

# ЕНЕРГЕТИКА СТАЛОГО РОЗВИТКУ SUSTAINABLE ENERGY

УДК 621.3

С.П. Денисюк, д-р техн. наук, проф. ORCID 0000-0002-6299-368

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

## ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ПЕРЕХІД – ВИМОГИ ЯКІСНИХ ЗМІН У РОЗВИТКУ ЕНЕРГЕТИКИ

У статті наведено особливості формування основ енергетичного переходу. Показано, що для реалізації сучасних положень енергетичного переходу необхідно задіяти системний підхід. Базовими елементами такого переходу є впровадження відновлюваної енергетики та енергоефективність (інтенсифікація зниження енергоємності товарів та послуг).

Представлено основні фактори та чинники глобального енергетичного переходу, сформовані Міжнародним агентством з відновлюваної енергетики (IRENA) у співпраці з іншими міжнародними агентствами в кінці 20-х років XXI ст. Проаналізовано розвиток законодавчого та нормативно-правового регулювання діяльності ринків електроенергії в Європейському Союзі, що створили системні передумови реалізації положень енергетичного переходу в Європі.

Розглянуто характерні риси пришвидшення впровадження відновлюваних джерел енергії, зокрема, сонячної енергетики, у світі та в Україні в 2017–2018 рр., зокрема, положення Четвертого енергетичного пакету (Winter energy package) та побудову Європейського Енергетичного Союзу.

Описано особливості реалізації вимог енергетичного переходу в Україні у сфері впровадження відновлюваних джерел енергії.

**Ключові слова:** енергетичний перехід, енергетична система, відновлювана енергетика, енергоефективність, сонячна енергетика, вітрова енергетика

### Вступ

Сучасна трансформація міжнародних енергетичних ринків базується на перебудові паливно-енергетичного балансу, зміні світових центрів споживання вуглеводнів і енергії в цілому, безперервній хвилі технологічних проривів [1, 11, 17, 18, 29, 35–39]. Особливості трансформації енергетичного сектора в кінці 20-х років XXI ст. визначаються наступним:

- 1) енергія – це товари, послуги та сервіси;
- 2) складові «чистої енергії»: сонячна, вітрова, накопичувачі, децентралізація, гранична генерація (frontier power), енергетичні хаби, ущільнення енергетичних та комунальних послуг;
- 3) новітній транспорт: електрифікований транспорт, автономне водіння, розширена мобільність, ущільнення транспортних потоків, обмеження на використання органічних видів палива;
- 4) нові властивості енергетичних товарів: зріджений газ, нафтопродукти, електроенергія, викиди CO<sub>2</sub>, якість енергозабезпечення;
- 5) цифрова індустрія: Інтернет речей (Internet of Things), автоматична новітня аналітика, новітні матеріали, взаємовплив енергетики та індустрії.

Перетворення глобальної енергетичної системи виходить за рамки перетворення сектора енергетики. Це перетворення національних економік і суспільств. Метою історичної Паризької угоди від 2015 року щодо клімату є, як мінімум, утримати зростання глобальної середньої температури «набагато нижче 2 °C» в XXI ст. у порівнянні з рівнями, що спостерігалися в період до бурхливого розвитку промисловості.

Нині багато фахівців стверджують, що гальмування зростання глобальної температури нижче 2 °C технічно можливе, що є економічно, соціально та екологічно більш корисним, ніж той шлях, який випливає з наявних на сьогодні національних планів і політик. Для цього глобальна енергетична система повинна пройти глибоку трансформацію і перебудову, невідкладно замінюючи стару інфраструктуру, яка ґрунтується на використанні викопного палива [38, 39]. Багато комплексних досліджень підтверджують, що для досягнення цілей Паризької угоди у 2050 році приблизно 70 % структури енергозабезпечення світу

повинні належати до низьковуглецевої [29], у той же час Ціллю у сфері сталого розвитку 7 (SDG7) передбачається зобов'язання щодо забезпечення доступу до недорогих, надійних, стійких і сучасних джерел енергії для всіх [1]. Тому використання відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) в поєднанні з швидким підвищенням енергоефективності є наріжним каменем прийняттого рішення з питань клімату та захисту довкілля.

### **1. Формування основ енергетичного переходу**

Енергетичний перехід (нім. *Energiewende*, англ. *Energy Transition*) – це перехід провідних країн до сталих економік шляхом відновлювальної енергетики, енергоефективності та сталого розвитку, де кінцевою метою є відмова від використання вугілля та інших невідновлюваних енергоресурсів [22, 27]. Термін «енергетичний перехід» завдячує своєю появою публікації у 1980 році німецького Інституту Прикладної Екології (нім. *Öko-Institut*), у якій йшлося про необхідність повної відмови від ядерної енергії та енергії з нафти [27, 28].

У наступні два десятиріччя смислове навантаження цього терміну розширювалося щодо його тлумачення, він набув своєї розширеної сутності у 2002 р. Ключовий політичний документ, яким визначено Енергетичний перехід (*Energiewende*), був опублікований німецьким урядом у вересні 2010 р., за півроку до ядерної аварії на Фукусімі. Відповідна законодавча підтримка була прийнята в 2011 р. Основні аспекти *Energiewende* включають [26]:

- зменшення викидів парникових газів: зменшення викидів на 80–95 % до 2050 р.;
- цілі щодо використання відновлюваної енергії: 60 % частка до 2050 р. (гідро-, сонячна та вітрова енергія);
- енергоефективність: ефективність по електроенергії – до 50 % до 2050 р.;
- відповідне стимулювання науково-дослідницьких розробок.

Можемо стверджувати, що енергетичний перехід означає суттєву зміну у енергетичній політиці, зокрема, переорієнтацію політики від попиту до пропозиції та заміщення традиційної централізованої генерації розосередженою генерацією (РГ), а також заміна перевиробництва та споживання енергії, якого можна було б уникнути за рахунок енергозберігаючих заходів та зростання енергоефективності [24, 25, 29].

У 2015–2018 рр. назрів наступний крок – сучасне уявлення терміну «енергетичний перехід», як результат розвитку проривних технологій та суттєвого впливу зміни клімату. Було визначено, що для здійснення енергетичного переходу для низьковуглецевої економіки необхідно провести цілий ряд реформ в області політики у відношенні як до енергозабезпечення, так і до енергоспоживання [9, 11, 24–29]. Прикладами таких реформ служать раціоналізація енергетичних субсидій, встановлення тарифів за викиди вуглецю, розвиток відкритих і ефективних ринків енергоресурсів, сприяння технічним інноваціям і керування кліматичними ризиками для енергозабезпечення. Процес переходу також вимагає проведення структурних реформ, що сприятимуть адаптації компаній і працівників до нових ринкових умов для галузей промисловості і спільнот, на які процес переходу може справити негативний вплив.

Важливими є питання взаємозв'язку енергетичного переходу і клімату, здійснення енергетичного переходу у світовому масштабі, погляд компаній на енергетичний перехід і клімат з акцентом на трансформацію енергобізнесу в бік більшої екологічності, ВДЕ і потенціал використання нових технологій. На сьогоднішній день можна визначити наступні ознаки сучасного енергетичного переходу [9, 25–29]:

1) перехід до більш гнучкої архітектури енергетичних систем за рахунок зростання частки ВДЕ та РГ в енергобалансі, розвитку інтелектуальних мереж і систем (*Smart Grid*) у взаємозв'язку з розвитком технологій та ринку зберігання енергії, а також за рахунок появи активних споживачів (*prosumer* та *prosumage*);

2) перехід до нового пакету технологій: генерація електроенергії на базі ВДЕ, застосування силової електроніки, систем зберігання енергії, водневої енергетики, цифрової платформи (*Cloud-технології*) і *Big Data*, *Internet of Things*, високих фінансових технологій, наприклад, блокчейн;

3) перехід до нової бізнес-моделі електроенергетики: від традиційного ланцюжка формування доданої вартості «генерація – трейдинг – передача – збут» до моделі «Інтернету енергії» (*Internet of Energy*) і надання послуг у *sms-середовищі*, а також перехід до розвитку нових сервісів для «споживачів–виробників» енергії;

4) трансформація системи регулювання ринку електроенергетики: перехід від підтримки ВДЕ і конкуренції на ринку електроенергії до пріоритету підтримки споживача, інтеграції локальних рішень, а також від постачання енергії до «з'єднання потужностей» в рамках «Інтернету енергії» (*Energy net*), перехід до «гнучкого» ринку.

Міжнародним агентством з відновлюваної енергетики (*IRENA*) визначено, що важливо задіяти системний енергетичний підхід, який має передбачати [24]:

- взаємодію секторів електроенергетики, опалення, охолодження та транспорту;
- зв'язок відновлюваної енергетики з енергоефективністю;

– узгодження національної, регіональної та муніципальної політики;  
– політичну волю та раціональне управління, які потрібні на першому плані – призупинення субсидій на викопні палива і атомну енергетику, введення вуглецевого ціноутворення та забезпечення однакових умов.

На сьогодні можна констатувати зближення позицій Міжнародного Енергетичного Агентства (IEA) і IRENA [29]. Доцільно навести окремі результати спільного дослідження IEA і IRENA «Перспективи енергетичного переходу» (Perspectives for the Energy Transition) [29]:

1. Очікується, що близько 70% світового енергобалансу в 2050 р. буде низьковуглецевим, в основному за рахунок ВДЕ, енергоефективності, а також технологій уловлювання та зберігання вуглецю. Здійснення енергетичного переходу потребуватиме значних додаткових політичних заходів у сфері вдосконалення енергетичної політики та правил роботи ринків електричної і теплової енергії;

2. Успішна інтеграція ВДЕ в роботу електроенергетичних систем стає ключовим елементом економічно ефективного енергетичного переходу;

3. Забезпечення доступу до сучасних енергетичних послуг для тих, хто на даний час їх позбавлений, залишається пріоритетом (поряд з покращенням якості доквілля за рахунок впровадження екологічно чистих енергетичних технологій);

4. Енергетичний перехід, крім виробництва та розподілу енергії, охоплюватиме і сектори кінцевого споживання: на електромобілі припадатиме домінуюча частка пасажирських і вантажних перевезень; розгортання ВДЕ має перейти за межі енергетичного сектора в теплопостачання і транспорт;

5. Пріоритетом стане доступне, надійне та стійке біоенергопостачання.

Однак на сьогодні темпи змін залишаються надто повільними [9, 11, 18, 29]. Це обумовлено наявними проблемами: зниження енергоемності світової економіки в останні роки було недостатнім; в області опалення та охолодження зростання рівнів використання ВДЕ було низьким; проблеми в транспортному секторі, як і раніше, перешкоджають прогресу.

Визначено наступні інновації як ознаки прискореного енергетичного переходу: технологічні досягнення; дигіталізація; віртуальні електростанції і блокчейн; розширення доступу до енергії; взаємодія з електромобілями; акумулювання тепла і електроенергії. Сформовано напрямки пришвидшення енергетичного переходу [7, 25, 29]:

– встановити пріоритети через податкові та інші фінансові стимули;

– встановити цілі для всієї енергетичної системи, включаючи всі основні сектори кінцевого споживання;

– мислити нестандартно, зокрема, підходити до викликів системно;

– проектування маневреності (гнучкості) у діях;

– ухвалення політики, що забезпечує швидкий розвиток відновлюваної енергетики.

Перехід до майбутнього на основі відновлюваної енергетики є безальтернативним, але він відбудеться не обов'язково в терміни, необхідні для забезпечення стабілізації клімату або виконання SDG7 [1, 29].

## **2. Основні фактори та чинники глобального енергетичного переходу**

Згідно з висновками доповіді «Глобальна енергетична трансформація: Дорожня карта до 2050 року» (Global Energy Transformation: A roadmap to 2050), опублікованої IRENA 17 квітня 2018 року, темпи розгортання відновлюваної енергетики повинні зрости принаймні в шість разів по всьому світу, для досягнення цілей декарбонізації економіки до 2050 року і запобігання катастрофічним змінам клімату, як це визначено Паризьким Угодою [24]. У доповіді вказано, що в умовах 6-ти кратного збільшення обсягів будівництва потужностей ВДЕ, світова економіка отримає додатковий приріст в 1% ВВП, а також ще більш значні вигоди, які не фіксуються в ВВП, зокрема, попередження гірших наслідків зміни клімату, зменшення забрудненості повітря і поліпшення здоров'я населення.

Глобальна енергетична система повинна зазнати істотного перетворення – трансформуватися з системи, повсюдно заснованої на викопному паливі, в систему високої ефективності, що заснована на широкому застосуванні ВДЕ.

На даний час світові тенденції в області викидів не відповідають цільовим показникам щодо утримання зростання глобальної температури нижче 2 °С. Плани національних урядів як і раніше абсолютно не відповідають потребам в зниженні викидів. У відповідності з поточними та запланованими політиками світ витратить свій «вуглецевий бюджет» (CO<sub>2</sub>), пов'язаний з виробництвом енергії, менш ніж за 20 років, щоб утримати зростання глобальної температури набагато нижче 2 °С (з ймовірністю 66%). При цьому викопне паливо, таке як нафта, природний газ і вугілля, продовжить переважати в світовому енергобалансі ще багато десятиліть. Щоб досягти мети – утримати зростання температури нижче 2 °С, вкрай важливо вжити термінових заходів. Для досягнення зазначеної мети до 2050 р. необхідно скоротити сукупні викиди ще як мінімум на 470 ГВт у порівнянні з поточними і наміченими політиками (звичайний хід діяльності).

Енергоефективність та відновлювана енергія є основоположними елементами перетворення енергетичної системи. Якщо за допомогою різних способів можна пом'якшити зміни клімату, то відновлювана енергія та енергоефективність забезпечують оптимальний шлях до досягнення значного скорочення викидів необхідними темпами. Поєднання цих двох елементів може забезпечити необхідне скорочення на більш ніж 90% викидів CO<sub>2</sub>, пов'язаних з виробництвом енергії, з використанням безпечних, надійних, доступних і поширених технологій. Застосування відновлюваної енергії та підвищення енергоефективності потрібні у всіх секторах. Сумарну частку відновлюваної енергії необхідно збільшити з приблизно 15% в загальних запасах первинної енергії в 2015 р. до приблизно двох третин у 2050 р. Для досягнення цілей в плані клімату інтенсивність використання енергії в світовій економіці необхідно скоротити до приблизно двох третин до 2050 р., зменшивши загальні запаси первинної енергії у 2050 р. до рівнів трохи менших, ніж рівні 2015 р.

До 2050 року всі країни можуть значно збільшити частку відновлюваної енергії в їх загальному енергоспоживанні. У глобальній дорожній карті REmap, розробленій IRENA, передбачається, що ВДЕ можуть становити 60% або більше в загальному кінцевому енергоспоживанні багатьох країн [24]. Наприклад, Китай в змозі збільшити частку ВДЕ у своєму енергоспоживанні з 7% в 2015 р. до 67% в 2050 р. У Європейському Союзі ця частка може бути збільшена з приблизно 17% до більш ніж 70%. Індія і США можуть розглядати збільшення частки до двох третин або більше.

В основі переходу до моделі сталого енергетичного майбутнього лежить енергетичний сектор, де немає викидів вуглекислого газу і переважають ВДЕ. Частка ВДЕ в енергетичному секторі повинна збільшитися з 25% в 2017 р. до 85% у 2050 р. переважно завдяки збільшенню виробництва сонячної та вітрової енергії. Такий перехід потребуватиме нових підходів до планування та експлуатації енергетичних систем, роботи ринку, а також до регулювання і суспільної політики. Оскільки низьковуглецева електроенергія стає основним енергоносієм, частка електрики, спожитої в областях кінцевого споживання, повинна подвоїтися з приблизно 20% в 2015 р до 40% у 2050 р. Відновлювальна електроенергія забезпечить без малого 60% в загальному споживанні відновлюваної енергії, що в 2,5 рази більше у порівнянні з поточним показником у загальному споживанні відновлюваної енергії.

Буде потрібно наростити споживання відновлюваної енергії в промисловому, транспортному і будівельному секторах [24]. У цих галузях важливу роль повинні відігравати ВДЕ, включаючи збільшення відновлюваних джерел електроенергії, а також сонячної теплової, геотермальної енергії та біоенергії. Великий внесок матиме також відновлюване паливо і пряме використання енергії, що є необхідним для опалення та транспорту. Для таких цілей використання біомаси може забезпечити трохи менше двох третин відновлюваної енергії, що споживається для опалення та виробництва палива; сонячна тепла енергія може забезпечити приблизно одну чверть, а геотермальна енергія та інші ВДЕ – решту.

Енергоефективність є критично важливою для будівельного сектора. Однак у даному секторі великою проблемою лишаються повільні темпи підвищення енергоефективності частково через низькі темпи будівельних ремонтів, що становить 1% на рік за існуючим фонду будівель і споруд. Необхідно наростити темпи робіт будівельного ремонту в три рази. Згідно запропонованого REmap сценарію інтенсивність використання енергії (у відсотках за рік) від наявних 1,8 % за період 2010–2015 рр. має зрости до 2,8 % у період 2015 – 2050 рр..

Перетворення глобальної енергетичної системи є економічно доцільним. Додаткові витрати, пов'язані з повномасштабним, тривалим перетворенням енергетичної системи, складуть 1,7 трлн. дол. США на рік в 2050 р. Однак економія на витратах завдяки зменшенню забруднення повітря, поліпшення ситуації в сфері охорони здоров'я та зменшення шкоди довкіллю в рази перевищить такі витрати. Згідно зі сценарієм в дорожній карті REmap зекономлена сума тільки в цих трьох областях в середньому складе 6 трлн. дол. США в рік до 2050 р. Сукупний дохід завдяки збільшенню ВВП в період з 2018 р. по 2050 р. складе 52 трлн. дол. США.

Необхідно збільшити сукупний обсяг інвестицій в енергетичну систему в період з 2015 р. по 2050 р. приблизно на 30% (з відповідно до поточних 93 трлн. дол. США до намічених політиками до 120 трлн. дол. США). Інвестиції у відновлювану енергію та енергоефективність поглинуть переважну частину сумарних інвестицій в енергетику. В цілому протягом зазначеного періоду у світову економіку будуть потрібні інвестиції в розмірі приблизно 2% від середнього щорічного світового ВВП у рішення, в яких відсутні викиди вуглекислого газу, включаючи відновлювану енергію, енергоефективність та інші інноваційні технології.

В дорожній карті REmap глобальний соціально-економічний слід від енергетичної системи значно покращиться (у порівнянні з еталонним сценарієм). До 2050 р спостерігатиметься підвищення добробуту на 15%, зростання ВВП на 1% та збільшення трудової зайнятості на 0,1% [24].

При комплексному підході перетворення може значно поліпшити загальну ситуацію з трудовою зайнятістю в енергетичному секторі. У кінцевому підсумку перехід на ВДЕ створить більше робочих місць в енергетичному секторі, ніж буде втрачено у сфері викопного палива. В дорожній карті REmap до 2050 р.

в сфері викопного палива буде втрачено 7,4 млн. робочих місць, але буде створено 19,0 млн нових робочих місць у відновлюваній енергетиці, сферах енергоефективності, модернізації мереж і забезпечення гнучкості енергетичної системи, що в кінцевому підсумку забезпечить чисте збільшення робочих місць на 11,6 млн. Чисте зростання робочих місць в регіонах коливатиметься в динаміці за часом, але практично у всіх регіонах і країнах спостерігається позитивний вплив.

Світова фінансова система має бути приведена у відповідність з більш широкими вимогами до стійкості та перетворення енергетичної системи. Фінансові обмеження і бездіяльність можуть гальмувати інвестиції, необхідні для забезпечення перетворення енергетичної системи. Розширення доступу до фінансів і скорочення позикових коштів ще більше покращать ситуацію як з ВВП, так і з трудовою зайнятістю.

Згодом у 2018–2019 роках IRENA здійснила уточнення показників запропонованого нею енергетичного переходу. Згідно з останньою доповіддю IRENA «Перетворення глобальної енергетичної системи: дорожня карта до 2050 року (видання 2019)» (Global energy transformation: A roadmap to 2050 (2019 edition)), представлений 9 квітня 2019 р. в рамках Берлінського діалогу по трансформаційних процесів в сфері енергетики, близько 86% світового попиту на електроенергію може бути задоволено з використанням ВДЕ (в рамках сценарію REmap Case, при реалізації якого людство виконує мету Паризької кліматичної угоди) [7, 25, 29]. На частку СЕС припадатиме 9717 ГВт та ВЕС – 6044 ГВт. ВДЕ є найбільш ефективним і доступним рішенням для обернення назад тенденції зростання викидів CO<sub>2</sub>.

Згідно сценарію Reference Case сумарні викиди CO<sub>2</sub> у 2050 р. можуть очікуватися на рівні 33 Гт. Згідно оновленого сценарію REmap ці викиди у 2050 році можуть бути знижені до 9,8 Гт (на 70 %). Внесок у зниження викидів CO<sub>2</sub>: електрофікація отримання теплоти та електрифікація транспорту – 36%; ВДЕ – 39%; енергоефективність та інше – 25%.

Для енергетичної трансформації згідно сценарію Reference Case накопичені інвестиції за період 2016–2050 рр. складуть 95 трлн. дол. США, а згідно сценарію REmap 110 трлн. дол. США. Розподіл сумарних інвестицій в трлн. дол. США згідно цих двох сценаріїв складуть відповідно: викопне паливо – 40,0 та 20,0; електрифікація та інфраструктурні перетворення – 13,0 та 26,0; ВДЕ – 13,0 та 27,0; енергетична ефективність – 29,0 та 37,0.

Обсяг додаткових інвестицій у порівнянні з нинішньою траєкторією розвитку (сценарій Reference Case) становитиме 15 трлн. дол. За розрахунками IRENA, ці інвестиції з лишком окуплюються. Протягом наступних 30 років світова економіка в цілому заощадить до 160 трлн. дол. США, уникне частини витрат на охорону здоров'я, енергетичні субсидії та ліквідацію збитків, пов'язаних зі зміною клімату. Кожен долар, витрачений на перехід на нові джерела енергії, окупиться семикратно. До 2050 року енергетична трансформація дасть додатковий приріст світового ВВП в 2,5%.

Перехід на ВДЕ має економічний сенс. До середини XXI ст. світова економіка зросте, і робочі місця, створені в секторі енергетики, підвищать глобальну зайнятість на 0,2%. Політика, спрямована на сприяння обґрунтованому, справедливому і інклюзивному переходу, може максимально збільшити вигоди для різних країн, регіонів і спільнот.

Більш детально охарактеризуємо складові глобальної енергетичної трансформації, представлені в документі «Перетворення глобальної енергетичної системи: дорожня карта до 2050 року (видання 2019)» [25]:

**1) Трансформація глобальної енергетичної системи має суттєво пришвидшитися для досягнення цілей Паризької угоди.** Ці цілі полягають у тому, щоб зберегти зростання середніх глобальних температур «значно нижче 2 °C та в ідеалі обмежити потепління до 1,5 °C у XXI ст. порівняно з доіндустріальними рівнями».

Незважаючи на явні докази зміни клімату, спричиненої людиною, підтримку Паризької угоди про зміну клімату та поширеність чистих, економічних та стабільних енергетичних варіантів, викиди вуглекислого газу (CO<sub>2</sub>), пов'язані з енергією, зростали в середньому на 1,3% щорічно протягом останніх п'яти років. Розрив між спостережуваними викидами та скороченнями, які необхідні для досягнення узгоджених на міжнародному рівні кліматичних цілей, збільшується.

Технології відновлюваної енергетики є домінуючими на світовому ринку нових потужностей, електрифікація транспорту показує ранні ознаки вибухового прискорення, а ключові технології, такі як створення батареї, відчувають швидке скорочення витрат. Впровадження відновлювальних рішень в енергоспоживаючих секторах, зокрема в будівництві й промисловості, все ще значно нижче необхідних рівнів, а прогрес в енергоефективності все ще повільний.

Структурні зміни також відіграють вирішальну роль у досягненні глобальних кліматичних цілей і забезпечують високий рівень енергоефективності, що на сьогодні є вкрай необхідним. Зміни включають модальні зрушення в транспорті (наприклад, від індивідуального автотранспорту до спільної мобільності та громадського транспорту), а також зусилля в промисловості, такі як циркулярна економіка та перенесення промисловості в райони, де рівень генерації відновлюваними джерелами енергії є значним.

Інвестиції в інфраструктуру повинні бути зосереджені на низьковуглецевих, стійких і довгострокових рішеннях, які охоплюють електрифікацію та децентралізацію. Необхідні інвестиції в інтелектуальні енергетичні системи, енергосистеми, інфраструктуру підзаряджування, зберігання, водневе господарство, централізоване опалення та охолодження в містах.

Практика циркулярної економіки може призвести до швидкого та легко реалізованого скорочення попиту на енергію та викиди. Темпи скорочення обсягів, повторного використання та утилізації використання води, металів, ресурсів, відходів сировини в цілому повинні бути пришвидшені. Зміни способу життя можуть сприяти більш глибокому скороченню викидів.

**2) Відновлювані джерела енергії, підвищена електрифікація енергетичних послуг та енергоефективність можуть забезпечити понад 90% необхідного скорочення викидів CO<sub>2</sub>, пов'язаних з енергією.** Відновлювані джерела енергії та електрифікація забезпечують лише 75% скорочення викидів.

Частка ВДЕ у первинному енергопостачанні згідно стратегії REmap зростає з сьогоднішнього рівня менше ніж однієї шостої до майже двох третин у 2050 році. Процес зростання енергоефективності має бути значно інтенсифікований; темпи покращення енергоемності зростають до 3,2% на рік, порівняно з останніми історичними середніми показниками близько 2,0% на рік.

Електроенергія буде поступово ставати центральним енергоносієм, зростаючи з 20% кінцевого споживання до майже 50% частки до 2050 року, а відновлювана енергетика зможе забезпечити економічно більшу частину світового попиту на енергію (86%). Внаслідок цього загальне споживання електроенергії зростає більше ніж удвічі.

Перехід до все більш електрифікованих видів транспорту та тепла, у поєднанні із зростанням виробництва відновлюваної енергії, може забезпечити близько 60% скорочення викидів CO<sub>2</sub>, пов'язаних з енергією, що є необхідним для виконання Паризької угоди. Коли ці заходи поєднуються з безпосереднім використанням відновлюваної енергії, частка скорочення викидів від цих комбінованих джерел досягатиме 75% від загального необхідного обсягу.

Біоенергетика (споживання палива) відіграватиме важливу роль у секторах, які важко електрифікувати, таких як судноплавство, авіація та окремі промислові процеси. Необхідними є зусилля для зменшення викидів парникових газів, не пов'язаних з викидами CO<sub>2</sub>, та викидів неенергетичного використання; скорочення викидів промислового процесу; зменшення неорганізованих викидів у вугільній, нафтовій та газовій промисловості, у сільському та лісовому господарстві.

### **3) Глобальне перетворення енергії має економічний сенс.**

Згідно з поточною та запланованою політикою, глобальний енергетичний сектор отримує сукупні інвестиції у розмірі 95 трлн. дол. США протягом періоду до 2050 р. Перехід до декарбонізованої глобальної енергетичної системи вимагатиме збільшення обсягу інвестицій в енергетичний сектор на 16% (додатково 15 трлн. дол. США до 2050 р.). В енергетичну систему буде інвестовано 110 трлн. дол. США, що становитиме у середньому 2% світового ВВП на рік за цей період.

Змінюватимуться види інвестицій, зміна складу інвестицій від сектору викопного палива до енергоефективності, відновлюваних джерел та інфраструктури. Необхідні додаткові інвестиції на 40% нижчі, ніж було оцінено в попередньому аналізі [24], в основному через швидке падіння витрат на відновлювану енергію та потенціал для подальшого їх скорочення. Нові технологічні рішення для електрифікації стають дешевшими та ефективнішими.

Якщо субсидії в енергетичному секторі становили щонайменше 605 млрд. дол. США у 2015 році та, за прогнозами, зростають до понад 850 млрд. дол., то за сценарієм REmap відбудеться зниження субсидій до 470 млрд. дол. у 2050 році. Типи субсидій різко зміняться, відходячи від викопного палива та технологій відновлюваної енергетики до технологій, необхідних для декарбонізації транспортного та промислового секторів. У сценарії REmap це призведе до кумулятивного скорочення субсидій на викопне паливо до 2050 року в розмірі 15 трлн. дол. США нижче того, що відбувалося б у випадку дії сценарію Reference Case, а також у чистому зменшенні на 10 трлн. дол. США.

В цілому заощадження від уникнутих субсидій та зменшення шкоди довкіллю і здоров'ю приблизно в 3–7 разів перевищують додаткові витрати з метою модернізації енергосистеми. У грошовому вираженні загальна сума заощадження, що виникає в результаті сценарію REmap, може становити від 65 трлн. до 160 трлн. дол. за період до 2050 р., тобто за кожний витрачений 1 дол. виплата буде становити від 3 до 7 дол.

**4) Соціально-економічний вплив трансформації енергії вимірює чистий результат багаторазових взаємодій між трансформацією енергії та соціально-економічною системою.**

Енергетичний перехід не можна розглядати окремо від більш широкій соціально-економічній системі. Для успішного переходу до відновлюваних джерел та технологій, політика повинна базуватися на більш інтегрованій оцінці взаємодії між енергетичним сектором, що розвивається, та економікою в цілому. До 2050 року перехід на ВДЕ згідно сценарію REmap призводить до відносного покращення ВВП і загальної зайнятості в економіці на 2,5% і 0,2% відповідно. У підсумку з 2019 по 2050 рр. приріст ВВП у випадку REmap у порівнянні з сценарієм Reference склав до 99 трлн. дол. Глобальний показник добробуту,

що вимірює сценарій REmap у порівнянні з сценарієм Reference, досягає в 2050 році значення 17%. Регіони з високою залежністю від експорту викопного палива та/або слабкими недиверсифікованими внутрішніми ланцюгами поставок будуть стикатися з викликом адаптації.

**5) Соціально-економічний вплив трансформації енергетики значною мірою формується в рамках політики**

Крім характеристик трансформації енергії (енергетичні баланси та інвестиції), багато інших внесків у політику можуть мати важливий вплив на соціально-економічний здобуток, зокрема, податки на викиди вуглецю та субсидії на викопне паливо.

Податки на викиди вуглецю на рівні, необхідному для досягнення цілі клімату глобального потепління на 2 °С, можуть мати як позитивний, так і негативний вплив залежно від політичних рамок, що супроводжують розгортання податків на викиди вуглецю.

**6) Холістична політика зайнятості необхідна для того, щоб трансформація енергії мала позитивний внесок у цей аспект добробуту**

У світовій економіці загальна зайнятість зростатиме у період між 2018 і 2050 рр. За двома сценаріями. Величина CAGR (Compound Annual Growth Rate – термін, який означає середньорічні темпи зростання з врахуванням складного відсотка) становитиме відповідно 0,45% і 0,46% відповідно. Сценарій REmap призводить до збільшення кількості робочих місць, ніж у сценарії Reference, причому відносний приріст досягається близько 2035 року і залишається близько 0,2% до 2050 року. Вплив сценарію REmap на зайнятість у енергетичному секторі є дуже позитивним, насамперед з появою нових робочих місць, пов'язаних з енергетичним переходом, значно переважаючи втрачені робочі місця в секторі викопного палива. Оскільки кількість робочих місць, пов'язаних з енергетикою, значно зростає, тоді як кількість робочих місць у загальній економіці майже не збільшується у порівнянні з базовим сценарієм (0,2% відносно збільшення у 2050 році).

**7) Збитки від клімату матимуть значний вплив на соціально-економічний здобуток**

Слід зазначити, що основні соціально-економічні результати (ВВП і робочі місця) не враховують впливу зміни клімату, що є рушійною силою застосування енергії в економіці. Використана макроекономічна модель припускає, що на економічну діяльність не впливає зміна клімату, отже в сценаріях Reference and REmap враховуються лише макроекономічні прогностичні показники. При уточненні можна стверджувати, що збитки від змін клімату до 2050 року призведуть до скорочення глобального ВВП на 15,5 % і 13,2 % відповідно. Незважаючи на цей високий вплив, світова економіка все ще характеризується значним зростанням через високі темпи зростання, досягнуті без кліматичних збитків у розглянутому соціально-економічному контексті: CAGR у період з 2019 по 2050 рік з кліматичними пошкодженнями становитиме 1,8 % і 2,0 % для сценарію Reference та REmap відповідно, у порівнянні з 2,4 % і 2,5 % без кліматичного ураження.

При порівнянні відносної продуктивності ВВП за сценаріями REmap та Reference, оскільки погіршення клімату мають більший вплив у сценарії Reference, ніж у сценарії REmap, що пов'язане з пом'якшенням впливу CO<sub>2</sub>. Значне покращення досягається, коли погіршення клімату враховуються при аналізі: до 2050 р. впровадження кліматичних збитків призводить до збільшення показника соціально-економічного впливу (GDPREmap – GDPReference) / GDPReference з 2,5% до 5,3% (GDP – Gross Domestic Product; валовий внутрішній продукт).

У звіті агентства IRENA «Перетворення глобальної енергетичної системи: дорожня карта до 2050 року (видання 2019)» визначено шість основних напрямків, щодо яких потрібне ухвалення заходів представниками влади [25, 36]:

- 1) встановлення тісного взаємозв'язку між енергоефективністю та відновлюваною енергією;
- 2) планування енергетичного сектора, в якому висока частка енергії забезпечується завдяки відновлювальним джерелам;
- 3) підвищення використання електроенергії в транспортному, будівельному і промисловому секторах;
- 4) стимулювання інновацій в рамках всієї системи;
- 5) приведення соціально-економічних структур і інвестицій у відповідність з перетворенням;
- 6) гарантія справедливого розподілу витрат і вигод, пов'язаних з перетворенням.

Охарактеризуємо модель енергетичного переходу Європи на 100% ВДЕ [30]. Наукове дослідження, проведене Lappeenranta University of Technology (LUT) і Energy Watch Group, моделює повномасштабний перехід Європи на ВДЕ в електроенергетичному, теплопостачальних і транспортному секторі та секторі опріснення води до 2050 року. Результати дослідження опубліковані після чотирьох з половиною років збору даних, технічного і фінансового моделювання. Моделювання переходу Європи на відновлювані види енергії здійснено в рамках дослідження «Світова енергетична система, заснована на 100-відсотковому використанні ВДЕ, що фінансується Німецьким федеральним фондом навколишнього середовища (DBU) і фондом Stiftung Mercator. Даний звіт підтверджує, що перехід на 100% використання

ВДЕ в усіх секторах може бути здійснено і не призведе до підвищення витрат у порівнянні з існуючою сьогодні енергетичною системою, Європа може перейти на енергетичну систему з нульовими викидами. Основні висновки дослідження [30]:

- енергетичний перехід потребує проведення масштабної електрифікації в усіх енергетичних галузях. Сукупне виробництво електроенергії у 2050 році в 4–5 разів перевищить рівень 2015 року. У 2050 році на електроенергію буде припадати більше 85% попиту на первинну енергію. Одночасно викопні та ядерні види палива будуть повністю витіснені з усіх галузей;

- у системі, заснованої на 100-відсотковому використанні ВДЕ, виробництво електроенергії буде засновано на наступних видах джерел: фотоелектрична сонячна енергія (62%), вітрова енергія (32%), гідроенергія (4%), біоенергія (2%) і геотермальна енергія (<1%);

- у 2050 році на вітрову і сонячну енергію припадатиме до 94% сукупного виробництва електроенергії. Близько 85% відновлюваної енергії буде поставляти децентралізоване місцеве і регіональне виробництво. У зв'язку з цим зросте роль накопичувачів енергії, з їх допомогою буде забезпечуватися приблизно 17% споживання енергії та 20% споживання тепла;

- 100-відсоткове використання ВДЕ не веде до підвищення витрат: в перехідний період наведена вартість енергії (LCOE – Levelised Cost of Energy) для сталої енергетичної системи Європи залишається в діапазоні 50–60 євро / МВт·год;

- річний обсяг викидів парникових газів в Європі стабільно знижується протягом всього перехідного періоду в усіх секторах приблизно з 4200 MtCO<sub>2</sub> eq. в 2015 р до нуля в 2050 році;

- енергетична система, що повністю базується на відновлюваній енергії, надасть від 3 до 3,5 млн. робочих місць. Близько 800 тис. робочих місць в європейській вугільній промисловості на 2015 рік будуть ліквідовані до 2050 р., однак це компенсується створенням понад 1,5 млн нових робочих місць в секторі відновлюваної енергії.

Перехід на 100-відсоткову чисту, відновлювану енергію абсолютно реальний, вже зараз, з тими технологіями, які у нас є сьогодні. Серед рекомендованих звітом основних заходів названо сприяння з'єднанню секторів (sector coupling) та приватним інвестиціям, податкові пільги, законодавче стимулювання і одночасна відмова від субсидування виробництва вугілля і викопних видів палива.

### 3. Розвиток відновлюваної енергетики – світові орієнтири

Особливості розвитку світової відновлюваної енергетики проілюструємо даними агентства IRENA та Bloomberg New Energy Finance (BNEF) [16, 18–20, 35, 39]. За даними BNEF зміна пропорції ВДЕ в електрогенерації за період з 2007 по 2017 рр. по окремих країнах складає (у відсотках): Канада – з 61 до 66; Великобританія – з 5 до 33; Німеччина – з 14 до 36; Китай – з 15 до 27; США – з 8 до 17; Іспанія – з 19 до 34; Італія – з 16 до 52; Японія – з 9 до 17; Бразилія – з 88 до 81; Індія – з 18 до 19; Австралія – з 8 до 20.

Світовий рекорд мінімальної вартості генерації 1 кВт·год електроенергії ВДЕ в дол. США без субсидування у порівнянних цінах для 2011 та 2018 років представлено в табл. 1 [19, 35].

Таблиця 1

Тип	Країна, учасник торгів	2011 р.	Країна, учасник торгів	2018 р.	Зменшення вартості, рази
СЕС	Іспанія, Various	0,17	Мексика, Enel	0,0197	8,63
ВЕС, оншор	США, Various	0,08	Мексика, Neoen	0,0177	4,52
ВЕС, офшор	Велика Британія, SSE	0,17	Данія, Vattenfall	0,053	3,21

Глобальні нові інвестиції в екологічно чисту енергію, за секторами за період з 2005 по 2018 рр., в млрд. дол., наведено в табл. 2 [16].

Для порівняння, нові інвестиції в екологічно чисту енергетику США та Європи в 2005 – 2018 рр., в млрд. дол., зведено в табл. 3 [16]. За підсумками 2018 року встановлена потужність ВДЕ у світі досягла 2351 ГВт, що на 7,9% більше, ніж у 2017 р.. Відновлювальна енергетика представляє приблизно третину всіх генеруючих потужностей на планеті. Половина ВДЕ-потужностей припадає на гідроенергетику (1172 ГВт), встановлена потужність вітроенергетики становить 564 ГВт, а сонячної енергетики 480 ГВт. Розподіл приросту потужності ВДЕ у 2018 р. по регіонах та їх порівняння з 2017 р. наведено в табл. 4.

Основні факти про розвиток ВДЕ в 2018 році в розрізі технологій [19, 39].

**Гідроенергетика.** У 2018 р. зростання гідроенергетики продовжувало сповільнюватися, і тільки Китай додав у 2018 р. значні нові потужності (+8,5 ГВт).



Таблиця 2

Тип	Рік													
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
СЕС	16	22	39	62	64	103	158	140	120	145	179	141	171	131
ВЕС	28	40	61	75	80	102	87	84	86	111	125	121	125	129
Інші	34	68	82	69	62	70	77	64	61	63	55	66	65	71

**Вітроенергетика.** Глобальна потужність вітроенергетики збільшилася на 49 ГВт в 2017 р. На частку Китаю та США, як і раніше, припадала найбільша частка розширення вітрової енергії, зростання на цих ринках склало 20 ГВт і 7 ГВт відповідно.

**Біоенергетика.** Розвиток скромний. На три країни (Китай, Індію та Великобританію) припадало більше половини розширення біоенергетичних потужностей у 2018 р. Китай наростив потужності біоенергетики на 2 ГВт, Індія на 700 МВт, Великобританія на 900 МВт

Таблиця 3

Регіон	Рік													
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
США	16,5	34,6	47,1	43,6	35,1	46,6	62,3	52,9	44,6	52,2	58,4	56,4	57,6	64,2
Європа	38,9	52,5	75,2	88,3	91,3	123,1	137,8	98,4	70,2	78,5	73,8	77,7	58,4	74,5

Таблиця 4

Регіон	Потужність, в ГВт	Частка у глобальній генерації, у відсотках	Приріст (абсолютні зміни), в ГВт	Приріста, у відсотках
Північна Америка	366	16,0	19,0	5,4
Центральна Америка та Каріби	15	1,0	0,8	5,5
Південна Америка	211	9,0	9,4	4,7
Європа	536	23,0	24,0	4,6
Середній Схід	20	1,0	1,3	7,1
Африка	46	2,0	3,6	8,4
Євразія	100	4,0	4,1	4,3
Азія	1024	44,0	105,0	11,4
Океанія	32	1,0	4,8	17,7

**Сонячна енергетика** – найдинамічніший сегмент не тільки ВДЕ, але електроенергетики в цілому. Встановлена потужність сонячної енергетики зросла у 2018 р. на 94 ГВт, у тому числі в Азії було побудовано 64 ГВт.

**Геотермальна енергетика** у 2018 р. зросла на 539 МВт, причому більша частина розширення припала на Туреччину (+219 МВт) та Індонезію (+137 МВт), за якою слідують США, Мексика і Нова Зеландія.

Компанія Bloomberg NEF опублікувала свій прогноз в галузі енергетики на 2019 рік. Незважаючи на можливе уповільнення розвитку сонячної енергетики в Китаї, у 2019 році вона додасть від 125 до 141 ГВт потужностей; зростання буде відзначено в Індії, Європі, Близькому Сході, Північній Африці, Туреччині. У вітроенергетиці BNEF очікує стрибок з 53,5 ГВт нових потужностей в 2018 році до понад 70 ГВт в 2019 році, причому стрибок відбудеться і в морській вітроенергетиці: буде додано 8,5 ГВт нових потужностей проти 4,8 ГВт в 2018 році. У 2019 вперше в історії ринку річний обсяг встановлених накопичувачів енергії перевищить 10 ГВт-год. Продажі електромобілів в 2019 році зростуть на 40% (в 2018 році продажі виросли на 70%). У 2019 р. у світі буде продано 2,6 млн. електрокарів, з яких 1,5 млн. буде реалізовано в Китаї.

За дослідженнями, здійсненими IRENA [21, 31, 32, 34], у 2018 році у світі було введено в експлуатацію 171 ГВт ВДЕ-електростанцій, що дещо менше, ніж в 2017 р. [32]. СЕС та ВЕС забезпечили 84% приросту потужностей ВДЕ у 2018 р. У регіональному розрізі лідирує Азія, де було встановлено 61% нових потужностей, що функціонують на основі ВДЕ. З 2015 року у світі щорічно будується більше відновлюваної генерації, ніж іншої, що працює на основі викопного палива, в тому числі атомної енергетики. За підсумками 2018 року встановлена потужність ВДЕ у світі досягла 2351 ГВт, що на 7,9% більше, ніж роком раніше. Тепер відновлювальна енергетика представляє приблизно третину всіх

генеруючих потужностей на планеті. Половина ВДЕ-потужностей припадає на гідроенергетику (1172 ГВт), встановлена потужність вітроенергетики становить 564 ГВт, а сонячної енергетики 480 ГВт. Однак вітрова та сонячна енергетика є найбільш зростаючими з великим відривом секторами ВДЕ.

У 2018 році частка ВДЕ у виробництві електроенергії в ЄС значно зросла []. Генерація «мікс» в ЄС у 2018 році та порівняння з 2017 р. (наведено в дужках) у відсотках: ядерна енергетика – 25,5 (25,5); газ – 18,9 (19,9); кам'яне вугілля – 10,0 (11,0); лігніти – 9,2 (9,5); інші види палива – 4,0 (4,1); ВДЕ – 32,3 (30,0), у тому числі вітрова – 11,8 (11,1); сонячна – 3,9 (3,6); біомаса – 6,1 (5,9); гідро – 10,6 (9,4).

Опубліковано дослідження електроенергетики ЄС, проведене центрами Agora Energiewende (Німеччина) і Sandbag (Великобританія), яке показує, що частка ВДЕ в генерації в ЄС досягла 32,3%, що відповідає зростанню більш ніж на 2 % у порівнянні з 2017 р. [37]. Нові ВЕС та СЕС, а також генерація на біомасі потіснили вугілля в структурі виробництва електроенергії, особливо в Німеччині, Великобританії та Франції. У той же час використання гідроенергетики повернулося до свого нормального рівня, що дозволило знизити вироблення електроенергії на основі природного газу. Як результат, виробництво електроенергії на основі вугілля в ЄС у 2018 р. впало на 6%, причому в порівнянні з 2012 р. воно знизилось на 30%.

У 2018 р. сонячна енергетика зросла приблизно на 10 ГВт (найсильніше зростання за останні роки, при цьому на частку ЄС сьогодні припадає менше 10% світового ринку), а її частка у виробленні електроенергії склала 3,9%. У ряді країн сонячна генерація була набагато вищою: в Італії – трохи менше 9%, в Греції – трохи менше 8%, в Німеччині – близько 7%. За оптимістичним прогнозом ринок сонячної енергетики (річе введення нових потужностей) може вирости до 30 ГВт до 2022 року. Основна причина – зниження вартості модулів: у 2018 році вони були на 29% дешевше, ніж у 2017 році.

Обсяги генерації електроенергії в країнах ЄС28 за різними видами первинного енергоносія (в ТВт·год) наведено в табл. 5.

Таблиця 5

Тип енергоносія	Рік							
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
ВДЕ	679	768	858	900	936	951	977	1051
Ядерна	907	882	877	876	857	840	831	829
Лігніти	343	347	332	324	322	306	308	300
Кам'яне вугілля	496	544	531	473	462	386	358	324
Газ	705	584	511	458	497	610	649	614
Інші види	143	140	130	129	131	132	134	131
Разом	3273	3265	3239	3160	3205	3225	3257	3249

Зазначимо важливість розвитку концентраторів сонячної енергії – CSP (Concentrated solar power) із зберіганням енергії в набагато більших, ніж сьогодні, обсягах через її спроможності забезпечувати енергію 24 год. на добу – цей ринок повинен зрости з 3 ГВт в 2020 році до 78 ГВт в 2030 році. Передбачається, що до 2050 року 64–65 % всієї електроенергії буде надходити від змінних ВДЕ (сонце і вітер), 27–29 % – з диспетчеризованих ВДЕ (CSP, біоенергетика, гідроенергетика та геотермальна енергетика), а залишок буде вироблятися з водню.

Коротко проаналізуємо стан використання ВДЕ в Німеччині, що є флагманом комплексної реалізації політики енергетичного переходу. У табл. 6 наведемо зміну структури попиту на первинну енергію в Німеччині, 2007 – 2017 рр. (у відсотках) [37, 41].

Баланс виробництва електроенергії в Німеччині в 2018 р. (млрд. кВт·год / відсоток) становив: натуральний газ – 83,0/13,0; кам'яне вугілля – 83,0/13,0; ядерна енергія – 76,1/11,9; лігніти – 146,0/22,8; ВДЕ – 225,7/35,2; інші види – 26,9/4,2; всього електроенергії в 2018 р. вироблено – 640,7 млрд. кВт·год/100, при цьому ГЕС – 16,5/2,6; СЕС – 46,2/7,2 %; біомаса – 51,3/8,0; ВЕС офшори – 19,3/3,0; ВЕС оншори – 92,2/14,4.

Таблиця 6

Тип енергоносія	2007 р.	2017 р.	Δ
Газ	23,0	23,1	+ 0,1
Нафта	35,3	35,8	+ 0,5
Вугілля	26,1	21,3	- 4,8
АЕС	9,6	5,1	- 4,5
ВДЕ	4,6	13,4	+ 8,8
Гідро	1,4	1,3	- 0,1

Установлена потужність ВДЕ в Німеччині у 2018 р. зросла на 6,6 ГВт. Після рекордного в 2017 р. зростання за весь час на 8,2 ГВт потужностей, у 2018 р. мало місце введення нових потужностей ВЕС на 3,2 ГВт, з них 1 ГВт як офшорні ВЕС (на кінець 2018 р. потужність ВЕС в Німеччині становила 59 ГВт). Потужність СЕС у 2018 р. зросла на 2,9 ГВт, що більше на 1,2 ГВт у порівнянні з 2017 р. З загальною потужністю СЕС на кінець 2018 р. становила 45,3 ГВт. У секторі використання біомаси нових потужностей було встановлено на рівні 419 МВт.

У 2019 р. в Німеччині встановили новий рекорд виробництва електроенергії з відновлюваних джерел [14]. У першому півріччі 2019 р. в Німеччині частка електроенергії гідро-, сонце-, вітроенергетики та з біомаси перевищила сумарну генерацію ТЕС та АЕС. Причин цього дві й вони досить своєрідні. Цього року перше півріччя видалося вкрай сприятливим для вітрової та сонячної енергетики – спочатку було вітряно, а вже потім дуже сонячно. У підсумку 47,3 % обсягу електроенергії, яку споживачі отримували, припало на "зелену енергетику", а 43,4 % – на генерацію ТЕС та АЕС. За даними Інституту сонячно-енергетичних систем Товариства імені Фраунгофера спалення газу дало 9,3 % до енергобалансу, а решта 0,4 % припало на інші джерела, в тому числі й нафту.

За даними аналітичного центру Agora Energiewende причин такої ситуації чимало й склалася вона лише на цей конкретний момент, тож говорити про тривалу тенденцію поки передчасно. Перша половина 2019 року виявилась особливо вітряною: в результаті обсяги електроенергії, виробленої вітряками, зросли приблизно на 20 % у порівнянні з відповідним періодом 2018 р. Водночас генерація електроенергії з використанням СЕС зросла на 6 %, а на газових ТЕС – на 10 %. Частка АЕС в загальному енергобалансі Німеччини практично не змінилася, а вугілля – скоротилася. У порівнянні з першим півріччям 2018 року, у 2019 р. з кам'яного вугілля генерували на 30 %, а з бурого – на 20 % менше електроенергії. Деякі блоки вугільних електростанцій взагалі тимчасово вивели з експлуатації.

Внаслідок зростання цін на шкідливі викиди «парникових газів» в атмосферу генерація електроенергії з вугілля обходиться енергоконцернам дедалі дорожче. Ціни на емісійні квоти особливо стрімко зросли в Німеччині після реформи правил торгівлі цими квотами, проведеної 2017 року. Ринок цих квот стосується поки що лише ТЕС та енергоємних галузей промисловості.

Відзначаються також вигоди від газових електростанцій. Як сировина газ, зазвичай, дорожчий за вугілля. Однак у першій половині 2019 р. ціни на газ у регіоні були низькими, тож електростанції, що спалюють «блакитне паливо», виявилися більш прибутковими. 29 червня 2019 року ціна на газ на голландському торговому майданчику TTF становила близько 10 євро за 1 МВт·год, а роком раніше – майже 20 євро. За даними Федерального об'єднання підприємств енерго- і водопостачання (BDEW – Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft), однією з причин падіння цін на газ стала порівняно тепла зима, внаслідок чого у сховищах залишилося ще багато газу. Крім того, в Європі з'явилися кілька нових терміналів для прийому поставок скрапленого природного газу з інших континентів. Свою роль зіграло й сповільнення темпів економічного зростання та нинішні торговельні конфлікти в світі, що також позначилося на світовій вартості газу. Як наслідок, багато надлишкового газу стали експортуватися до ЄС, де його ціни порівняно високі.

Істотним фактором стало й те, що спорудження вугільних ТЕС обходиться значно дорожче. А однією з переваг газових ТЕС є можливість досить гнучко змінювати навантаження на них, чого швидко не зробити на вугільних ТЕС. За даними BDEW, у першій половині 2019 р. цей показник був приблизно на 15 % нижчим, ніж за аналогічний період 2018 року.

#### **4. Законодавче та нормативно-правове регулювання діяльності ринків електроенергії Європейського Союзу**

Важливо проаналізувати політичні та законодавчі орієнтири європейської політики реалізації енергетичного переходу [2, 4, 5, 15].

*Перший етап* реформування енергетичних ринків країн-членів ЄС почався з прийняття 26 червня 1990 р. Директиви 90/377/ЄЕС щодо функцій Співтовариства з розвитку конкуренції та прозорості цін на електроенергію для кінцевих споживачів. Директива зобов'язала країни-члени ЄС надавати Статистичному бюро Європейського Співтовариства (Eurostat) відкриту інформацію з динаміки ринкових цін на електроенергію. Подальші заходи з регулювання діяльності систем передавання, транзиту та організації постачання електроенергії було визначено Директивою 90/547/ЄЕС від 29 жовтня 1990 р.

Основним завданням першого етапу реформування (лібералізації), за визначенням Єврокомісії, було – «більше конкуренції, наскільки це можливо, і стільки регулювання, наскільки це необхідно» («as much competition as possible, as much regulation as necessary»). Відкриття ринків визначалося національними нормативно-правовими актами. Єдиним обов'язковим критерієм, на рівні ЄС, визначалась необхідність доведення реалізації на відкритому ринку як мінімум 35% щорічного обсягу споживання електроенергії кінцевими споживачами протягом 5 років.

*Другий етап.* У листопаді 2002 р. було прийнято Другий енергетичний пакет, положення якого

спрямовано головним чином на забезпечення вільного доступу до мереж і подальшого розвитку конкурентного середовища. До Другого енергетичного пакету входять наступні законодавчі та нормативно-правові документи:

- Директива Європейського Парламенту та Ради 2003/54/ЄС від 26 червня 2003 р. щодо загальних правил для внутрішнього ринку електроенергії;
- Регламент Ради та Європейського Парламенту № 1228/2003 від 26 червня 2003 р. про умови доступу до мереж з метою транскордонного обміну електроенергією;
- Директива Європейського Парламенту та Ради 2003/55/ЄС від 2003 р. про загальні правила для внутрішнього ринку природного газу;
- Регламент (ЄС) №1775/2005 від 2005 р. про умови доступу до мереж транспортування природного газу.

У цілому Другим енергопакетом передбачено подальшу лібералізацію енергетичного сектора. На цьому етапі мінімальними вимогами були юридичне розділення операторів систем передавання енергії та операторів, які продають енергію кінцевим споживачам, а також створення регулюючого органу на національному рівні в кожній країні.

**Третій етап.** У 2009 р. Європейським Парламентом було затверджено Третій пакет енергетичного законодавства ЄС для забезпечення більш повної лібералізації енергетичного ринку, насамперед у електроенергетичному та газовому секторах. До складу Третього Енергетичного пакету увійшли:

- Директива 2009/72/ЄС, якою встановлено основні засади та правила внутрішнього ринку електроенергії (скасовує Директиву 2003/54/ЄС);
- Директива 2009/73/ЄС щодо загальних правил для внутрішнього ринку природного газу (скасовує Директиву 2003/55/ЄС);
- Регламент ЄС №713/2009, яким засновано Агентство з питань співпраці регуляторів енергії (Agency for the Cooperation of Energy Regulators – ACER);
- Регламент ЄС №714/2009 про умови доступу до мереж трансграничного обміну електроенергією (скасовує Регламент ЄС №1228/2003);
- Регламент ЄС №715/2009 про умови доступу до мереж транспортування природного газу (скасовує Регламент ЄС №1775/2005).

Положення зазначених нормативно-правових актів спрямовано не лише на сталий розвиток внутрішнього електроенергетичного ринку, а й на гармонізацію спільного функціонування вже діючих національних електроенергетичних ринків.

У сфері енергетики Європа поставила перед собою три питання: (1) як побудувати низькоємісійну енергетику, яка буде відповідати постійному збільшенню потреб споживачів; (2) як забезпечити енергетичну безпеку; (3) як забезпечити продаж енергії за конкурентною ціною. Європейський Союз визначив надзвичайно амбітні цілі в формі ініціативи «20-20-20 до 2020» в рамках «Пакету дій по боротьбі зі зміною клімату і використанням відновлюваної енергії» (The new energy and climate package of the European Commission). Країни-члени до 2020 року взяли на себе зобов'язання скоротити викиди CO<sub>2</sub> принаймні на 20%, запровадити 20% виробництва енергії з відновлюваних джерел і досягти 20% покращення енергоефективності.

Енергетична стратегія ЄС на 2011–2020 роки «Енергетика 2020: Стратегія для конкурентної, сталої і безпечної енергетики» базується на п'яти пріоритетних зонах:

- 1) досягнення енергоефективності в Європі;
- 2) побудова панєвропейського об'єднаного енергетичного ринку;
- 3) розширення прав споживачів і досягнення найвищого рівня захисту та безпеки;
- 4) зростання лідерства Європи в питаннях енергетичних технологій та інновацій;
- 5) посилення зовнішнього виміру європейського енергетичного ринку.

**Четвертий етап – Четвертий енергопакет (Winter energy package)** розглядається як елемент стратегії створення Європейського Енергетичного Союзу. Організація впровадження основних положень стратегії ЄС Енергетика 2020 (базового документу розвитку енергетики Євросоюзу) стало основою для прийняття Європарламентом Європейської стратегії енергетичної безпеки, як невід'ємної частини Рамкової Кліматичної та енергетичної політики на період з 2020 до 2030 рр. Європейською Комісією (ЄК), вищим органом виконавчої влади Європейського Союзу, 25 лютого 2015 р. прийнято Пакет документів Енергетичного Союзу COM(2015) 80 Рамкова стратегія для сильного Енергетичного Союзу з прогресивною політикою щодо клімату (Стратегія Енергетичного Союзу – Energy Union Package) та «Дорожню карту для Енергетичного Союзу до 2050 р.» (Energy Roadmap 2050), в якій представлені конкретні цілі та пріоритети з планом дій щодо прийняття відповідної законодавчої бази до 2018 р.

На саміті 24–25 жовтня 2014 р. главами держав і урядів країн-членів ЄС прийнято основні принципи, представлені Єврокомісією Європейському Парламенту та Раді «Energy Efficiency and its contribution to energy security and the 2030 Framework for climate and energy policy» (COM(2014) 520,

23.07.2014), щодо енергетичної політики з енергоефективності та протидії змінам клімату на період до 2030 р. [2, 5]. Цілями цієї політики для країн-членів ЄС визначено: зниження викидів парникових газів на 40%, покращення енергоефективності на 27% і підвищення на 27% використання ВДЕ в енергетичній структурі Євросоюзу, що значно перевищує раніше прийняті відповідні показники в Енергетичній стратегії ЄС до 2020 р. Стратегія Енергетичного Союзу ЄС до 2030 р. має п'ять взаємопов'язаних положень, спрямованих на підвищення рівня енергетичної безпеки, сталого розвитку та конкурентоспроможності, викладених у «Пакеті Енергетичного Союзу»:

- енергетична безпека, солідарність і довіра;
- повністю інтегрований європейський енергетичний ринок;
- внесок ефективного використання енергії в скорочення обсягу споживання;
- низьковуглецева економіка;
- дослідницька діяльність, інноваційні розробки та конкурентоспроможність

Основними цілями та пріоритетами Енергетичного Союзу передбачено: створення єдиної архітектури ринку електроенергії; сприяння успішній ринковій інтеграції електроенергії, що генерується ВДЕ; забезпечення подальшого підвищення енергоефективності європейської економіки. Для розв'язання цих проблем Єврокомісією було й розпочато підготовку до прийняття нового енергетичного пакету Winter energy package. Концепція Четвертого енергопакету викладена в доповіді Єврокомісії «Чиста енергія для всіх європейців» (Clean Energy for All Europeans, COM(2016) 860 final, 30.11.2016) [15]. Документ відображає бачення, за яким сценарієм ЄС може здійснити перехід до нового енергетичного майбутнього.

У цілому Четвертим енергопакетом визначено три основні цілі: (1) досягнення глобального лідерства у сфері ВДЕ; (2) забезпечення кращих умов для споживачів; (3) пріоритетність енергоефективності. Наразі сформована система пропозицій та заходів, що охоплюють питання підвищення енергоефективності, децентралізації генерації, прискорення інновацій у сфері чистої енергії і модернізації будівель та екодизайну, розвитку ВДЕ, структури ринку електроенергії, правил постачання та регулювання для Енергетичного Союзу.

Новий енергетичний пакет «Clean Energy for All Europeans» відображає бачення того, за яким сценарієм ЄС може здійснити перехід до нового енергетичного майбутнього [15]:

1) Єврокомісія пропонує після 2020 р. скасувати правило, за яким установки, що генерують електроенергію з ВДЕ (вітер, сонце тощо), мають право першочергового включення до електромережі. Частка «зеленої» генерації в ЄС на кінець 2016 р. досягла 30%, і це вже показник того, що сектор «дозрів» до конкуренції з іншими виробниками і його розвиток більше не потребує державної підтримки.

2) очікується зростання залученості споживачів до енергоринку, довгострокова мета ЄС за часткою ВДЕ в споживанні становить 50%. Це зумовлює необхідність вирішити ще одне важливе питання: як забезпечити маневрування пікового споживання, яке зараз здійснюється за рахунок ТЕС. Новий етап розвитку енергоринку Єврокомісія бачить у переході від централізованих систем до систем РГ, де енергетичні кооперативи і окремі домогосподарства перетворюються в активних учасників ринку (prosumer та prosumage) і мають можливість генерувати, зберігати та використовувати для власного споживання електроенергію з ВДЕ;

3) зростання кінцевих показників (мети) з енергоефективності. Це питання нового «енергопакету» підтримують усі сторони процесу – Єврокомісія, Європарламент, представники бізнесу, експерти. На сьогоднішній планка приросту в енергоефективності до 2030 р. встановлена на рівні 27% від прогнозу рівнів енергоспоживання-2030, зробленого у 2007 р. Єврокомісія пропонує збільшити мету до 30%. На думку ж Європарламенту, на 2030 рік мета повинна бути більш амбітною та складати не менше 40%.

Реалізація пропозицій нового пакету може забезпечити щорічне зростання обсягу ВВП ЄС на 1% протягом 2020–2030 рр. і створення 900 тис. нових робочих місць, залучаючи до 177 млрд. євро річних державних і приватних інвестицій починаючи з 2021 року.

Масштабний перехід від традиційного способу генерації, розподілу та керування енергоресурсами до нової енергосистеми майбутнього передбачає застосування широкого спектру цифрових рішень, наприклад, таких як штучний інтелект, машинне навчання, Internet of Things, блокчейн і Big data. Другим аспектом в контексті енергетики майбутнього постає перехід до безвуглецевих паливних систем.

## **5. Реалізація положень енергетичного переходу в Україні**

Як вихідні дані для оцінки спроможності України реалізувати положення енергетичного переходу наведемо порівняння структур виробництва електроенергії в 2018 р. в Німеччині та Україні (у відсотках) [12, 33, 42, 43]:

1) Німеччина: АЕС – 13,0; ТЕС вугільна – 39,1; ГЕС + ГАЕС – 4,0; ТЕС регулюючі на газу – 9,0; ВДЕ – 34,9;

2) Україна: АЕС – 55,0; ТЕС + ТЕЦ вугільні – 29,9; ГЕС + ГАЕС – 6,8; ТЕЦ базові на газу – 7,1; ВДЕ – 1,2.

Встановлена потужність об'єктів відновлюваної енергетики України, що працюють за «зеленим» тарифом, МВт (із врахуванням СЕС домогосподарств; станом на 01.01.2019 р.) наведено в табл. 7.

За останні 4 роки (період 2015–2018 рр.) політика енергоефективності та впровадження ВДЕ в нашій країні відзначилася суттєвими здобутками [10]:

- 6 млрд. м<sup>3</sup> газу у рік зменшено у 2018 р. у порівнянні з 2014 р. такими категоріями, як населення, бюджетна сфера та теплокомуненерго, тобто близько 1,2 млрд. євро у рік заощаджено на закупівлі імпортного газу;

- запроваджено монетизацію субсидій – ще один стимул та джерело для заощадження енергоресурсів;

- у 10 разів зросла кількість укладених енергосервісних (ЕСКО) контрактів у 2018 р. порівняно із 2016 р. (у 2018 р. підписано 210 ЕСКО-договорів на суму контрактів понад 200 млн. грн.);

- у 3 рази збільшено кількість місцевих органів влади, де впроваджено енергомоніторинг у бюджетній сфері: із 60 таких органів влади у квітні 2017 р. до 180 на кінець 2018 року;

- фактично за півроку із закладами вищої освіти видано майже 450 атестатів для енергоаудиторів та фахівців з обстеження інженерних систем (згідно Закону України «Про енергетичну ефективність будівель»);

- близько 7,5 тис. українських родин інвестували 151 млн. євро у СЕС загальною потужністю майже 160 МВт; більше половини усіх СЕС (майже 4500 МВт) інсталювано саме у 2018 році; ТОП-5 областей, де встановлено найбільше СЕС у домогосподарствах: 882 – Дніпропетровська; 838 – Київська; 664 – Тернопільська; 484 – Івано-Франківська; 469 – Кіровоградська;

- у 3 рази зросли біогазові потужності: із 10 установок (15 МВт) на кінець 2014 р. до 33 установок (46 МВт) на кінець 2018 року.

Таблиця 7

Тип генерації	Рік					
	2014	2015	2016	2017	2018	I пів. 2019
СЕС	411	432	531	742	1388	2640
СЕС домогосподарств	0,1	2	17	51	157	190
ВЕС	426	426	438	465	533	777
МГЕС	80	87	90	95	99	100
Біомаса	35	35	39	39	51	51
Біогаз	15	17	20	34	46	66
Разом	967	999	1135	1426	2274	3824

«Зелена» генерація вимагає забезпечення високоманевреної резервної потужності з надійним і чітким графіком роботи: чим більше таких «зелених» електростанцій у загальній структурі генерації, тим більше необхідно мобільних резервів. Частка «зеленої» генерації в Україні поки що мінімальна і складає до 2% від загального обсягу генерованої у країні електроенергії та сьогодні не впливає на енергосистему країни.

Частка та потужність об'єктів ВДЕ суттєво змінилися в останні роки. Так, якщо в 2014 р. вони становили 1,1 % та 0,9 ГВт, то в 2018 році вони склали 2,4 % та 2,3 ГВт.

За даними Держенергоефективності за 2018 рік встановлено 813 МВт нових потужностей, що генерують електроенергію з ВДЕ. Це майже у 3 рази більше, ніж обсяг потужностей, введених у 2017 р. (близько 300 МВт). У встановлення 813 МВт потужностей об'єктів відновлюваної електроенергетики інвестовано понад 730 млн. євро. Загалом, на кінець 2018 р. в країні працювало 2240 МВт потужностей, які генерують «чисту» електроенергію, що у 1,5 рази більше, ніж на кінець 2017 року (близько 1500 МВт). З іншої сторони, за даними НЕК «Укренерго» на початку 2019 р. встановлена потужність ВЕС та СЕС в енергосистемі країни сумарно складає 1353 МВт (ВЕС – 512 МВт, СЕС – 841 МВт), що мало впливає на баланс, і відхилення їх генерації від запланованої компенсується існуючими маневровими потужностями ТЕС ГК, ГЕС та ГАЕС.

Міненерговугілля прогнозує в 2019 р. зростання виробництва електроенергії з ВДЕ у 2,2 рази, незначне зниження генерації АЕС і ГК ТЕС [41, 43]. Виробництво електроенергії в ОЕС України в 2019 році знизиться на 0,74% (на 1 млрд. 177,9 млн. кВт·год) порівняно з 2018 роком – до 158 млрд. 173 млн. кВт·год, свідчить оновлений прогнозний баланс електроенергії ОЕС Міністерства енергетики та вугільної промисловості [43].

АЕС за підсумками 2019 року зменшать виробництво електроенергії на 1,2% (на 1,008 млрд. кВт·год) – до 83,390 млрд. кВт·год. ГК ТЕС, у свою чергу, продемонструють падіння виробництва на 2,5% (на 1 млрд. 204,5 млн. кВт·год) – до 46,587 млрд. кВт·год, ГЕС – на 23,2% (на 2 млрд. 428,0 млн. кВт·год), до 8,001 млрд. кВт·год, ГАЕС – на 8,7% (137,4 млн. кВт·год), до 1,442 млрд. кВт·год. Виробництво

електроенергії на ТЕЦ і когенераційних установках (КУ) за підсумками року зростає на 6,6% (на 728,2 млн. кВт·год) – до 11,744 млрд. кВт·год, на блок-станціях – на 6,5% (97,0 млн. кВт·год), до 1,6 млрд. кВт·год. Прогнозується, що за підсумками 2019 року виробництво електроенергії з ВДЕ становитиме 5,979 млрд. кВт·год, що в 2,3 рази (на 2 млрд. 633 млн. кВт·год) більше, ніж у 2018 році.

Структура виробництва електроенергії в ОЕС України в 2018 р., прогноз на 2019 р. представлена в табл. 8.

За даними Національної комісії, що здійснює держрегулювання у сферах енергетики і комунальних послуг [13, 43], в Україні за перше півріччя 2019 р. введено в дію потужності «зеленої» енергетики, яка виробляє 656 МВт. У порівнянні з 2018 роком, це в шість разів більше, ніж за аналогічний період минулого року. Усього в II кв. 2019 р. введено 71 МВт потужностей ВЕС і 568,3 МВт – СЕС, а також 16 МВт біогазових установок. Станом на кінець першого півріччя 2019 р. встановлена потужність об'єктів ВДЕ досягла 3634,4 МВт, у тому числі СЕС – 2640,4 МВт, ВЕС – 776,6 МВт, установок на біомасі – 51,3 МВт, біогазі – 66,4 МВт.

Лідером за кількістю введених в експлуатацію потужностей виявилася Запорізька область (152 МВт). Далі йдуть: Миколаївська (132 МВт), Київська (76,3 МВт), Дніпропетровська (49,1 МВт), Вінницька (40,2 МВт) та інші області [8, 10, 43]. Найменше потужностей запустили у Тернопільській області (4,7 МВт). Україна у січні–березні 2019 р. ввела 861,1 МВт ВДЕ, що в 5,4 рази більше, ніж за аналогічний період 2018 року, і на 16% більше, ніж за весь 2018 рік.

Таблиця 8

Виробники електроенергії	2018	2018	2019	2019	вим.	вим.
	Млн. кВт·год	частка від загального виробництва, %	Млн. кВт·год	частка від загального виробництва, %	Млн. кВт·год	%
АЕС	84398,2	53,0	83390	52,7	-1008,0	-1,2
ГК ТЕС	47791,5	30,0	46587	29,5	-1204,5	-2,5
ТЕЦ і КУ	11016,2	6,9	11744	7,4	+728,2	+6,61
ГЕС	10429,0	6,5	8001	5	-2428,0	-23,28
ГАЕС	1579,4	1,0	1442	0,9	-137,4	-8,7
Блок-станції	1503,6	0,9	1600	1	+097,0	+6,5
Альтернативні джерела (ВЕС, СЕС, біомаса)	2633,0	1,7	5979	3,8	+3346,0	+127
Загалом	159350,9	100,0	158173	100	-1177,9	-0,74

За січень–травень 2019 року, за фактичними даними Мінпаливенерго, обсяг виробництва електричної енергії електростанціями України, які входять до ОЕС України, у цілому склав 68078,5 млн. кВт·год, що на 124,7 млн. кВт·год, або на 0,2% менше, ніж за 5 місяців 2018 року. При цьому, ТЕС ГК вироблено 19047,1 млн. кВт·год, що на 1216,5 млн. кВт·год, або на 6,0% менше, ніж за 5 місяців 2018 р. ТЕЦ та КУ вироблено 5805,2 млн. кВт·год, що на 21,6 млн. кВт·год, або на 0,4% менше, ніж за відповідний період 2018 року. АЕС вироблено 36915,4 млн. кВт·год, що у порівнянні з відповідним періодом минулого року більше на 3479,2 млн. кВт·год, або на 10,4%. ГЕС та ГАЕС за 5 місяців 2019 року вироблено 3868,0 млн. кВт·год, що на 3200,5 млн. кВт·год, або на 45,3% менше, ніж за 5 місяців 2018 р.

Виробіток ТЕС та ТЕЦ за 5 місяців 2019 року від загального по ОЕС склав 36,5%, виробіток електроенергії АЕС склав 54,2%, а виробіток ГЕС та ГАЕС – 5,7%. За 5 місяців 2018 р. частка виробітку ТЕС та ТЕЦ, АЕС, ГЕС та ГАЕС складала відповідно 38,3%, 49,0% і 10,4%.

Виробництво електроенергії блок-станціями за 5 місяців 2019 року склало 656,2 млн. кВт·год, що на 67,8 млн. кВт·год, або на 11,5% більше, ніж за відповідний період 2018 року.

Виробництво електроенергії альтернативними джерелами (ВЕС, СЕС, біомаса) за 5 місяців 2019 року склало 1786,6 млн. кВт·год (2,62 відсотки від загального виробництва електроенергії), що на 766,9 млн. кВт·год, або на 75,2% більше, ніж за відповідний період 2018 року. Причому за II кв. 2019 р. частка ВДЕ у виробництві електроенергії сягнула 3,3 %, при тому. Що частка ВДЕ в вартості електричної енергії становить 13,6 %.

Однак можлива поява нових викликів для національної енергосистеми у вигляді інтенсивного розвитку ВДЕ [3, 6, 8, 42]. Існує низка факторів, які безпосередньо впливають на роботу енергосистеми, зокрема, слабка прогнозованість і велика нерівномірність навантаження СЕС і ВЕС [8, 12]. Відхилення

навантаження й перевищення вироблення ВЕС і СЕС порівняно з рівнем споживання енергії в деяких випадках не можуть бути скомпенсовані регулюючою здатністю інших енергетичних об'єктів ОЕС України.

НЕК «Укренерго» прораховано, що при наявній потужності ВЕС в 463 МВт та СЕС в 754 МВт нормативний обсяг резервів в ОЕС України має бути 650 МВт. При цьому планові коливання виробництва потужності ВДЕ в обсязі до 450 МВт мають враховуватися при формуванні добового графіку. Система збалансована; ВДЕ заміщують виробництво електроенергії ТЕС в обсязі до 2 млрд. кВт·год на рік.

За даними НЕК «Укренерго», рівні генерації ВЕС – 1500 МВт та СЕС – 1500 МВт – це максимальний рівень потужності СЕС та ВЕС, яку може прийняти ОЕС України без серйозних відхилень в роботі [6, 8, 43]. При цьому система залишається збалансованою, ВДЕ заміщують виробництво електроенергії ТЕС в обсязі 6 млрд. кВт·год в рік. Відповідна встановлена потужність ВДЕ може бути досягнута у грудні 2019 р. Однак до грудня 2019 р. структура генерації має бути змінена задля забезпечення зростання частки ВДЕ в енергобалансі. За результатами спільного дослідження, проведеного НЕК «Укренерго» разом з USAID та міжнародних експертів Tetra TechES і Mercados (презентовано у грудні 2018 р.), передбачалося, що до кінця 2020 р. ОЕС України зможе прийняти не більш як 4750 МВт ВДЕ: (ВЕС – 1750 МВт, СЕС – 3000 МВт). Якщо енергосистемі потрібним є резерв у 1000 МВт, його насамперед забезпечать десятки енергоблоків ТЕС. Такий сценарій розвитку може бути умовно названо «зелено-вугільним парадоксом», коли різке зростання ВДЕ призводить не до декарбонізації, а до збільшення виробленої електроенергії та вугільної генерації з усіма відповідними наслідками. Частка ТЕС не в процентному, а у фінансовому вираженні зростатиме (вони надаватимуть додаткові послуги, працюючи на найдорожчому балансуєчому ринку, тому їхній прибуток ростиме).

Отже, на сьогодні національна енергосистема збалансована, хоча відхилення у добовому виробництві електроенергії ВДЕ досягають вже 450 МВт, а 3000 МВт – той рівень потужності ВДЕ, який зможе прийняти енергосистема без суттєвих змін у структурі ОЕС, що буде досягнуто у грудні 2019 року. Збільшення встановленої потужності ВДЕ до 7426 МВт, згідно виданих технічних умов на приєднання, призведе до зменшення бази АЕС на 5750 МВт та збільшення бази ТЕС на 2800 МВт. Це суперечить курсу на декарбонізацію української енергетики. Єдиний шлях – вводити електростанції швидкодіючого мобільного резерву (газопоршневі станції, ГАЕС) потужністю до 3000 МВт, що збільшить базове навантаження АЕС до 6500 МВт при роботі ТЕС на рівні 1500 МВт (при цьому частина ТЕС буде зупинена).

За умови обмеження атомної генерації, відсутності обмежень для ВДЕ та значного збільшення базової генерації ГК ТЕС збільшать вартість електроенергії на 630,25 грн. за 1 МВт·год від поточної ціни (зростання на 57,7 %). За умови відсутності обмежень для ВДЕ, зменшення базової генерації ГК ТЕС та введення нових маневрових потужностей на 2500 МВт збільшить вартість електроенергії на 532 грн. за 1 МВт·год поточної ціни (зростання на 48,7 %). За умови обмеження ВДЕ вартість електроенергії зросте на 1084,31 грн. за 1 МВт·год (або на 99,2 %) від поточної ціни.

На кінець II кв. 2019 р. видано технічні умови і підписано договори на приєднання понад 6330 МВт нових СЕС і близько 4250 МВт ВЕС за старим високим тарифом для об'єктів генерації, які заявлені й тільки починають будуватися. За даними НЕК «Укренерго», якщо всі ці об'єкти буде побудовано, то в енергосистемі потужність ВЕС і СЕС становитиме близько 13500 МВт, а ціна на електричну енергію зросте мінімум удвічі. І це тільки за рахунок «зелених» генерації.

За розрахунками НЕК «Укренерго», до 2025 р. ОЕС може розвиватися за трьома сценаріями. Однак у будь-якому випадку необхідні додаткові заходи для балансування системи [3, 6, 8, 42]:

«А» – не вводяться додаткові високоманеврові потужності (за наявного рівня прогнозування) і вимушено обмежується виробництво електроенергії з ВДЕ;

«В» – обмежується частка АЕС та, відповідно, збільшується частка вугільної генерації для забезпечення необхідних маневрових потужностей і при цьому не обмежується розвиток «зеленої» генерації;

«С» – забезпечується розвиток та збільшується обсяг «зеленої» генерації при впровадженні системи точного прогнозування та будівництві 2,5 тис. МВт нових високоманеврових балансуєчих потужностей.

НЕК «Укренерго» підтримує третій, найоптимальніший з точки зору збалансованості інтересів споживача і розвитку ВДЕ, варіант [6, 8, 43]. Першою складовою плану «С» розвитку «зеленої» генерації є введення 2,5 тис. МВт нових високоманеврових балансуєчих потужностей, що дозволить уникнути зростання генерації електроенергії на ТЕС і обмеження генерації з ВДЕ та АЕС, а також стримати зростання тарифів на електроенергію для споживачів усіх категорій. Орієнтовна вартість будівництва таких високоманеврових потужностей – 55 млрд. грн., термін окупності – близько шести років. Це дозволить зекономити споживачам близько 65 млрд. грн. щорічно за рахунок мінімізації зростання тарифу на електроенергію, який також залежить від складу генерації.

Найоптимальнішим є будівництво газопоршневих електростанцій з 10-хвилинним періодом виходу



блоків на повну потужність та систем акумуляції енергії, що дозволяють швидко регулювати відхилення на інтервалі часу менше 1 год. Також першочерговим заходом реалізації плану «С» є впровадження системи точного прогнозування з відхиленням: на ринку на добу наперед з похибкою 5–10 %, внутрішньодобове планування з похибкою 3–5 %. Для забезпечення надійної роботи ОЕС України необхідним є введення нових потужностей: 2000 МВт газопоршневих електростанцій та 500 МВт – акумулятори.

У табл. 9 наведено запропоновані НЕК «Укренерго» резерви потужності в ОЕС України для регулювання ВЕС та СЕС за рахунок нових маневрених потужностей та акумуляторних батарей (в МВт).

Щодо малої «зеленої» енергетики, то можемо зазначити, що мала «зелена» енергетика не має таких проблем, як велика, оскільки дахові приватні СЕС для приєднання не потребують технічних умов. Законодавчо обмежено потужності таких приватних СЕС до рівня 50 кВт і дозволено їх встановлювати на дахах і фасадах при умові внутрішнього споживання [8, 42].

Відповідно до Закону України щодо нової системи підтримки «зеленої» енергетики від 25.04.2019 № 2712-VIII (<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2712-19>) із 2020 року нові потужності відновлюваної електроенергетики прийматимуть участь в аукціонах, що дозволить суттєво зменшити ціну на закупівлю електроенергії із ВДЕ. Наведемо порівняння «зелених» тарифів, що діятимуть у III кв. 2019 р., із тарифами на електричну енергію, коп./кВт·год з ПДВ [43]: населення (до 100 кВт) – 90,0; населення (понад 100 кВт) – 168,0; середні тарифи I кл. напруги – 173,67; середні тарифи II кл. напруги – 216,87; мінімальний «зелений» тариф – 213,78; середній «зелений» тариф на III кв. – 591,93; максимальний «зелений» тариф – 1710,28. Як видно з наведених даних, максимальний «зелений» тариф більше ніж у 10 разів тариф на електроенергію для населення.

Таблиця 9

Тип потужності	Рік							
	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Маневрений резерв ТЕС і ГЕС	1900	1800	1600	1400	1200	1100	1100	1100
Швидкодіючий резерв ТЕС і ГЕС	600	600	700	700	600	600	500	500
Нові маневрені потужності	–	–	500	800	1200	1500	1800	2000
Акумуляторні батареї	–	–	–	100	200	300	400	500

**Висновки:**

1. У другому десятилітті ХХ ст. в енергетичному секторі спостерігається значний прогрес, але темпи цього прогресу необхідно прискорити. ВДЕ та енергоефективність разом утворюють наріжний камінь для світового вирішення проблеми викидів CO<sub>2</sub>, пов'язаних з енергетикою. Вони можуть забезпечити більше 90 % скорочень викидів CO<sub>2</sub> в енергетиці, необхідних для затримання зростання глобальної температури 2 °С. Щоб декарбонізувати глобальну енергетику досить швидко і уникнути гірших наслідків зміни клімату, ВДЕ повинні становити не менше двох третин загальної поставки енергії до 2050 року.

2. Важливого значення для реалізації запропонованого міжнародними організаціями глобального енергетичного переходу набуває реалізація політики комплексного підвищення енергоефективності та впровадження енергозберігаючих заходів, зокрема, щорічне зниження енергоємності виробництва товарів та надання послуг у світовому масштабі має зрости у 2–3 рази (для України це зростання має бути не менше ніж у 4–5 разів).

3. Міжнародні енергетичні агентства (IEA, IRENA, OECD) рекомендують зосередити увагу національних політик на довгострокових стратегіях, спрямованих на досягнення нульового викиду вуглецю. Ними підкреслюється необхідність стимулювання і використання системних інновацій. Зокрема, це включає в себе створення більш інтелектуальних енергетичних систем за допомогою дигіталізації, а також взаємодію секторів кінцевого споживання енергії, зокрема, опалення, охолодження та транспорту, за рахунок підвищення рівня електрифікації та децентралізації.

4. Якщо європейська енергосистема порівняно з українською дуже гнучка й здатна витримати пікові навантаження за рахунок багатьох факторів, то можливості ж нашої енергосистеми у цій частині обмежені регулювальною здатністю маневрених потужностей – ТЕС, ГЕС і ГАЕС.

5. В Україні переходу до низьковуглецевої енергетики перешкоджають застаріла інфраструктура, часто із завищеною потужністю, побудована в радянський період, енергетичні субсидії, перехресне субсидування та відсутність тарифів за викиди вуглецю. Енергетичні субсидії та перехресне субсидування підривають перехід до низьковуглецевої економіки різними способами, наприклад, сприяючи

марнотратному споживанню електроенергії, перешкоджаючи інвестиціям приватного сектора в енергоефективність та екологічно чисту енергію та створюючи у енергомістких секторах економіки лобі, яке зацікавлене в збереженні існуючого стану.

6. Україні потрібно здійснити перехід від монопольних до конкурентних енергоринків, оновити стратегії розвитку секторів і відповідні індикативні цілі в національних планах дій, а також впровадити ринкові інструменти підтримки для "зеленої" енергетики та енергоефективності.

#### **Список використаної літератури**

1. Денисюк С.П., Таргонський В.А. Сталий розвиток енергетики України у світових вимірах // Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2017. – № 3. – С.7 – 31.

2. Європейський Союз. Що це таке і що він робить. – Київ: Представництво ЄС в Україні, 2018. – 60 с. [Електронний ресурс] URL: [www.eeas.europa.eu/delegations/ukraine](http://www.eeas.europa.eu/delegations/ukraine)

3. Залучення сонячних та вітрових електростанцій до покриття навантаження ОЕС України. – НЕК «Укренерго», 2019 [Електронний ресурс] URL: <https://ua.energy/wp-content/uploads/2018/04/Zaluchennya-VDE.pdf>

4. Матюшок В.М., Серджио Бруно, Балашова С.А., Гомонов К.Г. Влияние smart grid и возобновляемых источников энергии на энергоэффективность: зарубежный опыт // Вестник РУДН. Серия: Экономика. – 2017. Т. 25. – № 4. – С. 583–598.

5. Основні положення енергетичних стратегій та програм Європейського Союзу щодо розвитку енергетичної сфери в умовах формування загальноєвропейського ринку електроенергії [Електронний ресурс] URL: <https://ua.energy/wp-content/uploads/2017/05/2.-Energetychni-Strategiyi-YES.pdf>

6. План розвитку системи передачі на 2020-2029 роки. – НЕК «Укренерго», 2019. – 208 с. [Електронний ресурс] URL: <https://ua.energy/wp-content/uploads/2019/03/Plan-rozvytku-systemy-peredachi-20-29.pdf>

7. Преобразование глобальной энергетической системы. Дорожная карта до 2050. Краткий обзор. – IRENA, 2019. – 12 с. [Електронний ресурс] URL: [https://irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Apr/IRENA\\_Global\\_Energy\\_Transformation\\_2018\\_summary\\_RU.pdf?la=en&hash=65D7B55F58A18EFA01D7F0FB0A74DA691F9C57F9](https://irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Apr/IRENA_Global_Energy_Transformation_2018_summary_RU.pdf?la=en&hash=65D7B55F58A18EFA01D7F0FB0A74DA691F9C57F9)

8. Проблемні питання розвитку виробництва електроенергії з ВДЕ в ОЕС України. [Електронний ресурс] URL: <https://ua.energy/wp-content/uploads/2018/03/13.03.18-Kovalchuk-VRU-zelena-generatsiya.pdf>

9. Продвигая глобальный переход к возобновляемой энергетике. Основные результаты доклада REN21 о Глобальном состоянии возобновляемой энергетики. – Секретариат REN21, Париж, Франция 2018. – 52 с. [Електронний ресурс] URL: [http://www.ren21.net/wpcontent/uploads/2018/09/GSR\\_2018\\_Highlights\\_Russian\\_FINAL-11.pdf](http://www.ren21.net/wpcontent/uploads/2018/09/GSR_2018_Highlights_Russian_FINAL-11.pdf); GSR 2018

10. Публічний звіт Голови Держенергоефективності. Розвиток сфери енергоефективності та «зеленої» енергетики в Україні: підсумки 2018 р. і плани на 2019 рік. – 07.02.2019 [Електронний ресурс] URL: [http://sae.gov.ua/sites/default/files/2018\\_19\\_report\\_07\\_02\\_2019.pdf](http://sae.gov.ua/sites/default/files/2018_19_report_07_02_2019.pdf)

11. Результаты конференции «Берлинский диалог в области энергетического перехода 2017» (20 – 21 марта, Берлин) [Електронний ресурс] URL: <https://energy.hse.ru/data/2017/10/04/1159484168/%D0%91%D0%B5%D1%80%D0%BB%D0%B8%D0%BD%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9%20%D0%B4%D0%B8%D0%B0%D0%BB%D0%BE%D0%B3.pdf>

12. Роль і місце української енергетики у світових енергетичних процесах. – К.: Центр Разумкова, 2018. – 90 с. [Електронний ресурс] URL: [http://razumkov.org.ua/uploads/article/2018\\_ENERGY\\_PRINT.pdf](http://razumkov.org.ua/uploads/article/2018_ENERGY_PRINT.pdf)

13. Україна встановила об'єкти альтернативної енергії на 656 мегават. [Електронний ресурс] URL: [https://socportal.info/2019/06/28/ukrajina\\_vstanovila\\_objektiv\\_alternativnoji\\_energiji\\_na\\_656\\_megavat.html](https://socportal.info/2019/06/28/ukrajina_vstanovila_objektiv_alternativnoji_energiji_na_656_megavat.html)

14. У Німеччині новий рекорд виробництва струму з відновлюваних джерел [Електронний ресурс] URL: <https://www.dw.com/uk/-49651097>

15. Clean Energy For All Europeans. – Communication From The Commission To The European Parliament, The Council, The European Economic And Social Committee, The Committee Of The Regions And The European Investment Bank. – Brussels, 30.11.2016 COM(2016) 860 final [Електронний ресурс] URL: [https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:fa6ea15b-b7b0-11e6-9e3c-01aa75ed71a1.0001.02/DOC\\_1&format=PDF](https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:fa6ea15b-b7b0-11e6-9e3c-01aa75ed71a1.0001.02/DOC_1&format=PDF)

16. Clean Energy Investment Trends, 2018. – January 16, 2019 [Електронний ресурс] URL: <https://data.bloomberglp.com/professional/sites/24/BNEF-Clean-Energy-Investment-Trends-2018.pdf>

17. Energy Subsidy Reform in the Republic of Moldova: Energy Affordability, Fiscal and Environmental Impacts, Green Finance and Investment, OECD Publishing, Paris, 2018. [Електронний ресурс] URL: <http://www.oecd.org/publications/energy-subsidy-reform-schemes-in-the-republic-of-moldova-9789264292833-en.htm>

18. Fourth “Energy Transition” Monitoring Report – Summary. The Energy of the Future. – The Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (BMWi) Berlin, 2015. – 28 p. [Електронний ресурс] URL: [https://www.bmwi.de/Redaktion/EN/Publikationen/vierter-monitoring-bericht-energie-der-zukunft-kurzfassung.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=16](https://www.bmwi.de/Redaktion/EN/Publikationen/vierter-monitoring-bericht-energie-der-zukunft-kurzfassung.pdf?__blob=publicationFile&v=16)
19. Global Trends in Clean Energy and Transportation. Smart Energy Day, 31 August 2018 Fondation The Arc, Sion. – Michael Liebreich Founder and CEO Liebreich Associates [Електронний ресурс] URL: <https://www.eventsmartenergy.ch/wp-content/uploads/2018/09/9-Michael-Liebreich.pdf>
20. Global Trends in Renewable Energy Investment 2018, <http://www.fs-unesep-centre.org> (Frankfurt am Main) – 86 p. [Електронний ресурс] URL: <https://www.coursehero.com/file/35496181/17278nef-visual-5a-1-1pdf/>
21. GSR 2018 Highlights Russian. 20 – REN21 [Електронний ресурс] URL: [http://www.ren21.net/wpcontent/uploads/2018/09/GSR\\_2018\\_Highlights\\_Russian\\_FINAL-11.pdf](http://www.ren21.net/wpcontent/uploads/2018/09/GSR_2018_Highlights_Russian_FINAL-11.pdf)
22. Hauff J., Bode A., Neumann D., Haslauer F. Global Energy Transitions. World Energy Council. 2014. 32 p. [Електронний ресурс] URL: [https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2014/12/Global-Energy-Transitions-2014\\_EfG2014-mit-AT-Kearney.pdf](https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2014/12/Global-Energy-Transitions-2014_EfG2014-mit-AT-Kearney.pdf)
23. Inventory of Energy Subsidies in the EU's Eastern Partnership Countries, Green Finance and Investment, OECD Publishing, Paris, 2018. [Електронний ресурс] URL: <https://doi.org/10.1787/9789264284319-en>
24. IRENA (2018), Global Energy Transformation: A roadmap to 2050, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. [Електронний ресурс] URL: <https://irena.org/publications/2018/Apr/Global-Energy-Transition-A-Roadmap-to-2050>
25. IRENA (2019), Global energy transformation: A roadmap to 2050 (2019 edition), International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. [Електронний ресурс] URL: <https://irena.org/publications/2019/Apr/Global-energy-transformation-A-roadmap-to-2050-2019Edition>
26. Key Facts about the Energy Transition in Germany. – Berlin Energy Transition Dialogue 2019. Berlin, Germany. – Energiewende – New Horizons. 12 p. [Електронний ресурс] URL: [https://2019.energydialogue.berlin/wp-content/uploads/2019/02/BETD-2019\\_Flyer\\_WEB.pdf](https://2019.energydialogue.berlin/wp-content/uploads/2019/02/BETD-2019_Flyer_WEB.pdf)
27. Krause F., Bossel H., Müller-Reißmann K.F. Energie - Wende. Wachstum und Wohlstand ohne Erdöl und Uran. – S. Fischer Verlag, 1980, ASIN: B0029KUZBI. [Електронний ресурс] URL: <http://www2.hu-berlin.de/sachbuchforschung/CONTENT/SBDB/pix/PDF/Krause-Energie-Inhalt.pdf>
28. Long-Term Energy Scenarios for the clean energy transition. First-year campaign findings May 2019. – The International Renewable Energy Agency (IRENA). – 12 p. [Електронний ресурс] URL: [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/May/IRENA\\_LTES\\_findings\\_2019.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/May/IRENA_LTES_findings_2019.pdf)
29. Perspectives for the Energy Transition. – OECD/IEA and IRENA (2017) [Електронний ресурс] URL: <https://www.iea.org/publications/insights/insightpublications/PerspectivesfortheEnergyTransition.pdf>
30. Ram M., Bogdanov D., Aghahosseini A., Gulagi A., Oyewo A.S., Child M., Caldera U., Sadovskaia K., Farfan J., Barbosa LSNS., Fasihi M., Khalili S., Dalheimer B., Gruber G., Traber T., De Caluwe F., Fell H.-J., Breyer C. Global Energy System based on 100% Renewable Energy – Power, Heat, Transport and Desalination Sectors. Study by Lappeenranta University of Technology and Energy Watch Group, Lappeenranta, Berlin, March 2019. – 321 p. [Електронний ресурс] URL: [http://energywatchgroup.org/wp-content/uploads/EWG\\_LUT\\_100RE\\_All\\_Sectors\\_Global\\_Report\\_2019.pdf](http://energywatchgroup.org/wp-content/uploads/EWG_LUT_100RE_All_Sectors_Global_Report_2019.pdf)
31. Renewable capacity highlights 31 March 2019. [Електронний ресурс] URL: [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Mar/RE\\_capacity\\_highlights\\_2019.pdf?la=en&hash=BA9D38354390B001DC0CC9BE03EEE559C280013F](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Mar/RE_capacity_highlights_2019.pdf?la=en&hash=BA9D38354390B001DC0CC9BE03EEE559C280013F)
32. Renewable capacity statistics 2019, International Renewable Energy Agency (IRENA), Abu Dhabi, 2019. – 60 p. [Електронний ресурс] URL: [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Mar/IRENA\\_RE\\_Capacity\\_Statistics\\_2019.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Mar/IRENA_RE_Capacity_Statistics_2019.pdf)
33. Renewable energy in Europe — 2018. Recent growth and knock-on effects. – European Environment Agency Kongens Nytorv 6 1050 Copenhagen K Denmark. - EEA Report No 20/2018. – 80 p. [Електронний ресурс] URL: <https://www.eea.europa.eu/publications/renewable-energy-in-europe-2018>
34. Renewable Energy Status Report 2017. – REN21 & UNECE (2017) [Електронний ресурс] URL: [https://www.unece.org/fileadmin/DAM/energy/se/pp/renew/Renewable\\_energy\\_report\\_2017\\_web.pdf](https://www.unece.org/fileadmin/DAM/energy/se/pp/renew/Renewable_energy_report_2017_web.pdf)
35. Renewable Energy Trends Green Power 2018, Chennai Vandana Gombar, December 5, 2018, BloombergNEF [Електронний ресурс] URL: <http://www.greenpower-cii.com/gdoc18/Renewable%20Energy%20Trends%20-%20Vandana%20Gombar.pdf>
36. Renewables 2018 Global Status Report. – REN21 [Електронний ресурс] URL: <http://www.ren21.net/gsr-2018/>

37. The European Power Sector in 2018 – Agora [Електронний ресурс] URL: [https://www.agora-energiewende.de/fileadmin2/Projekte/2018/EU-Jahresauswertung\\_2019/Agora-Energiewende\\_European-Power-Sector-2018\\_WEB.pdf](https://www.agora-energiewende.de/fileadmin2/Projekte/2018/EU-Jahresauswertung_2019/Agora-Energiewende_European-Power-Sector-2018_WEB.pdf)
38. World Energy Outlook 2018. – IEA [Електронний ресурс] URL: <https://www.iea.org/weo2018/>
39. Opportunities generated. - BloombergNEF [Електронний ресурс] URL: <https://about.bnef.com/>
40. EU 2020 target for energy efficiency 2019. - European Commission [Електронний ресурс] URL: <https://ec.europa.eu/>
41. Energy consumption 2019. - Eurostat [Електронний ресурс] URL: <https://ec.europa.eu/eurostat>
42. Дані щодо доступності та фактичного використання генеруючих потужностей та електроустановок споживання, здатних до регулювання 2019. - УКРЕНЕРГО [Електронний ресурс] URL: <https://ua.energy/>
43. Розвиток сектору ВДЕ за I квартал 2019 року - Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг [Електронний ресурс] URL: <http://www.nerc.gov.ua/>

**S. Denysiuk**, Dr. Eng. Sc., Prof. ORCID 0000-0002-6299-3680  
**National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”**

### **ENERGY TRANSITION - REQUIREMENTS FOR QUALITY CHANGES IN ENERGY SECTOR DEVELOPMENT**

The article presents the formation of the energy transition basics. It is shown that in order to implement the current provisions of the energy transition, a systematic approach is needed; the basic elements of such transition are integration of renewable energy and energy efficiency (intensification of energy intensity reduction of goods and services).

The main factors and forces of the global energy transition, formed by the International Renewable Energy Agency (IRENA) in cooperation with other international agencies in the late 20's of the 21st century, are presented. The article analyzes the development of legislative and regulatory regulation of European Union electricity markets activity, which created the system background for implementing the provisions of the European energy transition.

The characteristic features of the acceleration of renewable energy sources implementation, in particular solar, worldwide and in Ukraine 2017-2018 are considered, the provisions of the Fourth Energy Package (Winter energy package) and the construction of the Energy Union.

Features of the Ukrainian energy transition in the field of implementation of renewable energy sources are described.

**Key words:** energy transition, power system, renewable energy, energy efficiency, solar power, wind power

#### **References**

1. Denysiuk S., V. Tarhonskyi V. Sustainable development of Ukraine's energy in the world measures // Power engineering: economics, technique, ecology. – 2017. – №8. – p. 7–31.
2. The European Union. What it is and what it does. – Kyiv: EU Delegation to Ukraine, 2018. – 60 p. [Electronic resource] URL: [www.eas.europa.eu/delegations/ukraine](http://www.eas.europa.eu/delegations/ukraine)
3. Involvement of solar and wind power plants to cover the load of the UES of Ukraine. - Ukrenergo NPP, 2019 [Electronic resource] URL: <https://ua.energy/wp-content/uploads/2018/04/Zaluchennya-VDE.pdf>
4. VM Matyushok, Sergio Bruno, SA Balashova, KG Gomonomov Influence of smart grid and renewable energy sources on energy efficiency: foreign experience // Vestnik RUDN. Series: Economics. – 2017. T. 25. – № 4. – P. 583–598.
5. Basic provisions of the European Union's energy strategies and programs for the development of the energy sector in the context of the formation of a pan-European electricity market [Electronic resource] URL: <https://ua.energy/wp-content/uploads/2017/05/2.-Energetychni-Strategiyi-YES.pdf>
6. Plan of development of the transmission system for 2020–2029. – Ukrenergo NPP, 2019. – 208 p. [Electronic resource] URL: <https://ua.energy/wp-content/uploads/2019/03/Plan-rozvytku-systemy-peredachi-20-29.pdf>
7. Transformation of the global energy system. Roadmap to 2050. Summary. – IRENA, 2019. – 12 p. [Electronic resource] URL: [https://irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Apr/IRENA\\_Global\\_Energy\\_Transformation\\_2018\\_summary\\_RU.pdf?la=en&hash=65D7B55F58A18EFA01D7F0FB0A74DA691F9C57F9](https://irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Apr/IRENA_Global_Energy_Transformation_2018_summary_RU.pdf?la=en&hash=65D7B55F58A18EFA01D7F0FB0A74DA691F9C57F9)
8. Problematic issues of development of electricity production from RES in the Ukrainian UES. [Electronic resource] URL: <https://ua.energy/wp-content/uploads/2018/03/13.03.18-Kovalchuk-VRU-zelena-generatsiya.pdf>

9. Promoting a global transition to renewable energy. Main results of the REN21 report on the Global Renewable Energy Situation. – REN21 Secretariat, Paris, France 2018 – 52 p. [Electronic resource] URL: [http://www.ren21.net/wpcontent/uploads/2018/09/GSR\\_2018\\_Highlights\\_Russian\\_FINAL-11.pdf](http://www.ren21.net/wpcontent/uploads/2018/09/GSR_2018_Highlights_Russian_FINAL-11.pdf); GSR 2018
10. Public report of the Head of the State Energy Efficiency. Development of the Energy Efficiency and Green Energy Sector in Ukraine: Results of 2018 and Plans for 2019. – 07.02.2019 [Electronic resource] URL: [http://sae.gov.ua/sites/default/files/2018\\_19\\_report\\_07\\_02\\_2019.pdf](http://sae.gov.ua/sites/default/files/2018_19_report_07_02_2019.pdf)
11. Results of the Berlin Energy Dialogue 2017 Conference (March 20 – 21, Berlin). [Electronic resource] URL: <https://energy.hse.ru/data/2017/10/04/1159484168/%D0%91%D0%B5%D1%80%D0%BB%D0%B8%D0%BD%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9%20%D0%B4%D0%B8%D0%B0%D0%BB%D0%BE%D0%B3.pdf>
12. The role and place of Ukrainian energy in the world energy processes - Razumkov Center, Kyiv: 2018. – 90 p. [Electronic resource] URL: [http://razumkov.org.ua/uploads/article/2018\\_ENERGY\\_PRINT.pdf](http://razumkov.org.ua/uploads/article/2018_ENERGY_PRINT.pdf)
13. Ukraine has installed alternative energy facilities at 656 megawatts. [Electronic resource] URL: [https://socportal.info/2019/06/28/ukrajina\\_vstanovila\\_objektiv\\_alternativnoji\\_energiji\\_na\\_656\\_megavat.html](https://socportal.info/2019/06/28/ukrajina_vstanovila_objektiv_alternativnoji_energiji_na_656_megavat.html)
14. A new record for the production of electricity from renewable sources in Germany [Electronic resource] URL: <https://www.dw.com/uk/-49651097>
15. Clean Energy For All Europeans. – Communication From The Commission To The European Parliament, The Council, The European Economic And Social Committee, The Committee Of The Regions And The European Investment Bank. – Brussels, 30.11.2016 COM(2016) 860 final [Electronic resource] URL: [https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:fa6ea15b-b7b0-11e6-9e3c-01aa75ed71a1.0001.02/DOC\\_1&format=PDF](https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:fa6ea15b-b7b0-11e6-9e3c-01aa75ed71a1.0001.02/DOC_1&format=PDF)
16. Clean Energy Investment Trends, 2018. – January 16, 2019 [Electronic resource] URL: <https://data.bloomberglp.com/professional/sites/24/BNEF-Clean-Energy-Investment-Trends-2018.pdf>
17. Energy Subsidy Reform in the Republic of Moldova: Energy Affordability, Fiscal and Environmental Impacts, Green Finance and Investment, OECD Publishing, Paris, 2018. [Electronic resource] URL: <http://www.oecd.org/publications/energy-subsidy-reform-schemes-in-the-republic-of-moldova-9789264292833-en.htm>
18. Fourth “Energy Transition” Monitoring Report – Summary. The Energy of the Future. – The Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (BMWi) Berlin, 2015. – 28 p. [Electronic resource] URL: [https://www.bmwi.de/Redaktion/EN/Publikationen/vierter-monitoring-bericht-energie-der-zukunft-kurzfassung.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=16](https://www.bmwi.de/Redaktion/EN/Publikationen/vierter-monitoring-bericht-energie-der-zukunft-kurzfassung.pdf?__blob=publicationFile&v=16)
19. Global Trends in Clean Energy and Transportation. Smart Energy Day, 31 August 2018 Fondation The Arc, Sion. – Michael Liebreich Founder and CEO Liebreich Associates [Electronic resource] URL: <https://www.eventsmartenergy.ch/wp-content/uploads/2018/09/9-Michael-Liebreich.pdf>
20. Global Trends in Renewable Energy Investment 2018, <http://www.fs-unep-centre.org> (Frankfurt am Main) – 86 p. [Electronic resource] URL: <https://www.coursehero.com/file/35496181/17278nef-visual-5a-1-1pdf/>
21. GSR 2018 Highlights Russian. 20 – REN21 [Electronic resource] URL: [http://www.ren21.net/wpcontent/uploads/2018/09/GSR\\_2018\\_Highlights\\_Russian\\_FINAL-11.pdf](http://www.ren21.net/wpcontent/uploads/2018/09/GSR_2018_Highlights_Russian_FINAL-11.pdf)
22. Hauff J., Bode A., Neumann D., Haslauer F. Global Energy Transitions. World Energy Council. 2014. 32 p. [Electronic resource] URL: [https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2014/12/Global-Energy-Transitions-2014\\_EfG2014-mit-AT-Kearney.pdf](https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2014/12/Global-Energy-Transitions-2014_EfG2014-mit-AT-Kearney.pdf)
23. Inventory of Energy Subsidies in the EU's Eastern Partnership Countries, Green Finance and Investment, OECD Publishing, Paris, 2018. [Electronic resource] URL: <https://doi.org/10.1787/9789264284319en>
24. IRENA (2018), Global Energy Transformation: A roadmap to 2050, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. [Electronic resource] URL: <https://irena.org/publications/2018/Apr/Global-Energy-Transition-A-Roadmap-to-2050>
25. IRENA (2019), Global energy transformation: A roadmap to 2050 (2019 edition), International Renewable Energy Agency, Abu Dhab. [Electronic resource] URL: <https://irena.org/publications/2019/Apr/Global-energy-transformation-A-roadmap-to-2050-2019Edition>
26. Key Facts about the Energy Transition in Germany. – Berlin Energy Transition Dialogue 2019. Berlin, Germany. – Energiewende – New Horizons. 12 p. [Electronic resource] URL: [https://2019.energydialogue.berlin/wp-content/uploads/2019/02/BETD-2019\\_Flyer\\_WEB.pdf](https://2019.energydialogue.berlin/wp-content/uploads/2019/02/BETD-2019_Flyer_WEB.pdf)
27. Krause F., Bossel H., Müller-Reißmann K.F. Energie - Wende. Wachstum und Wohlstand ohne Erdöl und Uran. – S. Fischer Verlag, 1980, ASIN: B0029KUZBI. [Electronic resource] URL: <http://www2.hu-berlin.de/sachbuchforschung/CONTENT/SBDB/pix/PDF/Krause-Energie-Inhalt.pdf>
28. Long-Term Energy Scenarios for the clean energy transition. First-year campaign findings May 2019. – The International Renewable Energy Agency (IRENA). – 12 p. [Electronic resource] URL: [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/May/IRENA\\_LTES\\_findings\\_2019.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/May/IRENA_LTES_findings_2019.pdf)

29. Perspectives for the Energy Transition, – OECD/IEA and IRENA (2017) [Electronic resource] URL: <https://www.iea.org/publications/insights/insightpublications/PerspectivesfortheEnergyTransition.pdf>
30. Ram M., Bogdanov D., Aghahosseini A., Gulagi A., Oyewo A.S., Child M., Caldera U., Sadovskaia K., Farfan J., Barbosa LSNS., Fasihi M., Khalili S., Dalheimer B., Gruber G., Traber T., De Caluwe F., Fell H.-J., Breyer C. Global Energy System based on 100% Renewable Energy – Power, Heat, Transport and Desalination Sectors. Study by Lappeenranta University of Technology and Energy Watch Group, Lappeenranta, Berlin, March 2019. – 321 p. [Electronic resource] URL: [http://energywatchgroup.org/wp-content/uploads/EWG\\_LUT\\_100RE\\_All\\_Sectors\\_Global\\_Report\\_2019.pdf](http://energywatchgroup.org/wp-content/uploads/EWG_LUT_100RE_All_Sectors_Global_Report_2019.pdf)
31. Renewable capacity highlights 31 March 2019. [Electronic resource] URL: [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Mar/RE\\_capacity\\_highlights\\_2019.pdf?la=en&hash=BA9D38354390B001DC0CC9BE03EEE559C280013F](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Mar/RE_capacity_highlights_2019.pdf?la=en&hash=BA9D38354390B001DC0CC9BE03EEE559C280013F)
32. Renewable capacity statistics 2019, International Renewable Energy Agency (IRENA), Abu Dhabi, 2019. – 60 p. [Electronic resource] URL: [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Mar/IRENA\\_RE\\_Capacity\\_Statistics\\_2019.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Mar/IRENA_RE_Capacity_Statistics_2019.pdf)
33. Renewable energy in Europe — 2018. Recent growth and knock-on effects. – European Environment Agency Kongens Nytorv 6 1050 Copenhagen K Denmark. - EEA Report No 20/2018. – 80 p. [Electronic resource] URL: <https://www.eea.europa.eu/publications/renewable-energy-in-europe-2018>
34. Renewable Energy Status Report 2017. – REN21 & UNECE (2017) [Electronic resource] URL: [https://www.unece.org/fileadmin/DAM/energy/se/pp/renew/Renewable\\_energy\\_report\\_2017\\_web.pdf](https://www.unece.org/fileadmin/DAM/energy/se/pp/renew/Renewable_energy_report_2017_web.pdf)
35. Renewable Energy Trends Green Power 2018, Chennai Vandana Gombar, December 5, 2018, BloombergNEF [Electronic resource] URL: <http://www.greenpower-cii.com/gdoc18/Renewable%20Energy%20Trends%20-%20Vandana%20Gombar.pdf>
36. Renewables 2018 Global Status Report. – REN21 [Electronic resource] URL: <http://www.ren21.net/gsr-2018/>
37. The European Power Sector in 2018 – Agora [Electronic resource] URL: [https://www.agora-energiewende.de/fileadmin2/Projekte/2018/EU-Jahresauswertung\\_2019/Agora-Energiewende\\_European-Power-Sector-2018\\_WEB.pdf](https://www.agora-energiewende.de/fileadmin2/Projekte/2018/EU-Jahresauswertung_2019/Agora-Energiewende_European-Power-Sector-2018_WEB.pdf)
38. World Energy Outlook 2018 [Electronic resource] URL: <https://www.iea.org/weo2018/>
39. Opportunities generated. - BloombergNEF [Electronic resource] URL: <https://about.bnef.com/>
40. EU 2020 target for energy efficiency 2019. - European Commission [Electronic resource] URL: <https://ec.europa.eu/>
41. Energy consumption 2019. - Eurostat [Electronic resource] URL: <https://ec.europa.eu/eurostat>
42. Data on availability and actual use of power generating capacity and electrical installations capable of regulation 2019. – UKRENERGO [Electronic resource] URL: <https://ua.energy/>
43. Development of RES sector 2019. - ENERGY AND UTILITIES the NATIONAL REGULATORY COMMISSION, UKRAINE [Electronic resource] URL: <http://www.nerc.gov.ua/>

Надійшла 21.03.2019  
Received 21.03.2019