

**Данило Юрійович Череватський,**

*д-р екон. наук, завідувач відділу*

Інститут економіки промисловості НАН України

вул. Марії Капніст, 2, м. Київ, 03057, Україна

E-mail: [cherevatskyi@nas.gov.ua](mailto:cherevatskyi@nas.gov.ua)

<https://orcid.org/0000-0003-4038-6393>;

**Ігор Альбінович Вольчин,**

*д-р техн. наук, заступник директора*

Інститут теплоенергетичних технологій НАН України

вул. Андріївська, 19, м. Київ, 04070, Україна

E-mail: [volchyn@gmail.com](mailto:volchyn@gmail.com)

<https://orcid.org/0000-0002-5388-4984>

### **ДОВГОСТРОКОВІ ФАКТОРИ І ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ ПАЛИВНО-ЕНЕРГЕТИЧНОГО КОМПЛЕКСУ УКРАЇНИ**

*«... уявіть, що ви перебуваєте в небі в літаку – і в якийсь момент помічаєте, що кабіна пілота порожня, і ці заспокійливі промови – не більше, ніж запис, зроблений колись давно. До того ж, ви дізнаєтеся, що аеропорт, де ви сподівалися приземлитися, ще не тільки не побудований, але навіть заявка на його будівництво застрягла в якомусь офісі того закладу, який дає дозвіл на будівництво»*

*Z. Bauman*

*Culture in a Liquid Modern World*

Метою статті є визначення довгострокових факторів і тенденцій розвитку світової енергетики та їх адаптація до українських реалій. Робота містить вступ, три розділи (головні тенденції розвитку світового паливно-енергетичного комплексу; аналіз нинішнього стану паливно-енергетичного комплексу України; довгострокові фактори і тенденції розвитку національного паливно-енергетичного комплексу) та висновки.

Обґрунтовано, що сучасні зміни світової енергетики (Grand Transit) обумовлені ідеологією сталого розвитку і мають характер позачергової зміни техноценозу, переходу від використання викопного палива до енергетики на відновлюваних джерелах, переважно вітрової та фотовольтаїчної природи. Разом із тим головними тенденціями Великого переходу є трилемізація і політизація енергетики. Складові трилемізації: енергетична безпека, рівність енергетичного доступу та екологічна сталість. Існують три сценарії розвитку глобальної енергетичної сфери: «незакінчена симфонія»; «сучасний джаз» і «хардрок», які відрізняються за ступенем екологізації та доступністю енергетичних ресурсів. Політичні мотиви стають усе більше значущими на всіх рівнях – від глобального до місцевого, великі актори лобюють свої інтереси, відзначається активність структур з атомної енергетики, потужних паливних компаній, власників газотранспортних і газорозподільчих компаній.

В Україні трансформаційні процеси тривають на тлі низької екологічної придатності та великої зношеності паливно-енергетичного сектору й інфраструктури, політичної та економічної нестабільності. Вимоги декарбонізації створюють виклики самому існуванню

© Д. Ю. Череватський, І. А. Вольчин, 2022

вугільної енергетики, яка є основною складовою енергогенеруючого фонду країни, та регіонам розміщення шахт.

Як перспективні розглянуто варіанти розвитку водневої/амонійної енергетики у вигляді вертикально інтегрованих енергетико-хімічних систем за участю АЕС і реформованих вугільних ТЕС; енергетичної диверсифікації шахтарських регіонів; створення віртуальних електростанцій бази установок гідродинамічного нагрівання води.

*Ключові слова:* паливно-енергетичний комплекс, розвиток, декарбонізація, тенденції, фактори, техноценоз, трилема, Grand Transit.

*JEL:* P18; P28

Нормальним станом економіки та енергетики, як її складової, є інституційно-національна рівновага, коли жоден із гравців не вважає для себе вигідним витратити ресурси на реструктуризацію відносин. Навіть неефективні «правила гри» і застійні економічні форми можуть існувати досить довго, якщо в цьому прихований інтерес держави або потужних груп (Норт, 1997, с. 111-112). Але для світової енергетики настав час аномальності, час інституційного дисбалансу.

Процеси, що відбуваються, отримали від Світової енергетичної ради (World Energy Council, WEC) назву Grand Transit, що означає Великий перехід до енергетичної трилеми (World Energy Trilemma) з такими складовими: енергетична безпека (Energy security), рівність енергетичного доступу (Energy equity) та екологічна сталість (Environmental sustainability)<sup>1</sup>.

Енергетична безпека – це ефективна організація поставок первинної енергії з національних і зарубіжних джерел, надійність енергетичної інфраструктури та здатність постачальників енергії задовольнити поточний і майбутній попит. Рівність енергетичного доступу – доступність і справедливність щодо енергопостачання населенню. Екологічна сталість – ефективність пропозиції та попиту енергії, а також розвиток пропозиції енергії з відновлюваних та інших маловуглецевих джерел.

Першим і досі найбільшим світовим енергетичним катаклізмом вважається криза, що сталася після Війни судного дня (Yom Kippur War, 1973 р.) через введення країнами-членами ОАПЕК (Організація

<sup>1</sup> Energy Trilemma Index. URL: <https://trilemma.worldenergy.org> (дата звернення: 12.01.2022).

арабських країн-експортерів нафти) нафтового ембарго. Зараз під гаслами декарбонізації своєрідне вугільне ембарго оголосили найбільші банки світу. Bank of America, Citigroup, Morgan Stanley, Wells Fargo та ін. прийняли рішення про віднесення інвестицій, що пов'язані з розвитком вугільної промисловості (вугілля – найбільший забруднювач довкілля) та вугільних технологій, включаючи електрогенерацію, до портфеля заборонених угод, як у випадку незаконної вирубки лісу та використання дитячої праці<sup>2</sup>. Після таких акцій вислів про «хрестовий похід» США та Євросоюзу проти вугілля виглядає не таким уже ретроградним<sup>3</sup>. Справа не тільки у вугіллі: під тиском вимог сталого розвитку людство прагне відмовитися від каустобіолітів (горючих корисних копалин, що містять велику кількість вуглецю) взагалі.

Серйозність ставлення світової спільноти до екологічних проблем і протидії змінам клімату підтверджують римський саміт G20<sup>4</sup> і конференція COP26<sup>5</sup> у

<sup>2</sup> Крупнейшие мировые банки запретили инвестиции в угольную генерацию и промышленность. URL: [https://elektrovesti.net/48214\\_krupneyshie-mirovye-banki-zapretili-investitsii-v-ugolnyu-generatsiyu-i-promyshlennost](https://elektrovesti.net/48214_krupneyshie-mirovye-banki-zapretili-investitsii-v-ugolnyu-generatsiyu-i-promyshlennost) (дата звернення: 17.01.2022).

<sup>3</sup> Тулеев заявил о том, что США и ЕС начали крестовый поход против угля. URL: <http://flashsiberia.com/news/tuleev-zayavil-chtossha-i-es-nachali-krestovyy-pohod-protiv-uglya> (дата звернення: 11.01.2022).

<sup>4</sup> G20 Rome leader's declaration. URL: <https://www.g20.org/wp-content/uploads/2021/10/G20-ROME-LEADERS-DECLARATION.pdf> (дата звернення: 10.01.2022).

<sup>5</sup> End of coal in sight at COP26. URL: <https://ukcop26.org/end-of-coal-in-sight-at-cop26/> (дата звернення: 10.01.2022).

Глазго, які відбулися в жовтні-листопаді 2021 р.

Показовим є вислів функціонера Світової енергетичної ради Г. Девіса (G. Davis): «... Сьогодні ми на порозі нової ери, коли занепокоєння викликають уже не тільки знижені в ціні активи, але й те, який вплив чинять знецінені ресурси на економіку окремих країн»<sup>1</sup>.

Grand Transit викликав неузгодженість у стані великих акторів світової енергетики. У разі інтенсивної екологізації енергетичної галузі паливні корпорації ризикують втратити левову частку доходів. На думку фахівців російської нафтової галузі, попри весь ажітаж навколо енергетики на відновлюваних джерелах, 75% світового енергетичного балансу і в подальшому забезпечуватиме споживання нафти, газу та вугілля (Мастепанов, 2017). Саме стрімке зростання цін на газ і електроенергію ще до початку зими 2021-2022 рр. є наслідком недооцінки «передовим суспільством» тривалості перехідного періоду, своєрідного Interregnum (Міждарів'я), як казали в античні часи<sup>2</sup>.

Свою політику лобіює і МАГАТЕ. У 2016 р. цією організацією був презентований сценарій «Гармонія», у якому наголошено на необхідності введення до 2050 р. 100 ГВт нових ядерних потужностей і доведення поставок електроенергії з АЕС до 25%<sup>3</sup>.

Неоднозначними є і вітчизняні прогнози щодо майбутнього паливно-енерге-

---

<sup>1</sup> Всемирный энергетический совет: Глобальный спрос на энергоресурсы будет снижаться. URL: [http://www.ngv.ru/analytics/vsemirnyy\\_energeticheskiy\\_sovet\\_globalnyy\\_spros\\_na\\_energoresursy\\_budet\\_snizhatsya/](http://www.ngv.ru/analytics/vsemirnyy_energeticheskiy_sovet_globalnyy_spros_na_energoresursy_budet_snizhatsya/) (дата звернення: 22.01.2022).

<sup>2</sup> It is tempting to blame foreigners for Europe's gas crisis. URL: <https://www.economist.com/europe/2021/10/16/it-is-tempting-to-blame-foreigners-for-europes-gas-crisis> (дата звернення: 17.12.2021).

<sup>3</sup> Ядерная энергетика для будущего с экологически чистой энергией. URL: [https://www.iaea.org/sites/default/files/publications/magazines/bulletin/bull/bull584\\_nov2017\\_ru.pdf](https://www.iaea.org/sites/default/files/publications/magazines/bulletin/bull/bull584_nov2017_ru.pdf) (дата звернення: 11.12.2021).

тичного комплексу України. Навіть фахівці двох наукових установ НАН України (Інституту економіки та прогнозування й Інституту теплоенергетичних технологій, більш відомого як Інститут вугільних енерготехнологій) мають протилежні уявлення. Перші вважають можливим перевести Україну на переважно відновлювані джерела енергії до 2050 р. (Diachuk, Chereliev, Podolets et al., 2017), другі ж не радіють такій перспективі (Чернявський, Мірошніченко, 2021).

Метою статті є визначення довгострокових факторів і тенденцій розвитку світової енергетики та їх адаптація до українських реалій.

## 1 Головні тенденції розвитку світового ПЕК

### 1.1 Загальна характеристика змін

Після завершення ери вугілля у 1950-х роках домінуючим ресурсом стала нафта, але на тлі суттєвого зростання споживання як вугілля, так і природного газу (рис. 1). Останнім часом енергетика на відновлюваних джерелах настільки зросла за обсягами виробництва, що перетворилася на конкурента ядерної енергетики. У перспективі очікується стрімке зростання споживання природного газу (до 193 ексаджоулів, що дорівнює 4617 млн т н.е.) і відновлюваної енергетики (115 ексаджоулів, що дорівнює 2748 млн т н.е.). За прогнозами, у 2040 р. споживання первинних енергетичних ресурсів (ПЕР) у цілому сягне 748 ексаджоулів (1766 млн т н.е.), що на 25% більше, ніж у 2019 р.<sup>4</sup>

У питомому вимірюванні споживання ПЕР протягом часу зростало нелінійно (рис. 2). Якщо в 1990 р. річне питоме значення становило близько 64 ГДж на 1 особу, то у 2019 р. – майже 76 ГДж, тобто за 30 років цей показник збільшився приблизно в 1,2 раза. Енергоємність же світово-

---

<sup>4</sup> Statistical Review of World Energy 2021 | 70th edition. URL: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2021-full-report.pdf> (дата звернення: 15.01.2022).

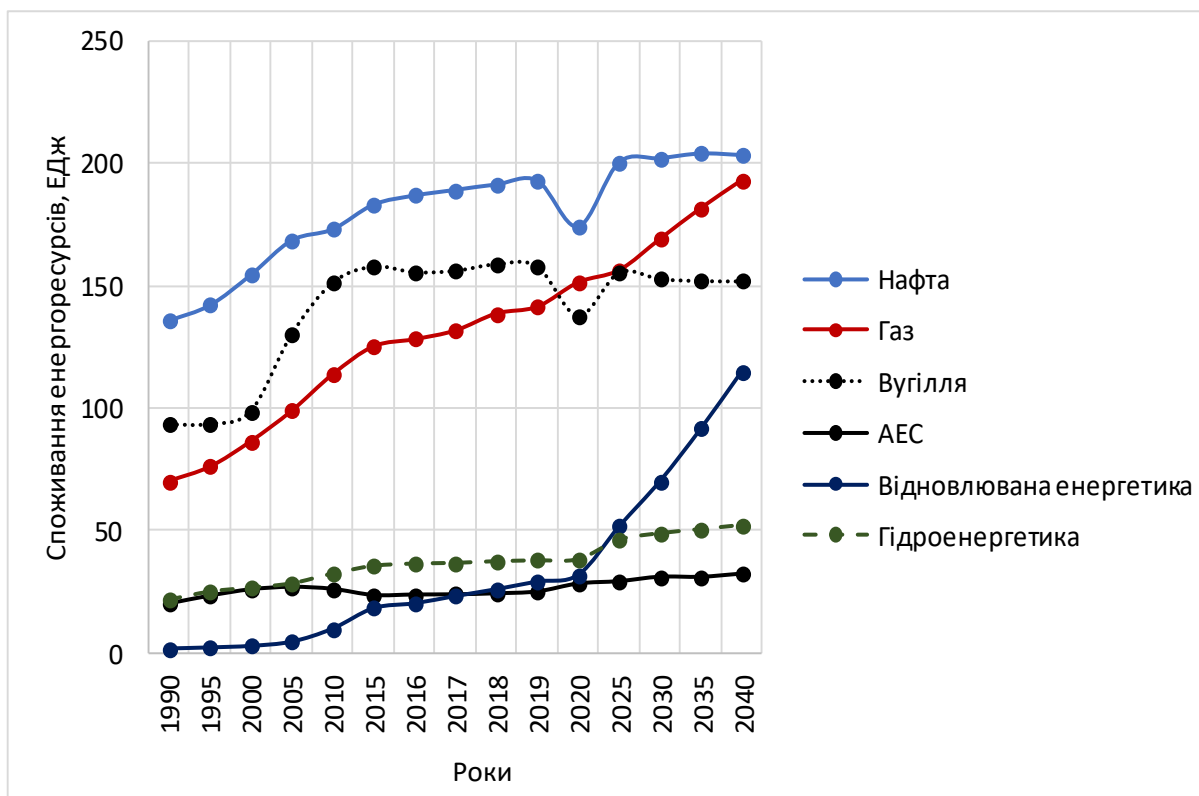


Рисунок 1 – Динаміка змін структури ресурсної бази світу

Джерело: складено за даними Statistical Review of World Energy 2021 | 70th edition.

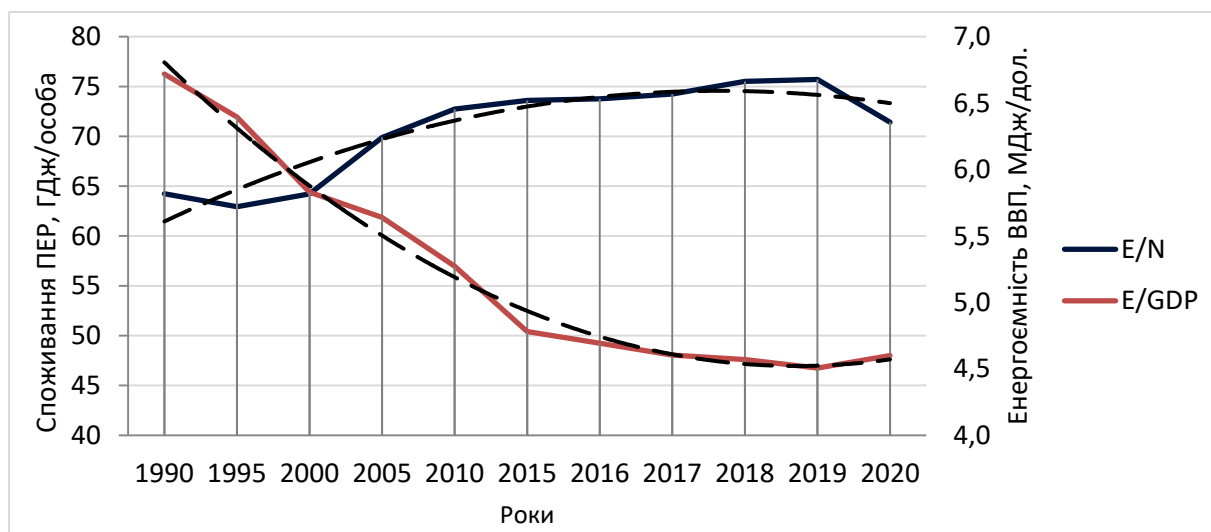


Рисунок 2 – Динаміка змін світового споживання первинних енергетичних ресурсів та енергоємності ВВП

Умовні позначення:

$E$  – річне споживання ПЕР, Дж;  $N$  – кількість населення, осіб;  $GDP$  – валовий внутрішній продукт за паритетом купівельної спроможності в цінах 2017 р.

Джерело: складено за даними Statistical Review of World Energy 2021 | 70th edition та World Bank Open Data. URL: <https://data.worldbank.org>.

го ВВП нелінійно зменшувалася – з 6,7 до 4,5 МДж/дол. за паритетом купівельної спроможності у постійних цінах 2017 р.

Сучасна світова енергетика перебуває під впливом двох факторів – глобалізації та сталого розвитку (sustainable development)<sup>1</sup>. Сталий розвиток є гіпотетичним фактором, який набув формалізації у вигляді відповідних 17 глобальних цілей та імплементації в практику через високу вірогідність кліматичних катаклізмів. Зазначені фактори обумовлюють розвиток визначених тенденцій.

## 1.2 Тенденція трилемізації енергетики

Незважаючи на відсутність однозначності сприйняття самої концепції сталого розвитку, хоча їй уже понад 30 років (Spraiser et al., 2017, р. 468), склався сталий консенсус щодо необхідності встановлення динамічного балансу між трьома основами розвитку цивілізації: економічної, соціальної та екологічної (Mensah, 2019). Трилема сталого розвитку, як зазначено вище, обумовила енергетичну трилему: надійність, доступність для всіх, екологічність.

Серед 17 глобальних цілей сталого розвитку, які під егідою ПРООН (UNDP) у 2015 р. прийняли 193 держави світу, ціль № 7 стосується енергетики: «Забезпечення доступу до недорогих, надійних, сталих і сучасних джерел енергії для всіх». Кожна п'ята людина в усьому світі (840 млн) живе без доступу до електрики (здебільшого у Субекваторіальній Африці). А ще сотні мільйонів мають вкрай обмежений або ненадійний доступ до електрики. Близько 3 млрд осіб залежать від традиційної біомаси (дрова та ін.), які використовують для приготування їжі та опалення. Відсутність

<sup>1</sup> Концепція сталого розвитку розроблена на основі доповіді «Наше спільне майбутнє» (1984-1987 рр.) Комісії Брундтланд (Brundtland Commission), Міжнародної незалежної комісії з навколишнього середовища та розвитку, яку очолювала Г. Брундтланд, уповноважена генеральним секретарем ООН.

чистого палива в побуті щороку забирає понад 4 млн життів, 6 із 10 загиблих – жінки та дівчата<sup>2</sup>.

Людство потребує все більше енергії, проте це негативно впливає на довкілля, тому глобальна ціль № 7 щільно пов'язана з глобальною ціллю № 13 «Боротьба зі зміною клімату». Саме на енергетику припадає близько 60% загального обсягу глобальних викидів парникових газів, тобто вона і є головною причиною зміни клімату.

Цілі сталого розвитку № 7 і 13 є не тільки символом боротьби та єдності протилежностей – це контрапункт енергетичної трансформації світу загалом.

Заповнення прогалін у базовому енергетичному забезпеченні потребує додаткових 68 ЕДж (ексаджоулів) у глобальному масштабі, або ще близько 5 ГДж (гігаджоулів) на 1 особу в середньому<sup>3</sup>. Забезпечення гідного рівня життя (decent living standards) для всіх означає, що в деяких бідних країнах енергоспоживання має, принаймні, подвоїтися до 2030 р. і потроїтися до 2040 р. Це є маловірогідним, навіть якщо все зростання енергії буде спрямоване виключно на використання паливної бідності.

Казус полягає в тому, що разом можна реалізувати не більше двох цілей, тому трилеми є «неможливими трійцями» і вибір завжди здійснюється за меншим із трьох зол. Світове суспільство має вибирати з трьох сценаріїв: Modern Jazz (сучасний джаз), Unfinished Symphony (незакінчена симфонія) або Hard Rock (хардрок)<sup>4</sup>.

<sup>2</sup> Цели в области устойчивого развития. URL: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/ru/energy/> (дата звернення: 10.01.2022).

<sup>3</sup> Eradicate global poverty, meet climate goals, by avoiding rich-world energy consumption patterns. URL: <https://energypost.eu/eradicate-global-poverty-meet-climate-goals-by-avoiding-rich-world-energy-consumption-patterns/> (дата звернення: 11.01.2022).

<sup>4</sup> Grand Transition – какой будет энергетика в 2060 г. URL: <http://www.technocrats.com.ua/grand-transition-kakoj-budet-energetika-v-2060-godu.html> (дата звернення: 04.01.2022).

Вибір «симфонії» є ставкою на екологічну чистоту, а «джазу» – на доступність енергії. У 2050 р. передбачуване споживання первинної енергії за сценарним втіленням «джаз» має зрости на 61% (до рівня 2010 р.), а за сценарієм-антагоністом – тільки на 27%. У результаті без доступу до електроенергії залишаться не 320 млн жителів планети, як було б за сценарієм «джаз», а 530 млн осіб, проте довілля постраждає менше.

Відповідно до цього Grand Transit у просторі двох «неможливих трієць» (енергетичної та глобалізаційної) з великою імовірністю може завершитися «хардроком» з його слабким економічним зростанням, замкнутістю в «національних квартирах», різноплановими економічними та енергетичними моделями, ресурсною автаркією і байдужістю до кліматичних пріоритетів.

### 1.3 Тенденція позачергової зміни техноценозів

Згідно з теорією техноценозів (Бадалян, Криворотов, 2008; Sager, 2016) існує домінуючий енергоресурс і домінуюча економіка, яка з ним пов'язана. Великобританія – це вугілля та парова машина. Сполучені Штати Америки – це нафта та двигун внутрішнього згоряння.

Коли енергоресурс перестає домінувати і суб'єкт, потужність якого заснована на цьому ресурсі, втрачає вплив, відпадає і потреба в підтримці високого рівня цін на відповідних ринках, оскільки зникають економічні проблеми і політичні протиріччя щодо виявлення суб'єкта, який повинен буде заплатити за розвідку, видобуток і найголовніше – інфраструктуру доставки та розподілу останньої тонни домінуючого енергетичного ресурсу.

«Кам'яний вік, – проголосив у 2000 р. міністр нафти Саудівської Аравії Шейх Ахмед Закі Ямані (Sheikh Ahmed Zaki Yamani), – закінчився не тому, що закінчилося каміння. І нафтова ера дійде кінця не

тому, що скінчиться нафта...»<sup>1</sup>. Пророцтво збувається. Людство, схоже, дійшло часу впровадження «закриваючих технологій» (Кристиансен, 2004). А на таке здатні тільки впливові актори постіндустріальної економіки.

Під впливом нових поглядів на життя людство уперше за свою історію змінює техноценоз не тому, що закінчилися високопродуктивні запаси каустобіолітів, а тому, що так наказано. І вугілля, яке нещодавно вважалося справжнім «мостом у майбутнє» (Уилсон, 1985), стало такою загрозою, що Швеція прагне бути першою не те що безвугільною, а навіть oil-free nation (Піскулова, 2010). Китай, економіка якого має найпотужнішу вугледобувну галузь, наголошує і на стрімкому розвитку енергетики на відновлюваних джерелах, і на необхідності стрімкого розвитку вуглехімії (Хіаохі, 2017). Такі самі тенденції властиві російському Кузбасу, де до відомого висловлювання Д. Менделєєва про нафту, спалювати яку все одно, що топити піч асигнаціями, тепер додають і вугілля<sup>2</sup>.

На зміну техноценозам на викопному паливі йде «зелена» енергетика переважно на способі фотовольтаїки і перетворенні енергії повітряних мас (вітру) та потоків води (гідро). Інші нові види «зеленої» енергії (воднева, амонійна, гравітаційна тощо) є вторинними. Їх виробляють за допомогою первинної енергії, отриманої із застосуванням тієї ж енергії вітру або способом фотовольтаїки.

Таким чином, під впливом інституціонального фактора, яким є ідеологія сталого розвитку, у світі відбувається позачергова примусова зміна техноценозів: енер-

<sup>1</sup> The Stone Age Did Not End Because the World Ran Out of Stones, and the Oil Age Will Not End Because We Run Out of Oil. URL: <https://quoteinvestigator.com/2018/01/07/stone-age/> (дата звернення: 10.01.2022).

<sup>2</sup> Перерабатывать, нельзя сжигать. URL: <http://newslab.ru/article/704845> (дата звернення: 10.01.2022).

гетичні джерела вітро-фотовольтаїчної природи стають домінуючими, і є вже кандидати на роль економік-домінантів, перш за все Німеччина – той, хто контролює «зелену» енергетику, диктує відповідні правила всьому світу. Як варіант, той, хто диктує правила всьому світу, тепер контролює «зелену» енергетику.

Дослідницький проєкт «Технологічні, екологічні та економічні аспекти безвуглецевої амонійної енергетики», виконаний Інститутом теплових енерготехнологій НАН України та Інститутом економіки промисловості НАН України у 2021 р., є певним відголоском політики декарбонізації, зокрема переходу на «зелений» водень як паливо для енергетики. У контексті відмови від вугільної енергетики розглянуто два варіанти: а) перепрофілювання ТЕС із вугільного палива на екологічно придатні амоніак або водень; б) ліквідація існуючих вугільних електростанцій і заміна їх на новозбудовані «зелені» електростанції.

Варіант а – розгляд двох конкуруючих за видами палива проєктів (амонійна лінія –  $a_1$ ; воднева лінія –  $a_2$ ); варіант б – мегапроєкт  $b_1$  – ліквідація існуючої вугільної ТЕС (фізичне закриття, усунення негативних екологічних та соціальних ефектів) з монопроєктом  $b_2$  – побудова сонячних електростанцій відповідної потужності на заміну виведеним з експлуатації.

Теплота згоряння амоніаку становить 18,6 МДж/кг, що менше показника вугілля (20-26 МДж/кг). Тобто підприємствам у разі переходу на амонійне паливо знадобиться більший обсяг енергоносіїв. Масова теплота згоряння водню, навпаки, суттєво більша, ніж в антрацитового палива, і становить 119,83 МДж/кг<sup>1</sup>. Це дає можливість підприємству зекономити на масі палива, але через малу густину водню

<sup>1</sup> Удельная теплота сгорания топлива и горючих материалов. URL: <http://thermalinfo.ru/eto-interesno/udelnaya-teplota-sgoraniya-topliva-i-goryuchih-materialov#teplota-sgoraniya-gazobraznogo-topliva> (дата звернення: 15.01.2022).

(0,0899 кг/м<sup>3</sup>) його зберігання потребуватиме потужного господарства газгольдерів або криогенних сховищ. На відміну від водню, густина амоніаку за температурою 27 °С становить 0,715 кг/м<sup>3</sup>.

Ціна на «зелений» амоніак, за даними компанії Argus, на сьогодні складає 1196 дол./т<sup>2</sup>. Такі ціни більш ніж удвічі перевищують ціну звичайного «сірого» амоніаку, отриманого з використанням природного газу. Проте, як вважають експерти, існують підстави для істотного скорочення витрат при виробництві «зеленого» амоніаку завдяки технологічному прогресу та масштабуванню проєктів, як це відбувається в секторі відновлюваної енергетики з використанням енергії вітру та сонця, де витрати скоротилися на 80% за останні 10 років. Розрахункову ціну амоніаку прийнято 1 дол./кг.

Щодо цін на водень, то усталених поглядів не існує. Найбільш дешевою продукцією є водень, отриманий за технологією Термохімічного розкладання води з використанням енергії високотемпературного ядерного реактора, що зараз вважається найбільш перспективною. За даними (Синяк, 2017, с. 53-54), при продуктивності випуску водню 35-50 т на добу можна забезпечити вартість продукції від 3 дол./кг H<sub>2</sub>. Електролізне виробництво водню значно поступається за вартісними показниками: від 7-8 дол./кг H<sub>2</sub> при роботі на електроенергії від енергосистеми до 9-13 дол./кг при отриманні електроенергії від вітроенергетичної установки. Найдорожчою прогнозується ціна водню, отриманого із застосуванням електрики від фотоелектричних перетворювачів, – 35-50 дол./кг.

Разом із тим уряд США вважає 1 дол./кг можливою ціною «зеленого» вод-

<sup>2</sup> Argus рассчитал стоимость зеленого аммиака. URL: <https://www.argusmedia.com/ru/press-releases/2021/green-ammonia-prices-double-that-of-regular-supplies> (дата звернення: 20.12.2021).

ню вже в 2030 р.<sup>1</sup> Відповідно до нещодавнього масштабного дослідження перспектив водневої економіки, здійсненого Energy Transitions Commission, до 2030 р. «зелений» водень коштуватиме менше 2 дол. / кг у більшості регіонів світу<sup>2</sup>.

Найбільш суттєвою проблемою водневої (амонійної) енергетики є велика енергоємність процесів отримання відповідного ресурсу. За даними (Сибикин, 2017, с. 45) виробництво 1 т амоніаку методом електролізу потребує 12-14 тис. кВт·год. електричної енергії. У роботі (Амінов, Байрамов, 2016, с. 62) йдеться про 53660 кВт·год./т водню, а в джерелі (Синяк, 2017, с. 53-54) – про 55-60 тис. кВт·год./т. Із такими витратами електроенергії процес переходу на амонійне/водневе паливо для вироблення вторинної електроенергії може просто стати нераціональним.

За американськими даними витрати на виведення з експлуатації типової вугільної електростанції потужністю 500 МВт становлять до 15 млн дол. за вирахуванням брухту. Зазвичай графік передбачено на 18-30 місяців<sup>3</sup>.

Якщо розраховувати на так звану схему «віртуальної труби», тобто поставку паливних ресурсів ззовні, то вугільній ТЕС класу «Криворізька» (компанія «Дніпроенерго»), щоб виробити 24 ПДж (Петаджоуль = 10<sup>15</sup> Дж) на рік, знадобиться 3,6 млн т амоніаку, або 0,3 млн т водню на зазначений період. Через високу вартість палива

(1 дол./кг амоніаку і 7 дол./кг водню) ціни на електроенергію для усунення економічних збитків у процесі «зеленого» переходу мають бути суттєво підвищені. Ануїтет річного грошового потоку (за умов NPV=0), необхідний для покриття інвестицій у водневий проєкт, має бути більшим 253 млн дол.; за умов інвестиційного проєкту із закриттям вугільних ТЕС і побудовою фольгаїчних потужностей їм на заміну – 10106 млн дол. (проблема полягає в низькому значенні коефіцієнта використання встановлених потужностей станцій). Для цього ціни на електроенергію мають становити понад 0,66 і 1,03 дол./кВт·год. відповідно. У випадку проєкту з переведення вугільних ТЕС на амонійне паливо (умовно вільного від інвестицій) ціна на електроенергію має бути вище 0,56 дол. / кВт·год. Прогнозні (до 2030 р.) тарифи на електроенергію: від 0,05 дол./кВт·год. за оптимістичним сценарієм до до 0,15 дол./кВт·год. за песимістичним (Синяк, 2017, с. 49), що далеко від згаданих показників.

З іншого боку, доцільно відзначити, що як великий споживач-регулятор виробництво «зеленого» водню/амоніаку може мати позитивний вплив на роботу енергомереж загалом. Для цього потрібні лише електроенергія, вода та повітря, а водень та амоніак є не тільки енергоресурсом, але і цінною хімічною сировиною. Конверсія «зайвої» електроенергії в енергосистемі в хімічну енергію водню/амоніаку дозволить стабілізувати частоту енергомережі та позбавитися різких змін навантаження в будь-який час доби та будь-яку пору року. Для щорічного виробництва 180 млн т амоніаку «зеленим» способом потрібно забезпечити постачання 7,8-9,4 ЕДж (2160-2620 млрд кВт·год.) електроенергії. Світове виробництво електроенергії у 2020 р. становило 96,6 ЕДж (26826 млрд кВт·год.)<sup>4</sup>. Таким чином, «зеленим» амоні-

<sup>1</sup> Правительство США нацелено снизить стоимость «чистого водорода» до \$1/кг до 2030 г. URL: <https://renew.ru/pravitelstvo-ssha-natseleno-sni-zit-stoimost-chistogo-vodoroda-do-1-kg-do-2030-g/> (дата звернення: 13.01.2022).

<sup>2</sup> Зеленый водород будет конкурентоспособен по стоимости с серым до 2030 г. без углеродного налога. URL: <https://renew.ru/zelenyj-vodorod-budet-konkurentosposoben-po-stoimosti-s-serym-k-2030-g-bez-uglerodnogo-naloga/> (дата звернення: 10.01.2022).

<sup>3</sup> Coal Power Plant Post-Retirement Options. URL: <https://www.powermag.com/coal-power-plant-post-retirement-options/> (дата звернення: 10.01.2022).

<sup>4</sup> Global Energy Review 2021. URL: <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2021> (дата звернення: 24.12.2021).

аком можна компенсувати в середньому 10% коливань навантаження в енергосистемі.

Grand Transit ставить не лише енергетичні, але і багато інших питань щодо його реалізації. До 2050 р., наприклад, трансформаційний процес спричинить споживання, як мінімум, 2 млрд т сталі (сонячній енергетиці знадобиться близько 566 млн т, а вітроенергетиці – 1129 млн т)<sup>1</sup>. Щоб перехід був «зеленим», сталь теж має бути «зеленою», що дуже проблематично через дорожчець «зеленого» водню.

Для розміщення об'єктів вітрової та сонячної генерації тільки США потрібні земельні відводи, площа яких дорівнює території штатів Каліфорнія та Вашингтон, разом. Протяжність нових ліній електропередач у сільській місцевості США в десять разів перевищить периметр Землі (Bruce, 2021). Тобто є сумніви щодо можливості фізичної реалізації тотальної «зеленої» енергетики. Натомість випуск і просування нових зразків енергообладнання, організація сектору альтернативної енергетики та ін. уже сьогодні мають обіг понад 4 трлн дол. (Стаджи, 2021).

#### **1.4 Тенденція політизації енергетичної сфери**

Політичні мотиви стають усе більш значущими на всіх рівнях – від глобального до місцевого. Світова енергетична рада визнає неможливість реалізації сценарію «незакінчена симфонія» без підтримки квазісвітового уряду<sup>2</sup>. І вибір певним чином зроблено: Паризьку угоду (COP 21) з клімату 2015 р. можна вважати імплементацією «незакінченої симфонії» – вже 21 вересня 2016 р. вона була ратифікована

<sup>1</sup> Кибовская А. Переходим на зеленый: возможности и риски энергетической трансформации. URL: <https://gmk.center/posts/perehodim-na-zeljonyj-vozmozhnosti-i-riski-energeticheskoj-transformacii/> (дата звернення: 12.01.2022).

<sup>2</sup> World Energy Scenarios/ 2016. URL: <https://www.worldenergy.org/publications/entry/world-energy-scenarios-2016-the-grand-transition> (дата звернення: 10.01.2022).

195 вищими національними органами, хоча вірогідність досягнення запланованих результатів експертами вважається невеликою (Weizsaecker, 2018; Родрік, 2014). Д. Родрік (D. Rodrik) обґрунтував парадокс або трилему глобалізації (The Globalization Paradox): на рівні національної держави неможливо поєднати демократію, економічну глобалізацію та необмежену автономію. Гіперглобалізація можлива тільки в разі створення тієї чи іншої форми світового уряду (глобальний федералізм) або відмови від демократії в окремих державах на користь технократичної еліти, яка буде пристосовувати свою політику до вимог світового ринку, а не до очікувань громадян. Перший варіант за Родріком є нереалістичним, другий – аморальним.

Силу «старих» акторів продемонстрували результати Конференції COP 26 – через протидію Китаю та Індії вона майже не закінчилася фіаско – прагнули поетапно відмовитися від споживання вугілля, а домовилися лише скоротити використання вугільного палива поетапно<sup>3</sup>.

Однак потужні державні субсидії та наднаціональна підтримка є фактором, що робить неймовірний енергетичний бізнес привабливішим за звичайний. У розрахунку на одиницю корисного результату (ексаджоуль) сонячні панелі отримали в США дотацій у 253 рази більше, ніж атомна енергетика, а вітряки – у 158 разів більше. У Німеччині на субсидії відновлюваній енергетиці витрачається близько 28 млрд євро на рік (Стаджи, 2021). До того ж, виробники «зеленої» енергії працюють під повним державним захистом від будь-яких ризиків,

<sup>3</sup> COP 26 takeaways: Some progress in climate pact but much more needed, activists say. URL: <https://www.euronews.com/2021/11/14/cop26-takeaways-some-progress-in-climate-pact-but-much-more-needed> (дата звернення: 28.12.2021).

COP26: Governments adopt Glasgow Climate Pact after watering down language on coal. URL: <https://www.euronews.com/green/2021/11/13/cop26-latest-new-draft-deal-released-as-climate-negotiations-drag-on> (дата звернення: 28.12.2021).

властивих ринковій економіці: їх продукції гарантується 100-відсотковий збут за фіксованою (підвищеною) ціною навіть якщо збуту немає (такі прецеденти мали місце і в Україні).

Окреме джерело доходів – торгівля скороченнями викидів вуглецю і деривативами, випуск відповідних фінансових інструментів. Торгівля викидами у 2018 р. досягла 164 млрд дол., у тому ж році емісія «зелених бондів» становила 167 млрд дол. (у 2012 р. їх випуск не перевищив 2 млрд дол.).

Наступне джерело – «прибутковий» збір вуглецевого податку, нового виду оподаткування, що останнім часом усе більше просувається Світовим банком. Обсяг зборів з усієї планети може перевищити 5 трлн дол. на рік.

На національному рівні розвиток економіко-політичних систем дедалі більше нагадує армстрелінг: хто кого дотисне і що візьме гору – State Capture (захоплення держави) чи Business Capture (захоплення бізнесу). Тут простежується і проблема корупції, яка на тлі зміни техноценозів здатна стати важливим феноменом декарбонізації (Sovacool, 2021).

Із подальшим просуванням відновлюваної енергетики у відносини держави і бізнесу все більше входить місцева та регіональна влада: суспільні запаси німбізму скорочуються. Німбізм – від NIMBY (Not In My Back Yard – не на моєму задньому дворі). Починаючи з 2015 р. у різних штатах США було внесено понад 300 законів, що забороняють або обмежують установлення вітряків, оскільки вони генерують загрози для здоров'я людей, тварин та птахів шум і вібрації (Bruce, 2021).

«Кінцева» конфігурація «зеленої» економіки через складності залежить не лише від «об'єктивної» доцільності, але і від впливовості («вагомості») того чи іншого учасника.

Група вчених із Великобританії, Нідерландів та ФРН опублікувала відкритий

лист прем'єр-міністру Великобританії Б. Джонсону з приводу водневої стратегії. Водень, як зазначають автори листа, є неефективним джерелом енергії з опалення будівель. Проте існуюча газова галузь, газотранспортні та газорозподільні підприємства з величезною інфраструктурою за умов упровадження теплових насосів на зміну газовим котлам у будинках може перетворитися на «втрачений актив», що обумовлює ініціативність газорозподільних компаній стосовно просування водню в житлові будинки<sup>1</sup>. І друга сторона, а за нею – група з 23 європейських газових інфраструктурних компаній із 20 країн-членів ЄС<sup>2</sup> теж має вагомі аргументи: недостатнє розширення генеруючих потужностей на тлі попиту, який зростає, в умовах виведення потужностей «традиційних» електростанцій (вугільних, атомних) з експлуатації здатне спричинити гостру кризу. Використання ж існуючої газової інфраструктури для транспортування та розподілу водню не потребуватиме таких масштабних змін в електроенергетиці<sup>3</sup>.

В адептів викопного палива є свої аргументи. Так, у доповіді «Нова енергетична економіка: вправа в магічному мисленні» (Mills, 2019) Манхеттенського інституту політичних досліджень (це визнаний у світі Think tank) зазначено, що будівництво однієї нафтової або газової свердловини за вартістю дорівнює приблизно будівництву двох вітрових турбін. Однак турбіни виробляють на годину енергію,

<sup>1</sup> Open letter to Prime minister Boris Johnson about Hydrogen Strategy. URL: Open Letter to Prime Minister Boris Johnson about Hydrogen Strategy – The Centre For Sustainable Road Freight (csrf.ac.uk) (дата звернення: 12.01.2022).

<sup>2</sup> Gas infrastructure companies present a European Hydrogen Backbone plan. URL: Gas infrastructure companies present a European Hydrogen Backbone plan - Gas for Climate 2050 (дата звернення: 09.01.2022).

<sup>3</sup> Дискусии вокруг водорода: газовики против электроэнергетиков. URL: <https://renew.ru/diskussii-vokrug-vodoroda-gazoviki-protiv-elektroenergetikov/> (дата звернення: 05.01.2022).

еквівалентну 0,7 бар нафти, а на родовищах у Саудівській Аравії середній дебіт свердловин перевищує 200 бар нафти на годину.

У 2020 р. державна нафтогазова компанія Саудівської Аравії Saudi Aramco та Інститут економіки енергетики Японії (IEEJ) у партнерстві з компанією SABIC, щоб розкрити потенціал вуглеводнів як надійного та доступного джерела низьковуглецевого палива, продемонстрували виробництво та відвантаження із Саудівської Аравії до Японії «синього» (виробленого з природного газу) аміаку. Проект розглядається великими нафтовими компаніями як технологічний прорив у напрямі диверсифікації виробництва та декарбонізації енергетики.

Газові компанії Росії рішуче роблять ставку на «синій» водень і прагнуть схилити на свій бік великих західних споживачів енергоресурсів (Конопляник, 2021).

Атомне лобі активно просуває план розвитку ядерної енергетики. У країнах Східної та Центральної Європи до 2030 р. ринок атомних технологій може сягнути 23 трлн дол.<sup>1</sup> У цьому зацікавлений американський енергетичний гігант – компанія Westinghouse.

Американці продемонстрували свою активність і в Україні. У вересні 2021 р. посадовці Енергоатому та американської NuScale обговорили можливість заміни в Україні вугільних теплоелектростанцій невеликими модульними атомними реакторами<sup>2</sup>. І це, в принципі, реально: у 2020 р. у промислову експлуатацію введено першу в історії плавучу атомну теплоелектростан-

<sup>1</sup> US lures Eastern Europe with nuclear power, \$23tn clean energy market. URL: <https://www.euractiv.com/section/energy/news/us-lures-eastern-europe-with-nuclear-power-23tn-clean-energy-market/> (дата звернення: 20.01.2022).

<sup>2</sup> Енергоатом і американська NuScale планують замінити ТЕС малими атомними реакторами. URL: Енергоатом і NuScale вивчать можливість замінити ТЕС малими атомними реакторами - новини України, ТЕК - LIGA.net (дата звернення: 20.01.2022).

цію «Академік Ломоносов» потужністю 70 МВт<sup>3</sup>, а в недалекому майбутньому таке саме має намір повторити китайська ядерна державна корпорація CNNC<sup>4</sup>.

Компанії TerraPower, PacifiCorp оголосили про початок демонстраційного проекту ядерного реактора Sodium на майданчику вугільної електростанції Naughton у Вайомінгу (м. Кеммерер). TerraPower була створена засновником Microsoft Б. Гейтсом для розроблення та впровадження інноваційних технологій атомної енергетики. Енергетична компанія PacifiCorp належить відомому професійному інвестору В. Баффету. Йдеться про енергосистему майбутнього, у якій передові ядерні технології «забезпечать добре оплачувану роботу та екологічно чисту енергію на довгі роки»<sup>5</sup>.

На тлі зазначених колізій вірогідним може виявитися «помірний» сценарій енергопереходу – 68% усієї виробленої у 2050 р. електроенергії припадатиме на альтернативну енергетику, ще 10% – на АЕС (Mills, 2019). Тобто новий техноценоз буде не таким уже одіозно вітро-фотовольтаїчним.

## 2 Аналіз нинішнього стану ПЕК України

### 2.1 Загальні характеристики змін

Наприкінці існування СРСР (1990 р.) споживання ПЕР економікою України досягло 11,3 ЕДж (270 млн т н.е.). За період з 2000 по 2012 р. витрати паливно-

<sup>3</sup> Росія успішно застосувала технологію, від якої відмовилися американці. URL: [https://zikua.tv/blogs/rosia\\_ospishno\\_zastosovala\\_tekhnologii\\_vid\\_iakoi\\_vidmovylysia\\_amerikantsi\\_969929](https://zikua.tv/blogs/rosia_ospishno_zastosovala_tekhnologii_vid_iakoi_vidmovylysia_amerikantsi_969929) (дата звернення: 22.01.2022).

<sup>4</sup> В этом году КНР приступит к строительству первой национальной плавучей АЭС. URL: <https://novostienergetiki.ru/v-etom-godu-knr-pristupit-k-stroitelstvu-pervoj-nacionalnoj-plavuchej-aes/> (дата звернення: 21.01.2022).

<sup>5</sup> Билл Гейтс получил от правительства США более полутора миллиардов долларов на строительство малого быстрого реактора Sodium в Вайоминге. URL: <https://www.atomic-energy.ru/news/2021/11/17/119515> (дата звернення: 25.01.2022).

енергетичних ресурсів по Україні були відносно стабільними і з ймовірністю 0,95 становили 5,7-5,8 ЕДж (137±2 млн т н.е.) на рік. Фінансово-економічна криза 2009 р. зумовила падіння попиту до 4,7 ЕДж (113 млн т н.е.), тобто виявилася хоча і не такою катастрофою для національної економіки, як на початку 1990-х років, але суттєвим випробуванням. Події ж, зумовлені політико-збройним протистоянням на сході країни, викликали падіння попиту на паливо до 4,2 ЕДж. Кожна криза була жорсткішою за попередню (Амоша, Залознова, Череватський, 2017).

Під впливом комплексу причин структура ресурсної бази країни почала змінюватися досить давно, але тенденція заміщення природного газу вугіллям стала найбільш вираженою останнім часом. І це, незважаючи на важке становище вітчизняної вугільної галузі та екологічні проблеми в тепловій енергетиці, зумовлені приєднанням України до енергетичної співдруж-

ності. За революційним сценарієм, розробленим групою науковців з Інституту економіки та прогнозування НАН України під егідою Фонду Г. Бьоля (Diachuk, Chepeliev, Podolets et al., 2017), ситуація має змінитися на користь розитку енергетики на відновлюваних джерелах (рис. 3).

Попри складні економіко-політичні явища, Україна і зараз залишається потужною енергетичною державою. У 2020 р. у країні вироблено 0,54 ЕДж (149021,5 млн кВт·год.) електроенергії, що на 51% забезпечено атомними станціями (АЕС), 26,6% надали теплові електростанції (ТЕС) зі складу генеруючих компаній, 9,8% – теплоелектроцентралі (ТЕЦ), когенераційні установки та блок-станції на підприємствах, 3,7% – гідроелектричні (ГЕС) та гідроакumuлюючі (ГАЕС) станції, альтернативні джерела – 7,3%, а імпорт склав 1,5% (Чернявський, Мірошніченко, 2021).

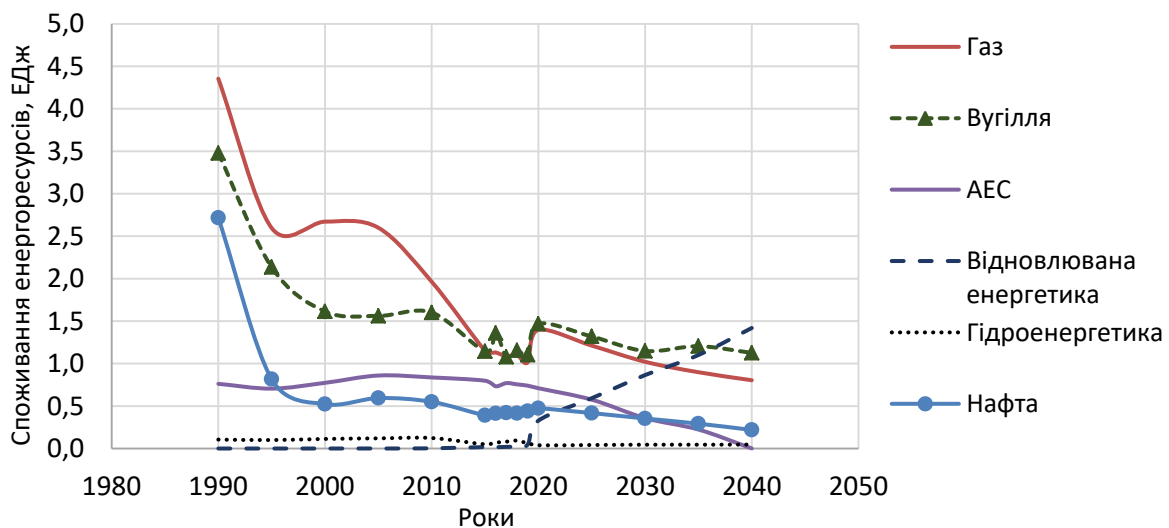


Рисунок 3 – Динаміка змін структури ресурсної бази України

Джерело: складено за даними Statistical Review of World Energy 2021 | 70th edition та прогнозами (Diachuk, Chepeliev, Podolets et al., 2017).

Протягом тридцяти років (рис. 4) питомих споживання ПЕР у розрахунку на 1 особу нелінійно зменшувалося з 220 ГДж у 1990 р. до 99 ГДж у 2020 р., а питомих споживання за той самий період у розра-

хунку на 1 дол. США за паритетом купівельної спроможності в цінах 2017 р. – з 14,0 до 12,3 МДж, проте процеси змін мали параболічний характер.

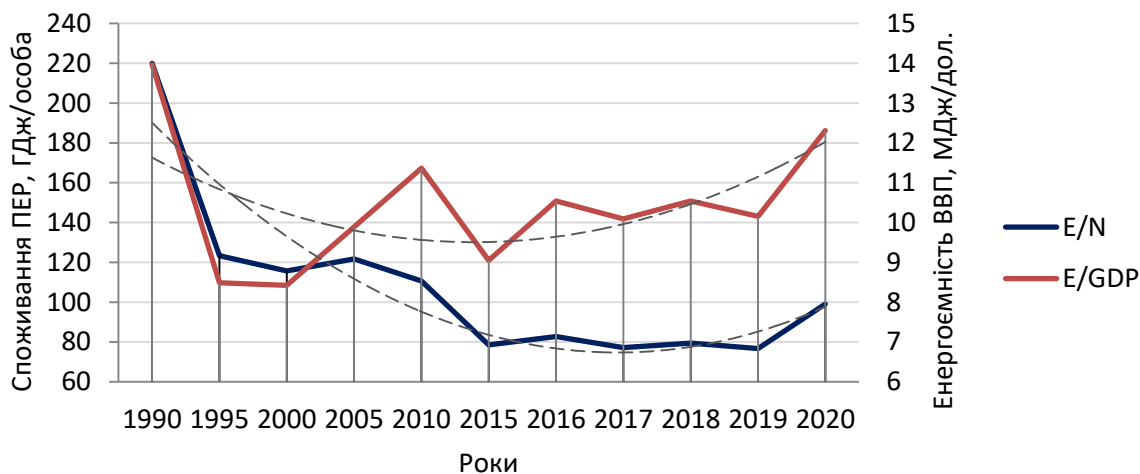


Рисунок 4 – Динаміка змін споживання первинних енергетичних ресурсів та енергоємності ВВП України

Умовні позначення:

$E$  – річне споживання ПЕР, Дж;  $N$  – кількість населення, осіб;  $GDP$  – валовий внутрішній продукт за паритетом купівельної спроможності в цінах 2017 р.

Джерело: складено за даними Statistical Review of World Energy 2021 | 70th edition та World Bank Open Data.

## 2.2 Основні проблеми вітчизняного ПЕК

За характеристикою, наведеною у схваленій розпорядженням Кабінету Міністрів України від 4 серпня 2021 р. № 907-р «Стратегії енергетичної безпеки»<sup>1</sup>, енергетична інфраструктура країни є зношеною та характеризується високими втратами енергії під час виробництва, транспортування і споживання, відсутністю енергоефективних змін, а структура та характеристики генеруючих потужностей не відповідають потребам Об'єднаної енергетичної системи України й інтересам споживачів у забезпеченні доступною та якісною електроенергією.

Зношеність електричних мереж становить понад 50% їх загального обсягу, а в розрізі окремих компаній – понад 70%, у комунальній сфері – 70%; близько 40% теплових пунктів перебувають в аварійному стані, 15,8% загальної протяжності теп-

ломереж є аварійними, із 309 тис. км газорозподільних мереж строк експлуатації спливає для 18,5 тис. км, ще щонайменше 15 тис. км мереж перебувають в аварійному стані.

Понад 44% енергії втрачається під час перетворення та транспортування до кінцевого споживача (у той час як у ЄС середній показник становить 32%).

Висока частка імпортованих енергоресурсів у структурі паливно-енергетичного комплексу знижує рівень енергетичної безпеки. У 2020 р. імпортований газ становив близько 30% сукупного споживання природного газу в Україні. Україна стала на 85% залежною від імпорту нафтопродуктів. При цьому частка нафтопродуктів, вироблених у Російській Федерації або з російської сировини (передусім у Республіці Білорусь), у структурі імпорту перевищує 80%. Україна у 2020 р. імпортувала нафтопродуктів із Російської Федерації та Республіки Білорусь на суму понад 2,4 млрд дол. США. Незадовільний рівень диверсифікації джерел і маршрутів постачання та відсутність створеної системи запасів нафтопродуктів робить Україну враз-

<sup>1</sup> Стратегія енергетичної безпеки. Схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 4 серпня 2021 р. № 907-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/907-2021-%D1%80#Text> (дата звернення: 14.11.2021).

ливою у випадку цілеспрямованого припинення поставок нафтопродуктів.

Майже всі енергоблоки теплових електростанцій і теплоелектроцентралей відпрацювали свій парковий ресурс, є технологічно застарілими. Генеруючі потужності, що працюють із використанням вугілля, є одними з найбільших забруднювачів довкілля, перебувають на межі граничного ресурсу та фізичного зносу і потребують заміщення більш сталим екологічно чистим виробництвом енергії. Поточний незадовільний технічний стан паливно-енергетичного комплексу, низький рівень енергоефективності формує виклики перед Україною, пов'язані із спроможністю виконувати міжнародні зобов'язання та адаптуватися до амбітних ініціатив ЄС, зокрема ініціативи Європейської Комісії «Європейський зелений курс». Запровадження ЄС концепції «вуглецевого відбитку» (carbon footprint) буде вимогою щодо можливості включення економіки України в загальний ланцюг виробництва в ЄС. У перспективі можливе запровадження механізмів обмеження доступу до кредитного фінансування окремих комерційних проєктів, якщо визначені екологічні вимоги не будуть дотримуватися.

По-перше, рівень шкідливих викидів перевищує не тільки нормативи ЄС у 5-30 разів, але і чинні нормативи України, зокрема, викиди твердих частинок золи, що утворюються при спалюванні вугілля, у 20-34 рази. Станом на початок 2014 р. заміни потребували енергоблоки ТЕС сумарною потужністю близько 12 млн кВт (понад 40% загальної потужності ТЕС) (Чорноусенко, 2014). По-друге, модернізація неможлива ні за вартістю заходів, ні за термінами їх реалізації. По-третє, така потужна модернізація взагалі є недоцільною через глибоку зношеність фондів електрогенерації.

За радянських часів підвищення екологічної придатності української вугільної енергетики передбачалося шляхом суттєвого скорочення частки вугілля у паливній базі ТЕС на користь природного газу і за-

міни донецького вугілля більш чистим твердим паливом із Кузбасу. Переважна більшість шахт Донбасу підлягала ліквідації (Стьрикович, Синяк, 1986, с. 52).

Паливна політика, яка була задекларована як «газова пауза», лише останнім часом через дорожнечу імпортного природного газу і за політичними мотивами була згорнута.

У 2011 р. Україна стала членом Енергетичного співтовариства, взявши на себе таким чином зобов'язання щодо дотримання умов членства цієї організації. Згідно з договором Енергетичного співтовариства Україна до кінця 2017 р. мала привести всі великі (потужністю понад 50 МВт) спалювальні установки (ВСУ) до вимог Директиви 2001/80/ЄС<sup>1</sup> про обмеження викидів забруднюючих речовин (пилу, оксиду азоту та діоксиду сірки) в атмосферу. На сьогоднішній день в Україні налічується близько 140 таких установок, 37 з яких є енергоблоками теплових електростанцій. За обсягами викидів забруднюючих речовин саме ТЕС займають найгірші позиції.

Усвідомлення неможливості реалізації вимог Енергетичного співтовариства до кінця 2017 р. спонукало Міністерство енергетики та вугільної промисловості України до розроблення Національного плану скорочення викидів від великих спалювальних установок (НПСВ)<sup>2</sup>. Це дозволило теплоенергетичним підприємствам працювати після 31.12.2017 р. у правовому полі. Метою НПСВ є поступове скорочення викидів забруднюючих речовин від існуючих великих спалювальних установок. Після завершення терміну дії Національного плану

<sup>1</sup> Directive 2001/80/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2001 on the limitation of emissions of certain pollutants into the air from large combustion plants. *Official Journal of the European Communities*. L 309. 27.11.2001. P. 1-21. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32001L0080&qid=1549359344413&from=EN> (дата звернення: 11.11.2021).

<sup>2</sup> Національний план скорочення викидів від великих спалювальних установок URL: <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/doccatalog/document?id=244996332> (дата звернення: 10.01.2022).

мають відповідати вимогам Директиви 2010/75/ЄС<sup>1</sup> по викидах забруднюючих речовин. НПСВ встановлює обмеження річних граничних обсягів викидів діоксиду сірки, оксидів азоту та пилу за принципом, згідно з яким викиди наступного року не можуть бути більше за викиди минулого. Україна виконувала свої зобов'язання щодо дотримання граничних обсягів викидів забруднюючих речовин протягом 2018-2021 рр. тільки за рахунок суттєвого зменшення (до 40%) виробництва електроенергії на вугільних ТЕС через падіння виробітку та споживання електроенергії, викликаного подіями на сході України та скороченням сировинної бази вугільної теплоенергетики. З 01.01.2018 р. на ТЕС України не було почато спорудження жодної установи очищення димових газів від діоксиду сірки та оксидів азоту. Насамперед, це пов'язано з відсутністю фінансових механізмів реалізації природоохоронних заходів НПСВ. При збереженні існуючого стану через невиконання НПСВ у 2026 р. мають бути зупинені всі енергоблоки ТЕС.

Малозатратна модернізація ТЕС, яка включає реконструкцію котлоагрегатів, модернізацію турбоагрегатів, заміну електрофільтрів, потребує вкладення інвестицій в обсязі близько 600 дол./кВт встановленої потужності. Реалізація таких заходів може подовжити термін експлуатації енергоблоків до 15-20 років і підвищити їх ККД на 3-5%. Однак цього недостатньо для виконання вимог Енергетичного співтовариства та Директиви 2010/75/ЄС. Необхідно на кожному енергоблоці спорудити нову систему газоочищення, капітально реконструювати або замінити котельне та турбогенераторне обладнання для роботи в маневрених режимах за правилами європейської енерго-

<sup>1</sup> Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council of 24 November 2010 on industrial emissions (integrated pollution prevention and control). *Official Journal of the European Communities*. L 334. 17.12.2010, P.17-119. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=OJ:L:2010:334:FULL&from=EN> (дата звернення: 11.10.2021).

мережі ENTSO-E. Реалізація таких проєктів потребуватиме інвестицій в обсязі до 1200 дол./кВт встановленої потужності (Вольчин, Дунаєвська, Гапонич та ін., 2013). Виходячи з цього постає питання про доцільність розвитку і подальшої експлуатації вітчизняного сектору теплової енергетики як такої.

У «Стратегії енергетичної безпеки» зазначено, що атомно-промисловий комплекс України досі критично залежить від ресурсів, технологій і послуг постачальників із РФ. Власні уранодобувні підприємства перебувають у кризовому фінансовому стані та потребують значних інвестицій для збільшення видобутку. Атомні електростанції потребують продовження здійснення заходів щодо забезпечення безпечності їх функціонування, невідкладної модернізації, зокрема з метою покращення технічних характеристик, та прийняття рішень щодо будівництва нових енергоблоків.

Нафтогазовий комплекс демонструє стагнацію та падіння виробництва, хоча обсяги розвіданих покладів вуглеводнів в Україні є достатніми для зменшення імпорту мінеральної сировини та забезпечення внутрішнього ринку.

Існуючі енергоблоки атомних електростанцій мають виводитися з експлуатації у зв'язку із завершенням строку експлуатації. Однак існують складнощі з «молодими» атомними станціями, оскільки Україна залишається суттєво залежною від постачання ядерного палива з РФ, яке все ще задовольняє понад 50% обсягу потреб українських атомних електростанцій.

Певною загрозою енергетичній безпеці країни є імпорт електроенергії з Республіки Білорусь та РФ, який з початку 2021 р. періодично перевищував 1 ГВт потужності, що призводить до зменшення обсягів виробництва електроенергії вітчизняними підприємствами.

У цілому паливно-енергетичний комплекс не використовує інновації та нові технології, уже зараз існує дефіцит кваліфікованого персоналу, і ця тенденція погір-

шується у зв'язку з міграцією трудових ресурсів. Знижується здатність забезпечувати проєктні, пусканалагоджувальні, сервісні послуги для підприємств паливно-енергетичного комплексу всіх форм власності силами компаній України.

Частина підприємств паливно-енергетичного комплексу, зокрема вугільні шахти та окремі теплові електростанції, розташовані на тимчасово окупованих територіях. Продовження режимів функціонування таких підприємств або порушення регламентів їх закриття підвищує ризик виникнення техногенних катастроф.

Зростання обсягів виробництва електроенергії з відновлюваних джерел енергії, як зазначено у «Стратегії енергетичної безпеки», відбувалося без компенсуючих заходів щодо підвищення гнучкості Об'єднаної енергетичної системи України. В Україні недостатньо потужних систем накопичення енергії для покриття пікових навантажень. У структурі виробництва електроенергії з відновлюваних джерел енергії відбувся стрімкий розвиток виробництва електроенергії з енергії сонячного випромінювання, яка характеризується високою варіативністю виробництва. Станом на початок 2021 р. обсяг потужностей відновлюваної енергетики в Україні становив 7737 МВт. Швидке зростання частки відновлюваних джерел енергії, висока залежність від погодних умов і низька маневреність такого виду виробництва ускладнюють процес прогнозування попиту та пропозиції на ринку електроенергії, що призводить до проблем балансування системи, запровадження вимушених обмежень планової роботи учасників ринку. Додатковим навантаженням є вимога щодо оплати за «зеленим» тарифом усіх обсягів електроенергії з відновлюваних джерел, не прийнятої системою через вимоги забезпечення операційної безпеки.

Таким чином, головними рисами нинішнього стану ПЕК України є:

1) критична зношеність основних генеруючих фондів та енергетичної інфраструктури;

2) низька екологічна придатність підприємств паливно-енергетичного комплексу;

3) хронічний дефіцит, велика частка імпорту і відсутність диверсифікації поставальників палива, економічна та технологічна неефективність вітчизняної паливобувної промисловості.

### **3 Довгострокові фактори і тенденції розвитку національного ПЕК**

Фактори, за якими розвивався вітчизняний паливно-енергетичний комплекс, з часом змінювалися кардинально. За часів СРСР домінуючими були фактори якості вугільних родовищ (велика глибина залягання і невелика потужність пластів, великий вміст сірки у вугіллі), а також соціальні та політичні мотиви. Саме вони обумовили рішення про відмову від місцевого вугілля з переходом на вугілля з Кузбасу й атомну енергію, а як паліатив – упровадження газової паузи, тобто розширеного споживання природного газу. Ліквідації ж вугільної промисловості Донбасу завадили спочатку соціальні, а потім політичні фактори, зокрема розпад СРСР. Останнє актуалізувало, незважаючи на негативні економічні моменти, фактор збереження вугільної промисловості як гаранта енергетичної незалежності країни.

Сьогодні розвиток вітчизняного паливно-енергетичного комплексу обумовлює фактор дефіциту маневрових потужностей і вугілля, оскільки регулюючі функції переважно виконують вугільні ТЕС, а також політичні фактори забезпечення екологічних вимог сталого розвитку та європейської інтеграції.

З урахуванням цих факторів визначено такі тенденції: більш щільна інтеграція енергосистем з ЄС; екологізація енергетики.

#### **3.1 Тенденція міжнародної інтеграції енергосистем України та ЄС**

На Євразійському континенті діють три синхронні зони: СЕС/ОЕС, UCTE та NORDEL (Юдина, 2009). Західна синхронна зона (UCTE) включає енергосистеми

23 країн континентальної Європи, що входять до Союзу з координації передачі електроенергії. З липня 2003 р. синхронно з UCTE працює Західна енергосистема України (так званий «Острів Бурштинської ТЕС»). До Східної синхронної зони (ЄЕС/ОЕС) входять енергосистеми країн СНД (за винятком Вірменії та Туркменії, енергосистеми яких функціонують паралельно з енергосистемою Ірану) та Балтії (Естонія, Латвія, Литва). Північна синхронна зона (NORDEL) поєднує енергосистеми країн Північної Європи – Швеції, Норвегії, Фінляндії та західної частини Данії.

Ці об'єднання розвивалися незалежно одне від одного, проте згодом розпочали посилювати зв'язки. Зараз між NORDEL та UCTE, а також між NORDEL та ЄЕС/ОЕС створено зв'язки постійного струму, які забезпечують можливість торгівлі електроенергією.

На конференції «Перспективи об'єднання енергосистем «Схід-Захід» (Результати ТEO синхронного об'єднання ЄЕС/ОЕС з UCTE), яка відбулася у 2009 р., доведено, що немає нерозв'язних технічних та інституційно-правових перешкод щодо створення паневропейських ринків електроенергії. Об'єднання ЄЕС/ОЕС та UCTE уможливило створення найбільшого у світі енергопростору з встановленою потужністю понад 860 ГВт, що включає 12 часових поясів, 37 країн та майже 900 млн споживачів електрики. Єдиний Євразійський простір – можливість підвищення надійності енергопостачання на всій території, розширення меж і можливостей енергоринку. І саме українські високовольтні лінії передач ЛЕП-750 та ЛЕП-400, які зараз не діють, мали виступати інтеграторами єдиної євроазіатської мережі, її транзитним коридором, а нині периферійна в зоні UCTE Польща після об'єднання – на столицю загальної енергозони (Амоша, Котляренко, 2009).

Утворення паненергетичного євразійського простору – технічно довготривалий і фінансово витратний проект, а через політичну ситуацію, що склалася в Україні та

Європі, – майже неможливий на довгі часи, як і перетворення України на потужного континентального транзитера електроенергії, втім і транзитера природного газу внаслідок введення в експлуатацію газогону «Південний потік-2».

На національному рівні Стратегічною метою сьогодення є синхронізація української та європейської електромереж зі створенням конкурентного та прозорого ринку електроенергії відповідно до вимог європейського законодавства та ринкових практик. Заплановане на 2023 р. приєднання до ENTSO-E передбачає від'єднання України від загальної електромережі з РФ та Білоруссю<sup>1</sup>.

### 3.2 Тенденція екологізації енергетики

Протягом 20 найближчих років Україна залишиться державою з потужною ядерною енергетикою, що не викликає сумнівів.

Щодо ТЕС, то екологізація енергетики, декарбонізація, зокрема відмова від вугілля як палива, може призвести до ліквідації відповідних електростанцій і поставити під загрозу енергетичну незалежність України. У зв'язку з цим пропонується оригінальний захід, здатний комплексно вирішити проблему забезпечення екологічної придатності існуючих вугільних ТЕС і, більш того, залишити їх в експлуатації на тривалий термін як енергетичні сховища на водневому паливі. Ідея базується на тому, що невитрачена електрика є втраченою, тому є сенс створити енергохімічну вертикально інтегровану систему у складі АЕС, хімічного підприємства з електролізного вироблення водню (амоніаку) і ТЕС. Електролізний спосіб отримання водню є дуже енергомістким і дорогим, що унеможливує високорентабельну діяльність як хімічних підприємств, що його виробляють,

<sup>1</sup> НКРЕКП запровадила екстрені заходи для стабілізації ринку електроенергії. *Дзеркало тижня*. 05 лютого, 2022. URL: <https://zn.ua/UKRAINE/nkreku-vvela-ekstrennye-mery-dlja-stabilizatsii-rynka-elektroenerhii.html> (дата звернення: 08.02.2022).

так і енергетичних підприємств, які використовують його як паливо. Тому раціональною може виявитися бізнес-схема, за якою електроенергію, вироблену АЕС в період нічного провалу навантаження енергосистеми, безкоштовно подають на хімічне виробництво, розташоване на території колишньої вугільної ТЕС, щоб отримати в результаті водень і запаси його у газгольдерах, а в період дефіциту електроенергії в енергосистемі переробити водневе паливо на ТЕС і реалізувати електрику як продукцію на ринку електроенергії.

Застосування водневого (амонійного) палива робить вугільні ТЕС екологічно придатними, дозволяє залишити їх у складі енергогенеруючого парку вітчизняного паливно-енергетичного комплексу, поліпшує виробничі режими експлуатації АЕС і підвищує економічну ефективність функціонування енергетики України загалом. Утворення енергохімічних вертикально інтегрованих систем зазначеного виду може стати проривним заходом щодо розвитку відновлюваної енергетики в Україні, зекономити кошти з ліквідації колишніх вугільних енергоблоків і будівництва вітрових і фотовольтаїчних електростанцій їм на заміну. До того ж, можлива диверсифікація розташованих на території ТЕС хімічних підприємств, перетворення їх на виробників попутної продукції у вигляді азотної кислоти, добрив. Схема за участю АЕС також може виявитися актуальною у випадку вітрових станцій, що не мають попиту на свою продукцію.

На тлі зазначених способів побудови енергетичного сектору дещо недооціненими слід визнати криогенні енергетичні технології, які сьогодні набувають розвитку у Великобританії (Vecchi, Li, Ding, Mancarella, Sciacovelli, 2021). Нагріте рідке повітря при поверненні в газовий стан розширюється в 700 разів, що дає йому змогу обертати з'єднану з електрогенератором турбіну. Авторство ідеї приписують англійському професорові китайського походження Ю. Діну (Yu. Ding) з університету в Лідсі. Рідке повітря – зовсім не екзотика,

французька фірма Air Liquide S.A. веде свій бізнес з 1902 р. і поширила його на 80 країн світу. Тому дивно, що раніше ніхто не здогадався скласти, не кажучи вже про патентування, конструктор із відомих більш як сто років деталей. Ніяких викидів шкідливих речовин в атмосферу, ніяких парникових газів, а переведення установки зі стану спокою в робочий режим триває лічені хвилини. Станцію можна оснастити так званою віртуальною трубою з доставленням рідкого повітря (азоту) транспортними засобами. Перший у світі енергоблок на рідкому повітрі на електростанції Scottish&Southern Energy (SSE) у британському місті Слау (Slough), прийнятий в експлуатацію у 2016 р., при потужності 350 кВт у піковому режимі функціонував як повноцінне енергосховище, здатне забезпечити споживачів 5 МВт·год. електричної енергії з ККД системи близько 70%<sup>1</sup>.

Екологічно чистий, відносно дешевий і малоенергомісткий у виробництві (до 1,2 кВт·год./кг продукції) криогенний спосіб отримання електроенергії із застосуванням рідкого повітря (азоту) в Україні може виявитися достатньо перспективним. Рідке повітря (азот) теж може стати раціональним додатком до атомних, сонячних і вітрових електростанцій як робоче тіло енергосховищ і конкурентом водневого палива.

У сфері забезпечення комунального сектору декарбонізованими тепловими енергоресурсами актуальною є децентралізація виробництва (Бабін, Коберник, Дубовський, Рейсіг, 2010). У даному контексті слід звернути увагу на запровадження електричних термодинамічних генераторів. Такі системи здатні виступати віртуальними електростанціями, базою реструктуризації теплопловиробничих комплексів у на-

<sup>1</sup> Череватський Д.Ю. Modified Atmosphere Packaging, або Коли настануть гарячі дні холодної енергетики? *Дзеркало тижня*. № 48, 16-27 грудня 2017 р. URL: [https://zn.ua/ukr/energy\\_market/modified-atmosphere-packaging-abo-koli-nastanut-garyachi-dni-holodnoyi-energetiki-263541\\_.html](https://zn.ua/ukr/energy_market/modified-atmosphere-packaging-abo-koli-nastanut-garyachi-dni-holodnoyi-energetiki-263541_.html) (дата звернення: 23.11.2021).

селених пунктах і на виробничих та агропромислових підприємствах. Україна має в цьому піонерні напрацювання: у м. Моспіне Донецької області у 2007 р. успішно було реалізовано електрокотельню на інноваційних установках гідродинамічного нагрівання води «Термер» вітчизняного виробництва потужністю близько 7 МВт. Розгортання теплоакumuлюючого обігріву на нічній електриці передбачено Енергетичною стратегією України і мало у великому масштабі розпочатися ще у 2010 р.<sup>1,2</sup> Однак у практичному плані не відбулося жодних зрушень. Хоча і сьогодні науковці відзначають доцільність електричних теплоагрегатів (Новіков, Тесленко, Ленчевський, 2021). Електричні теплогенератори – вагома відповідь і на виклик імпортного газопостачання, і на запити щодо енергетичних сховищ. Віртуальна електростанція може виступати балансуєчим механізмом усієї енергетичної системи: регулювати непостійне вироблення відновлюваних джерел енергії та пікові навантаження, бути інструментом регулювання взаємовідносин із клієнтами, а також інструментом маркетингу і реклами для окремого гравця ринку. Віртуальна електростанція описаного типу виробляє та запасє теплову енергію під час профіциту енергії в системі й переходить у режим знеструмлення під час дефіциту електричної енергії, тобто «додає» електрику за рахунок того, що перестє її споживати.

### 3.3 Тенденція енергетичної диверсифікації шахтарських регіонів

Декарбонізація як відмова від використання вугілля означає втрати людського

капіталу, крах звичного життя і деградацію вугільних регіонів. Україна «застрягла» в точці біфуркації: з одного боку, збиткові державні шахти за економічними мотивами треба закрити якомога швидше, але в шахтарських місцевих громадах Волинської, Дніпропетровської, Донецької, Луганської та Львівської областей проживає близько 850 тис. осіб.

Велика глибина розробок і розвиненість підземного простору, що для вуглевидобутку є пасивом, для гравітаційної енергетики стає визначальним активом. На закритих шахтах уже будують гідроакumuлюючі електростанції. За оцінками експертів, енергетичні хаби на теренах шахтарських регіонів можуть поширитися від США і Канади до Австралії, Південної Африки та Китаю. Технологія енергосховищ Prosper-Haniel розглядається як конкурент енергонакопичувачам Power Wall Ілона Маска. У Європі особливу увагу привертають Німеччина, Іспанія, Україна та Польща. Щоправда, такі проєкти є капіталомісткими – кошторисна вартість електростанції на шахті Prosper-Haniel у Німеччині (200 МВт) становить близько 500 млн євро, в іспанській Астурії пропонують той самий метод, але з менш потужними і менш дорогими проєктами (20 МВт, 40 млн євро), проте на даному етапі й вони для вітчизняної економіки є непосильними.

Отже, більш відповідним українським реаліям слід визнати британський проєкт Gravitricity з відносно дешевими енергетичними сховищами гравітаційного типу<sup>3</sup>. У процесі спуску вантажу підйомна машина переходить у генераторний режим із рекуперацією енергії в мережу, тобто працює як електростанція потужністю 1-2 МВт. Розробники цього проєкту для апробації власної ідеї за фінансової підтримки уряду Великобританії обрали шахтні підйоми на закритих шахтах і після успішних випробувань уже ведуть перемовини про перетворення колишньої вугільної

<sup>1</sup> Котко В. Чи можна замістити газ електрикою. URL: [https://zn.ua/ukr/energy\\_market/chimozhna-zamistiti-gaz-elektrikoju-.html](https://zn.ua/ukr/energy_market/chimozhna-zamistiti-gaz-elektrikoju-.html) (дата звернення: 10.01.2022).

<sup>2</sup> Котко В. Централізоване теплопостачання на електриці як відповідь на газовий виклик. *Дзеркало тижня*. № 29, 10-17 серпня 2007 р. URL: [https://zn.ua/ukr/energy\\_market/tsentralizovane\\_teplopostachannya\\_na\\_elektritsi\\_yak\\_vidpovid\\_na\\_gazoviy\\_viklik.html](https://zn.ua/ukr/energy_market/tsentralizovane_teplopostachannya_na_elektritsi_yak_vidpovid_na_gazoviy_viklik.html) (дата звернення: 12.10.2021).

<sup>3</sup> Gravitricity renewable energy storage. URL: <https://gravitricity.com> (дата звернення: 05.02.2022).

шахти в чеській Оставі на енергосховище потужністю 8 МВт<sup>1</sup>.

Клітьовий підйом шахти «Білицька», що простоє з 2014 р., – це, в принципі, готова пікова електростанція: в години пік (дефіцит ресурсу в енергосистемі) навантажені вагонетки можна спускати під землю і накопичувати на рейкових шляхах, щоб у період профіциту ресурсів видавати на-гора. Вугледобувне підприємство на Донбасі зазвичай об'єднує кілька шахт, і кожна з них має декілька установок головного підйому та допоміжні підйоми (на похилих виробках) – достатньо потужний кластер «зеленої» енергетики.

На виведених з експлуатації шахтах технологія Gravitricity може бути розвинена від енергосховищ до повноцінних електростанцій. Достатньо забезпечити регулярний рух вантажів із поверхні під землю, наприклад, спускати відвальні маси для закладення виробленого простору. Кожна шахта має під землею десятки кілометрів виробок, придатних для закладки переданої з поверхні породи. Розбирання відвалів, підготовка закладних матеріалів, їх спуск і транспортування під землею, погашення виробок і власне закладка виробленого простору – ось робочі місця для працівників шахти на роки. За такого підходу перекваліфікації потребуватимуть лише деякі категорії працівників, наприклад, забійники (робочі очисних вибоїв), частка яких може скласти 15-20% персоналу шахти.

Навіть якщо на мікрорівні проєкт шахтної твердотільної електростанції загалом може виявитися збитковим, то потрібно рахувати макроекономічний ефект, його складову в системі енергопостачання, збереження власнику (державі) коштів, необхідних для фізичного закриття шахт, запобігання негативним екологічним і соціальним наслідкам.

Щоб державні шахти, які виводяться з експлуатації як підприємства з видобутку

<sup>1</sup> Gravitricity explores Czech coal mine for MW-scale storage. URL: <https://renews.biz/73143/gravitricity-explores-czech-coal-mine-for-mw-scale-storage/> (дата звернення: 10.01.2022).

вугілля, продовжили залишатися в шахтарських монопромислових містах джерелом робочих місць, необхідно здійснити їх енергетичну диверсифікацію, бажано із залученням зацікавлених у цьому енергетичних і металургійних компаній. Можливо, доцільним буде утворення міжнародного консорціуму з інвестування, проєктування, побудови та експлуатації енергетичних сховищ. Енергетичні хаби з електростанціями на базі шахт можуть стати чинником відродження Донбасу та розвитку його людського потенціалу, а поштовхом – шахтні підйомні установки, що генерують електроенергію у процесі опускання під землю породи з розташованих на поверхні відвалів. Ліквідація ж шахт означає безповоротну втрату підземних глибин, продукту, який формувався десятиліттями важкої праці великої кількості людей (Череватський, Новак, 2021).

#### *Висновки*

1. Головні домінуючі тенденції розвитку ПЕК у світі спричинені факторами глобалізації та сталого розвитку:

тенденція трилемізації. Трилема сталого розвитку цивілізації як баланс економічної, соціальної та екологічної складових обумовила енергетичну трилему: надійність, доступність для всіх, екологічність. Цілі сталого розвитку № 7 та 13 є не тільки символом боротьби та єдності протилежностей, – це контрапункт енергетичної трансформації світу загалом: людство потребує все більшої енергії, енергетика є найбільшим забруднювачем довкілля. Забезпечення гідного рівня життя (decent living standards) для всіх означає, що в деяких бідних країнах енергоспоживання має, принаймні, подвоїтися до 2030 р. і потроїтися до 2040 р., що є маловірогідним, навіть якщо все зростання енергії буде спрямоване виключно на викорінення паливної бідності. Оскільки світове суспільство у просторі двох «неможливих трієць» (енергетичної та глобалізаційної) має вибирати з трьох сценаріїв: Modern Jazz (сучасний джаз); Unfinished Symphony (незакінчена симфонія), Hard Rock (хардрок), Grand Transit із великою імовірністю може

закінчитися «хардроком» з його слабким економічним зростанням, замкнутістю в «національних квартирах», різноплановими економічними та енергетичними моделями, ресурсною автаркією і байдужістю до кліматичних пріоритетів;

тенденція позачергової зміни техноценозів. Згідно з теорією техноценозів існує домінуючий енергоресурс і домінуюча економіка, з ним пов'язана. Під впливом понять Інституту сталого розвитку людство вперше за всю історію змінює техноценоз тому, що таке рішення прийнято урядами більшості країн. Енергетичні джерела вітро-фотовольтаїчної природи стають домінуючими, і є вже кандидати на роль економік-домінантів. Незважаючи на сумніви щодо можливості самої фізичної реалізації широкомасштабної «зеленої» енергетики і негативні економічні наслідки таких трансформацій, випуск і просування нових зразків енергообладнання, організація сектору альтернативної енергетики та ін. уже сьогодні мають обіг понад 4 трлн дол.;

тенденція політизації енергетичної сфери. «Зелений» транзит викликає політичне протистояння на глобальному, національному і місцевому рівнях. Реалізація сценарію «незакінчена симфонія» потребує участі квазісвітового уряду. Здійснюється політика наднаціональних акцій за підтримки енергетики на відновлюваних джерелах (податки, субсидії та ін.). Існують протиріччя між державами, національними урядами та регіональною/місцевою владою. Наприклад, починаючи з 2015 р. у різних штатах США було внесено понад 300 законів, що забороняють або обмежують установлення вітряків. Взаємодія держави та бізнесу в розвинутих країнах перебуває у стані від «захоплення бізнесу» до «захоплення держави», зокрема корупційними заходами. Триває лобіювання різних проєктів і сценаріїв розвитку енергетики – компанії традиційних видів палива, функціонери із сектору атомної енергетики, прихильники водневих технологій, теплових насосів та ін. мають власні інтереси. У результаті найбільш імовірним є «помір-

ний» сценарій, а не тотальне домінування вітро-фотовольтаїчної енергетики.

2. Визначено такі головні риси ПЕК України:

критична зношеність основних генеруючих фондів та енергетичної інфраструктури;

низька екологічна придатність підприємств паливно-енергетичного комплексу;

хронічний паливний дефіцит, велика частка імпорту і відсутність диверсифікації постачальників палива, економічна та технологічна неефективність вітчизняної паливобудівної промисловості.

3. Фактори, які визначатимуть розвиток ПЕК України на наступні десятиліття:

дефіцит маневрових потужностей і вугілля, оскільки регулюючі функції переважно виконують вугільні ТЕС;

політичні фактори забезпечення екологічних вимог сталого розвитку та європейської інтеграції.

4. Встановлено тенденції, які обумовлять розвиток ПЕК України на наступні десятиліття:

замість утворення єдиного пан'євразійського енергетичного простору з Україною як із потужним транзитером електроенергії, що до недавнього вважалося найбільш раціональним сценарієм розвитку міжнародної енергетики, паліативним рішенням через наслідки політичних процесів і протистоянь стає синхронізація української та європейської електромереж ENTSO-E з від'єднанням України від загальної електромережі з РФ та Білоруссю;

у плані екологізації вітчизняної енергетики та збереження в експлуатації реформованих вугільних генеруючих фондів перспективним може стати створення вертикально інтегрованих систем за участю АЕС (вітрових або сонячних електростанцій), хімічних підприємств з вироблення водню (амоніаку) і реформованих вугільних електростанцій, що переважно в маневрових режимах працюватимуть на водневому (амонійному) паливі; поширення енергетичних сховищ на рідкому повітрі (азоті); децентралізація теплоенергетичних систем

на основі установок гідродинамічного нагрівання води, здатних працювати за схемою віртуальних електростанцій;

енергетична диверсифікація старопромислових шахтарських регіонів на заходах перетворення шахт на електростанції з формуванням потужних енергетичних хабів.

У перспективі доцільно детальніше розглянути питання енергетичної та економічної ефективності водневої енергетики, перспективи фотовольтаїчних станцій і енергетичних сховищ на рідкому повітрі; розробити пілотний проєкт щодо вертикально інтегрованої системи за участю АЕС, реформованої вугільної ТЕС і хімічного підприємства з вироблення водню (амоніаку); визначити економічну доцільність створення енергетичних хабів, що використовують рудничні підйомні установки, в регіонах концентрації глибоких шахт.

#### Література

- Аминов Р.З., Байрамов А.Н. (2016). Оценка эффективности получения водорода на базе внепиковой электроэнергии АЭС. *Альтернативная энергетика и экология*(ISJAE). № 5-6. С. 59-70.
- Амоша А. И., Залознова Ю. С., Череватский Д. Ю. (2017). Угольная промышленность и гибридная экономика. Киев: ИЭП НАН Украины, 196 с.
- Амоша А. И., Котляренко Д. В. (2009). Украина как транзитер электрической энергии. *Стратегія і механізми регулювання промислового розвитку: зб. наук. пр.* Донецьк: ІЕП НАНУ. С. 3-9.
- Бабін М. Є., Коберник В. С., Дубовський С. В., Рейсіг В. А. (2010). Децентралізація теплопостачання як один з ефективних шляхів енергозбереження. *Наукові праці НУХТ*. № 32. С. 31-35.
- Бадалян Л., Криворотов В. (2008). Технологический перелом начала века и интересы России. *Экономические стратегии*. № 3. С. 12-19.
- Вольчин І. А., Дунаєвська Н. І., Гапонич Л. С., Чернявський М. В., Топал О. І., Засядько Я. І. (2013). Перспективи впровадження чистих вугільних технологій в енергетику України. Київ: Гнозіс. 308 с.
- Конопляник А. (2021). Как не угодить в водородную ловушку. *Експерт*. № 4. С. 70-74.
- Кристенсен К. М. (2004). Дилемма инноватора. Москва: Альпина Бизнес Букс. 239 с.
- Мастепанов А. (2017). Что день грядущий нам готовит. *Нефть России*. Июль-август. 11-19. URL: <https://neftrossii.ru/docs/magazines/NR/2017/NR-2017-7-8.pdf> (дата звернення: 10.01.2022)
- Новіков П. В., Тесленко О. І., Ленчевський Є. А. (2021). Екологічна оцінка ущільнення добових графіків електричного навантаження енергосистеми із застосуванням комплексів електричних теплогенераторів: зб. наук. праць XVII Міжнар. наук.-практ. конф. «Вугільна теплоенергетика: шляхи реконструкції та розвитку (Київ, 19-20 жовтня 2021 р.)». Київ: ІТЕТ НАН України, С. 154-160.
- Норт Д. (1997). Институты, институциональные изменения и функционирование экономики. Москва: Фонд экономической книги «Начала», 180 с.
- Пискулова Н. (2010). Развитие мировой экономики: экологический вектор. *Мировая экономика и международные отношения*. № 12. С. 28-37.
- Родрик Д. (2014). Парадокс глобализации: демократия и будущее мировой экономики. *Экономическая социология*. 15 (2). С. 65-75.
- Сибикін Ю.Д. (2017). Основи проектування електропостачання об'єктів. Directmedia.
- Синяк Ю.В. (2017). Моделирование стоимости водородного топлива в условиях его централизованного производства. *Водородные энергетические технологии: Материалы семинара лаборатории ВЭТ ОИВТ РАН*: сб. науч. тр. Москва: ОИВТ РАН. Вып. 1. С. 39-56.
- Стаджи Д. (2021). Футуршок. *Енергобізнес*. № 28 (1221).
- Стырикович М. А., Синяк Ю. В. (1986). Исследования дальних перспектив раз-

- вигляду енергетики. *Вести Академії наук СРСР*. № 4. С. 46-54.
- Уилсон К. Л. (1985). Уголь мост в будущее. Москва: Недра. 264 с.
- Череватський Д. Ю., Новак І. М. (2021). Щодо розв'язання економіко-соціальних проблем шахтарських монопрофільних міст: зб. наук. праць XVII Міжнар. наук.-практ. конф. «Вугільна теплоенергетика: шляхи реконструкції та розвитку (Київ, 19-20 жовтня 2021 р.)». Київ: ІТЕТ НАН України. С. 178-184.
- Черноусенко О. Ю. (2014). Стан енергетики України та результати модернізації енергоблоків ТЕС. *Проблеми загальної енергетики*. Вип. 4 (39). С. 20-28.
- Чернявський М. В., Мірошніченко Є. С. (2021). Зміни в структурі генерації електроенергії в Україні та перспективи розвитку теплової енергетики: зб. наук. праць. XVII Міжнар. наук.-практ. конф «Вугільна теплоенергетика: шляхи реконструкції та розвитку (Київ, 19-20 жовтня 2021 р.)». Київ: ІТЕТ НАН України. С. 31-38.
- Юдина Л. (2009). На пути к объединению. *Мировая энергетика*. № 4. URL: [http://www.worldenergy.ru/doc\\_20\\_59\\_3081.html](http://www.worldenergy.ru/doc_20_59_3081.html) (дата звернення: 11.11.2021)
- Bryce R. (2021). Not In Our Backyard. Center of the American Experiment. URL: <https://www.readkong.com/page/not-in-our-backyard-rural-america-is-fighting-back-against-2433159> (дата звернення: 10.01.2022)
- Diachuk O., Chepeliev M, Podolets R., Trypolska G. and oth. (2017). Transition of Ukraine to the Renewable Energy by 2050. Kyiv: Publishing house "Art Book" Ltd. 88 p.
- Mensah J. (2019). Sustainable development: Meaning, history, principles, pillars, and implications for human action: Literature review. *Cogent Social Sciences*. 5(1). P. 1653531. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/23311886.2019.1653531>
- Mills M. P. (2019). The 'New Energy Economy': An Exercise in Magical Thinking: Report. Manhattan Institute.
- Sager J. (2016). The crown joules: Resource peaks and monetary hegemony. *Economic Anthropology*. 3(1). P. 31-42. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/sea2.12042>
- Sovacool B. (2021). Clean, low-carbon but corrupt? Examining corruption risks and solutions for the renewable energy sector in Mexico, Malaysia, Kenya and South Africa. *Energy Strategy Reviews*. 38(5). P. 100723. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.esr.2021.100723>
- Spaiser V., Ranganathan S., Swain R. B., Sumpter D. J. (2017). The sustainable development oxymoron: quantifying and modelling the incompatibility of sustainable development goals. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*. 24(6). P. 457-470. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/13504509.2016.1235624>
- Vecchi A., Li Yo., Ding Yu., Mancarella P., Sciacovelli A. (2021) Liquid air energy storage (LAES): A review on technology state-of-the-art, integration pathways and future perspectives. *Advances in Applied Energy*. Vol. 3. P. 100047. DOI: 10.1016/j.adapen.100047
- Weizsaecker E., Wijkman A. (2018). Come On! Capitalism, Short-termism, Population and the Destruction of the Planet. Springer. 220 p.
- Xiaohui Hu (2017). From Coal Mining to Coal Chemicals? Unpacking New Path Creation in an Old Industrial Region of Transitional China. *Growth and Changy*. 48(2). P. 233-245. DOI: <https://doi.org/10.1111/grow.12190>

## References

- Aminov, R. Z., Bairamov, A. N. (2016). Evaluation of the efficiency of hydrogen production based on off-peak electricity from nuclear power plants. *Mejdunarodnyi nauchnyi jurnal «Al'ternativnaya energetika i ekologiya» (ISJAEЕ)*, 5-6, pp. 59-70 [In Russian].
- Amosha, A. I., Zaloznova, Yu. S., & Cherevatskyi, D. Yu. (2017). Coal industry and hybrid economy. Kiev: IEP NAN Ukrainy, 196 p. [In Russian].

- Amosha, A. I., & Kotlyarenko, D. V. (2009). Ukraine as a transit of electricity. *Strategiya i mehanizmi regulyuvannya promislivogo rozvitku*. Donetsk: Institute of Industrial Economics of the NAS of Ukraine. pp. 3-9 [In Russian].
- Babin, M. Ye. Koberny`k, V. S., Dubovsky`j, S. V., & Rejsig, V. A. (2010). Decentralization of heat supply as one of the effective ways of energy saving. *Naukovi praci NUXT*, 32, pp. 31-35. [In Ukrainian]
- Badalyan, L., & Krivorotov, V. (2008). Technological turning point of the beginning of the century and the interests of Russia. *Ekonomicheskie strategii*, 3, pp. 12-19 [In Russian].
- Vol`chy`n, I. A. Dunayevs`ka, N. I., Gapony`ch, L. S., Chernyavs`ky`j, M. V., Topal, O. I., & Zasyad`ko, Ya. I. (2013). Prospects for the introduction of clean coal technologies in the energy sector of Ukraine. Kyiv: Gnozis. 308 p. [In Ukrainian].
- Konoplyanik, A. (2021). How not to fall into the hydrogen trap. *Ekspert*, 4, pp. 70-74 [In Russian].
- Kristensen, K. M. (2004). The innovator's dilemma. Moscow: Al'pina Biznes Buks. 239 p. [In Russian].
- Mastepanov, A. (2017). What the coming day has in store for us. *Neft' Rossii*. July-August. pp. 11-19. URL: <https://neftrossii.ru/docs/magazines/NR/2017/NR-2017-7-8.pdf> [In Russian].
- Novikov, P. V., Teslenko, O. I., Lenchevs`ky`j, Ye. A. (2021). Ecological assessment of compaction of daily schedules of electric load of the power system with the use of complexes of electric heat generators. XVII International scientific-practical conference "Coal thermal power engineering: paths for reconstruction and development" (Kyiv, 19–20 June 2021). Kyiv: Institute of heat and energy technologies of NAS of Ukraine, pp. 154-160 [In Ukrainian]
- Nort, D. (1997). Institutions, institutional change and the functioning of the economy. Moscow: Fond ekonomicheskoi knigi «Nachala», 180 p. [In Russian]
- Piskulova, N. (2010). Development of the world economy: ecological vector. *Mirovaya ekonomika i mehdunarodnye otnosheniya*, 12, pp. 28-37 [In Russian].
- Rodrik, D. (2014). The Paradox of Globalization: Democracy and the Future of the World Economy. *Ekonomicheskaya sociologiya*. 15 (2). pp. 65-75 [In Russian].
- Sibikin, Yu. D. (2017). Fundamentals of designing power supply facilities. Directmedia [In Russian].
- Sinyak, Yu. V. (2017). Modeling the cost of hydrogen fuel in conditions of its centralized production. *Hydrogen energy technologies: Laboratory Seminar Materials VET OIVT RAN*. Moscow: VET OIVT RAN. 1. pp. 39-56 [In Russian].
- Stadji, D. (2021). Futurshok. *Energobiznes*. № 28 (1221) [In Russian].
- Styrikovich, M. A., & Sinyak, Yu. V. (1986). Research of long-term prospects of energy development. *Vesti Akademii nauk SSSR*, 4, pp. 46-54 [In Russian].
- Wilson, K. L. (1985). Coal bridge to the future. Moscow: Nedra. 264 p. [In Russian].
- Cherevatskyi, D. Yu., & Novak, I. M. (2021). Concerning the solution of economic and social problems of mining mono-profile cities. XVII International scientific-practical conference "Coal thermal power engineering: paths for reconstruction and development" (Kyiv, 19–20 June 2021). Kyiv: Institute of heat and energy technologies of NAS of Ukraine, pp. 178-184 [In Ukrainian].
- Chernousenko, O. Yu. (2014). The state of Ukraine's energy sector and the results of modernization of TPP power units. *Problemy` zagal`noyi energety`ky`*, 4 (39), pp. 20-28 [In Ukrainian]
- Chernyavs`ky`j, M. V., & Miroshny`chenko, Ye. S. (2021). Changes in the structure of electricity generation in Ukraine and the prospects for the development of thermal energy. XVII International scientific-practical conference "Coal thermal power engineering: paths for reconstruction and development" (Kyiv, 19–20 June 2021). Ky`yiv: ITET NAN Ukrayiny`. 31-38 [In Ukrainian]

- Yudina, L. (2009). On the way to unification. *Mirovaya energetika*. 4. URL: [http://www.worldenergy.ru/doc\\_20\\_59\\_3081.html](http://www.worldenergy.ru/doc_20_59_3081.html) [In Russian]
- Bryce, R. (2021). Not In Our Backyard. Center of the American Experiment. URL: <https://www.readkong.com/page/not-in-our-backyard-rural-america-is-fighting-back-against-2433159>
- Diachuk, O., Chepeliev, M., Podolets, R., Trypolska, G. and oth. (2017). Transition of Ukraine to the Renewable Energy by 2050. Kyiv: Publishing house “Art Book” Ltd. 88 p.
- Mensah, J. (2019). Sustainable development: Meaning, history, principles, pillars, and implications for human action: Literature review. *Cogent Social Sciences*, 5(1), pp. 1653531. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/23311886.2019.1653531>
- Mills, M. P. (2019). The ‘New Energy Economy’: An Exercise in Magical Thinking: Report. Manhattan Institute.
- Sager, J. (2016). The crown joules: Resource peaks and monetary hegemony. *Economic Anthropology*, 3(1), pp. 31-42. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/sea2.12042>
- Sovacool, B. (2021). Clean, low-carbon but corrupt? Examining corruption risks and solutions for the renewable energy sector in Mexico, Malaysia, Kenya and South Africa. *Energy Strategy Reviews*, 38(5), p. 100723. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.esr.2021.100723>
- Spaiser, V., Ranganathan, S., Swain, R. B., & Sumpter, D. J. (2017). The sustainable development oxymoron: quantifying and modelling the incompatibility of sustainable development goals. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 24(6), pp. 457-470. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/13504509.2016.1235624>
- Vecchi, A., Li, Yo., Ding, Yu., Mancarella, P., Sciacovelli, A. (2021) Liquid air energy storage (LAES): A review on technology state-of-the-art, integration pathways and future perspectives. *Advances in Applied Energy*, 3, pp. 100047. DOI: 10.1016/j.adapen.100047
- Weizsaecker, E., & Wijkman, A. (2018). Come On! Capitalism, Short-termism, Population and the Destruction of the Planet. Springer. 220 p.
- Xiaohui, Hu (2017). From Coal Mining to Coal Chemicals? Unpacking New Path Creation in an Old Industrial Region of Transitional China. *Growth and Change*, 48(2), pp. 233-245. DOI: <https://doi.org/10.1111/grow.12190>

**Даниил Юрьевич Череватский,**

*д-р экон. наук, заведующий отделом*

Институт экономики промышленности НАН Украины

ул. Марии Капнист, 2, г. Киев, 03057, Украина

E-mail: [cherevatskyi@nas.gov.ua](mailto:cherevatskyi@nas.gov.ua)

<https://orcid.org/0000-0003-4038-6393>;

**Игорь Альбинович Вольчин,**

*д-р техн. наук, заместитель директора*

Институт теплоэнергетических технологий НАН Украины

ул. Андреевская, 19, г. Киев, 04070, Украина

E-mail: [volchyn@gmail.com](mailto:volchyn@gmail.com)

<https://orcid.org/0000-0002-5388-4984>

## ДОЛГОСРОЧНЫЕ ФАКТОРЫ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА УКРАИНЫ

Целью статьи является определение долгосрочных тенденций и факторов развития мировой энергетики и адаптация их к украинским реалиям. Работа состоит из введения, трех разделов (основные тенденции развития мирового топливно-энергетического комплекса; анализ нынешнего состояния топливно-энергетического комплекса Украины; долго-

срочные факторы и тенденции развития национального топливно-энергетического комплекса Украины) и выводов.

Обосновано, что современные изменения мировой энергетики (Grand Transit) обусловлены идеологией устойчивого развития и имеют характер внеочередной смены техноценоза, перехода от использования ископаемого топлива к энергетике на возобновляемых источниках, преимущественно ветровой и фотовольтаической природы. Наряду с отмеченной главными тенденциями Великого перехода являются также трилеммизация и политизация энергетики. Составляющие трилеммизации: энергетическая безопасность, равенство энергетического доступа и экологическая устойчивость. Существуют три сценария развития глобальной энергетической сферы: «неоконченная симфония»; «современный джаз» и «хардрок», отличающиеся степенью экологизации и доступностью энергетических ресурсов. Политические мотивы становятся все более значимыми на всех уровнях – от глобального до местного, великие акторы лоббируют свои интересы, отмечается активность структур сферы атомной энергетики, мощных топливных компаний, владельцев газотранспортной и газораспределительной инфраструктуры.

В Украине трансформационные процессы проходят на фоне низкой экологической приемлемости и высокого износа объектов топливно-энергетического сектора и инфраструктуры, политической и экономической нестабильности. Требования декарбонизации создают вызовы самому существованию угольной энергетики, являющейся основной составляющей энергогенерирующего фонда страны, и регионам размещения шахт.

Как перспективные рассмотрены варианты развития водородной/аммиачной энергетики в виде вертикально интегрированных энергетико-химических систем с участием АЭС и реформированных угольных ТЭС; энергетической диверсификации шахтерских регионов, создания виртуальных электростанций на базе установок гидродинамического нагрева воды.

*Ключевые слова:* топливно-энергетический комплекс, развитие, декарбонизация, тенденции, факторы, техноценоз, трилемма, Grand Transit.

*JEL:* P18; P28

**Danylo Yu. Cherevatskyi,**

*Doctor of Economics, Head of Department*

Institute of Industrial Economics of NAS of Ukraine

2 Maria Kapnist Street, Kyiv, 03057, Ukraine

E-mail: cherevatskyi@nas.gov.ua

<https://orcid.org/0000-0003-4038-6393>;

**Igor A. Volchin,**

*Doctor of Technics, Deputy Director*

Institute of Heat and Power Technologies of NAS of Ukraine

19 Andreevskaya Street, Kyiv, 04070, Ukraine

E-mail: volchyn@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-5388-4984>

## LONG-TERM FACTORS AND TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF THE FUEL AND ENERGY COMPLEX OF UKRAINE

The objective of the paper is to define long-term factors and trends in the development of the world energy industry and their refraction to Ukrainian realities. The article consists of an introduction, three sections, namely: the main trends in the development of the global fuel and energy complex, analysis of the current state, long-term factors and trends in the development of the national fuel and energy complex of Ukraine. Conclusions end the paper.

As for the world energy sector it is shown that its modern changes – Grand Transit – are due to the ideology of sustainable development and have the character of an extraordinary change in the technocenosis, the transition from the use of fossil fuels to energy from renewable sources, mainly – wind and photovoltaic nature. Along with the major tendencies of the Great Transition, there is also the trilemization and politicization of energy sector. Trilemization components are: Energy Security, Energy Equity and Environmental Sustainability. There are three scenarios for the development of the global energy – Unfinished Symphony, Modern Jazz and Hardrock, distinguished by the degree of greening and the availability of energy resources. Political motives are becoming more and more significant at all levels – from global to local. Major players are lobbying their interests, there is an activity of structures from the field of nuclear energy, powerful fuel companies, owners of gas transportation and gas distribution infrastructure.

In Ukraine, transformation processes are taking place against the backdrop of low environmental acceptability and high depreciation of fuel and energy sector facilities and infrastructure, political and economic instability. The requirements of decarbonization create challenges to the very existence of coal energy, which is the main component of the energy generating fund of the country and the regions, where mines are located. Options for the development of hydrogen/ammonia energy in the form of vertically integrated energy-chemical systems with the nuclear power plants and reformed coal-fired thermal power plants are considered as promising; energy diversification of mining regions; the creation of virtual power plants based on hydrodynamic water heating installations.

*Keywords:* fuel and energy complex, development, decarbonization, trends, factors, technocenosis, trilemma, Grand Transit.

*JEL:* P18; P28

*Формат цитування:*

Череватський Д. Ю., Вольчин І. А. (2022). Довгострокові фактори і тенденції розвитку паливно-енергетичного комплексу України. *Економіка промисловості*. № 1 (97). С. 5-31. DOI: <http://doi.org/10.15407/econindustry2022.01.005>

Cherevatskyi, D. Yu., & Volchin, I. A. (2022). Long-term factors and trends in the development of the fuel and energy complex of Ukraine. *Econ. promisl.*, 1 (97), pp. 5-31. DOI: <http://doi.org/10.15407/econindustry2022.01.005>

*Надійшла до редакції 12.02.2022 р.*