

DOI: 10.46340/eujem.2020.6.6.4

**Iryna Doronina, PhD in Economics**

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7032-644X>

*Kyiv National Economic University named after Vadym Hetman, Ukraine*

**Nataliia Kryshtof, PhD in Public Administration**

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2647-8996>

*National Academy for Public Administration under the President of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

**Svitlana Moskalenko, PhD in Public Administration**

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5017-0230>

*National Academy for Public Administration under the President of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

## **GREEN-COAL PARADOX IN UKRAINE AND IN THE WORLD AS A CHALLENGE FOR STATE REGULATION IN THE ENERGY INDUSTRY**

**Ірина Дороніна, кандидат економічних наук**

*Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана, Україна*

**Наталія Криштоф, кандидат наук з державного управління**

**Світлана Москаленко, кандидат наук з державного управління,**  
*Національна академія державного управління при Президентові України, Київ, Україна*

## **ЗЕЛЕНО-ВУГІЛЬНИЙ ПАРАДОКС В УКРАЇНІ ТА СВІТІ ЯК ВИКЛИК ДЛЯ ДЕРЖАВНОГО РЕГУЛЮВАННЯ В ЕНЕРГЕТИЧНОМУ СЕКТОРІ**

Based on the example of Ukraine, the article proves the existence of the modern paradox of “green” energy and the need for a comprehensive government policy for balanced development of the renewable energy sector.

Climate change mitigation policies (focusing primarily on the energy sector) are designed to provide additional benefits for sustainable development, such as reducing energy poverty and implementing the principle of energy justice, which attracts the attention of scientists and politicians.

However, measures to mitigate climate change have the opposite effect in the context of increasing the use of renewable energy: due to the growing share of solar and wind energy in Ukraine, the dependence on heat generation to balance the energy system is also increasing.

The aim of the article is to analyze the economic, technical and managerial challenges of the outlined paradox as a consequence of unbalanced state regulation based on the example of Ukraine and to develop proposals for sustainable development of renewable energy in a cost-effective manner, considering the balance of interests of the state, producers of electricity from alternative energy sources, consumers of electricity and other market players.

We argue that the green-coal paradox will gradually lose its relevance with more consistent and systematic action by the Ukrainian government towards balanced development and the political will to actualize the previously announced promises of reforms in the energy sector.

**Key words:** renewable energy, electricity consumption, fossil fuel dependency, government regulation of the energy sector, climate change mitigation.

## 1. Вступ

Застосування енергетичних поставок як геополітичного інструменту, непрогнозованість цін на енергетичну сировину, негативні екологічні наслідки від її використання зумовили «зелений» вектор розвитку національних енергетичних систем країн світу. При цьому значна увага приділяється розвитку відновлюваної енергетики, яка, на відміну від традиційних енергетичних ресурсів, характеризується невичерпністю, доступністю та меншою екологічною шкодою. Тож питання екологічності розвитку, зменшення викидів CO<sub>2</sub> є пріоритетними в розвинених зарубіжних країнах.

Щороку інвестиції в галузь відновлюваної енергетики зростають і, за умови зваженої державної політики підтримки виробників «зеленої» енергії, поступово перетворюються із високо ризикованих капіталовкладень у надійне джерело прибутку. Підтримуючи енергетичну безпеку країни і виступаючи рентабельним об'єктом для інвестування, «зелена» енергетика може сприяти гармонійному поєднанню публічних і приватних інтересів.

*Постановка проблеми.* Перехід країн до низьковуглецевого розвитку та прогресивні очікування від заміщення викопного палива відновлюваними джерелами енергії (ВДЕ) у системі виробництва електроенергії наразі ще не демонструє бажаного ефекту, що повинен зменшити викиди CO<sub>2</sub>. Метою статті є аналіз економічних, технічних і управлінських викликів окресленого парадоксу як наслідку незбалансованого державного регулювання на прикладі України та напрацювання пропозицій щодо сталого розвитку відновлюваної енергетики.

## 2. Використання відновлюваних джерел енергії та викиди вуглекислого газу

Зростання населення стимулює попит на електроенергію, зокрема, за прогнозами IRENA<sup>1</sup> попит збільшуватиметься у країнах, що розвиваються. Внаслідок вищого попиту на енергію в 2018 році глобальні викиди CO<sub>2</sub>, пов'язані з енергетикою, зросли на 1,7% та досягли історичного максимуму в 33,1 Гт CO<sub>2</sub>. У той час, як викиди від усіх викопних видів палива зростали, на енергетичний сектор припадало майже дві третини їх приросту. На Китай, Індію та США припадало 85% чистого приросту викидів, тоді як викиди зменшились у Німеччині, Японії, Мексиці, Франції та Великобританії. Таким чином, стає зрозумілим, на досвід яких країн варто орієнтуватися при вдосконаленні вітчизняної практики державного регулювання цієї сфери.

Важливим є те, що вперше МЕА оцінило вплив використання викопного палива на підвищення глобальної температури. Було виявлено, що CO<sub>2</sub>, що виділяється при спалюванні вугілля, відповідає за понад 0,3°C із збільшення на 1°C загальносвітової середньорічної температури поверхні понад доіндустріальні рівні. Зазначене підтверджує той факт, що вугілля є найбільшим джерелом підвищення глобальної температури. Експерти МЕА зазначають, що без переходу на низьковуглецеві джерела енергії в 2018 році приріст викидів був би на 50% вищим<sup>2</sup>.

У Стратегії розвитку світової енергетики передбачено, що у 2040 році 50% електроенергії вироблятиметься за рахунок використання ВДЕ та альтернативних видів палива, а наприкінці XXI століття частка такої електроенергії, може перевищити 85 %<sup>3</sup>.

Електроенергія є головним рушієм економічного зростання і, звичайно, важливим є досягнення поставлених стратегічних цілей щодо збільшення частки ВДЕ у електроенергетичній системі кожної країни. Науковці<sup>4</sup> та аналітики міжнародних організацій<sup>5</sup> вказують на те, що трансформація енергетичної системи у напрямку зростаючого використання відновлюваної енергії поряд з енергоефективністю сприятиме досягненню цілей сталого розвитку та стримуватиме негативні зміни клімату. Диверсифікація джерел електроенергії була запропонована, зокрема, і країнами ЄС.

<sup>1</sup> IRENA (2018). *Global Energy Transformation: A roadmap to 2050* <[http://energytransition.in.ua/wp-content/uploads/2018/12/IRENA\\_Report\\_GET\\_2018.pdf](http://energytransition.in.ua/wp-content/uploads/2018/12/IRENA_Report_GET_2018.pdf)> (2020, листопад, 12).

<sup>2</sup> IEA (2019). *Global Energy & CO<sub>2</sub> Status Report. The latest trends in energy and emissions in 2018* <<https://www.iea.org/reports/global-energy-co2-status-report-2019/emissions>> (2020, листопад, 12).

<sup>3</sup> Fuel Cells and Hydrogen (2019). *Hydrogen Roadmap Europe: A sustainable pathway for the European Energy Transition* <[https://www.fch.europa.eu/sites/default/files/Hydrogen%20Roadmap%20Europe\\_Report.pdf](https://www.fch.europa.eu/sites/default/files/Hydrogen%20Roadmap%20Europe_Report.pdf)> (2020, листопад, 12).

<sup>4</sup> Zorina, T. G. (2015). Sustainable development of energy: the essence and methodological approaches to assessment. *Modern management technologies. January, 1* (49). <<http://sovman.ru/article/4905/>> (2020, листопад, 12);

Denisyuk, S. P., Targonsky, V. A. (2017). Sustainable development of Ukraine's energy in the world dimensions. *Energy: economics, technology, ecology, 3*, 7-31.

<sup>5</sup> IRENA, IEA, REN21 (2018). *Renewable Energy Policies in a Time of Transition* <[https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Apr/IRENA\\_IEA\\_REN21\\_Policies\\_2018.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Apr/IRENA_IEA_REN21_Policies_2018.pdf)> (2020, листопад, 12).

Відповідні Директиви ЄС<sup>1</sup> стимулюють як країни ЄС, так і країн сусідів, зокрема Україну, визначати цілі щодо включення відновлюваної енергетики у енергетичний баланс. До 2050 року планується довести частку відновлюваних джерел енергії та альтернативних видів палива в загальному паливно-енергетичному балансі Євросоюзу до 50%. В Україні прогнозована частка ВДЕ в енергетичному балансі у 2035 році повинна становити 25%<sup>2</sup>.

Переваги виробництва відновлюваної енергії сприймаються в усьому світі як належне. Однак очікувані вигоди від збільшення використання ВДЕ, такі як зменшення викидів вуглекислого газу (CO<sub>2</sub>), енергетична безпека та доступність енергії на даний час не є достатньо проявленими. Як зазначено у дослідженнях<sup>3</sup>, із збільшенням ВДЕ очікуваної тенденції до зменшення встановленої потужності виробництва електроенергії з викопного палива все ще не виявлено. Досліджуваний парадокс енергетичного переходу полягає у низьких граничних витратах на нові відновлювані джерела енергії та низьких інвестиціях у гнучкість генерації відновлюваної енергії, які є необхідними для гармонійного розширення.

На даний час використання ВДЕ: по-перше, вимагає диспетчеризації та механічності за інерцією, по-друге, вони мають дуже низький граничний випуск<sup>4</sup>. Дослідники пропонують використовувати системи накопичення енергії для забезпечення стабільності енергетичних мереж, а також баланс попиту та пропозиції у будь-який час.

Отже, потрібно враховувати пропускну спроможність та надлишкову потужність традиційної енергетики. Так як у більшості країн ВДЕ мають пріоритетне відправлення до мережі та гарантовані ціни за довгостроковими контрактами, що надаються тарифами на подачу то для виробників ВДЕ, наприклад, відсутність попиту чи невизначеність попиту не викликає проблем. Однак проблеми з'являються із забезпечення операційної безпеки енергетичної системи, а саме з маневруючою спроможністю. Результати дослідження<sup>5</sup> показали, що у ЄС внутрішні системи виробництва електроенергії все ще включають значну частку викопного палива і передбачають неефективність розподілу ресурсів. У міру збільшення розміщення об'єктів ВДЕ потужність «простою» ВДЕ збільшується пропорційно. Енергія з відновлюваних джерел надходить нестабільно та вимагає резервних потужностей, що забезпечуються традиційною енергетикою. Електрифікація житла, промисловості та сфери послуг, піки споживання потребують викопного палива, оскільки ВДЕ не можуть їх задовольнити, не вдаючись до його використання. У дослідженні<sup>6</sup> автори визначають, що гідроенергетика, транскордонні ринки та станції природного газу, як найменш забруднююче викопне паливо, відіграватимуть фундаментальну роль у пристосуванні виробництва ВДЕ до постачання електроенергії. І це, на нашу думку, має враховуватися при розробці відповідних урядових рішень щодо розвитку зеленої енергетики, зменшення енергетичної бідності та впровадження принципу енергетичної справедливості.

Вчені виокремлюють парадокс енергоефективності<sup>7</sup>, надаючи доводи, що такі заходи, як ремонт житлових будинків або встановлення мікротехнологій виробництва енергії на основі відновлюваних

<sup>1</sup> Official Journal of the European Union (2009). *Directive (EU) 2009/28/ec of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources* <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009L0028&from=EN>> (2020, листопад, 12); Official Journal of the European Union (2018). *Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the promotion of the use of energy from renewable sources. Official Journal of the European Union* <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1589971037671&uri=CELEX:32018L2001>> (2020, листопад, 12).

<sup>2</sup> *Розпорядження Енергетична стратегія України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність»*, 2017 (Кабінет Міністрів України). *Офіційний сайт Верховної Ради України* <<https://zakon.rada.gov.ua/laws/file/text/58/f469391n10.pdf>> (2020, листопад, 12).

<sup>3</sup> Marques A, Fuinhas J., Pereira D. (2018). Have fossil fuels been substituted by renewables? An empirical assessment for 10 European countries. *Energy Policy*, 116, 257-265. <[www.elsevier.com/locate/enpol](http://www.elsevier.com/locate/enpol)> (2020, листопад, 12).

<sup>4</sup> Pagnier L., Jacquoda P. (2018). How fast can one overcome the paradox of the energy transition? A predictive physico-economic model for the European power grid. *Published in Energy*, 157, 550-560.

<sup>5</sup> Aguirre, M., Ibikunle, G. (2014) Determinants of renewable energy growth: a global sample analysis. *Energy Policy* 69, 374-384. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2014.02.036>.

<sup>6</sup> Marques A, Fuinhas J., Pereira D. (2018). Have fossil fuels been substituted by renewables? An empirical assessment for 10 European countries. *Energy Policy*, 116, 257-265. <[www.elsevier.com/locate/enpol](http://www.elsevier.com/locate/enpol)> (2020, листопад, 12).

<sup>7</sup> Streimikiene, D., Lekavičius, V., Baležentis, T. And others (2020). Climate Change Mitigation Policies Targeting Households and Addressing Energy Poverty in European Union. *Energies* 2020, 13, 3389.

джерел енергії не реалізували повну економію енергії та потенціал зменшення викидів парникових газів через поведінкові бар'єри енергетично бідних домогосподарств. Наголошується на тому, що необхідно сформулювати політику щодо пом'якшення наслідків зміни клімату у руслі сприяння освіти споживачів, допомоги домогосподарствам у прийнятті правильних рішень, створюючи ініціативи щодо поліпшення якості будинків, економії енергії та, в свою чергу, зменшення енергетичної бідності. Вказується на два основні підходи: стимулювання та підштовхування, які можуть усунути важливі поведінкові бар'єри для пом'якшення змін клімату.

Згідно вимог нового європейського енергетичного пакету «Clean Energy for All Europeans»<sup>1</sup> передбачено скасування після 2020 р. правила першочергового підключення об'єктів «зеленої» генерації до електромереж, а також визначено необхідність вирішення питання щодо забезпечення маневрування пікового споживання, яке зараз здійснюється за рахунок ТЕС. Враховуючи напрямок реформування вугільної галузі, поступове закриття шахт, все більша увага приділяється новим технологіям, які здатні накопичувати та видавати у потрібний момент необхідну енергію.

Досягнення енергетичної перебудови в ЄС потребуватиме масштабного використання водневих технологій, адже без них неможливо досягти означеної мети по декарбонізації<sup>2</sup>. На даний час у світі все більше використовується водень як енергоносіє майбутнього для вирішення важливих енергетичних та екологічних проблем. Його використання дає можливість створення як короткострокових, так і довгострокових міжсезонних запасів енергії в енергосистемах на основі відновлюваних джерел енергії.

### 3. Зелено-вугільний парадокс в Україні

В Україні сектор енергетики відповідає за дві третини парникових викидів, що спонукає уряд здійснювати відповідне державне регулювання: для стимулювання розвитку ВДЕ у 2009 році запроваджено «зелений» тариф, а з квітня 2020 року був запланований перехід на аукціонну модель, який, щоправда, відтермінували.

Проведений аналіз засвідчив, що розвиток відновлюваної енергетики в Україні формується під впливом загальносвітових тенденцій: перебудови паливно-енергетичного балансу, зміни світових центрів споживання вуглеводнів та енергії в цілому, безперервної хвилі технологічних проривів і нарощування частки ВДЕ в енергетичному секторі.

Зокрема, відповідно до Енергетичної стратегії<sup>3</sup>, передбачено зростання загального обсягу використання ВДЕ до 12% до 2025 року та до 25% до 2035 року, у тому числі для виробництва електроенергії. Завдяки законодавчому стимулюванню в Україні протягом 2010-2019 років спостерігалося стрімке зростання об'єктів відновлюваної енергетики. Так, за 2017 рік відбулось зростання встановлених потужностей на 30% (+0,3 ГВт), за 2018 рік – на 66% (+0,9 ГВт), та майже втричі впродовж 2019 року (+4,3 ГВт), а загальна потужність станом на І кв. 2020 року склала 7,6 ГВт. Частка ВДЕ в енергетичному балансі у 2019 р. зросла до 3,6% (для порівняння, у 2018 р. цей показник становив 1,7%). За останні п'ять років в цю сферу вклали 4,8 млрд євро, а сумарна потужність «зелених» електростанцій зросла в сім разів: з 967 МВт до 6,78 ГВт.

У межах стимулювання розвитку відновлюваної енергетики Україною було запроваджено низку державних механізмів. Так, «зелений» тариф формується для різних альтернативних джерел енергії (сонячних електростанцій (СЕС), вітроелектростанцій (ВЕС), малих гідроелектростанцій (МГЕС) тощо) та передбачає надбавку за використання обладнання українського виробництва. Станом на кінець І кварталу 2020 р. «зелені» тарифи застосовуються до 1290 промислових електроенергетичних підприємств, 76,8% яких працюють у галузі сонячної енергетики. Тарифи відрізняються залежно від виробника та типу альтернативного джерела енергії, дія «зелених» тарифів передбачена до кінця 2029 р.

<sup>1</sup> European Commission (2016). *Clean energy for all Europeans. Communication from the Commission. Brussels* <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX:52016DC0860>> (2020, листопад, 12).

<sup>2</sup> Fuel Cells and Hydrogen (2019). *Hydrogen Roadmap Europe: A sustainable pathway for the European Energy Transition* <[https://www.fch.europa.eu/sites/default/files/Hydrogen%20Roadmap%20Europe\\_Report.pdf](https://www.fch.europa.eu/sites/default/files/Hydrogen%20Roadmap%20Europe_Report.pdf)> (2020, листопад, 12).

<sup>3</sup> *Розпорядження Енергетична стратегія України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність»*, 2017 (Кабінет Міністрів України). *Офіційний сайт Верховної Ради України* <<https://zakon.rada.gov.ua/laws/file/text/58/f469391n10.pdf>> (2020, листопад, 12).

У липні 2020 р. на законодавчому рівні було встановлено понижувальні коефіцієнти при визначенні «зеленого» тарифу, через проблему підвищення витрат держави на покриття «зеленого» тарифу та збільшення частки ВДЕ із «зеленим» тарифом в енергобалансі.

На енергетичному ринку України діє державне підприємство «Гарантований покупець» (далі – ДП «Гарантований покупець»), яке зобов'язане здійснювати повну та гарантовану закупівлю електричної енергії у виробників, яким встановлено «зелений» тариф. Відшкодування вартості «зелених» тарифів ДП «Гарантований покупець» покладено на ПАТ «НЕК «Укренерго», проте коштів на зазначене відшкодування не вистачає. Борги за отриману «зелену» енергію держава зобов'язується погасити до кінця 2021 р.

Узагальнюючи наявні тенденції ринку відновлювальної енергетики в Україні, можна зробити висновок, що на подальші перспективи її розвитку істотний вплив має низка помилок вітчизняної «зеленої» енергополітики. Систематизація прорахунків щодо розвитку «зеленої» енергетики та їх впливу на подальший розвиток ВДЕ в Україні представлено у табл. 1.

Таблиця 1

**Систематизація прорахунків щодо розвитку «зеленої» енергетики та можливості зменшення їх впливу на подальший розвиток ВДЕ**

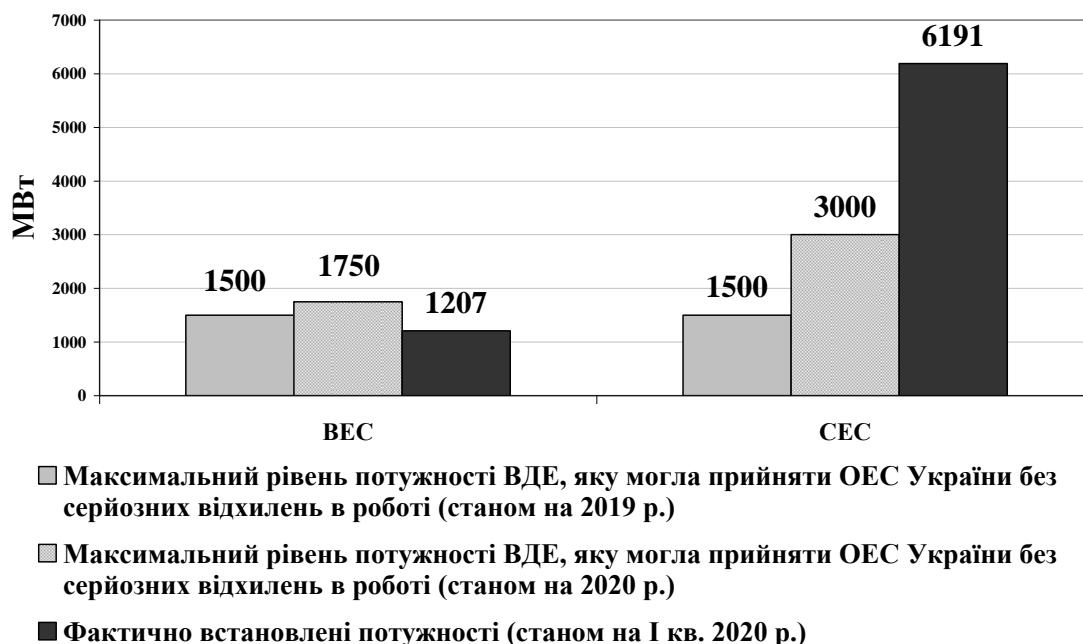
№ з/п	Прорахунки щодо розвитку «зеленої» енергетики	Характеристика	Шляхи подальшого розвитку ВДЕ
1	2	3	4
1	Помилки в економічному прогнозуванні	Прогнозна модель щодо збільшення частки ВДЕ у структурі вироблення електроенергії України до 11% до 2020 р. в умовах тотального профіциту генеруючих потужностей і спаду енергоспоживання виявилася хибною. У 2013-2019 рр. використання електроенергії в Україні знизилося з 147 млрд до 123 млрд кВт*год.	Без видимих перспектив нарощування споживчого попиту в майбутньому, в умовах профіциту потужності та економічної рецесії плани щодо форсованого розвитку ВДЕ мають бути переглянуті в бік їх зниження
2	Незбалансований розвиток енергосистеми	Структурна невідповідність вітчизняної енергосистеми для ефективної інтеграції запланованих «зелених» потужностей. Низька гнучкість української енергосистеми, наявність дефіциту маневрених потужностей 10% ще до початку будівництва ВДЕ. Нестабільне виробництво енергії ВЕС та СЕС та нарощування їх потужності посилює проблему нестачі маневрених потужностей та щорічне зростання їх дефіциту	Паралельний запуск маневрових енергетичних потужностей, використання систем накопичення енергії, формування класу просюмерів (активних споживачів)
3	Запізніле впровадження «зелених» аукціонів	Перехід від фіксованих «зелених» тарифів (FIT) до системи аукціонної торгівлі поновлюваними потужностями, яка дозволяє визначити реальну ринкову ціну ВДЕ і знизити тарифне навантаження на споживача, в Україні розпочато лише у 2020 р. Світова практика: у 2016 р. «зелені» аукціони діяли в 68 країнах світу	Активне впровадження «зелених» аукціонів в практику енергоринку України

Нові виклики у сфері вітчизняної енергетики стали предметом наукових досліджень для фахової спільноти. Ми поділяємо точку зору тих фахівців, які визначають фактори, що

безпосередньо впливають на роботу енергосистеми: слабка прогнозованість; нерівномірність навантаження СЕС і ВЕС<sup>1</sup>.

Згідно даних НЕК «Укренерго» визначено, що максимальним рівнем потужності вітрових та сонячних електростанцій, яку може прийняти Об'єднана енергетична система України без серйозних відхилень у роботі, є генерації ВЕС на рівні 1500 МВт та СЕС на рівні 1500 МВт. За таких умов система залишається збалансованою, а ВДЕ заміщує виробництво електроенергії ТЕС (теплових електростанцій) в обсязі 6 млрд кВт·год на рік. Згідно рекомендацій НЕК «Укренерго», для забезпечення зростання частки ВДЕ в енергобалансі, структура генерації має бути змінена<sup>2</sup>.

За результатами спільного дослідження, проведеного ПАТ «НЕК «Укренерго» разом з USAID та міжнародними експертами Tetra TechES і Mercados у 2018 р., зроблено прогноз, що до кінця 2020 р. ОЕС України зможе прийняти не більш як 4750 МВт, виробленої ВДЕ (з них 1750 МВт ВЕС та 3000 МВт СЕС) (рис. 1). Якщо енергосистемі буде потрібний резерв у 1000 МВт, його мали забезпечити десятки енергоблоків ТЕС. Такий сценарій розвитку отримав умовну назву «зелено-вугільний парадокс»<sup>3</sup>, коли різке зростання потужності «зеленої» енергетики призводило не до декарбонізації, а до збільшення вироблення електроенергії та вугільної генерації з усіма відповідними наслідками.



**Рис. 1. Співвідношення фактичної потужності СЕС та ВЕС із максимальним рівнем потужності ВДЕ, яку може прийняти ОЕС України без серйозних відхилень в роботі**

Джерело: розроблено авторами за матеріалами<sup>4</sup>

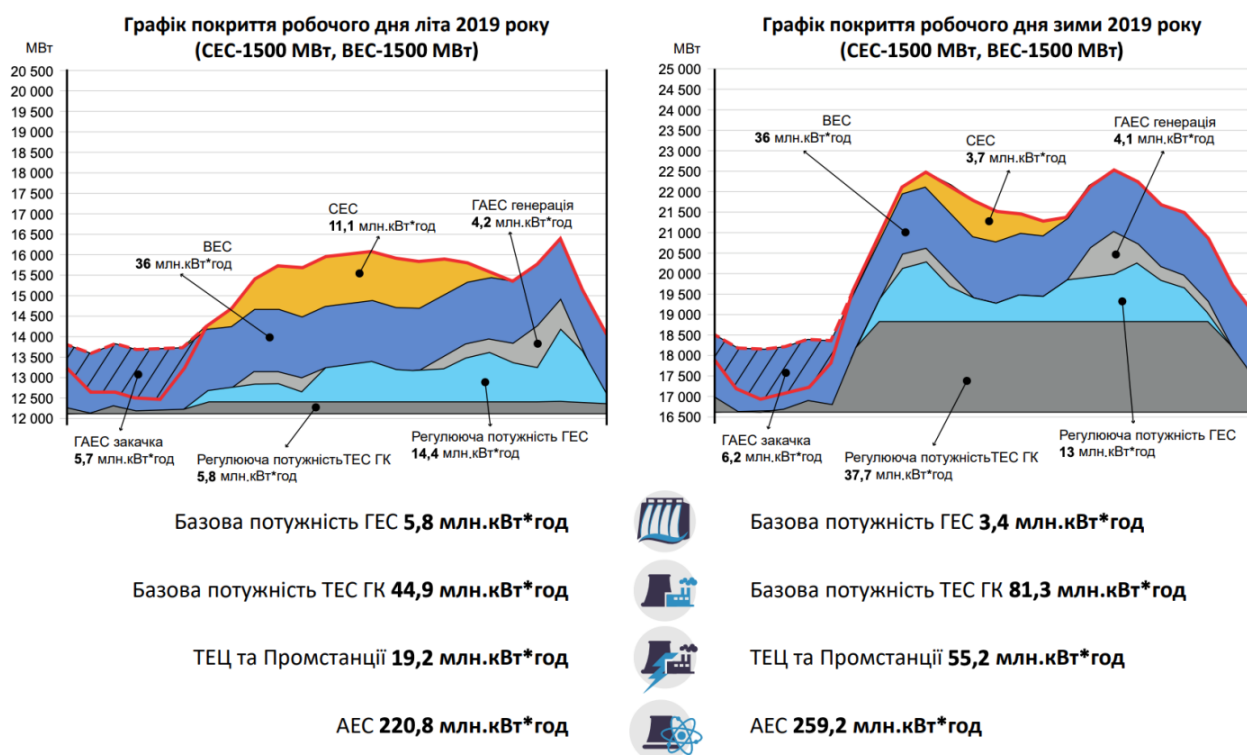
<sup>1</sup> Denisyuk, S. (2019) Energy transition – the requirements of qualitative changes in energy development. *Energy: economics, technology, ecology, 1*, 7-28; Denisyuk, S., Korotenko, I., Lilo, I. (2019). Formation of network infrastructure of intelligent electric power communities in Ukraine. *Energy: economy, technologies, ecology, 2*, 7-14.

<sup>2</sup> Ukrenergo (2019). *Involvement of solar and wind power plants to cover the load of UES of Ukraine. NEC Ukrenergo* <<https://ua.energy/wp-content/uploads/2018/04/Zaluchennya-VDE.pdf>> (2020, листопад, 12).

<sup>3</sup> Denisyuk, S. (2019). Energy transition – the requirements of qualitative changes in energy development. *Energy: economics, technology, ecology, 1*, 7-28; Ukrenergo (2019). *Involvement of solar and wind power plants to cover the load of UES of Ukraine. NEC Ukrenergo* <<https://ua.energy/wp-content/uploads/2018/04/Zaluchennya-VDE.pdf>> (2020, листопад, 12).

<sup>4</sup> Ukrenergo (2019). *Transmission system development plan for 2020-2029. NEC "Ukrenergo"* <<https://ua.energy/wp-content/uploads/2019/03/Plan-rozvytku-systemy-peredachi-20-29.pdf>> (2020, листопад, 12).

Станом на I кв. 2020 р. встановлені потужності СЕС склали 6191 МВт (з них 5576 МВт промислових СЕС та 618 МВт СЕС домогосподарств), потужності ВЕС дорівнювали 1207 МВт. Так як балансування ОЕС України забезпечувалось за рахунок ГЕС/ГАЕС та ТЕС ГК, відповідно подальше балансування без розвантаження АЕС стало неможливе. Тому зміна структури вітчизняної генерації за рахунок зменшення виробництва електроенергії з боку АЕС стала необхідною. Потужність генерації українських АЕС у травні 2020 року впала до найнижчого в історії показника – 7,41 тис МВт, що становить 53% від загальної потужності атомної енергетики України (13,84 тис МВт)<sup>1</sup>. На даний час в країні наявний дефіцит регулюючої, маневреної та резервної потужності.



**Рис. 2. Графік навантаження робочих днів, за умови коли ВДЕ більше 3000 МВт<sup>2</sup>**

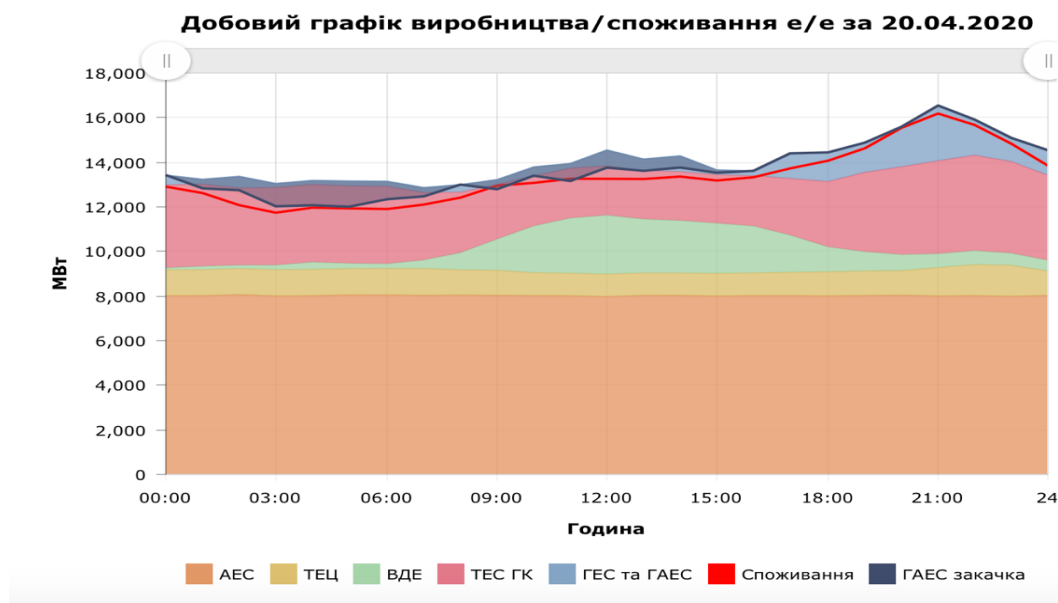
В Україні основні гравці ринку ВДЕ є власниками ТЕС, вугільних потужностей та обласних електростанцій<sup>3</sup>, тому для стимулювання заробітку було прив'язано балансування генерації з відновлюваних джерел енергії до вугільної. Нестійке надходження відновлюваної енергії (90% ВДЕ складають сонячні електростанції) створює дисбаланс в енергосистемі. Виникає потреба у своєчасному балансуванні іншим джерелом енергії. Оскільки енергетичний баланс складається з погодинного підрахунку, для доведення наявності зелено-вугільного парадоксу в Україні достатньо проаналізувати добовий графік виробництва та споживання електроенергії (рис. 3). У квітні на території України переважають середні температурні умови (теплі дні і прохолодні ночі; населення вмикає опалення та кондиціонери), найбільш яскраво зелено-вугільний парадокс простежувався 20 квітня 2020 року.

<sup>1</sup> UNIAN (2020). *Ukrainian NPPs have reduced energy generation to a historic low*. UNIAN news agency. May 2020 <<https://www.unian.ua/economics/energetics/ukrajinski-aes-skorotili-generaciyu-energiyi-do-istorichnogo-minimumu-novini-sogodni-10991822.html>> (2020, листопад, 12).

<sup>2</sup> Ukrenergo (2019). *Involvement of solar and wind power plants to cover the load of UES of Ukraine*. NEC Ukrenergo <<https://ua.energy/wp-content/uploads/2018/04/Zaluchennya-VDE.pdf>> (2020, листопад, 12).

<sup>3</sup> Zaika, B. (2020). *Kings of the "green" tariff: Top 10 largest investors in renewable energy in Ukraine and the largest beneficiaries of the "green" tariff*. LIGA.net <[https://project.liga.net/projects/greentarriff\\_kings/](https://project.liga.net/projects/greentarriff_kings/)> (2020, листопад, 12).

20.04.2020



**Рис. 3. Добовий графік виробництва та споживання електроенергії<sup>1</sup>**

Для підтримки заданої частоти струму та потужності в Об'єднаній енергетичній системі України використовується первинне, вторинне та третинне регулювання частоти та потужності<sup>2</sup>. Для аналізу не беруться розрахунки генерації атомних електростанцій (АЕС) та теплоелектроцентралей (ТЕЦ), тому що відпуск електричної енергії обмежений автоматичним регулюванням та здійснюється рівномірно, а тому не може розбалансувати енергетичну систему. Така генерація відноситься до базового рівня, коли балансувати немає потреби.

Нерівномірність споживання перекривається генерацією гідро- та гідроакумуючих електростанцій (ГЕС та ГАЕС). На графіку лінії споживання та лінії ГЕС і ГАЕС, а також ГАЕС закачка прямують в одному напрямку (Рис.3). Закономірність генерації ВДЕ і ТЕС із споживанням – відсутня. Для швидкого реагування на зростання навантаження (зростає споживання) використовуються ГЕС і ГАЕС та ГАЕС закачка, тобто відбувається маневрове балансування.

Погодинний аналіз добового графіку виробництва електроенергії показує, що при зростанні генерації з ВДЕ, генерація ТЕС зменшується та відповідно збільшується із спадом ВДЕ (рис. 4).

Виявляємо пропорційну закономірність зростання, та падіння, об'єму електричної генерації ТЕС відносно нестабільного відпуску ВДЕ до мережі в межах середньозважених добових значень (рис. 5).

За малих об'ємів генерації ВДЕ, спричинені нею перепади були невідчутні для загального енергетичного балансу та могли балансуватися генерацією гідро- та гідроакумуючих електростанцій. На даний час, встановлена потужність об'єктів ВДЕ являється значуща для енергетичного балансу, розміщена нерівномірно (асиметрично відповідно до карти попиту), не має власних маневрових потужностей та систем накопичення енергії, – це спричиняє суттєвий дисбаланс та вимагає децентралізованого та централізованого постійного балансування більш потужним об'єктом генерації якою і є генерація ТЕС. Отже, чим більше об'єктів ВДЕ, тим більшою є необхідність використання вуглецевих балансуєчих потужностей, що доводить закономірність та зелено-вугільний парадокс в Україні.

<sup>1</sup> Ukrenergo (2020). *Daily electricity generation / consumption schedule by 20.04.2020*

<<https://ua.energy/peredacha-i-dyspetcheryzatsiya/dyspetcherska-informatsiya/dobovyj-grafik-vyrobnytstva-spozhyvannya-e-e/>> (2020, листопад, 12).

<sup>2</sup> Fesiuk, O. (2015). Optimal load of power units for third step of regulation of their capacity. *Theory of optimal solutions*, 79-84. <<http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/112402/14-Fesyuk.pdf?sequence=1>> (2020, листопад, 12).

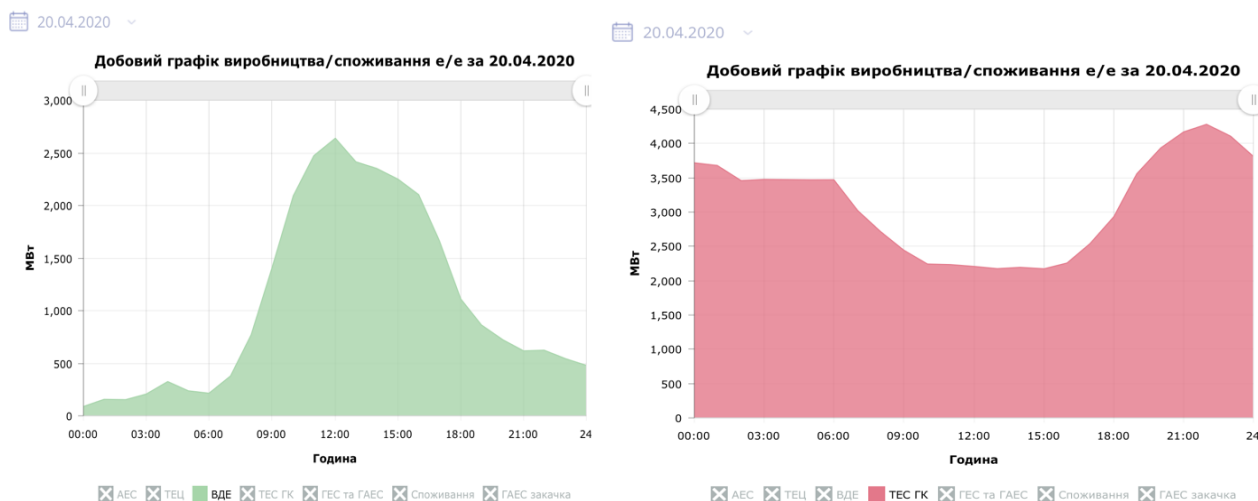


Рис. 4. Виробництво електроенергії ВДЕ та ТЕС ГК<sup>1</sup>

Балансуюча Закономірність генерації ВДЕ та ТЕС, в межах середньозваженого коридору генерації (МВт)

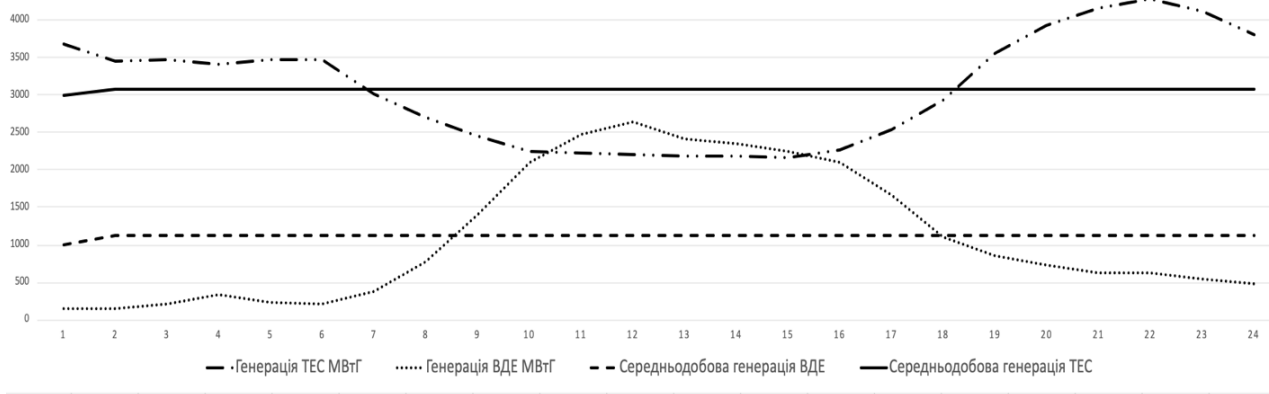


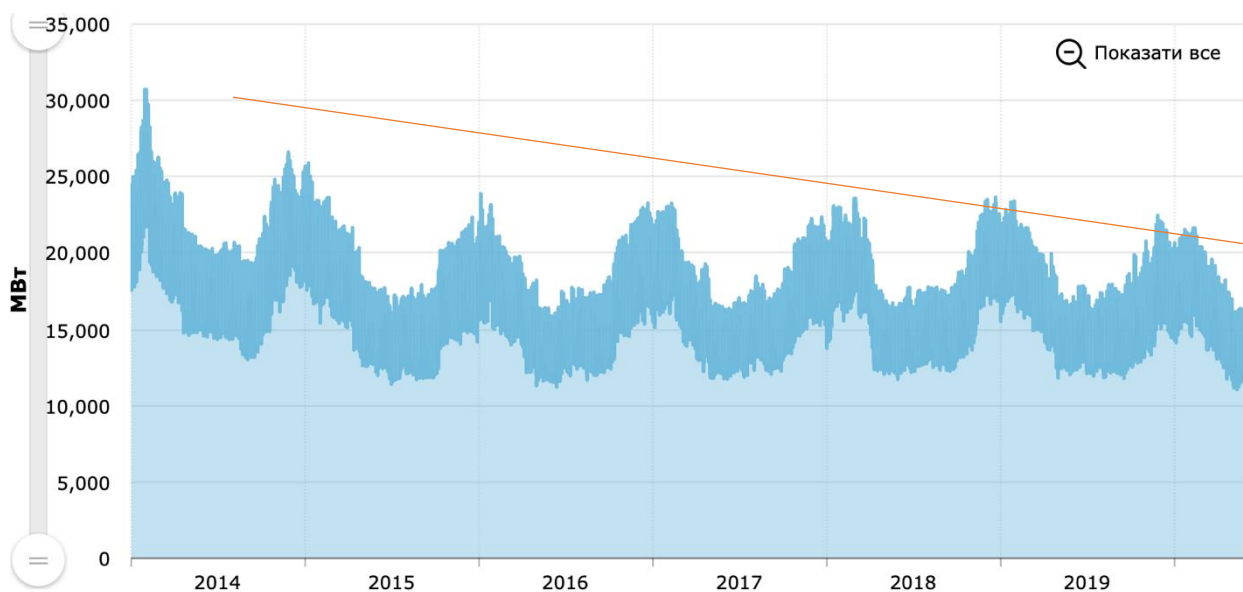
Рис. 5. Добовий графік балансуєчої закономірності генерації ВДЕ та ТЕС в Україні станом на 20 квітня 2020 року

Нерівномірність споживання балансується генерацією гідро- та гідроакмулюючих електростанцій, а енергія з вугілля, використання якої збільшує викиди CO<sub>2</sub>, балансує ріст та падіння генерації енергії з відновлюваних джерел.

Враховуючи тренд загального спаду споживання електричної енергії (рис. 6) в Україні, зростання незбалансованої ВДЕ та підвищення коефіцієнту пікових навантажень, відносно середнього статистичного споживання за добу приводить до кризових перепадів напруги та порушення в енергетичному балансі країни. Доводиться констатувати, що українська енергетична мережа є надзвичайно негнучкою, і ми вбачаємо в цьому зв'язок із проблемою енергетичної бідності та недотриманням принципу енергетичної справедливості.

Загальна встановлена потужність української енергетики складає більше 50 000 МВт при середньому споживанню 15 000 МВт на годину.

<sup>1</sup> Ukrenergo (2020). *Daily electricity generation / consumption schedule by 20.04.2020* <<https://ua.energy/peredacha-i-dyspetcheryzatsiya/dyspetcherska-informatsiya/dobovyj-grafik-vyrobnytstva-spozhyvannya-e-e/>> (2020, листопад, 12).



**Рис. 6. Тренд загального спаду споживання електричної енергії в Україні**

Згідно даних НЕК «Укренерго», більше ніж 70% відсотків мереж та інфраструктури ОЕС України потребують модернізації, а принципи та система роботи ОЕС не відповідає вимогам сучасного профілю споживання. Саме гнучкість та оновлення дизайну структури енергетики України є головною умовою до вступу ENTSO-E.

Ще однією проблемою є концентрація об'єктів ВДЕ в окремих областях України. Переважно це східні та південні області<sup>1</sup>. На даному етапі генерація ВДЕ не є обмеженою ні об'ємом встановленої потужності однієї станції, ні загальною кількістю генерації в межах однієї території. Потрібно було передбачити квоти для більш сталого та децентралізованого впровадження ВДЕ в регіонах, виходячи з потреби нової генерації, та обмежити розмір потужності для окремих станцій.

У рамках процесу медіації 10 червня 2020 року підписано Меморандум про взаєморозуміння щодо врегулювання проблемних питань у сфері відновлюваної енергетики в Україні. Меморандум став основою законопроекту № 3658 «Про внесення змін до деяких законів України щодо удосконалення умов підтримки виробництва електричної енергії з альтернативних джерел енергії», у якому передбачено запровадження з 2022 року (50% у 2021 році) повної відповідальності за небаланс своїх фактичних та акцептованих (прогнозних) графіків виробництва електроенергії для всіх виробників з ВДЕ, що створить для таких суб'єктів економічні стимули для підвищення точності прогнозування своїх графіків відпуску електричної енергії і сприятиме розвитку сектору балансуєчих потужностей.

На нашу думку, невідкладною є потреба у запровадженні системи накопичення енергії та елементів балансування генерації ВДЕ, що дало б змогу системно генерувати енергію та балансувати природні фактори, а також полегшило б державне регулювання ОЕС, що в перспективі при наявності політичної волі сприятиме зменшенню енергетичної бідності та впровадженню принципу енергетичної справедливості.

На енергоефективні рішення для паливно-енергетичного комплексу слід окремо звернути увагу. Так, наприклад, споживач електричної енергії може як використовувати об'єкти та енергію «зеленої» генерації для власних потреб (розвантажуючи мережу), так і реалізовувати надлишок такої енергії державі за «зеленим» тарифом – просьюмер. Комунальні підприємства мають змогу використовувати енергоефективні рішення та ВДЕ в рамках державного приватного партнерства. Починає формуватись ринок керування попитом, коли звичайні споживачі можуть надавати послуги НЕК «Укренерго» через зміну профілю споживання й отримуватимуть за це премії – агрегатори.

<sup>1</sup> Ukrenergo (2020). *List of substations* <<https://ua.energy/karta-pryyednannya/>> (2020, листопад, 12).

Передача електричної енергії, виробленої з ВДЕ може здійснюватися не лише традиційним шляхом – через лінії електропередач, а також, як запропоновано в «Європейській Зеленій Угоді» – «The European Green Deal»<sup>1</sup> та у додатку «Green Hydrogen for a European Green Deal»<sup>2</sup> шляхом перетворення первинної електричної енергії на енергоносії – «зелений» водень, згідно моделі «Power to Gas – Gas to Power». Таким чином, енергія може накопичуватися та транспортуватися у газотранспортній системі до споживача й перетворюватися знову на електричну енергію. Зазначений метод є 100 % екологічним та відповідає основній «зеленій» концепції розвитку ВДЕ в країнах ЄС.

#### 4. Висновок.

Як засвідчили результати дослідження, загальносвітові тенденції енергетичного переходу супроводжуються посиленням потреб у гнучкості виробництва в міру збільшення його масштабів.

Відновлювану енергетику можна ефективно розвивати тільки в комплексі зі збалансованим і оптимальним розвитком енергосистеми в цілому. Зазначене посилює актуальність розроблення та впровадження енергетичної політики для стримування залежності джерел електроенергії та досягнення успішного переходу до електрифікації за рахунок використання ВДЕ. Така політика має бути спрямована також на зменшення енергетичної бідності та впровадження принципу енергетичної справедливості.

Зелено-вугільний парадокс є викликом для державного регулювання галузі енергетики у багатьох країнах, і в Україні зокрема. На даний час забезпечення сталого розвитку відновлюваної енергетики як ключового інструменту гарантування енергетичної незалежності держави є одним із ключових пріоритетів державної політики України щодо зменшення наслідків зміни клімату.

Несвоєчасна зміна державного регулювання розвитку галузі відновлюваної енергетики призвела до реальної «зеленої» енергетичної кризи. Через відсутність ринкових механізмів ціноутворення система підтримки відновлюваної енергетики за моделлю «зеленого» тарифу не сформувала збалансованого підходу до розвитку галузі. Стрімке зростання частки генерації сонячних та вітрових електростанцій за такої моделі створило ряд економічних і технічних викликів, пов'язаних як з високою вартістю виробленої «зеленої» електроенергії, так і з обмеженими можливостями ОЕС України до інтеграції об'єктів відновлюваної енергетики, які мають змінний, негарантований графік виробництва електроенергії.

Все це стало причиною зелено-вугільного парадоксу в Україні, коли нерегульоване збільшення встановленої потужності ВДЕ призвело до зменшення бази АЕС та збільшення бази ТЕС, що суперечить курсу на декарбонізацію вітчизняної енергетики.

#### Пропозиції.

1. Вирішення проблеми вбачається в запровадженні стимулів щодо залучення інвестицій для розбудови маневрових потужностей, накопичувачів електроенергії. На державному рівні має бути розроблена стратегія узгодженої розбудови генерування та індустріального споживання електроенергії, а також розвитку електричних мереж як поєднувальної ланки.

2. Слід передбачити компенсацію нестабільності генерування ВДЕ, коли за критичних ситуацій диспетчер має право обмежувати генерування, що повинно бути технічно забезпечено.

3. Оскільки ВДЕ впливають на техніко-економічні показники електричних мереж (як правило, збільшуються втрати електроенергії та погіршується її якість), то на етапі розробки Технічних умов повинно детально це враховуватися. Доцільно одночасно з будівництвом станцій модернізувати відповідні мережі, інтелектуалізуючи їх і наближаючи до «розумних».

4. Актуальним напрямом державного регулювання енергетичної галузі є подолання асиметрії інвестування: створення умов для того, щоб при інвестуванні в потужність симетрично вкладалися кошти також і в розвиток мережі та систем накопичення енергії.

5. Перспективним є повноцінний перехід від системи підтримки за «зеленим» тарифом до конкурентної моделі стимулювання розвитку відновлюваної енергетики шляхом проведення аукціонів з розподілу підтримки («зелених» аукціонів).

<sup>1</sup> European Commission (2019) *The European Green Deal. Communication from the commission. Brussels* <[https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:b828d165-1c22-11ea-8c1f-01aa75ed71a1.0002.02/DOC\\_1&format=PDF](https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:b828d165-1c22-11ea-8c1f-01aa75ed71a1.0002.02/DOC_1&format=PDF)> (2020, листопад, 12).

<sup>2</sup> Wijk, A., Chatzimakakis, J. (2020). Green Hydrogen for a European Green Deal A 2x40 GW Initiative. *Hydrogen Europe, Brussels, March 2020*.

Таким чином, за умови більш послідовних і систематичних дій з боку уряду України та політичної волі виконати раніше озвучені обіцянки щодо реформ в енергетичному секторі «зелено-вугільний парадокс» поступово втрачатиме свою актуальність. А це, в свою чергу, сприятиме сталому розвитку відновлюваної енергетики в економічно ефективний спосіб з урахуванням балансу інтересів держави, виробників електричної енергії з альтернативних джерел енергії, споживачів електричної енергії та інших учасників ринку.

## References:

1. IRENA (2018). *Global Energy Transformation: A roadmap to 2050*. <[http://energytransition.in.ua/wp-content/uploads/2018/12/IRENA\\_Report\\_GET\\_2018.pdf](http://energytransition.in.ua/wp-content/uploads/2018/12/IRENA_Report_GET_2018.pdf)> (2020, November, 12). [in English].
2. IEA (2019). *Global Energy & CO2 Status Report. The latest trends in energy and emissions in 2018*. <<https://www.iea.org/reports/global-energy-co2-status-report-2019/emissions>> (2020, November, 12). [in English].
3. Fuel Cells and Hydrogen (2019). *Hydrogen Roadmap Europe: A sustainable pathway for the European Energy Transition* <[https://www.fch.europa.eu/sites/default/files/Hydrogen%20Roadmap%20Europe\\_Report.pdf](https://www.fch.europa.eu/sites/default/files/Hydrogen%20Roadmap%20Europe_Report.pdf)> (2020, November, 12). [in English].
4. Zorina, T. G. (2015). Sustainable development of energy: the essence and methodological approaches to assessment. *Modern management technologies. January, 1* (49). <<http://sovman.ru/article/4905/>> (2020, November, 12). [in English].
5. Denisyuk, S. P., Targonsky, V. A. (2017). Sustainable development of Ukraine's energy in the world dimensions. *Energy: economics, technology, ecology, 3*, 7-31. [in English].
6. IRENA, IEA, REN21 (2018). *Renewable Energy Policies in a Time of Transition* <[https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Apr/IRENA\\_IEA\\_REN21\\_Policies\\_2018.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Apr/IRENA_IEA_REN21_Policies_2018.pdf)> (2020, November, 12). [in English].
7. Official Journal of the European Union (2009). *Directive (EU) 2009/28/ec of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources* <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009L0028&from=EN>> (2020, November, 12). [in English].
8. Official Journal of the European Union (2018). *Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the promotion of the use of energy from renewable sources. Official Journal of the European Union* <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1589971037671&uri=CELEX:32018L2001>> (2020, November, 12). [in English].
9. *Rozporyadzhennya Enerhetychna stratehiya Ukrayiny na period do 2035 roku «Bezpeka, enerhoefektyvnist, konkurentospromozhnis'», 2017* (Kabinet Ministriv Ukrayiny) [Regulation Energy Strategy of Ukraine for the period up to 2035 "Security, Energy Efficiency, Competitiveness", 2017 (Cabinet of Ministers of Ukraine)]. *Ofitsiynyy sayt Verkhovnoyi Rady Ukrayiny* [Official site of the Verkhovna Rada of Ukraine] <<https://zakon.rada.gov.ua/laws/file/text/58/f469391n10.pdf>> (2020, November, 12). [in Ukrainian].
10. Marques, A, Fuinhas, J., Pereira, D. (2018). Have fossil fuels been substituted by renewables? An empirical assessment for 10 European countries. *Energy Policy, 116*, 257-265. <[www.elsevier.com/locate/enpol](http://www.elsevier.com/locate/enpol)> (2020, November, 12). [in English].
11. Pagnier, L., Jacquoda, P. (2018). How fast can one overcome the paradox of the energy transition? A predictive physico-economic model for the European power grid. *Published in Energy, 157*, 550-560. [in English].
12. Aguirre, M., Ibikunle, G. (2014) Determinants of renewable energy growth: a global sample analysis. *Energy Policy 69*, 374-384. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2014.02.036>. [in English].
13. Streimikiene, D., Lekavicius, V., Balezentis, T. And others (2020). Climate Change Mitigation Policies Targeting Households and Addressing Energy Poverty in European Union. *Energies 2020, 13*, 3389. [in English].
14. European Commission (2016). *Clean energy for all Europeans. Communication from the Commission. Brussels* <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX:52016DC0860>> (2020, November, 12). [in English].
15. Fuel Cells and Hydrogen (2019). *Hydrogen Roadmap Europe: A sustainable pathway for the European Energy Transition* <[https://www.fch.europa.eu/sites/default/files/Hydrogen%20Roadmap%20Europe\\_Report.pdf](https://www.fch.europa.eu/sites/default/files/Hydrogen%20Roadmap%20Europe_Report.pdf)> (2020, November, 12). [in English].
16. Denisyuk, S. (2019). Energy transition – the requirements of qualitative changes in energy development. *Energy: economics, technology, ecology, 1*, 7-28. [in English].
17. Denisyuk, S., Korotenko, I., Lilo, I. (2019). Formation of network infrastructure of intelligent electric power communities in Ukraine. *Energy: economy, technologies, ecology, 2*, 7-14. [in English].
18. Ukrenergo (2019). *Involvement of solar and wind power plants to cover the load of UES of Ukraine. NEC Ukrenergo* <<https://ua.energy/wp-content/uploads/2018/04/Zaluchennya-VDE.pdf>> (2020, November, 12). [in English].

19. Ukrenergo (2019). *Transmission system development plan for 2020-2029. NEC "Ukrenergo"* <<https://ua.energy/wp-content/uploads/2019/03/Plan-rozvytku-systemy-peredachi-20-29.pdf>> (2020, November, 12). [in English].
20. UNIAN (2020). *Ukrainian NPPs have reduced energy generation to a historic low. UNIAN news agency. May 2020* <<https://www.unian.ua/economics/energetics/ukrajinski-aes-skorotili-generaciyu-energiji-do-istorichnogo-minimumu-novini-sogodni-10991822.html>> (2020, November, 12). [in English].
21. Zaika, B. (2020). Kings of the "green" tariff: Top 10 largest investors in renewable energy in Ukraine and the largest beneficiaries of the "green" tariff. *LIGA.net* <[https://project.liga.net/projects/greentarriff\\_kings/](https://project.liga.net/projects/greentarriff_kings/)> (2020, November, 12). [in English].
22. Ukrenergo (2020). *Daily electricity generation / consumption schedule by 20.04.2020* <<https://ua.energy/peredacha-i-dyspetcheryzatsiya/dyspetcherska-informatsiya/dobovyj-grafik-vyrobnystva-spozhyvannya-e-e/>> (2020, November, 12). [in English].
23. Fesiuk, O. (2015). Optimal load of power units for third step of regulation of their capacity. *Theory of optimal solutions*, 79-84. <<http://dspace.nbu.gov.ua/bitstream/handle/123456789/112402/14-Fesyuk.pdf?sequence=1>> (2020, November, 12). [in English].
24. Ukrenergo (2020). *List of substations* <<https://ua.energy/karta-pryyednannya/>> (2020, November, 12). [in English].
25. European Commission (2019) *The European Green Deal. Communication from the commission. Brussels* <[https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:b828d165-1c22-11ea-8c1f-01aa75ed71a1.0002.02/DOC\\_1&format=PDF](https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:b828d165-1c22-11ea-8c1f-01aa75ed71a1.0002.02/DOC_1&format=PDF)> (2020, November, 12). [in English].
26. Wijk, A., Chatzimarkakis, J. (2020). Green Hydrogen for a European Green Deal A 2x40 GW Initiative. *Hydrogen Europe, Brussels, March 2020*. [in English].