, яка, до того ж, спричиняла ще й безпрецедентний глобальний товарний шок. Як зазначив виконавчий директор REN21 Рана Адіб: «Реакцією на енергетичну кризу стало рішення більшості країн підвищити рівень використання викопного палива» [4].

Енергетичні ринки та політика змінилися в результаті розв'язання росією війни проти України не лише на даний момент, але й на десятиліття вперед. За сьогоднішніх політичних умов енергетичний світ кардинально змінюється на наших очах.

За даними WEO-2022 частка росії в міжнародній торгівлі енергоресурсами, яка становила близько 20% у 2021 році, знижується до 13% у 2030 році, тоді як частки США та Близького Сходу зростають. За даними *Center for Research on Energy and Clean Air* за серпень–жовтень 2022 р. викиди вуглекислого газу від енергетичного сектору Євросоюзу скоротилися на 5% завдяки заходам з підвищення ефективності та скорочення споживання викопного палива у відповідь на агресію росії проти України. В довгостроковій перспективі одним з наслідків нещодавніх дій росії є те, що епоха стрімкого зростання попиту на газ добігає кінця.

На тлі великих змін, що відбуваються, необхідна нова парадигма енергетичної безпеки, яка забезпечить надійність та доступність при одночасному скороченні викидів [1, 3]. Сьогоднішні темпи зростання СЕС, ВЕС, електромобілів та акумуляторних батарей, якщо вони залишаться такими самими, призведуть до набагато швидшої трансформації, ніж прогнозується у Сценарії заявленої політики, хоча це вимагатиме значної підтримки.

Звіт WEO-2022 пропонує 10 принципів, які можуть допомогти формувати енергетичну політику у період, коли скорочення використання викопного палива та розширення систем чистої енергії співіснують [3]:

I. Інвестиції в чисту енергію та енергоефективність є ключовими для безпечного виходу із сьогоднішньої кризи

1. Синхронізуйте масштабування ряду технологій чистої енергії зі скороченням використання викопного палива;

2. Вирішіть проблему попиту та віддайте пріоритет енергоефективності;

II. Глобальна енергетична безпека не може бути досягнута без участі кожного

3. Переломити сповзання до енергетичної бідності та дати бідним громадам шлях до нової енергетичної економіки;

4. Співпрацюйте, щоб знизити вартість капіталу на ринках, що розвиваються, і в країнах, що розвиваються;

III. До переходу від нафти і газу потрібно ставитися обережно

5. Обережно керуйте виведенням із експлуатації та повторним використанням існуючої інфраструктури, частина з них буде важливою для безпечного руху до «чистого нуля»;

6. Усунути специфічні ризики, з якими стикаються економіки виробників;

IV. По мірі того, як світ будує нову систему чистої енергії, з'являються нові вразливі місця

7. Інвестуйте в гнучкість, нове гасло безпеки електроенергії;

8. Забезпечити різноманітні та стійкі ланцюжки постачання чистої енергії;

9. Сприяти стійкості енергетичної інфраструктури до зміни клімату;

V. Уряди мають взяти на себе ініціативу, але економічно ефективні переходи також потребують добре функціонуючих ринків

10. Забезпечуйте стратегічний напрямок і вирішуйте проблеми ринку, але не демонтуйте ринки.

Для порівняння наведемо Десять принципів розробки політики в енергетичному переході, розробленого Cambridge Centre for Environment, Energy and Natural Resource Governance (C-EENRG) [5]: інвестуйте та регулюйте, зменшуйте ризики на ринках, націлюйте на переломні точки, поєднуйте політику, будьте адаптивними, забезпечте справедливий перехід, розвивайте глобальні ринки, враховуйте можливості та ризики, розумійте упевненість, вибирайте технології.

2. Стан та ефективність використання ВДЕ на початку третього десятиліття XXI ст.

15 червня 2022 р. аналітичний центр REN21 ((Renewable Energy Policy Network for the 21st Century)) опублікував Global Status Report, у якому зібрано політичні і ринкові події та технологічні тенденції у сфері відновлюваної енергетики [4]. Висновки звіту є глобальними, оскільки вони отримані від сотень дописувачів із промисловості, неурядових організацій, урядів та наукових кіл з усього світу.

Незважаючи на прогнозоване відновлення світу від наслідків пандемії COVID-19 за рахунок «зеленої» енергетики, дана можливість вже втрачена. Нове видання REN21 «Огляд глобального ринку відновлюваних джерел енергії 2022» (далі – GSR 2022), чітко застерігає, що наразі у світі не відбувається масштабний енергетичний перехід на «зелені» види генерації, що, відповідно, робить малоімовірним досягнення глобальних кліматичних цілей у цьому десятилітті. Незважаючи на те, що прогнозується рекордне зростання ВДЕ, світ вже втратив свою історичну можливість на «зелене» відновлення – про це йдеться у новому Огляді REN21.

У звіті GSR 2022 підкреслюється, що у той час, як рекордні 135 країн пообіцяли досягнути чистих нульових викидів парникових газів до 2050 року напередодні кліматичної конференції COP26 у 2021 році, лише 84 країни мали «цілі в масштабі всієї економіки» щодо відновлюваної енергетики, і тільки 36 – 100% ВДЕ. Світовий попит на енергію у 2021 році було задоволено здебільшого за допомогою викопного палива, що посприяло найбільшому в історії збільшенню глобальних викидів CO₂ (на 6% після падіння на 5% у 2020 році – збільшення більш ніж на 2 млрд. т). Сонячна генерація становила понад половину доданої потужності (близько 175 ГВт), а вітрова – ще 102 ГВт (СЕС та ВЕС разом складають майже 90% усіх нових потужностей ВДЕ).

2021 рік також ознаменував кінець ери дешевого викопного палива, адже саме цього року відбувся найбільший стрибок цін на енергоносії від часу нафтової кризи 1973 року. Вдесятеро піднялася ціна на природний газ, що, в свою чергу, спричинило зростання оптових цін на електроенергію. У період з 2018 по 2020 роки, світові уряди витратили колосальні 18 трлн. дол. США – 7% світового ВВП – на субсидії на викопне паливо, у деяких випадках скорочуючи підтримку ВДЕ (як в Індії). Ця тенденція демонструє тривожний розрив між діями та встановленими амбіціями. Країни з більшою часткою відновлюваних джерел у загальному споживанні енергії мають більшу енергетичну незалежність та безпеку.

Відповідно до 17 видання GSR2022, загальна частка ВДЕ у кінцевому світовому споживанні енергії демонструє мінімальний рівень підвищення – з 10,6% у 2009 році до 11,7% у 2019 році, що можна вважати стагнацією. Рекордне збільшення встановленої потужності ВДЕ у електроенергетичному секторі (314,5 ГВт, що на 17% вище ніж у 2020 році) та рекордний рівень виробництва енергії за рахунок ВДЕ (наразі 7793 ГВт·год) не змогли спровокувати очікуване збільшення споживання «зеленої» електроенергії на 6%. У той же час, зростання частки ВДЕ з 2,4% у 2009 році до 3,7% у 2019 році в транспортному секторі викликає ще більше занепокоєння, оскільки на цей сектор припадає майже третина світового споживання енергії.

Сумарна світова потужність генерації СЕС на кінець 2020 р. становила приблизно 760 ГВт (зросла майже у 20 разів у порівнянні з 2010 р.), у свою чергу сумарна світова потужність генерації вітровими електростанціями (ВЕС) на кінець 2020 р. становила приблизно 743 ГВт (зросла в 3,75 рази у порівнянні з 2010 р.). За період 2010 – 2020 рр. глобальна середня розрахункова собівартість виробництва електроенергії протягом усього життєвого циклу електростанції (включаючи всі можливі інвестиції, витрати та доходи) Levelized Cost of Energy (LCOE) від нещодавно введених в експлуатацію в електроенергетичні мережі окремих технологій виробництва ВДЕ зменшився: СЕС – на 85 %, сонячні концентратори тепла – 68 %, офшорні ВЕС – 54 %, ВЕС на суші – на 48 %.

Загальна потужність операційного накопичення енергії в 2020 році досягла 191,1 ГВт, що відображає щорічне зростання на 3,4%. Найбільшим ринком був Китай (18,6% загального обсягу), який до кінця 2020 року досяг 35,6 ГВт, що на 4,9% більше, ніж у 2019 році. США наростили потужності на 1,5 ГВт, досягнувши до кінця року приблизно 23,2 ГВт. Європейський ринок зріс на 54%, додавши 1,7 ГВт накопичувальної потужності до сукупної потужності 5,4 ГВт.

До кінця 2021 року близько 1500 міст розробили цілі та/або політику щодо використання та переходу на ВДЕ, що разом охоплює понад 1,3 млрд людей, або 30% міського населення світу. Відповідно до глобальних тенденцій, чисті нульові тенденції різко зросли, і до кінця року цілі розробили в більш ніж 1100 містах. Використання електроенергії в будівлях становить приблизно 1/3 світового кінцевого попиту на енергію, проте відновлювані джерела енергії розвиваються в цьому секторі дуже повільно. У 2019 році ВДЕ становили 14,7% споживання енергії в будівлях, що лише на 4% більше, ніж десять років тому. Частка ВДЕ в промисловості зросла лише на 3,6 % між 2011 та 2019 роками і досягла 16,1%.

Для порівняння наведемо основні висновки дослідження IRENA (The International Renewable Energy Agency) про розвиток ВДЕ за друге десятиліття XXI ст. окремих видів ВДЕ енергетики полягають у наступному [6]:

1) **Сонячна фотоелектрична генерація (Solar PV):** різке зниження витрат на виробництво сонячних фотоелектричних панелей в друге десятиліття XXI ст. викликане активним впровадженням

інноваційних технологій, які сприяли також підвищенню експлуатаційних характеристик та продуктивності сонячних установок. Після зниження на 85% усередненої вартості електроенергії, що виробляється сонячною фотоелектричною генерацією, у період з 2010 по 2020 рр. технологія Solar PV продовжує освоювати нові енергоринки.

2) **Концентраційна (теплова) сонячна генерація (Concentrating solar power, CSP):** незважаючи на скромні масштаби впровадження, конкурентоспроможність CSP технологій постійно підвищувалася протягом цього десятиліття. Показник нормованої вартості електроенергії LCOE установок, що вводяться в експлуатацію CSP, знизився на 68% у період з 2010 по 2020 рр., оскільки знизилася витрати на будівництво та експлуатацію, а коефіцієнти корисної дії CSP установок збільшилися.

3) **Побутові системи накопичення електроенергії (CHEE) – Home Solar Storage System:** політична підтримка побутових CHEE, які не враховуються в диспетчерському графіку (батареї зберігання позаду лічильника, Behind-The-meter Battery Storage), відіграла важливу роль у зростанні масштабів їх застосування, хоча зберігається значний потенціал для продовження зростання використання побутових CHEE. Значно покращилися технічні та експлуатаційні характеристики CHEE на базі літій-іонних акумуляторних батарей.

4) **Наземна вітрова генерація:** завдяки збільшенню висоти вежі вітрових турбін та ометаної площі, середньозважений ККД (Global Weighted average Capacity Factor, Глобальний Середньозважений Коефіцієнт Потужності) шельфових ВЕС збільшився майже на третину – з трохи більше 27% у 2010 р. до 36% в 2020 р. Завдяки зниженню витрат на будівництво та удосконаленню технологій виробництва вітрових турбін середньозважений LCOE наземних вітрових установок знизився на 56% у період з 2010 по 2020 роки.

5) **Шельфова вітрова генерація:** завдяки збільшенню висоти вежі та ометаної площі, технологічному вдосконаленню вітрових турбін, компонування вітропарків та розвитку шельфових електричних з'єднань, а також завдяки вдосконаленню експлуатаційного та технічного обслуговування ККД шельфових вітрових установок у період з 2010 по 2020 рр. збільшилися, а середньозважений LCOE вітрових шельфових установок знизився на 48%.

6) **Водневі електролізери:** у період з 2005 по 2020 роки. відбулося збільшення кількості лужних електролізерів на 60%, а зростання кількості електролізерів на протоннообмінній мембрані (Proton Exchange Membrane, PEM) було ще вищим. В результаті досліджень та розробок ефективність лужних електролізерів підвищилася щонайменше на 10%, хоча PEM установки не продемонстрували підвищення ефективності такою ж мірою.

7) **Великомасштабне використання сонячної теплової енергії:** протягом останнього десятиліття європейські країни підтримували використання сонячної теплової енергії для промислових процесів, хоча й у невеликих кількостях, при цьому витрати на будівництво установок для використання сонячного тепла знизилася більш ніж на дві третини з 2010 до 2019 року.

Необхідно відзначити важливу роль ВДЕ у реалізації положень енергетичного переходу. Так, у дослідженні World-Energy-Transitions-Outlook-2022 [7], підготовленому IRENA у 2022 р., визначено виклики, які існуюватимуть до 2050 р., а також запропонована дорожня карта розвитку ВДЕ до 2030 р. в рамках здійснення енергетичного переходу про досягненні Сценарію 1,5 °C. Аналіз проведено з визначенням системи ключових показників ефективності (Key Performance Indicators, KPI).

Системи ключових показників ефективності щодо реагування на виклики до 2050 р.:

KPI.01 – До 2050 р. виробництво електроенергії має зрости втричі порівняно з рівнем 2020 року, при цьому ВДЕ забезпечуватимуть 90% загального обсягу постачання електроенергії до 2050 року у порівнянні з 26% у 2019 р.;

KPI.02 – Частка відновлюваної енергії в загальному кінцевому споживанні енергії зросте з 19% у 2019 р. до 79% до 2050 року;

KPI.03 – До 2050 р. середньорічні інвестиції на підвищення енергоємності мають зрости в 6 разів, що означає зменшення загального кінцевого споживання на 11% у 2050 р.;

KPI.04 – Частка прямої електроенергії в загальному кінцевому споживанні енергії має зрости з 21% у 2019 р. до понад 50% до 2050 р.;

KPI.05 – Виробництво чистого водню та його похідних видів палива має зрости з незначних рівнів (0,8 Мт) у 2020 р. до 614 Мт до 2050 р.;

KPI.06 – Загальний обсяг CO₂, уловленого в результаті CCS, BECCS та інших заходів з видалення та зберігання вуглецю, має бути збільшений до 8,5 Гт до 2050 року з 0,04 Гт у 2020 р.

Системи ключових показників ефективності реалізації дорожньої карти розвитку ВДЕ до 2030 р. в рамках здійснення енергетичного переходу про досягненні Сценарію 1,5 °C:

KPI.01 – Виробництво електроенергії потрібно буде збільшити з 26900 ТВт·год у 2019 р. до понад 42100 ТВт·год до 2030 року, при цьому 65% загального обсягу постачання електроенергії у 2030 р. надходитиме від ВДЕ, порівняно з 26% у 2019 р.;

KPI.02 – Частка відновлюваної енергії в загальному кінцевому споживанні енергії (Total Final

Energy Consumption, TFEC) має зрости з 19% у 2019 р. до 38% до 2030 р.;

KPI.03 – Середньорічні інвестиції в підвищення енергоемності повинні зрости в 9 разів до 2030 р., що передбачає зниження TFEC на 5% у 2030 р. порівняно з рівнями 2019 р.;

KPI.04 – Частка прямої електроенергії в TFEC має зрости з 21% у 2019 р. до 30% до 2030 р.;

KPI.05 – Виробництво чистого водню та його похідних видів палива має зрости з незначних рівнів (0,8 Мт) у 2020 р. до 154 Мт до 2030 р.;

KPI.06 – Загальний обсяг CO₂, уловленого в результаті заходів з видалення та зберігання CO₂, необхідно агресивно збільшувати, щоб досягти 2,2 Гт CO₂ до 2030 р. порівняно з 0,04 Гт у 2020 р.

3. Світова енергетична та кліматична статистика

У документі World Energy & Climate Statistics – Yearbook 2022 (Світова енергетична та кліматична статистика – щорічник 2022), який вийшов 28 червня 2022 р., надана консолідована енергетична та кліматична статистика за 2021 р. [8].

Відновлення економіки після пандемії стимулювало зростання споживання енергії та пов'язаних з енергією викидів CO₂ у 2021 році, що перевищило рівень 2019 року. У 2021 році економічна активність і попит на енергію в усьому світі перевищують рівень 2019 року (відповідно +1,3% і +0,4%), а відновлення викидів CO₂ у 2021 році (+5,9%) з лишком компенсує падіння 2020 року (-4,9%). Глобальне покращення енергоемності у 2021 році є нижчим за середній показник 2000–2019 рр. (-1%, проти -1,3%/р. у 2000-2019 рр.). Частка ВДЕ у світовому балансі електроенергії залишалася стабільною з 2020 по 2021 рік і становила 28,1%, що перевищує рівень 2019 року (26,3%). Частка вітрової та сонячної енергії постійно зростає (+1 пункт у 2021 році), досягнувши 10,7% світового балансу електроенергії. Викиди CO₂ відновилися (+5,4%), врівноважуючи попередні наслідки кризи COVID-19 (-4,5% у 2020 році). Повільніше зниження глобальної інтенсивності CO₂ у 2021 році з покращенням на 0,5%. Після середнього щорічного покращення на 0,4% протягом періоду 2010–2019 рр. та стагнації у 2020 році глобальний вуглецевий фактор погіршується у 2021 р. зі збільшенням на 0,5% (перше підвищення з 2013 р.).

Світова частка відновлюваних ресурсів в енергетичному балансі в період з 2020 по 2021 р. залишалася на одному рівні (зменшення на 0,01 % порівняно зі збільшенням на 1,77 % у 2020 р.). Це відбувалося через зростання використання потужностей з диспетчеризацією для задоволення зростаючого попиту.

У 2020 р. питома енергоспоживання скоротилося на 1,3 %, тоді як у 2021 р. – на 1 %. Такий показник поступається середньому значенню -2 %, що спостерігалось в 2010–2019 рр., і недостатній для виконання Паризької угоди. Частка електроенергії у глобальному споживанні повільно зростає (у 2021 р. 20,4 % порівняно 20,2 % у 2020 р.), незважаючи на відновлення споживання електроенергії після пандемії COVID-19 та супутнє збільшення попиту на викопне паливо, особливо в транспортному секторі.

Щодо інтенсивності використання енергії на одиницю ВВП за постійного паритету купівельної спроможності (ПКП). У 2021 р. скорочення питомого енергоспоживання у світі сповільнилося порівняно із середнім значенням за період 2000–2019 рр. (-1% порівняно з -1,5%/рік у 2000–2019 рр.).

Країни з максимальною інтенсивністю використання енергії на одиницю ВВП за постійного ПКП (коє/\$15 р.): Великобританія – 0,053; Колумбія – 0,055; Туреччина – 0,062; Португалія – 0,062; Румунія – 0,064; Італія – 0,064; Іспанія – 0,068; Індонезія – 0,069; Німеччина – 0,07; Мексика – 0,073; Єгипет – 0,074; Нідерланди – 0,074. Країни з мінімальною інтенсивністю використання енергії на одиницю ВВП за постійного ПКП (коє/\$15 р.): Іран – 0,232; Росія – 0,212; Кувейт – 0,201; Тайвань – 0,174; Канада – 0,168; Нігерія – 0,167; Узбекистан – 0,164; Казахстан – 0,156; Китай – 0,144; Саудівська Аравія – 0,138; Південна Корея – 0,134; ПАР – 0,124.

Інтенсивність використання енергії на одиницю ВВП за постійного ПКП в Україні (коє/\$15 р.): 1995 р. – 0,462; 1996 р. – 0,47; 1997 р. – 0,464; 2017 р. – 0,195; 2019 р. – 0,198; 2020 р. – 0,197; 2021 р. – 0,196.

У 2021 р. вироблення електроенергії з ВДЕ продовжило стійкими темпами зростати (+16 % у вітрової та +23 % у сонячній енергетиці) на тлі того, як світове виробництво енергії з відновлюваних ресурсів залишилося динамічним (+93 ГВт у вітрової та +133 ГВт у сонячній енергетиці). У 2021 р. сукупна потужність морських вітроенергетичних установок зросла більш ніж удвічі (+21 ГВт) і сягнула майже 56 ГВт, причому багато в чому завдяки Китаю (+17 ГВт).

Незважаючи на стрибок вироблення енергії з теплових джерел, особливо на вугільних електростанціях, у контексті поживлення світової економіки та відновлення попиту на електрику у 2021 р., частка вітрової та сонячної енергетики у світовому енергетичному балансі знову зросла (до 10,7 %) і тепер перевищує рівень 2010 р. на 8,4 пункту. Як і в попередні роки, більшість нових потужностей з вироблення енергії з відновлюваних ресурсів (+53 ГВт у сонячній та +14 ГВт у вітрової енергетиці), а також зростання вітрогенерації (+37 %) та виробництва електрики з енергії сонця (+29 %) припадає на частку Китаю. Згадані типи енергетики становлять 12 % енергетичного балансу цієї країни (+11% із 2010 р.).

Амбіційна політика щодо відновлюваних ресурсів та зниження цін призвели до зростання як виробництва електроенергії, так і частки вітрової та сонячної енергетики в США (+16 %, тепер 13 % енергетичного балансу), Австралії (+26 %, понад 20 % енергетичного балансу), Індії (+17%, тепер 8%

енергетичного балансу) та Японії (+14%, тепер 12% енергетичного балансу). Несприятлива вітрова обстановка призвела до скорочення виробництва електроенергії з вітру в ЄС та низького зростання у Південній Кореї, проте зростання вироблення сонячної енергії дозволило зберегти частку вітрової та сонячної енергії в енергетичному балансі на позначці 19 % у ЄС та 5 % у Південній Кореї. Частка вітрової та сонячної енергетики також стабільно збільшується в Бразилії та Мексиці (+12 % з 2010 р.), але залишається майже незмінною у країнах, що займаються великомасштабним видобутком корисних копалин (наприклад, у росії, Саудівській Аравії, ПАР та Колумбії), а також Африка.

Частка ВДЕ у світовому енергетичному балансі в період з 2020 по 2021 р. залишалася стабільною (28,1 %), що вище за рівень 2019 р. (26,3 %). Країни з максимальною часткою ВДЕ у світовому енергетичному балансі у 2021 р. (у відсотках): Норвегія – 99; Нова Зеландія – 80,9; Бразилія – 78,4; Колумбія – 74,5; Канада – 68; Швеція – 67; Португалія – 65,5; Чилі – 47,2; Іспанія – 47,1; Румунія – 44,4; Німеччина – 41,5; Італія – 41,4. Країни з мінімальною часткою ВДЕ у світовому енергетичному балансі у 2021 р. (у відсотках): Саудівська Аравія – 0,1; Кувейт – 0,2; Алжир – 0,8; Іран – 2,3; Об'єднані Арабські Емірати – 4; Тайвань – 6,5; Південна Корея – 8,6; Узбекистан – 9,1; ПАР – 9,2; Єгипет – 9,7; Казахстан – 10,9; Чехія – 13,9.

Частка ВДЕ у енергетичному балансі України: 2000 р. – 6,7 %; 2005 р. – 6,7 %; 2010 р. – 7,1 %; 2015 р. – 5,3 %; 2021 р. – 16,1 %. Частка вітрової та сонячної енергетики у світовому енергетичному балансі стабільно зростає (+1 % у 2021 р.). і становить 107%. Країни з максимальною часткою вітрової та сонячної енергетики у власному енергетичному балансі (у відсотках): Іспанія – 32,7; Португалія – 31; Німеччина – 28,9; Великобританія – 25,2; Нова Зеландія – 24,8; Нідерланди – 24,1; Чилі – 21,1; Австралія – 19,7; Італія – 18,3; Бельгія – 17,6; Швеція – 17,2; Туреччина – 17. Країни з мінімальною часткою вітрової та сонячної енергетики у власному енергетичному балансі (у відсотках): Саудівська Аравія – 0,1; Нігерія – 0,1; Кувейт – 0,2; Іран – 0,3; Колумбія – 0,5; Росія – 0,6; Алжир – 0,7; Малайзія – 1,1; Казахстан – 2,8; Чехія – 3,4; Тайвань – 3,5; Єгипет – 3,6.

Частка вітрової та сонячної енергетики у енергетичному балансі України: 2015 р. – 1,0 %; 2021 р. – 8,9 %.

Зростання рівня викидів CO₂, спричинене пожвавленням світової економіки, перевищило тенденцію минулих років (+1,9 % / рік у період з 2000 по 2019 р.). Викиди CO₂ у світі збільшилися на 5,4% і досягли рекордного рівня (33 Гт CO₂). Серед найбільших емітентів викидів лише в Австралії рівень викидів CO₂ дотримується низхідної тенденції (-3,6 %), переважно завдяки 4,3 % скороченню в енергетичному секторі (зменшення частки вугільних та газових електростанцій у виробленні енергії на користь сонячної та вітрової енергетики). У Японії рівень викидів CO₂ продовжує зростати контрольованими темпами (+0,8%). Помітний сплеск рівня викидів CO₂ зафіксований у Бразилії (+14 %, збільшення використання газових електростанцій, зростання споживання, переважно нафти, у транспортному секторі), росії (+9,5 %, рекордний попит на газ, особливо в енергетичному та промисловому секторах) та меншою мірою у США (+6,2 %). Лише у росії рівень викидів виріс (+156 МтCO₂) на таку ж величину, як у всьому ЄС, де понад 70 % збільшення рівня викидів CO₂ посідає частку Німеччини, Франції, Італії та Нідерландів. Рівень викидів CO₂ у Китаї досяг рекордного значення (+6,3 %, 10,4 Гт CO₂) через різке збільшення попиту на електрику у 2021 р. (+10 %) у поєднанні з погіршенням коефіцієнта CO₂ у галузі вироблення електроенергії (введення в експлуатацію вугільних електростанцій сумарною потужністю близько 7 ГВт у 2021 р.).

Викиди CO₂ у 2021 р. збільшилися (+5,4 %), звівши нанівець вплив пандемії COVID-19 (-4,5 % у 2020 р.). У 2020 р. світовий вуглецевий коефіцієнт залишився фактично без змін, а в 2021 р. збільшився (збільшення на 0,5 %) та повернувся до рівнів 2019 р. через зростання споживання викопних видів палива.

Перелік країн з максимальними обсягами викидів CO₂ від спалювання палива (MtCO₂): Китай – 10398; США – 4632; Індія – 2251; росія – 1795; Японія – 1014; Німеччина – 652; Іран – 621; Південна Корея – 614; Канада – 546; Індонезія – 537; Саудівська Аравія – 513; Бразилія – 450. Перелік країн з мінімальними обсягами викидів CO₂ від спалювання палива (MtCO₂): Нова Зеландія – 32; Швеція – 33; Португалія – 38; Норвегія – 38; Румунія – 69; Колумбія – 71; Чилі – 91; Бельгія – 93; Чехія – 93; Кувейт – 102; Нігерія – 102; Узбекистан – 136.

Обсяги викидів від спалювання палива в Україні (MtCO₂): 1990 р. – 692; 2000 р. – 309; 2005 р. – 316; 2010 р. – 276; 2015 р. – 191; 2021 р. – 156. У 2021 р. скорочення інтенсивності викидів CO₂ у світі сповільнилося та становить 0,5 %. Перелік країн з максимальною інтенсивністю викидів CO₂ при постійному паритеті купівельної спроможності (кCO₂/\$15 р.): Кувейт – 0,61; Іран – 0,5254; росія – 0,47; Узбекистан – 0,46; Казахстан – 0,451; Тайвань – 0,416; Китай – 0,409; ПАР – 0,402; Саудівська Аравія – 0,324; Канада – 0,317; Малайзія – 0,287; Австралія – 0,287. Перелік країн з мінімальною інтенсивністю викидів CO₂ при постійному паритеті купівельної спроможності (кCO₂/\$15 р.): Швеція – 0,062; Нігерія – 0,099; Колумбія – 0,1; Франція – 0,105; Великобританія – 0,109; Норвегія – 0,111; Португалія – 0,114; Іспанія – 0,127; Румунія – 0,13; Україна – 0,134; Італія – 0,135; Бразилія – 0,147.

Величини інтенсивності викидів CO₂ при постійному паритеті купівельної спроможності в

Україні (кCO₂/\$15p): 2000 р. – 0,962; 2005 р. – 0,678; 2010 р. – 0,566; 2015 р. – 0,440; 2021 р. – 0,134

У період з 2010 по 2019 р. світовий вуглецевий коефіцієнт (середній коефіцієнт викидів CO₂) скорочувався в середньому на 0,4 % на рік, у 2020 р. він не змінився, а у 2021 р. зріс на 0,5 % (перше підвищення з 2013 р.). Перелік країн з максимальним обсягом викидів (tCO₂/toe): ПАР – 3,25; Кувейт – 3,03; Австралія – 2,95; Малайзія – 2,91; Казахстан – 2,89; Китай – 2,85; Польща – 2,84; Узбекистан – 2,8; Об'єднані Арабські Емірати – 2,66; Туреччина – 2,6; Японія – 2,53; Індія – 2,43. Перелік країн з мінімальним обсягом викидів (tCO₂/toe): Нігерія – 0,59; Швеція – 0,71; Норвегія – 1,27; Франція – 1,28; Бразилія – 1,46; Нова Зеландія – 1,58; Бельгія – 1,65; Україна – 1,73; Колумбія – 1,82; Португалія – 1,84; Іспанія – 1,88; Канада – 1,89.

Обсяги викидів CO₂ в Україні (tCO₂/toe): 2000 р. – 2,31; 2005 р. – 2,24; 2010 р. – 2,10; 2015 р. – 2,06; 2021 р. – 1,73.

4. Витрати на ВДЕ на основі LCOE

Витрати на ВДЕ (середня розрахункова собівартість виробництва електроенергії протягом усього життєвого циклу електростанції) у другому десятилітті XXI ст. та у теперішній час продовжують різко знижуватися [9–11]. Сонячна фотоелектрична енергетика зазнала найшвидшого зниження витрат з 2010 року: глобальне середньозважене LCOE нових проєктів комунального масштабу впало на 89% між 2010 і 2021 роками, з 0,40 дол. / США за 1 кВт·год до 0,046 дол. США за кВт·год. Це означало різке зниження: від сонячної фотоелектричної системи, яка була більш ніж удвічі дорожчою, ніж найдорожчий варіант виробництва електроенергії на викопному паливі, до нижньої межі діапазону нових потужностей на викопному паливі у 2021 р. до 0,008 дол. США за кВт·год.

Це зниження було спричинене головним чином зниженням цін на модулі, які зменшилися на 91% з 2010 року (незважаючи на нещодавнє зростання). Для наземних вітроенергетичних проєктів світова середньозважена вартість електроенергії впала на 64%, з 0,102 дол. США за кВт·год у 2010 р. до 0,033 дол. США за кВт·год у 2021 р. Це зниження вартості було зумовлено зниженням цін на турбіни та балансу витрат на електростанції, оскільки а також вищими коефіцієнтами потужності сучасних найсучасніших турбін.

Глобальна середньозважена загальна встановлена вартість нещодавно введених в експлуатацію наземних проєктів вітроелектростанції впала на 36%, з 2041 дол. США за 1 кВт у 2010 році до 1315 дол. США за кВт у 2021 р. У той же час постійне вдосконалення технології вітряних турбін, розташування ферми та краща надійність призвели до зростання середніх коефіцієнтів потужності, при цьому глобальне середньозважене значення зросло з 27% у 2010 році до 39% у 2021 році. Глобальне середньозважене значення LCOE нових морських вітроелектростанцій впало з 0,188 дол. США за кВт·год у 2010 році до 0,079 дол. США за кВт·год у 2021 р., зменшившись на 58%.

Зниження вартості електроенергії з CSP у 2010–2021 рр. – до середини діапазону вартості нових потужностей з викопного палива – залишається видатним досягненням, зафіксувавши падіння на 67% за цей період.

Середньозважений глобальний LCOE гідроенергетики зріс на 26% між 2010 і 2021 роками, з 0,039 дол. США за кВт·год до 0,049 дол. США за 1 кВт·год. Це все одно було нижчим, ніж найдешевший новий варіант електроенергії на викопному паливі.

Глобальне середньозважене значення LCOE проєктів біоенергетики зазнавало певної волатильності протягом 2010–2021 рр., але не демонструвало помітної тенденції до зростання або зниження протягом періоду. Однак глобальний середньозважений LCOE у 2021 р. в 0,067 дол. США за кВт·год був на 14% нижчим, ніж значення 2010 року в 0,078 дол. США за кВт·год.

Глобальний середньозважений LCOE геотермальної енергії становив 0,068 доларів США за кВт·год у 2021 р., що на 34% вище, ніж у 2010 році, але цілком у межах діапазону, який спостерігався між 2013 та 2021 роками, від 0,054 дол. США за кВт·год до 0,071 дол. США за кВт·год. Щорічне збільшення нових потужностей залишається скромним, і один проєкт із нетипово низьким коефіцієнтом потужності в 42% знизив глобальний середньозважений коефіцієнт потужності для нових проєктів у 2021 р. до 77%.

Глобальні середньозважені LCOE від нещодавно введених в експлуатацію технологій відновлюваної енергетики комунального масштабу за період 2010–2021 рр. наведено на рис. 1.

Глобальні середньозважені загальні встановлені витрати, коефіцієнти потужності та LCOE нововведених в експлуатацію сонячних фотоелектричних установок загального масштабу, берегових і морських вітрових установок за період 2010–2021 рр. наведено на рис. 2.

Щодо вартості відновлюваної енергії у 2021 році [10, 11]. LCOE для нових сонячних фотоелектричних проєктів, введених у експлуатацію в 2021 р., впала на 13% порівняно з аналогічним періодом минулого року з 0,055 дол. США/кВт·год до 0,048 дол. США/кВт·год. Оскільки в 2021 р. було введено в експлуатацію лише одну концентруючу сонячну електростанцію (CSP), після двох у 2020 р. розгортання залишається обмеженим, а щорічні зміни витрат нестабільними. Зважаючи на це застереження, середня вартість електроенергії з нової станції CSP була приблизно на 7% вищою за середню в 2020 р..

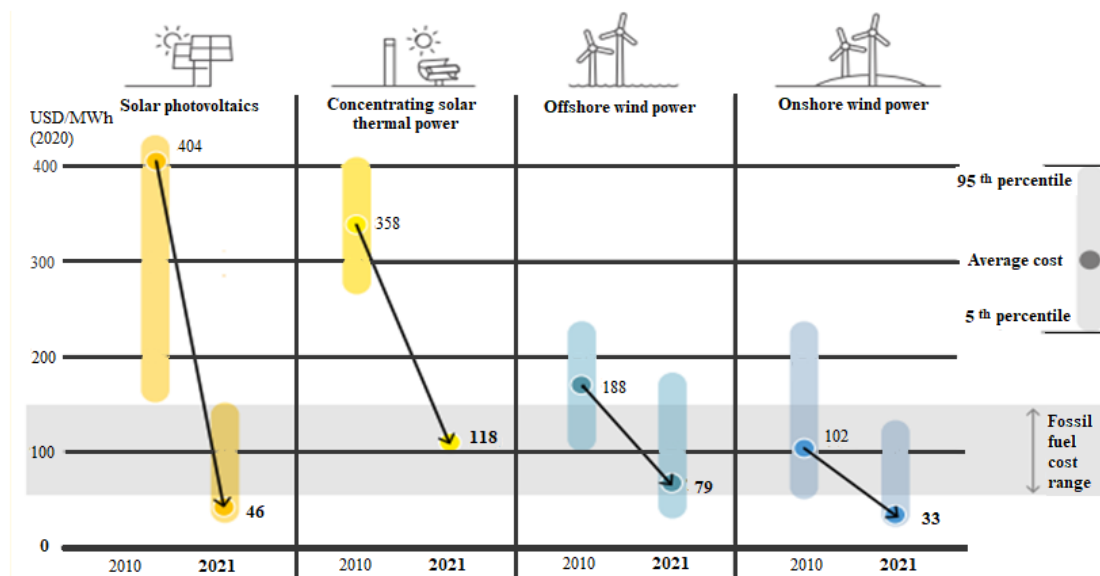


Рисунок 1 – Глобальні середньозважені LCOE від нещодавно введених в експлуатацію технологій відновлюваної енергетики комунального масштабу за період 2010–2021 рр.

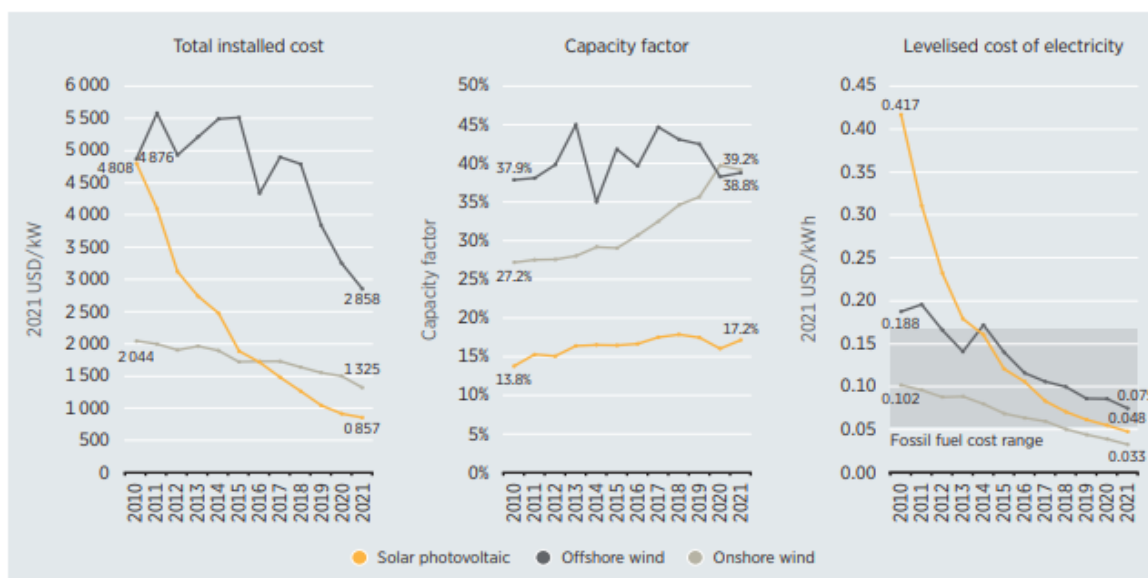


Рисунок 2 – Глобальні середньозважені загальні встановлені витрати, коефіцієнти потужності та LCOE нововведених в експлуатацію сонячних фотоелектричних установок загального масштабу, берегових і морських вітрових установок за період 2010–2021 рр.

LCOE нових наземних вітрових проектів, доданих у 2021 р., впало на 15% порівняно з минулим роком з 0,039 дол. США / кВт·год у 2020 р. до 0,033 дол. США/кВт·год. У 2021 р. Китай знову домінував у нових наземних вітрових потужностях, а також відчув, всупереч тенденції в інших країнах, падіння цін на вітрові турбіни. Вартість електроенергії для нових наземних вітрових проектів, за винятком Китаю, впала на більш скромні 12% порівняно з минулим роком до 0,037 дол. США/кВт·год. У 2021 р. ринок офшорної вітрової енергії безпрецедентно зріс (додано 21 ГВт), оскільки Китай збільшив кількість нових потужностей, а LCOE впала на 13% у річному обчисленні з 0,086 дол. США/кВт·год до 0,075 дол. США/кВт·год.

Зміна глобальної зваженої вирівняна вартість електроенергії за технологіями за період 2020–2021 рр. наведено на рис. 3.

Отже, за період з 2010 по 2021 рік стався суттєвий зсув у балансі конкурентоспроможності між ВДЕ та викопним паливом і ядерними варіантами. Глобальний середньозважений LCOE нових проектів сонячної фотоелектричної установки, введених в експлуатацію, знизився на 88% між 2010 і 2021 роками, для наземних вітряних установок і CSP – на 68%, а морських вітрових установок – на 60%.



Рисунок 3 – Зміна глобальної зваженої вирівняна вартість електроенергії за технологіями за період 2020–2021 рр.

Собівартість «зеленої» електроенергії в Україні за 2012–2018 роки суттєво знизилася. Зменшення LCOE основних типів ВДЕ в Україні (в євро/МВт·год) з 2012 р. до 2018 р. [12]; СЕС: з 403 до 116 (на 71 %); ВЕС: з 107 до 77 (на 28 %); малі ГЕС: з 271 до 177 (на 35 %); біоенергія: з 168 до 104 (на 39 %).

5. Європейська політика у сфері ВДЕ та енергоефективності

22 травня 2019 р. Рада міністрів ЄС офіційно ухвалила чотири нові законодавчі акти ЄС, які переробляють ринок електроенергії ЄС, щоб зробити його придатним для майбутнього [13]. Це завершило роботу над іншими елементами пакету «Чиста енергія для всіх європейців» і є важливим кроком до завершення створення Енергетичного союзу, дотримуючись пріоритетів Комісії Жана-Клода Юнкера (діяла під головуванням Жана-Клода Юнкера з 1 листопада 2014 по 30 листопада 2019 року).

Європейська зелена угода – EU Green Deal (офіційно представлена Президентом ЄК Урсулою фон дер Лєен у Європарламенті 11 грудня 2019 року.) – це довгостроковий план зростання ЄС, щоб зробити Європу кліматично нейтральною до 2050 року [14]. Ця мета закріплена в Європейському законі про клімат (червень 2021 р.), а юридично обов'язкове зобов'язання скоротити чисті викиди парникових газів, що менше на 55% до 2030 року в порівнянні з рівнем 1990 року [15].

У липні 2021 року комісія представила свій пакет законодавчих актів «Fit for 55» (повна відмова від автомобілів). Ці пропозиції були направлені на зниження споживання газу в ЄС на 30% до 2030 року, причому більша третина такої економіки буде забезпечена досягненням цілей ЄС щодо енергоефективності [16]. Fit for 55 – це пакет Європейського Союзу, призначений для скорочення викидів парникових газів Європейським Союзом на 55% до 2030 року. Пакет був запропонований у липні 2021 року Європейською комісією.

Узагальнений графік розвитку відновлюваної енергетики в ЄС наведено нижче.

- 1991 р. – Німеччина запроваджує перші пільгові тарифи на відновлювані джерела енергії.
- 1997 р. – Енергія майбутнього: відновлювані джерела енергії: орієнтовна ціль ЄС 12% відновлюваних джерел енергії до 2010 р.
- 2000 р. – Перша великомасштабна офшорна вітроелектростанція (Данія).
- 2001 р. – Директива щодо виробництва електроенергії з відновлюваних джерел: національні індикативні цілі.
- 2003 р. – Директива щодо біопалива та відновлюваних джерел палива для транспорту: національні цілі щодо біопалива.
- 2008 р. – Olmedilla Photovoltaic park (Іспанія) – найбільша електростанція (60 МВт) у світі - виробляє достатньо енергії для 40 тис. будинків на рік.
- 2009 р. – Директива про відновлювані джерела енергії (RED): ціль ЄС щодо 20% ВДЕ до 2020 р. та національні обов'язкові цілі.
- 2014 р. – Берегова вітрова енергія дешевша за вугілля, газ і ядерну енергію.
- 2018 р. – Переглянута Директива про відновлювані джерела енергії (REDII): цільовий показник 32% ВДЕ до 2030 року.
- 2019 р. – Виробництво енергії вітру та сонця в ЄС вперше перевищило обсяги виробництва вугілля.
- 2021 р. – Директива про відновлювані джерела енергії (REDII): пропозиція ЄС підвищити цільовий показник до 2030 року до 40%.
- 2022 р. – План REPowerEU: пропозиція ЄК підвищити цільовий показник на 2030 рік до 45%.

На сьогодні можна відзначити 5 ключових основ енергетичного переходу в Європі [15, 16]:

1. **Прискорення європейського переходу.** Як керівники енергетики можуть керувати європейським переходом із залу засідань? Як вони керують багатонаціональними організаціями в цьому складному політичному, нормативному та фінансовому середовищі?

2. **Управління ринком ЄС.** Яка роль європейської політики у здійсненні європейського переходу?

Де можна використати нові можливості європейського перехідного ринку?

3. **Енергетична безпека.** Чи буде геополітична напруженість перешкоджати чи сприяти європейському енергетичному переходу? Як європейські гравці можуть забезпечити безпечне, стійке енергетичне майбутнє?

4. **Електрифікація та цифрова трансформація.** Як виглядатиме зелена європейська мережа майбутнього? Як цифровізація та інноваційне програмне забезпечення розширять майбутні грид-системи?

5. **Промисловість і ланцюги поставок.** Як ми можемо забезпечити глибоку декарбонізацію в європейських галузях промисловості, які важко подолати? Які поетапні зміни в ланцюгах постачання ми можемо очікувати в постперехідній економіці?

У травні 2022 р. Європейська Комісія представила план REPowerEU, в якому викладений курс на зменшення споживання нафти та газу в цілому, а також впровадження та використання «зелених» джерел енергії [17]. REPowerEU містить лаконічну та ілюстративну схему, яка демонструє основні ідеї цього плану (див. рис. 4).

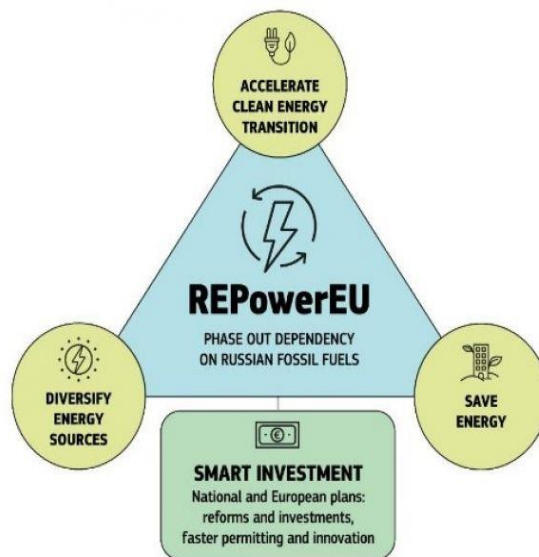


Рисунок 4 – Ілюстративна схема, яка демонструє основні ідеї плану REPowerEU

Згідно плану REPowerEU діяльність організовується за наступними напрямками:

1. Економія ресурсів;
2. Диверсифікація постачань;
3. Нові постачальники;
4. Збільшення використання ВДЕ;
5. Водень;
6. Прискорення процедур;

Як вже зазначалося, Єврокомісія пропонує збільшити частку ВДЕ до 45% до 2030 року (проти 40% у порівнянні з пропозицією 2021 р.). Це стосується сонячної енергії, вітрової та гідроенергетики. Основними напрямками реалізації «Європейської зеленої угоди (EU Green Deal)» в рамках REPowerEU є: скорочення шкідливих викидів в атмосферу; прискорений розвиток ВДЕ; перехід Європи до «кліматично нейтральної»; створення нових ринків «зелених» продуктів; перехід на екологічний транспорт; оновлення енергетичної системи. Щоб покращити виробництво і постачання сонячної, вітрової та теплової енергії, Комісія планує: покращити нормативно-правову базу, оновити дозвольно-регуляторну систему для полегшення «паперової тяганини», а також підтримувати потенційно важливі проекти спільного європейського інтересу, зосереджені на провідних технологіях та інноваціях процесу збільшення використання ВДЕ.

Європейський Союз прагне наростити використання індивідуальних теплових насосів та вжиття інших заходів для інтеграції геотермальної та сонячної теплової енергії в системи опалення. Наприклад, запроваджується ініціатива щодо встановлення дахів із зобов'язанням розміщувати сонячні панелі на нових громадських та комерційних будівлях.

6. Розвиток відновлюваної енергетики в Україні

Україна у 2021 році збільшила виробництво електроенергії на 5,2%, споживання – на 5,7% [18]. Зазначимо, що рот цьому виробництво електроенергії в ОЕС України у 2021 р., збільшилося на 5,2% (на 7 млрд. 719,5 млн. кВт·год) порівняно з 2020 р., до 156 млрд. 575,7 млн. кВт·год, свідчать дані Міністерства енергетики. АЕС у 2021 р. збільшили виробництво електроенергії на 13,1% – до 86 млрд. 205,4 млн.

кВт·год. ТЕС, ТЕЦ та когенераційні установки (КУ) знизили вироблення на 12,5% – до 45,834 млрд. кВт·год. Виробництво електроенергії ВДЕ (ВЕС, СЕС, біомаса) збільшилося на 15,3% – до 12 млрд. 519,7 млн. кВт·год.

Частка АЕС у структурі виробництва електроенергії становила 55,1% (у 2020 році – 51,2%), ТЕС, ТЕЦ та КУ – 29,3% (35,2%), ГЕС та ГАЕС – 6,7% (5, 1%, блок-станцій – 1% (1,2%), альтернативних джерел – 8% (7,3%).

За даними НКРЕКП, у 2021 році в Україні було введено в експлуатацію 731 МВт потужностей промислових ВДЕ на “зеленому” тарифі. З них на ВЕС припали 359 МВт, на СЕС – 305 МВт, електростанції на біомасі – 43 МВт, біогазові станції – 20 МВт та малі ГЕС – 4 МВт. У 2021 році найбільше потужностей додалося у вітроенергетиці. Було введено в експлуатацію 359 МВт ВЕС, що у 2,5 рази вище за показник 2020 року (144 МВт) та в 1,2 рази вище за показник промислових СЕС, введених в експлуатацію у 2021 році. Загальна потужність об'єктів ВДЕ станом на кінець 2021 року досягла 9656 МВт. З них потужність ВЕС становить 1673 МВт, промислових СЕС – 6381 МВт, СЕС приватних домогосподарств – 1205 МВт, електростанцій на біомасі – 152 МВт, біогазових станцій – 124 МВт, малих ГЕС – 121 МВт.

У 2021 р. біля 15 тис. українських домогосподарств встановили фотоелектричні установки, і це майже удвічі більше, ніж у 2020 р. Фахівці пояснюють цю різницю тим, що для побутових установок ставки “зеленого” тарифу залишилися на тому ж рівні, тоді як для промислових СЕС законом 810-ІХ були суттєво знижені. У цілому на кінець 2021 року в Україні нараховується близько 45 тис. домогосподарств, які використовують сонячні панелі. Загальна потужність домашніх СЕС перевищила 1,2 ГВт і за оцінками фахівців може забезпечити “чистою” електроенергією близько 460 тис. домогосподарств.

Найбільший приріст потужностей у відсотковому співвідношенні показали ТЕС на біомасі, додавши у 2021 році майже 40% (введено в експлуатацію 43,1 МВт до тих 109 МВт, що працювали на кінець 2020 року). Потужність біогазових станцій зросла протягом року на 19,2% (до 124,1 МВт), а малих ГЕС – на 3,3% (до 120,9 МВт).

Безвуглецева генерація України у 2021 р. була на одному рівні з ЄС. Так, у 2021 р. 63 % – середньозважена частка безвуглецевого енергоміксу в країнах ЄС; 70 % – середньозважена частка безвуглецевого енергоміксу в Україні. 8 червня 2022 року в Україні частка чистої енергії (атомна, гідро, вітрова, сонячна, біогенерації) в енергобалансі досягла 87,4%. Тобто, майже 9 із 10 спожитих в Україні кіловат годин були вироблені без жодних викидів CO₂. За рівнем розвитку безвуглецевої генерації Україна знаходиться на одному рівні та інколи навіть перевищує відповідні показники країн ЄС. Так, у 2021 році середньозважена частка безвуглецевого енергоміксу країн ЄС склала 63%, а в Україні досягла 70%. До прикладу, у Німеччині 8 червня 2022 р. частка чистої електроенергії становила 44%, решта покривалася шляхом використання природного газу та вугілля.

Згідно *Звіту з оцінки відповідності (достатності) генеруючих потужностей для покриття прогнозованого попиту на електричну енергію та забезпечення необхідного резерву* [19] розвиток ВДЕ має бути узгоджений з можливостями забезпечення їх балансування. Головні рекомендації цього Звіту полягають у подальшому розвитку атомної генерації, модернізації вугільних блоків ТЕС та обмеження виробництва електроенергії із ВДЕ. Слід зазначити, що для ОЕС України порівняння ефективності забезпечення потреб споживачів на основі прямого порівняння вартості електроенергії ВДЕ за життєвий цикл LCOE з точки зору економічної ефективності на рівні енергосистеми є некоректним, оскільки без врахування системних ефектів від впровадження потужностей генерації на ВДЕ, можна зробити абсолютно некоректні висновки.

За даними *Звіту з оцінки відповідності (достатності) генеруючих потужностей для покриття прогнозованого попиту на електричну енергію та забезпечення необхідного резерву у 2020 році* [20] без суттєвого підвищення маневрових можливостей енергосистеми України та впровадження технологій використання надлишків електричної енергії подальше прискорене нарощування потужностей електричних станцій на основі ВДЕ, матиме негативні наслідки. Оцінено, що, залежно від коефіцієнтів використання встановленої потужності (КВВП) та рівнів електроспоживання, необхідна потужність СЕС знаходиться в діапазоні 6–7 ГВт, а потужність ВЕС – у діапазоні 2,4–4 ГВт. Можливості розвитку ВДЕ за розробленими у Звіті сценаріями: 2025 р. – песимістичний сценарій: СЕС – 6,2 ГВт та ВЕС – 2,2 ГВт; оптимістичний сценарій: СЕС – 9,2 ГВт, ВЕС – 5,2 ГВт; 2030 р. – песимістичний сценарій: СЕС – 6,9 ГВт та ВЕС – 3,2 ГВт; оптимістичний сценарій: СЕС – 12 ГВт, ВЕС – 8 ГВт.

Розглянемо світові тренди ВДЕ, що впливатимуть на відбудову економіки України. Відповідно до звіту Deloitte, дослідники виділяють п'ять основних тенденцій розвитку галузі ВДЕ, які будуть особливо актуальні у 2022 році [21].

1) *нові технології «чистої» енергії*, які б допомогли ефективно інтегрувати ВДЕ у національні енергосистеми, забезпечити стійкий розвиток розподіленої генерації, а також переробку зношених комплектуючих електростанцій;

2) *нові конфігурації та бізнес-моделі для розосередженої генерації*, підтримка поєднання

сонячних батарей і накопичувачів, плаваючих СЕС;

3) **розвиток інфраструктури з передачі електроенергії**, особливо для офшорної вітроенергетики;

4) удосконалення стратегії та **екологічності системи ланцюжків поставок**;

5) **розвиток циркулярної економіки**: продовження терміну експлуатації, підвищення продуктивності зелених технологій, відновлення та повторного використання обладнання і матеріалів.

З початку війни енергетична система через зниження споживання у нас був надлишок електроенергії (приблизно 35%). Зважаючи на надлишок електроенергії постало два завдання: скоротити її виробництво (для балансу мережі), інше – знайти нові ринки збуту. Держава використовувала обидва варіанти. 30 червня Україна розпочала продаж електроенергії до ЄС. Скорочення кількості генерації, не був на спробі виробникам «зеленої» енергії. Обсяг системних обмежень СЕС склав 573 ГВт·год, або, приблизно, 30% від поточної генерації [22]. У фінансовому вираженні це 80 млн. євро.

Критична ситуація в плані економіки була викликано тим, що виробники ВДЕ наказом Міністерства енергетики №140 від 28 березня 2022 р. були обмежені в отриманні виручки за згенеровану електроенергію. Це сильно вдарило по можливості здійснювати платежі навіть на операційну діяльність, не кажучи вже про можливість обслуговувати кредити. Так, у березні–червні виплати виробникам електроенергії на СЕС та ВЕС не перевищували 16 %. Щоб зрозуміти, наскільки мало скажу, що для повного покриття операційних витрат рівень виплат має становити щонайменше 30%, обслуговування позик – 50–55%. Оплачувати тіло кредитів компанії можуть лише за рівні виплат до 90%.

З початку широкомасштабної війни в Україні зупинено понад 3/4 вітроенергетичних потужностей, тобто з загальних 1673 МВт, наразі не працює близько 1462 МВт українських ВЕС, а 5 вітрових турбін в Херсонській області, що встановлені на Мирненській, Сиваській та Новотроїцькій вітроелектростанціях, сьогодні є знищеними [23]. Відсоток виплат за поставлену електроенергію у 2022 році був обмежений на термін дії військового стану до 15 % від середньозваженого розміру «зеленого» тарифу за 2021 рік для виробників електроенергії з сонячного випромінювання; до 16 % – для виробників електроенергії з енергії вітру; до 35 % – для виробників, що здійснюють виробництво електричної енергії з гідроенергії; до 40 % – для виробників, що здійснюють виробництво електричної енергії з біогазу; і до 60 % – для виробників, що здійснюють виробництво електричної енергії з біомаси ([наказ Міністерства енергетики України № 140 від 28.03.2022](#)). У результаті розв'язання росією війни проти нашої країни можемо констатувати, має місце скорочення обсягів відновлюваної генерації; поглиблення фінансової кризи на ринку ВДЕ; призупинення будівництва ВЕС та СЕС.

В умовах повномасштабної війни з росією, пріоритетної важливості щодо подальшого розвитку ВДЕ набули положення **Плану відновлення України до 2032 року** [24], презентованого Урядом України в липні 2022 року на міжнародній конференції донорів в Лугано. Так, до 2032 р. планується будівництво 5–7 ГВт нових сонячних та вітроелектростанцій для розширення експортної спроможності України, 30+ ГВт об'єктів з ВДЕ для виробництва відновлюваного водню та 3,5 ГВт гідроелектростанцій та насосних гідроелектростанцій. Додатково, протягом наступних 10 років Планом передбачено введення в експлуатацію 1,5–2,0 ГВт піковий потужностей, 0,7–1,0 ГВт акумуляторів та 15 ГВт електролізних потужностей. Обсяг майбутніх інвестицій оцінюється у 130 млрд. дол.

Україна створила Фонд підтримки енергетики, який знаходиться під наглядом Енергетичного співтовариства. Міжнародні фінансові установи такі, як Європейський банк реконструкції та розвитку (ЄБРР), також пообіцяли додаткове фінансування і вже надають екстрену підтримку ліквідності. Вважається, що енергетичної незалежності України сприятиме низка заходів, зокрема [25]:

1. Запровадження механізму видачі гарантій походження електроенергії. Гарантія походження – це електронний документ, який підтверджує, що електрична енергія вироблена частково або повністю із ВДЕ, що стимулюватиме процес декарбонізації та «зеленої» трансформації економіки України;

2. Приведення національного законодавства України та регуляторної бази в енергетичній сфері до принципів 4-го Енергетичного пакету ЄС;

3. Створення і запровадження механізмів, що сприяють енергетичній децентралізації.

Ключовою для відновлення економіки України має стати реформа енергетичного сектору, яка повинна передбачати виконання певних умов – від повної інтеграції в європейський енергоринок до забезпечення сприятливих умов для інвестицій [22]. Енергетика є ключовою сферою для функціонування будь-якого сучасного суспільства та будь-якої сучасної економіки. Конкретні пропозиції, які можуть допомогти Україні ефективно реформувати енергетичну галузь та економіку в цілому:

– головним орієнтиром української енергетичної реформи має стати інтеграція в європейський енергетичний ринок;

– необхідна міжнародна координація допомоги Україні у енергетичній сфері;

– оскільки донорських коштів самих по собі буде недостатньо для відновлення енергетичної галузі, то мета таких внесків має бути зосереджена на залучення більшого приватного капіталу, щоб провести якісну реконструкцію та модернізацію.

Насамперед, синхронізація з ENTSO-E призводить до підвищення надійності роботи всієї

української енергосистеми. Це особливо важливо під час війни. Європейська енергосистема має можливість підстрахувати ОЕС України, надавши додаткові потужності у надзвичайній чи аварійній ситуації в Україні. Необхідно зазначити, що нова енергетична стратегія ЄС RePowerEU [17] передбачає значну участь України у забезпеченні майбутньої енергетичної безпеки ЄС. Ми можемо це робити за рахунок значних вітрових та сонячних ресурсів країни, потенціалу з видобутку газу та наявності інфраструктури для його зберігання, потенціалу з виробництва водню, біометану. Це стратегічний напрямок розвитку української енергетики, який потребує значних інвестицій у розвиток мереж, генеруючі потужності ВДЕ, маневрові потужності та обладнання для зберігання енергії.

Сьогодні прямі зв'язки між Європейською зеленою угодою та геополітикою незаперечні: енергетичний перехід став критично важливими для безпеки та оборони ЄС [25 – 27]. Ключові стратегічні сфери закладає основу для швидкого та стійкого економічного розвитку України та решти Європи у XXI ст. Щоб досягти успіху, їй необхідно підтримувати структурні зміни та інтеграцію до ЄС і вирішувати проблеми в шести ключових стратегічних сферах:

- 1) екстрена допомога, відновлення критичної інфраструктури та постраждалих міст;
- 2) сприяння економічній інтеграції та підготовка України до членства в ЄС;
- 3) переоснащення української промисловості, щоб зробити її рушієм декарбонізації економічного розвитку;
- 4) прискорення енергетичного переходу в усьому регіоні шляхом інтеграції України в європейські енергетичні ринки та виробничі ланцюги екологічних технологій;
- 5) поступове припинення імпорту викопного палива до Європи та заміна його зеленою енергією з України;
- 6) створення тисяч нових «зелених» робочих місць в Україні.

У післявоєнній перспективі широкомасштабний розвиток ВДЕ в Україні буде можливим за умови [22–27]:

- прийняття конкретних національних стратегій із розвитку ВДЕ, виробництва відновлюваного водню; перегляд Енергетичної стратегії до 2035 року, зокрема, прийняття Енергетичної стратегії України до 2050 року з визначенням економічно та соціально необхідного рівня використання ВДЕ;
- впровадження нових ринкових механізмів стимулювання розвитку ВДЕ, а також стимулювання національного виробництва обладнання та комплектуючих для об'єктів ВДЕ;
- розроблення відповідної законодавчої бази для будівництва гібридних електростанцій з ВДЕ, забезпечення діяльності активних споживачів (просюмерів) та агрегаторів генерації і споживання електроенергії;
- нарощування обсягів використання біомаси у генерації електро- та теплоенергії;
- забезпечення розвитку ринку відновлюваного водню, зокрема, надати гарантії походження водню, розбудувати надійну інфраструктуру з виробництва, споживання та експорту відновлюваного водню;
- сприяння розвитку децентралізованої енергетики, зокрема, енергетичних кооперативів, малого та середнього підприємництва в енергетичній сфері, генерації та постачання електроенергії з урахуванням регіональних особливостей, розвитку розосередженої генерації, зокрема з використанням динамічної тарифікації;
- застосування кращих практик з охорони довкілля;
- розроблення законодавства в частині запровадження схеми торгівлі квотами на викидами парникових газів та інших ринкових та неринкових інструментів скорочення викидів парникових газів.

При розгляді проблеми широкого впровадження ВДЕ в ОЕС України доцільно виділити три рівні: вищий рівень – ОЕС України; середній рівень – регіональні енергокомпанії; нижній рівень – локальні системи енергозабезпечення [27].

Вищий рівень – ОЕС України. Для ОЕС України першочерговим напрямком є підвищення гнучкості ОЕС України. Інтеграція ВДЕ потребує забезпечення високоманеврової генерації або систем типу Energy Storage в обсягах близько 20 % від встановленої проектно потужності станцій. На першому етапі підвищити гнучкість енергосистеми для подальшої інтеграції ВДЕ дозволить будівництво 2 ГВт високоманеврової генерації. Важливою є оцінка необхідної маневрової здатності обладнання, за якої функціонування ОЕС України буде супроводжуватися відсутністю залишкового дисбалансу. Джерелами гнучкості є високо маневрові генеруючі потужності, керування попитом, міждержавні перетини, системи акумулювання енергії, балансери. Підвищення гнучкості енергосистеми не забезпечує можливість вирішення проблеми тривалих профіцитів потужності, що потребує впровадження систем «переносу» або акумулювання енергії у великих обсягах (типу систем «Power to X») з періодів графіків електричних навантажень, де є її профіцит, до періодів, де є її дефіцит.

Середній рівень – регіональні енергокомпанії. Для вирішення окресленої проблеми на рівні регіональних енергокомпаній необхідно забезпечити широке впровадження енергоефективних технологій, які підвищують їх гнучкість. Згідно світового досвіду, на сьогоднішній день повністю відповідають вимогам маневреної генерації та є найбільш ефективними газопоршневі та газотурбінні установки, дизель-

генераторні станції, які відносяться до ДРГ і можуть широко застосовуватися в якості маневрених потужностей для балансування добових коливань навантаження.

Нижній рівень – локальні системи енергозабезпечення. Для локальних систем енергозабезпечення має бути вирішеним цілий комплекс питань на рівні кінцевого споживача. Зокрема, важливими проблемами кінцевих споживачів є понаднормовані втрати електроенергії, перехресне субсидування, низька якість електроенергії та якість електропостачання, реалізація опції надання статусу учасників ринку допоміжних послуг активних споживачів, зокрема, для власників електромобілів, що виконуватимуть продаж електроенергії через системи зарядних станцій. Необхідно відзначити швидке поширення та успішне функціонування локальних ринків електроенергії за участі розвитку сучасних локальних систем – Microgrid. Для локальних систем енергозабезпечення відсутні системні ефекти, що проявляються на рівні ОЕС України. Тому порівняння варіантів оцінки таких систем з ДРГ по LCOE у багатьох випадках, на відміну від ОЕС України, може бути коректним.

На локальному рівні найбільш повно проявляються переваги динамічної тарифікації [27]. Сучасні локальні ринки – це модель локального ринку однорангового типу, де однорангова ринкова структура дозволяє здійснювати транзакції з електроенергією між гравцями місцевої енергетичної системи за нижчою ціною. Фактично локальний ринок електроенергії для Microgrid надає можливості координації виробництва, постачання, зберігання, транспортування та споживання енергії від ДРГ (наприклад, ВДЕ, систем акумуляції та постачальників реагування на попит) у межах обмеженої географічної зони.

Висновки

1. Оскільки світовий енергетичний сектор переживає фундаментальну трансформацію, то необхідною є розробка нової парадигми енергетичної безпеки. Визначено, що диверсифікація нашого енергопостачання шляхом інвестування у ВДЕ є одним із перспективних шляхів захистити себе від ризиків енергетичної залежності.

2. Проаналізовано стан та ефективність використання ВДЕ на початку третього десятиліття XXI ст. (за даними Renewable Energy Policy Network for the 21st Century та The International Renewable Energy Agency); надана консолідована енергетична та кліматична статистика за 2021 р. згідно документа World Energy & Climate Statistics – Yearbook 2022 (Світова енергетична та кліматична статистика – щорічник 2022) з співставлення статистичних даних окремих країн та України.

3. Здійснено аналіз ефективності впровадження різних типів ВДЕ на рівні світових ринків та України за період 2010–2021 рр. та 2020–2021 рр. з використанням середніх розрахункових собівартостей виробництва електроенергії протягом усього життєвого циклу цих електростанцій (LCOE). При розгляді європейської політики у сфері ВДЕ та енергоефективності представлено графік розвитку відновлюваної енергетики в ЄС та характеристика плану REPowerEU, розроблений Європейською Комісією. Визначено, що майбутнє України, як і ЄС, безумовно пов'язане із чистою енергетикою.

4. Охарактеризовано розвиток відновлюваної енергетики в Україні у 2020–2021 рр., а вплив повномасштабної війни, розв'язаної росією проти України, на функціонування відновлюваної енергетики в Україні. Наведено світові тренди ВДЕ, що впливатимуть на відбудову економіки України, напрямки розвитку ВДЕ у повоєнний час з врахуванням перспектив розвитку ОЕС нашої країни в цілому. При розгляді проблеми широкого впровадження ВДЕ в ОЕС України доцільно виділити три рівні: вищий рівень – ОЕС України; середній рівень – регіональні енергокомпанії; нижній рівень – локальні системи енергозабезпечення.

Список використаної літератури

1. <https://www.un.org/en/climatechange/cop27>
2. <https://unsdg.un.org/ru/latest/blog/mir-pylaet-nam-nuzhna-revoluciya-v-oblasti-vozobnovlyaemykh-istochnikov-energii>
3. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022>
4. https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2022_Full_Report.pdf
5. <https://www.ceenrg.landecon.cam.ac.uk/news/eeist-report-ten-principles-policy-making-energy-transition-be-presented-cop27-11-november-2022>
6. <https://mercomindia.com/renewable-projects-remain-cost-competitive-through-2021>
7. <https://www.irena.org/Digital-Report/World-Energy-Transitions-Outlook-2022>
8. <https://yearbook.enerdata.net/>
9. <https://renewablesnow.com/news/renewables-by-far-cheapest-form-of-power-irena-says-791577/>
10. <https://www.sunoverpv.com/irena-global-large-scale-ground-mounted-pv-lcoe-to-drop-by-13-in-2021-n50>
11. <https://www.powerengineeringint.com/renewables/irena-wind-and-solar-costs-will-continue-to-fall/>
12. <https://ua-energy.org/uk/posts/sobivartist-zelenoi-elektroenerhii-v-ukraini-za-2012-2018-roky-suttievo-znyzylasia-eksperty>

13. https://ec.europa.eu/info/news/clean-energy-all-europeans-package-completed-good-consumers-good-growth-and-jobs-and-good-planet-2019-may-22_en
14. https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en
15. https://climate.ec.europa.eu/eu-action/european-green-deal/european-climate-law_en
16. <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/green-deal/fit-for-55-the-eu-plan-for-a-green-transition/>
17. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2022%3A230%3AFIN&qid=1653033742483>
18. <https://ua-energy.org/uk/posts/zradoperemohy-2021-ta-nevyznachene-maibutnie-ukrainskoi-vde-heneratsii>
19. Звіт з оцінки відповідності (достатності) генеруючих потужностей для покриття прогнозованого попиту на електричну енергію та забезпечення необхідного резерву, затверджений постановою НКРЕКП № 605 від 13.03.2020 р.
20. Звіт з оцінки відповідності (достатності) генеруючих потужностей для покриття прогнозованого попиту на електричну енергію та забезпечення необхідного резерву у 2020 році, затверджений постановою НКРЕКП № 975 від 16.06.2021 р.
21. <https://www2.deloitte.com/>
22. <https://ukrenergo.in.ua/>
23. <https://razumkov.org.ua/statti/sector-vidnovlyuvanoyi-energetyky-ukrayiny-do-pid-chas-ta-pislya-viyny>
24. <https://recovery.gov.ua/>
25. <https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/3601027-u-ekonomichnomu-vidnovlenni-ukraini-slid-zosereditis-na-energoreformi-ekspert.html>
26. <https://sae.gov.ua/uk/news/4630?fbclid=IwAR1HhK1fdwbIHSoaklejWVbBFodNTDzoz-gRz2LKeumBQkCY3qQ3xBYWF4E>
27. Кириленко О.В., Жуйков В.Я., Денисюк С.П. Використання динамічної тарифікації для оптимізації техніко-економічних показників Microgrid на локальних ринках електроенергії // Техн. електродинаміка. – 2022. – № 3. – С. 37–48.

S. Denysiuk, Dr. Sc. Sciences, Prof., ORCID 0000-0002-6299-3680

H. Bielokha, Ph.D., ORCID 0000-0003-4277-367X

I. Cherneshchuk, postgraduate, ORCID 0000-0001-6895-7843

V. Lysyi, postgraduate, ORCID 0000-0003-3714-7623

National Technical University of Ukraine

«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

GLOBAL TRENDS IN IMPLEMENTATION OF RENEWABLE ENERGY SOURCES AND FEATURES OF THEIR IMPLEMENTATION DURING THE RECOVERY OF UKRAINE'S ECONOMY

The world trends in the introduction of renewable energy sources (RES) and the peculiarities of their implementation during the recovery of the economy of Ukraine are considered.

It is shown that the world energy sector is undergoing a fundamental transformation, therefore it is necessary to develop a new energy security paradigm that will ensure reliability and availability while simultaneously reducing emissions, and green energy is an unconditional global trend of the coming decades. It has been determined that diversifying our energy supply by investing in RES is one of the promising ways to protect ourselves from the risks of energy dependence. The state and effectiveness of RES use at the beginning of the third decade of the 21st century is analysed (according to the Renewable Energy Policy Network for the 21st Century and The International Renewable Energy Agency).

Consolidated energy and climate statistics for 2021 according to the document World Energy & Climate Statistics - Yearbook 2022 (World energy and climate statistics - yearbook 2022) are provided, comparing statistical data of individual countries and Ukraine. The analysis of the effectiveness of the implementation of various types of RES at the level of world markets and Ukraine for the period 2010–2021 and 2020–2021 was evaluated using the average estimated cost of electricity production throughout the life cycle of these power plants (LCOE).

When considering the European policy in the field of RES and energy efficiency, the schedule of the development of renewable energy in the EU and the characteristics of the REPowerEU plan, developed by the European Commission, are presented, which outlines the course for reducing the consumption of oil and gas in general, as well as the introduction and use of "green" energy sources. A detailed description of the development of renewable energy in Ukraine in 2020-2021, as well as world trends in RES, which will affect the reconstruction of the Ukrainian economy, is provided. The impact of the full-scale war unleashed by Russia against Ukraine on the operation of renewable energy in Ukraine is shown, the main directions of the recovery of our country in the post-war period with the use of RES are highlighted.

Keywords: *renewable energy sources, energy policy, energy transition, cost of electricity production, energy of Ukraine, economic recovery*

References

1. <https://www.un.org/en/climatechange/cop27>
2. <https://unsdg.un.org/ru/latest/blog/mir-pylaet-nam-nuzhna-revolyuciya-v-oblasti-vozobnovlyaemykh-istochnikov-energii>
3. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022>
4. https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2022_Full_Report.pdf
5. <https://www.ceenrg.landecon.cam.ac.uk/news/eeist-report-ten-principles-policy-making-energy-transition-be-presented-cop27-11-november-2022>
6. <https://mercomindia.com/renewable-projects-remain-cost-competitive-through-2021>
7. <https://www.irena.org/Digital-Report/World-Energy-Transitions-Outlook-2022>
8. <https://yearbook.enerdata.net/>
9. <https://renewablesnow.com/news/renewables-by-far-cheapest-form-of-power-irena-says-791577/>
10. https://www.sunoverpv.com/irena-global-large-scale-ground-mounted-pv-lcoe-to-drop-by-13-in-2021_n50
11. <https://www.powerengineeringint.com/renewables/irena-wind-and-solar-costs-will-continue-to-fall/>
12. <https://ua-energy.org/uk/posts/sobivartist-zelenoi-elektroenerhii-v-ukraini-za-2012-2018-roky-suttievo-znyzylasia-eksperty>
13. https://ec.europa.eu/info/news/clean-energy-all-europeans-package-completed-good-consumers-good-growth-and-jobs-and-good-planet-2019-may-22_en
14. https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en
15. https://climate.ec.europa.eu/eu-action/european-green-deal/european-climate-law_en
16. <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/green-deal/fit-for-55-the-eu-plan-for-a-green-transition/>
17. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2022%3A230%3AFIN&qid=1653033742483>
18. <https://ua-energy.org/uk/posts/zradoperemohy-2021-ta-nevyznachene-maibutnie-ukrainskoi-vdeheneratsii>
19. Report on the assessment of compliance (sufficiency) of generating capacity to cover the projected demand for electricity and provide the necessary reserve. The resolution of the NCRECP No 605 from 13.03.2020 (Ukr).
20. Report on the assessment of compliance (adequacy) of generating capacity to cover the projected demand for electricity and provide the necessary reserve in 2020. The resolution of the NCRECP No 975 from 16.06.2021 (Ukr).
21. <https://www2.deloitte.com/>
22. <https://ukrenergoin.ua/>
23. <https://razumkov.org.ua/statti/sector-vidnovlyuvanoyi-energetyky-ukrayiny-do-pid-chas-ta-pislyaviny>
24. <https://recovery.gov.ua/>
25. <https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/3601027-u-ekonomichnomu-vidnovlenni-ukraini-slidozoreditis-na-energoreformi-ekspert.html>
26. <https://sae.gov.uk/news/4630?fbclid=IwAR1HhK1fdwbIHSoaklejWVbBFodNTDzoz-gRz2LKeumBQkCY3qQ3xBYWF4E>
27. Kyrylenko O., Zhuikov V., Denysiuk S. Use of dynamic tariffication for optimization microgrid technical and economic indicators in local electricity markets // *Техн. електродинаміка*. – 2022. – № 3. – Pp. 37–48 (Ukr).

Надійшла 3.11.2022

Received 3.11.2022