

УДК 621.311

В.В. ДУБРОВСЬКИЙ, канд. техн. наук, ст. наук. співр., ORCID: 0000-0002-7456-0444
О.А. ШРАЙБЕР, д-р техн. наук, проф., ORCID: 0000-0003-2610-568X
Інститут загальної енергетики НАН України, вул. Антоновича, 172, м. Київ, 03150, Україна

СВІТОВІ ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ ВУГІЛЬНОЇ ТЕПЛОВОЇ ГЕНЕРАЦІЇ ТА ЇХ ВПЛИВ НА ЕНЕРГЕТИКУ УКРАЇНИ

Проаналізовано стан вугільної теплової енергетики в Україні, Європейському Союзі та в інших країнах світу. Розглянуто причини скорочення вугільної генерації, її світові перспективи та альтернативні шляхи заміни вугільних ТЕС. Проаналізовано можливий вплив світових тенденцій скорочення вугільної генерації на стан теплової енергетики України.

К л ю ч о в і с л о в а: теплова електроенергетика, вугільна генерація, тенденції розвитку.

Стисла характеристика стану теплової генерації в Україні та світі. У світовій електроенергетиці теплова генерація продовжує відігравати значну роль. Вугільна генерація є у 77 країнах світу, а 13 країн планують побудувати вугільні електростанції. За період з 2000 по 2017 р. потужність вугільної генерації досягла майже 2000 ГВт, що становить близько 40% встановленої потужності електростанцій світу і найбільшу частку з усіх способів виробництва електроенергії. Найбільше енергії з теплових електростанцій генерується в Китаї, Індії, США та ЄС [1].

В Україні встановлена потужність теплових електростанцій (ТЕС) і теплоелектроцентралей (ТЕЦ) становить близько 62% від загальної потужності всієї енергетики, але виробляють вони лише близько 40% електроенергії в країні. Вугільні ТЕС України вже виробили свій розрахунковий ресурс і мають вкрай низький коефіцієнт використання встановленої потужності. Через відсутність інвестицій у докорінну реконструкцію фізично і морально зношеного енергообладнання на ТЕС в основному обмежуються впровадженням недорогих технологій. Після 1990 р. не введено нових потужностей, а реконструкція проводиться вкрай повільно і в незначних масштабах. Крім того, вугільні електростанції в Україні традиційно працюють не у проектних режимах, при дотриманні яких підвищується ефек-

тивність виробництва і уповільнюється знос обладнання, а в маневрових – для покриття пікових навантажень. За даними незалежного фінансового аналітичного центру Carbon Tracker, який досліджує ринок теплової електроенергетики, теплова генерація України – найдорожча у світі, а робота вітчизняних ТЕС – найбільш витратна і найменш ефективна. Середній тариф за 1 МВт·год електроенергії, виробленої українськими ТЕС, становить майже 1800 грн. (74 дол. США за нинішнім курсом), тоді як у більшості країн тариф не перевищує 50 дол./МВт·год. Ціна електроенергії, виробленої на вугільних ТЕС України, на 40% вища, ніж в Європі, і на 75% – ніж у Росії [2–4]. Carbon Tracker також прогнозує, що уже в 2022 р. виробництво електроенергії на сучасних ТЕС України стане дорожче, ніж виробництво енергії з альтернативних джерел, а в деяких розвинених країнах використання ТЕС вже зараз дорожче [3].

З урахуванням екологічних директив ЄС щодо викидів забруднюючих речовин вугільна енергетика України потребує значних змін. Вимушене встановлення на українських ТЕС високоефективних очисних споруд значно здорожує вартість виробленої електроенергії. Собівартість такого оновлення ТЕС становитиме 1,2–1,3 млрд доларів на 1 ГВт потужності, а 1 ГВт нових потужностей коштує максимум 1,5 млрд, тобто, доцільніше будувати нові теплоелектростанції. Повна ж реконструкція фізично і морально зношених українських ТЕС

© В.В. ДУБРОВСЬКИЙ, О.А. ШРАЙБЕР, 2020

за підрахунками експертів обійдеться у 30 млрд доларів [2].

В усьому світі зараз помітно скорочується робота теплових електростанцій на вугіллі, особливо в США, Європейському Союзі, Китаї та Японії. За даними Інституту економіки енергетики та фінансового аналізу (IEEFA, США), глобальне виробництво електроенергії з вугілля у 2019 р. знизлося приблизно на 3% (300 ТВт·год), що є найбільшим падінням за всю історію (після десятиліть майже безперервного щорічного зростання). Починаючи з 1985 р., тільки двічі спостерігалось зниження виробництва електроенергії на вугіллі: падіння на 148 ТВт·год в 2009 р. у результаті світової фінансової кризи і зниження на 217 ТВт·год у 2015 р. через зменшення виробництва в Китаї. Деяке зростання вугільної генерації у Південно-Східній Азії, що займає лише 4,6% від глобального виробництва, не компенсує падіння виробництва електроенергії з вугілля у регіонах його найбільшого використання. У Північній Америці близько 60% падіння вугільної генерації сталося через перехід на природний газ, а в Азії генерація електроенергії на природному газі знизилася [5].

Причини скорочення вугільної генерації.

Причини прогнозованого падіння виробництва електроенергії на вугіллі в 2019 р. різні в різних країнах, але основними факторами є вимоги екологічної політики ЄС щодо зниження забруднюючих викидів, високі штрафи на викиди CO₂ та збільшення виробництва електроенергії з відновлювальних джерел. У всіх розвинених країнах – членах Організації економічного співробітництва та розвитку в 2019 р. спостерігалось швидке зростання вітрової та сонячної генерацій [5].

Європейська екологічна політика скорочує попит на вугілля, яке, не враховуючи існуючі чисті технології, відносять до брудного палива. На енергетику припадає понад дві третини всіх викидів, що містять вуглець. За підрахунками компанії Goldman Sachs Research для обмеження глобального потепління потрібно до 2040 р. вкласти в чисту енергетику не менше 30 трлн дол. інфраструктурних інвестицій [6]. Вугільні електростанції несуть відповідальність за 30% викидів в енергетичному секторі. Згідно зі «Сценарієм сталого розвитку» Міжнародного енергетичного агентства (МЕА) скорочення викидів CO₂ становитиме більше половини всіх скорочень до 2040 р. При цьому виробництво електроенергії на вугіллі буде падати в середньому на 6% щороку. Проте глобальне використання вугілля і викиди залишаються набагато

вище рівня, необхідного для досягнення цілей Паризької угоди. В 2019 р. в Південній Кореї податки за викиди порівняно з 2015 р. вирости в чотири рази до понад 30 дол. США/т, і це також чинить все більший вплив на закриття вугільних електростанцій [5]. Мета Європи обнулити викиди вуглекислого газу до середини століття поряд із усе дешевшою вітровою і сонячною енергією, яка сприяє різкому скороченню вугільної генерації.

В останні п'ять років вартість виробництва електроенергії з альтернативних джерел значно знизилась, і зовсім недавно різко скоротилась вартість зберігання електроенергії. Це робить економічно вигідним об'єднання відновлювальних джерел енергії з її зберіганням при нижчих витратах, ніж у вугільних електростанціях. Сонячні та вітрові електростанції є більш чистим і економічно вигідним варіантом розвитку енергетики у світовому масштабі [7, 8]. У 2019 р., порівняно з попереднім роком, вітрова генерація істотно зросла в Європі, менше в Північній Америці і незначно в Азії; сонячна генерація – приблизно порівну: трохи більше в Північній Америці та менше в Азії і Європі [5].

Розглянемо приклад енергопостачальної компанії PacifiCorp, яка зробила прогноз щодо перспектив вугільної енергетики у США. Власні генеруючі потужності цієї компанії складають 27,5 ГВт, вона поставляє електроенергію приблизно 1,8 мільйонам споживачів в 6 штатах. Її аналіз свідчить, що закриття існуючих вугільних електростанцій та їх заміна на ВДЕ може бути рентабельною. Заява PacifiCorp в 2019 р. про те, що компанія буде будувати тисячі мегават нових акумуляційних потужностей для зберігання енергії вітру і сонця, змінить ринки електроенергії в США протягом наступних 10 років. В цілому компанія планує створити 595 МВт акумуляторних батарей, що будуть з'єднані з новими сонячними електростанціями (3000 МВт). Вже зараз до мережі підключено кілька установок «сонячна електростанція плюс система зберігання електроенергії», а також багато таких установок будуються в різних штатах США. У 2019 р. в США обсяг електроенергії з відновлювальних джерел вперше перевищив (на 16%) обсяг енергії, отриманої з вугілля [7, 8].

В економіці ВДЕ та акумуляторних батарей спостерігається двозначна річна дефляція, і виробництво електроенергії на основі вугілля все в більшій мірі не може конкурувати. Перехід від вугілля відбувається швидше, ніж прогнозувалось [5].

Стан вугільної теплоенергетики в Європейському Союзі. У 2019 р. в Європейському Союзі відбулось безпрецедентне скорочення виробництва електроенергії на вугільних електростанціях – на 23%. Це пов'язано зі збільшенням вітрової і сонячної генерації, а також із переходом з вугілля на газ. У всіх західноєвропейських країнах у 2019 р. спостерігалось значне зниження використання вугілля – з 22% у річному численні в Німеччині (як кам'яного вугілля, так і лігніту) до 79% в Ірландії. Скорочення в країнах Центральної та Східної Європи було набагато менше через незначне впровадження ВДЕ і обмежену потужність, що працює на газі. З 17000 МВт на відновлювальних джерелах енергії, отриманих в Європі в 2019 р., на частку Польщі припадає лише 39 МВт, Чехії – 26 МВт, Румунії – 5 МВт і Болгарії – 3 МВт [5].

Німеччина, Австрія, Португалія, Італія, Фінляндія, Швеція, Франція, Велика Британія взяли курс на відмову від вугільних ТЕС через розвиток чистої генерації з ВДЕ, а також збільшення потужності газових ТЕС [9]. У Великій Британії відновлювальна енергія все швидше нарощує частку в загальному обсязі: з 8% в 2011 р. до 37% в 2019 р. [6]. Бельгія протягом двох десятиліть планомірно скорочувала частку вугільних ТЕС переважно за рахунок будівництва газових електростанцій та приєдналася до країн ЄС, які зовсім не мають вугільних ТЕС. Це Норвегія, Ісландія, Кіпр, Латвія, Литва, Естонія, Люксембург і Мальта. У Бельгії та Австрії відмова від вугільної генерації була ініційована не урядами країн, а підприємствами енергетики через дію ринкових механізмів [9].

Разом з тим у деяких країнах Євросоюзу розвинута вуглевидобувна промисловість серйозно стримує рух до відмови від вугільної генерації, в тому числі і через небажані соціальні наслідки закриття підприємств. Така ситуація характерна для Болгарії, Румунії, Угорщини, Чехії, Греції, Польщі, Іспанії [9]. Незважаючи на наявність загальноєвропейських екологічних цілей, в ЄС немає єдності щодо відмови від вугільної енергетики, і вугілля продовжить грати важливу роль в енергетиці ряду європейських країн, але в довгостроковій перспективі частка вугілля у виробництві електроенергії буде істотно скорочуватись. За даними центру Carbon Tracker 79% вугільних електростанцій ЄС в 2019 р. працювали зі збитками. Конкуренція з боку сонячної та вітрової енергетики призводить до того, що фінансове становище вугільних електростанцій стає все гірше і гірше [7, 8]. Розглянемо ситуацію, що складається у двох країнах ЄС зі значною часткою вугільної генерації.

Польща найбільш залежить від вугілля у виробництві електроенергії серед країн ЄС. Загальна потужність польських ТЕС на кам'яному вугіллі становить 19,1 ГВт, а на бурому – 9,3 ГВт. Це майже три чверті генеруючих потужностей країни. Частка вугілля у виробництві електроенергії становить 86%. Польща має істотні запаси кам'яного та бурого вугілля і розвинену вугільну промисловість, в якій зайнято близько 100 тис. осіб. Очевидно, в найближчі десятиліття кам'яне і буре вугілля продовжать відігравати значну роль в енергобалансі країни. У даний час оновлюється парк ТЕС, 62% яких старіше 30 років. До кінця 2030 р. будуть виведені з експлуатації 12 ГВт старих потужностей. В «Енергетичній політиці Польщі до 2030 р.» планується модернізувати або побудувати вугільні енергоблоки загальною потужністю ~12 ГВт, компенсуючи вибуття старих потужностей [9].

Однак у зв'язку з різким зниженням вартості виробництва вітрової та сонячної електроенергії та зростаючою негативною реакцією громадськості на найбрудніші види генерації Польща змінює свою позицію щодо ВДЕ і розраховує на допомогу Європейського Союзу у фінансуванні перехідного періоду. Велика частина імпорту електроенергії в Польщі у 2019 р. припала на Швецію і Німеччину, де середні оптові ціни склали 175 злотих (44,7 дол. США) і 165 злотих за МВт·год, відповідно, порівняно з 229 злотими в Польщі. Якщо Польща буде далі виробляти більшу частину своєї електроенергії з вугілля, ціни будуть вищими, ніж у сусідніх країнах, які використовують більш екологічно чисті джерела енергії. Експерти Німеччини вважають, що поки структура польської енергетики відрізняється від тієї, що існує в сусідніх країнах, імпорту електроенергії в Польщу буде зростати [10–12]. Виробництво електроенергії на лігнітових і кам'яновугільних електростанціях найбільшої енергетичної корпорації Польщі PGE знизилось на 12 і 19%, відповідно, в першій половині 2019 р., посиляючись на збільшення імпорту [12].

Німеччина – одна з найбільших у світі країн-споживачів вугілля з розвинутою вугільною промисловістю – планує до 2038 р. закрити всі 84 вугільні електростанції із переходом на альтернативні джерела, щоб виконати свої зобов'язання в рамках Паризької угоди. У 2019 р. ВДЕ в Німеччині вже вийшли на перше місце, замінивши 80 вугільних ТЕС, що покривають 40% потреб в електриці. Для порівняння – частка енергії, виробленої на ВДЕ, у 2018 р. становила близько 40%, у 2017 р. дорівнювала тре-

тині, у 2016 р. – 29%, а у 2000 р. – 7% [13, 14]. Згідно з проектами уряду, 65% енергопостачання країни мають бути забезпечені за рахунок альтернативних джерел до 2030 р. та 80% до 2040 р. [15].

Ситуація з вугільними електростанціями свідчить, що Німеччина буде змушена не лише переходити на відновлювальні джерела енергії, але і використовувати більше газу та будувати нові газові станції. При тому виробництво електроенергії газовими ТЕС в Німеччині за останні 5 років скоротилося майже вдвічі (з 59,8 до 31,4 ТВт·год.). Зараз частка природного газу в німецькій електроенергетиці становить трохи більше 13%, але вона може подвоїтися [15]. Протягом більшої частини останнього десятиліття в Німеччині – найбільшій економіці Європи – спалювати вугілля було вигідніше, ніж газ, але така ситуація змінилась у 2019 р.

Вугільна енергетика в інших країнах світу. В 2019 р. в Південно-східній Азії виробництво електроенергії на вугіллі зросло на 10% за рахунок введення в експлуатацію нових вугільних електростанцій, будівництво яких розпочалося раніше. Цей регіон істотно залежить від імпортованого енергетичного вугілля, крім Індонезії, яка сама є його великим виробником. Найшвидше збільшення імпорту вугілля (удвічі) в 2019 р. відбулось у В'єтнамі. У звіті МЕА «Відновлювальні джерела енергії 2019 року» підкреслюється, що регіон відстає від інших країн у виробництві відновлювальної енергії, але є деякі ознаки того, що це змінюється. Наприклад, у В'єтнамі за останні 12 місяців загальна кількість сонячних панелей зросла в 10 разів [5].

Китай займає домінуючі позиції у використанні вугілля в енергетиці, яке в 2019 р. досягло рекордних 48,1% від загальносвітового показника. Китай є найбільшим у світі виробником, споживачем та імпортером вугілля. У Китаї розрив між зростанням виробництва електроенергії та збільшенням попиту заповнюється вугільною генерацією, і тоді залежність від вугілля виходить на перший план. У 2017–2018 рр. виробництво електроенергії на вугіллі виросло на 6,6% у річному численні. Але Китай для зниження викидів смогу та парникових газів має намір закрити у найближчий час 8,66 ГВт застарілої потужності, що працює на вугіллі (блоки потужністю менше 50 МВт). Китай планує змусити більшість своїх вугільних електростанцій встановити технологію наднизьких викидів в атмосферу. Скорочення виробництва електроенергії на вугіллі в Китаї, незважаючи на продовження будівництва нових блоків, призвело до зниження коефіцієнта

використання встановленої потужності вугільних електростанцій до рекордно низького рівня в 48,6%. Це четвертий рік поспіль, коли середній показник по країні був нижче 50%, а також нижче середнього світового рівня – 54% [5]. Проте, хоча Китай скоротив частку вугілля в загальній структурі енергоспоживання з 68% в 2012 р. до 59% в 2018 р., загальне споживання продовжувало зростати, і у 2019 р. у Китаї все ще було більше 200 ГВт нових потужностей, що працюють на вугіллі [16].

Разом з тим за даними ІЕЕФА Китай продовжує інвестувати у будівництво вугільних електростанцій у 23 країнах. Країни з найбільшою потужністю вугільної генерації, підтримуваної китайськими фінансами, – це Бангладеш, а також В'єтнам, Південна Африка, Пакистан та Індонезія. Разом із тим у 2019 р. в Китаї були укладені перші контракти на вітрові та сонячні електростанції, які виробляють електроенергію за тією ж ціною, що і вугільні, і будуть введені в експлуатацію найближчим часом [5].

В *Індії* в 2018 р. дозвіл на будівництво нових вугільних електростанцій досяг рекордно низького рівня. Виробництво електроенергії на вугіллі в 2019 р. впало до найнижчого рівня з 2014 р. Коефіцієнт використання потужності теплових вугільних електростанцій в Індії складає 58%. Вугільні ТЕС стикаються зі зростаючою конкуренцією з боку ВДЕ, і 20 ГВт потужності на вугіллі є наполовину побудованими і бездіяльними.

Індія успішно трансформує свою систему електропостачання, переходячи від дорогих імпортованих вугілля і газу до все більшої частки вітчизняної, більш дешевої вітрової, сонячної та гідроенергії. Тариф на сонячну і вітрову енергію складає 35 цент США/кВт·год, що на 20% нижче вартості вітчизняної вугільної енергії та вдвічі менше вартості нової імпортованої теплової енергії. Індія потребує швидкого прискорення інвестицій у свої електроенергетичні потужності і особливо в будівництво станцій на ВДЕ. Такі плани ставлять Індію на третє місце в світі по впровадженню відновлювальних джерел енергії за Китаєм і США.

Імпорт енергетичного вугілля у *Південну Корею* в 2019 р. порівняно з 2018 р. знизився на 10%. За даними МЕА виробництво електроенергії на вугіллі зменшилось за цей період на 9,8%, що є рекордним скороченням використання вугілля. У 2018 р. Південна Корея була четвертою країною-імпортером вугілля в світі після Китаю, Індії та Японії, але уряд запропонував збільшити використання ВДЕ в країні до 20–35% до 2040 р. (порівняно з 8% в 2019 р.) [5].

У *Сполучених Штатах Америки* в 2019 р. потужність вугільних електростанцій знизилась на 13,9% порівняно з 2018 р., а використання вугілля у виробництві електроенергії зменшилось на рекордні 13,0%. Країна знаходиться на шляху до найбільших щорічних скорочень виробництва електроенергії на вугіллі: у 2019 р. закрито вугільні станції загальною потужністю 14,0 ГВт [5].

За даними IEEFA позитивні наслідки від якнайшвидшого закриття вугільних електростанцій виявлено в семи з десяти розглянутих сценаріїв розвитку. Поточні витрати на виробництво електроенергії чотирма вугільними електростанціями компанії PacificCorp становлять трохи більше 85 дол./МВт·год, в той час як її виробництво з ВДЕ коштуватиме близько 70 дол./МВт·год, якщо енергопостачальна компанія буде сама будувати і експлуатувати сонячні електростанції. На 45 вугільних блоках дев'яти штатів США річні коефіцієнти використання потужності в 2018 р. були менше 25%, тобто вони покривали не базову, а пікову частину графіка виробництва електроенергії. Це створює велике навантаження на устаткування і, як правило, призводить до більш високих експлуатаційних витрат [7, 8]. За оцінками IEEFA на кінець 2020 р. ще 8,5 ГВт вугільної генерації буде зупинене [17].

Ринкова вартість вугільних електростанцій швидко спадає. Так, на початку 2019 р. найбільша приватна вугільна компанія в світі Peabody Energy мала загальну ринкову вартість 3,6 мільярда доларів, а в кінці року вона вже коштувала менше мільярда [17]. За даними дослідницької компанії Morgan Stanley & Co. в США виробництво електроенергії на вугіллі скоротиться з 27% від загального енергоспоживання в 2018 р. до всього 8% у 2030 р., тоді як частка ВДЕ зросте від 9 до 30% [18].

Світові перспективи вугільної теплової генерації. Незважаючи на те, що МЕА прогнозувало зростання попиту на енергетичне вугілля навіть після 2030 р., глобальне виробництво електроенергії на вугіллі знижується і досягло рекордного мінімуму в 2019 р. Хоча світ додає нові електростанції на вугіллі, їх середній коефіцієнт використання знижується. Після піку в 62% у 2011 р. вугільні електростанції в 2019 р. працювали в середньому тільки 54% часу. Вугільна інфраструктура багатьох країн старіє і втрачає гнучкість. Майбутнє вугільної генерації в світі обмежено. Відновлювальні джерела енергії стають все більш дешевими. Світова електрогенерація зараз знаходиться на стадії фундаментальних змін, які набирають обертів і, ймовірно, прискоряться, особливо у

зв'язку з досягненнями в області накопичення енергії [5]. Вже зараз сучасні системи зберігання енергії (energy storage) встановлюються на об'єктах ВДЕ [19].

За даними Інституту енергетичних досліджень Рокі Маунтін (RMI), США, глобальний енергетичний перехід відбувається швидше, ніж передбачали моделі, завдяки величезним інвестиціям у розроблення передових акумуляторних технологій. Витрати на зберігання енергії в світі знижуються швидше, ніж очікувалося. За підрахунками RMI попередні і заплановані інвестиції на період до 2023 р. складуть 150 млрд доларів. Тільки в першій половині 2019 р. венчурні компанії внесли 1,4 млрд доларів у підприємства, що займаються технологіями зберігання енергії. У RMI відзначають, що такі зміни можуть позначитися на станціях на природному газі, які не зможуть конкурувати з відновлювальними джерелами енергії з системами зберігання. В даний час активно розвиваються дослідження щодо систем зберігання енергії в США, Китаї, Європейському Союзі та Індії. Вже зараз Китай домінує на ринку електромобілів і сонячних фотоелектричних технологій завдяки більш раннім, великим і послідовним інвестиціям.

Можливий вплив на стан теплової енергетики України. Наведений вище аналіз фактичних тенденцій розвитку теплової енергетики показує швидкі темпи закриття вугільних ТЕС. Цей тренд скоріш за все буде впливати і на стан теплової енергетики України. Як у всьому світі, на обсяги вугільної генерації країни буде впливати низка факторів:

- аргументи щодо залежності від видобування вітчизняного вугілля і соціальний фактор. В Україні, як і в ряді країн, значно залежних від вугілля, перспективи розвитку вугільної теплової енергетики дуже неясні. Зараз в Україні обговорюються варіанти розвитку, коли одночасно із впровадженням ВДЕ теплові електростанції будуть працювати «до повної амортизації»;

- вимоги цілей екологічної політики ЄС щодо зниження викидів CO₂ та забруднюючих речовин;

- врахування теплової генерації для централізованого тепlopостачання міст. Впровадження електростанцій на ВДЕ не вирішує проблему централізованого тепlopостачання;

- фактор маневреності. Найбільш перспективним для покриття пікових навантажень є використання сучасних парогазових і газотурбінних установок;

- терміни будівництва. Будівництво атомної станції займає 10–20 років і вимагає величезно-

го державного капіталу. Не менше 4–5 років необхідно, щоб побудувати новий тепловий енергоблок, а будівництво установок на ВДЕ вимагає не більше ніж 2 років;

- фінансові витрати;
- конкурентоспроможність електрогенерації з урахуванням вартості імпортової електроенергії;

- пріоритетний напрямок розвитку відновлювальних джерел енергії з системами її зберігання (не відстаючи від всесвітнього тренду).

Враховуючи необхідність виконання Україною як членом Енергетичного Співтовариства зобов'язань щодо обмежень викидів забруднюючих речовин у повітря, що відображено у Національному плані скорочення викидів від великих спалювальних установок, цілей екологічної політики щодо зниження викидів CO₂ та можливі штрафні санкції у вигляді вирівнюючого податку на продукцію, що виробляється за екологічно брудними технологіями, перспективи розвитку теплової енергетики в Україні можна пов'язати з напрямками ВДЕ і газовими технологіями.

Роботу виконано за напрямом «Підтримка пріоритетних для держави наукових досліджень і науково-технічних (експериментальних) розробок» бюджетної програми КПКВ 6541230.

1. Любимова Н.Г., Линник Ю.Н. Конкурентоспособность угольной генерации в России. *Уголь*. 2019. № 5. С. 34—37.

2. Обух В. 30 млрд доларів: щоб українські ТЕС були такі, як європейські. URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/2593914-30-mlrd-dolariv-sob-ukrainski-tes-buli-taki-ak-evropejski.html> (дата звернення: 11.04.2020).

3. Стоимость энергии украинских ТЭС оказалась одной из самых высоких в мире — исследование. URL: <https://hromadske.ua/ru/posts/stoymost-enerhyu-ukraynskykh-tes-okazalas-odnoi-yz-samykh-vysokykh-v-myre-yssledovanye> (дата звернення: 12.04.2020).

4. Копчинський Г., Шендерович В., Штейнберг М. Як в електроенергетиці України нарешті перейти від виживання до розвитку. URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/2461714-ak-v-elektroenergetici-ukraini-naresti-perejti-vid-vizivanna-do-rozvitku.html> (дата звернення: 07.04.2020).

5. Buckley T. IEEFA update: Global coal power set for record fall in 2019. URL: <https://ieefa.org/ieefa-update-global-coal-power-set-for-record-fall-in-2019/> (дата звернення: 23.04.2020).

6. Вуд Х. Зеленая энергетика и сила людей. *The Economist. The World in 2020*. С. 130.

7. Wamsted D. IEEFA U.S.: PacifiCorp's transition to renewables and battery storage sets a new industry pace. URL: [http://ieefa.org/ieefa-u-s-pacificcorps-transition-](http://ieefa.org/ieefa-u-s-pacificcorps-transition-to-renewables-and-battery-storage-sets-a-new-industry-pace/)

[to-renewables-and-battery-storage-sets-a-new-industry-pace/](http://ieefa.org/ieefa-u-s-pacificcorps-transition-to-renewables-and-battery-storage-sets-a-new-industry-pace/) (дата звернення: 23.04.2020).

8. Солнечные электростанции в сочетании с системами хранения электроэнергии расшатывают экономику американских угольных электростанций. URL: https://elektrovesti.net/65830_solnechnye-elektrostantsii-v-sochetanii-s-sistemami-khraneniya-elektroenergii-rasshatyvayut-ekonomiku-amerikanskikh-ugolnykh-elektrostantsiy (дата звернення: 04.05.2020).

9. Зимаков А.В. Есть ли будущее для угольных ТЭС в Европе? *Вестник МГИМО-Университета*. 2017. 5(56). С. 130—150 DOI 10.24833/2071-8160-2017-5-56-130-150

10. High prices for coal power, dirty air spark growing support for renewable energy in Poland. URL: <http://ieefa.org/high-prices-for-coal-power-dirty-air-spark-growing-support-for-renewable-energy-in-poland/> (дата звернення: 16.04.2020).

11. Martewicz M., Mathis W. Poland's Backing Wind Power in the Heart of Coal Country. URL: https://www.bloomberg.com/news/articles/2019-10-11/poland-backing-wind-in-heart-of-coal-country-shows-power-dilemma?utm_source=google&utm_medium=bd&cmpId=google (дата звернення: 16.04.2020).

12. Barteczko A. Poland's cleaner power imports pile pressure on coal energy. URL: <https://www.reuters.com/article/us-poland-energy-imports/polands-cleaner-power-imports-pile-pressure-on-coal-energy-idUSKBN1WP256> (дата звернення: 18.04.2020).

13. Германия закроет все угольные электростанции к 2038 году. URL: <https://focus.ua/technologies/419010-germaniya-zakroet-vse-ugolnye-elektrostantsii-k-2038-godu> (дата звернення: 03.05.2020).

14. Німеччина закряє усі свої 84 вугільні електростанції. URL: <https://mind.ua/ru/news/20203333-germaniya-zakroet-vse-svoi-84-ugolnye-elektrostantsii> (дата звернення: 03.05.2020).

15. Танасійчук О. Перехід від «брудної енергетики» до «зеленої». Як це робить Німеччина. URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/2706976-perehid-vid-brudnoi-energetiki-do-zelenoi-ak-ce-robot-nimesscina.html> (дата звернення: 10.05.2020).

16. China to shutter 8.7 GW of coal capacity by year's end. URL: <http://ieefa.org/china-to-shutter-8-7gw-of-coal-capacity-by-years-end/> (дата звернення: 20.04.2020).

17. Feaster S., Williams-Derry C. IEEFA U.S.: The coal rebound that didn't happen. URL: <https://ieefa.org/ieefa-u-s-the-coal-rebound-that-didnt-happen/> (дата звернення: 28.04.2020).

18. Sweeney D. Morgan Stanley analysis sees coals share of U.S. electric generation dropping to 8% by 2030. URL: <https://ieefa.org/morgan-stanley-analysis-sees-coals-share-of-u-s-electric-generation-dropping-to-8-by-2030/> (дата звернення: 10.05.2020).

19. Прогресс ВИЭ в Украине – разумные инвестиции и модернизация сетей. *Украина електро*. 2019. № 4(18).

Надійшла до редколегії: 15.05.2020