



Аналітична записка
 Серія ««Національна безпека»», № 6, 2019

НИЗЬКОВУГЛЕЦЕВА ЕНЕРГЕТИКА: СТАН ТА СТРАТЕГІЧНІ ПРІОРИТЕТИ РОЗВИТКУ В УКРАЇНІ

Д. Г. Бобро, к. фіз. - мат. н., провідний науковий співробітник
 відділу енергетичної та техногенної безпеки
 Національного інституту стратегічних досліджень

В аналітичній доповіді проаналізовано заходи з декарбонізації енергетики України, передбачені низкою програмних документів стратегічного рівня.

Зроблено висновок, що Україна має значний потенціал ядерної та відновлюваної енергетики, який може і має бути використаний для стимулювання інноваційного розвитку економіки країни, забезпечення енергетичної безпеки та досягнення глобальних цілей (боротьба зі зміною клімату).

Це вимагає формування відповідного балансу енергогенеруючих потужностей: ядерна енергетика, гідроенергетика, сонячна та вітрова енергетика, отримання енергії з біомаси, інші відновлювані джерела енергії з найменшим рівнем викидів парникових газів.

З урахуванням особливостей використання відновлюваних джерел енергії, зокрема енергії сонця та вітру, що обумовлені природними умовами, необхідним є узгодження та збалансування періодичності та обсягів видачі електроенергії, виробленої на сонячних та вітрових електростанціях, в об'єднану енергетичну систему України.

Надано рекомендації Уряду, Регулятору (НКРЕКП) та НАН України, що мають сприяти реалізації завдань розвитку низьковуглецевої енергетики.

Висновки та рекомендації

Україна має значний потенціал ядерної та відновлюваної енергетики, який може і має бути використаний для стимулювання інноваційного розвитку економіки країни, забезпечення енергетичної безпеки та досягнення глобальних цілей (боротьба зі зміною клімату).

Проте на шляху реалізації цього потенціалу є низка технологічних, економічних, соціальних та політичних проблем, зокрема:

- 1) невідповідність гнучкості Об'єднаної енергетичної системи України (далі – ОЕС) розвитку «зеленої» енергетики, коли по мірі зростання частки «зеленої» енергетики підвищуються ризики для стійкості ОЕС;
- 2) непослідовність у впровадженні в Україні конкурентного ринку електроенергії, коли майже $\frac{2}{3}$ генерації виключені з конкурентного ринку через недосконалість механізму покладання спеціальних обов'язків для забезпечення загальносуспільних інтересів (далі – PSO), а також встановлення високих неконкурентних «зелених» тарифів;
- 3) недосконалість механізмів державної підтримки «зеленої» енергетики, коли держава заохочує інвесторів розвивати виробництво енергії з відновлюваних джерел енергії (далі – ВДЕ), встановлюючи високі «зелені» тарифи для окремих видів генерації, і, водночас, намагається ретроспективно змінити «правила гри» та обмежити конкуренцію в цьому сегменті виробництва електроенергії.

Втім є можливість розв'язання цих проблем, зокрема, такими шляхами:

- 1) розвивати всі можливі механізми підвищення гнучкості ОЕС України:
 - високоманеврена генерація: ГЕС, перехід від ТЕС гарячого резерву до ТЕС з газопоршневими агрегатами зі швидким пуском;
 - системи накопичення та зберігання енергії: ГАЕС, акумуляторні батареї, накопичувачі на стисненому повітрі, накопичувачі тепла тощо;
 - мережеві рішення: інтерконектори для перетоків між країнами, зокрема для приєднання до європейської мережі ENTSO-E; інтелектуальні мережі (Smart Grid); використання розподілених генеруючих потужностей;
 - управління попитом, коли споживачі регулюють своє навантаження;
- 2) забезпечити висококонкурентне середовище на ринку електроенергії з недискримінаційними можливостями для розвитку всіх видів виробництва енергії, вдосконалити механізм PSO, забезпечивши:
 - відповідність обсягів та умов виконання PSO меті задоволення правомірного загальносуспільного інтересу, не перешкоджання розвитку конкурентного ринку електричної енергії;
 - вибір учасників, на яких покладаються спеціальні обов'язки, у

прозорий і недискримінаційний спосіб на підставі визначених критеріїв;

- поетапне скасування механізму покладання спеціальних обов'язків, чим посилити конкуренцію між виробниками та постачальниками на ринку електроенергії на всіх його сегментах за рахунок зростання пропозиції;
- ліквідацію перехресного субсидування для різних категорій споживачів синхронно зі скасуванням механізму PSO;
- соціальний захист вразливих категорій споживачів за допомогою адресних субсидій безпосередньо таким споживачам;

3) удосконалити механізми державної підтримки «зеленої» енергетики:

- запровадивши процедуру з розміщення нових потужностей з генерації «зеленої» електроенергії на основі аукціонів з розподілу квот підтримки, де переможець визначається за найменшою ціною кВт·год електроенергії;
- заохочуючи виробників ВДЕ дотримуватися планового графіку постачання електроенергії в мережу шляхом пришвидшеного (відносно чинного механізму¹) впровадження компенсації вартості врегулювання небалансу гарантованого покупця за небаланси та відхилення від планового графіку постачання виробниками ВДЕ.

Для успішної реалізації завдань розвитку низьковуглецевої енергетики рекомендується:

Кабінету Міністрів України:

забезпечити розробку та впровадження дієвих та збалансованих механізмів мотивації виробників енергії з низьковуглецевих джерел, які б, з одного боку, стимулювали розвиток ВДЕ («зелені» тарифи, аукціони з розподілу квот підтримки та аукціонні ціни), а з іншого – працювали на суспільний інтерес та забезпечували прозору конкуренцію різних видів генерації, встановлювали зрозумілі правила та рівну відповідальність для всіх (покладання PSO у прозорий і недискримінаційний спосіб, компенсація виробниками «зеленої» електроенергії вартості врегулювання небалансу гарантованого покупця);

забезпечити реалізацію спеціалізованих заходів щодо інтеграції ВЕС та СЕС до ОЕС України, які забезпечать її гнучкість та стійкість (впровадження систем акумулювання електроенергії для компенсації флуктуацій сонячної та вітрової генерації; підвищення маневрових можливостей енергосистеми);

сприяти впровадженню в Україні технологій малих модульних реакторів та реалізації проектів, що забезпечать фінансування програм розвитку ядерної

¹ Прикінцевими положеннями Закону України «Про ринок електричної енергії» передбачаються запобіжні заходи, які мають стимулювати виробників енергії за «зеленим» тарифом та аукціонною ціною до дотримання погодинного графіку відпуску електроенергії, тобто відповідності фактичних погодинних обсягів відпуску електричної енергії плановим узгодженим показником.

енергетики та промисловості;

сприяти розбудові інтерконекторів для забезпечення перетоків між країнами, зокрема для приєднання до європейської мережі ENTSO-E та реалізації Плану заходів щодо синхронізації ОЕС України з ENTSO-E;

розв'язати проблему боргів, накопичених в оптовому ринку електроенергії;

спростити процедури підключення незалежних виробників теплової енергії з відновлюваних джерел до централізованого теплопостачання;

заснувати біопаливну біржу для реалізації операцій купівлі-продажу різних видів біомаси; забезпечити вільний доступ підприємств всіх форм власності до відходів і побічної продукції лісового та сільського господарства;

створити умови для запровадження ринку зелених облігацій в Україні;

спільно з НКРЕКП:

забезпечити баланс інтересів ядерної, відновлюваної та теплової енергетики, який підвищить їх інвестиційну привабливість;

стимулювати виробників та постачальників електроенергії до впровадження декількох зонних диференційованих тарифів;

забезпечити вчасне встановлення квот підтримки виробників електроенергії з альтернативних джерел за аукціонною ціною;

Міністерству енергетики та захисту довкілля України:

при розробці проектів стратегічних документів враховувати необхідність забезпечення оптимального для України балансу ядерної, відновлюваної та теплової енергетики, забезпечення гнучкості та стійкості ОЕС України за рахунок розвитку акумулюючих та маневрових потужностей;

Державному агентству з енергоефективності та енергозбереження України:

забезпечити розробку Національного плану дій з енергоефективності на період до 2030 року;

НАН України:

при підготовці Переліків науково-технічних проектів НАН України, які будуть реалізовуватися у 2020 та наступних роках, забезпечити включення до них проектів у сфері низьковуглецевої енергетики, зокрема досліджень різних типів акумулювання енергії, розвитку ядерної та водневої енергетики, у тому числі шляхом об'єднання на одному майданчику ядерної та водневої електроенергетичних установок, в якій висока маневреність комплексу забезпечується водневою складовою.

Аналіз проблеми

Відповідно до глобальних Цілей сталого розвитку на період до 2030 року²,

² ***Цілями сталого розвитку до 2030 року передбачено:***

забезпечити загальний доступ до недорогого, надійного і сучасного енергопостачання; значно збільшити частку енергії з відновлюваних джерел у світовому енергетичному балансі; подвоїти глобальний показник підвищення енергоефективності;

проголошених на саміті ООН у 2015 році та яких має дотримуватися Україна³, перехід економіки країни на траєкторію низьковуглецевого зростання є одним зі стратегічних завдань державної політики України.

Заходи з декарбонізації енергетики України передбачено низкою програмних документів:

1. Енергетичною стратегією України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність»⁴ (далі – ЕСУ-2035);
2. Стратегією низьковуглецевого розвитку України до 2050 року^{5,6}.

Подібна увага до розвитку в Україні низьковуглецевої енергетики обумовлена двома головними чинниками:

по-перше, необхідністю зменшення викидів парникових газів, які розглядаються у світі як головна причина зміни клімату та які генеруються переважно енергетичним сектором⁷,

активізувати міжнародне співробітництво з метою полегшення доступу до досліджень і технологій в галузі екологічно чистої енергетики, включаючи відновлювану енергетику, підвищення енергоефективності та передові й чистіші технології використання викопного палива, та заохочувати інвестиції в енергетичну інфраструктуру і технології екологічно чистої енергетики;

включити заходи реагування на зміну клімату в політику, стратегії та планування на національному рівні.

Див.: Цілі сталого розвитку 2016-2030. [Електронний ресурс] / Представництво ООН в Україні : офіційний сайт. – Режим доступу : <http://www.un.org.ua/ua/tsili-rozvytku-tysiacholittia/tsili-staloho-rozvytku>

³ Цілі сталого розвитку: Україна. [Електронний ресурс] / Представництво ООН в Україні : офіційний сайт. – Режим доступу : http://un.org.ua/images/SDGs_NationalReportUA_Web_1.pdf

Указ Президента України від 30 вересня 2019 року № 722/2019 «Про Цілі сталого розвитку України на період до 2030 року». [Електронний ресурс]. Законодавство України. – Режим доступу : <https://www.president.gov.ua/documents/7222019-29825>

⁴ **Енергетичною стратегією України на період до 2035 року передбачається** стале розширення використання всіх видів відновлюваних джерел енергії. У коротко- та середньостроковій перспективі (до 2025 року) ЕСУ-2035 прогнозує зростання частки відновлюваної енергетики до рівня 12% від загального первинного постачання енергії (далі – ЗППЕ) та не менше 25% – до 2035 р. При цьому, частка сонячної та вітрової енергії в ЗППЕ має суттєво зрости та скласти до 2025 та 2035 років, відповідно, 2,4 та 10,4 %. При цьому, передбачається збереженні частки атомної енергії на рівні 25-32% від ЗППЕ (чи близько половини від загального виробництва електроенергії).

Див.: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 18 серпня 2017 р. № 605-р. Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2035 року “Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність”.

[Електронний ресурс]. – Законодавство України. – Режим доступу:

<https://www.kmu.gov.ua/ua/npas/250250456>

⁵ **Стратегією низьковуглецевого розвитку України до 2050 року визначено** три ключові завдання з низьковуглецевого розвитку: 1) розвиток відновлюваної енергетики та підвищення енергоефективності; 2) збільшення обсягів поглинання й утримання вуглецю; 3) скорочення викидів парникових газів, таких як метан та оксид азоту.

Див.: Стратегія низьковуглецевого розвитку України до 2050 року. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://menr.gov.ua/news/31815.html>, https://menr.gov.ua/files/docs/Proekt/LEDS_ua_last.pdf

⁶ Ukraine 2050. Low emission development strategy. [Електронний ресурс]: офіційний сайт UNFCCC – Режим доступу: https://unfccc.int/sites/default/files/resource/Ukraine_LEDS_en.pdf

⁷ Згідно з П'ятою оціночною доповіддю Міжурядової групи експертів з питань зміни клімату дослідження з виявлення і встановлення причин зміни клімату продемонстрували, що антропогенний вплив (викид парникових газів) на глобальну кліматичну систему є головною причиною потепління. Очікується, що з високим ступенем ймовірності у період до 2100 року це призведе до підвищення середньої глобальної

та, по-друге, необхідністю гарантування енергетичної безпеки України, що, у свою чергу, розглядається як одна з ключових передумов забезпечення незалежності, економічного зростання та інноваційного розвитку країни.

Структура низьковуглецевої енергетики України

Низьковуглецева енергетика створює низький вуглецевий слід як під час виробництва енергії, так і з урахуванням всіх стадій життєвого циклу енергетичної установки – від будівництва, експлуатації та забезпечення паливом до зняття з експлуатації та демонтажу.

Оскільки перелік парникових газів налічує багато хімічних сполук, які мають різну активність (найбільш вагомі – діоксид вуглецю CO_2 та метан CH_4), для порівняння та узагальнення встановлено коефіцієнти приведення до єдиного показника – CO_2 еквівалент. Граничною межею для низьковуглецевої енергетики вважається показник 50 грам CO_2 екв/кВт·год за життєвий цикл станції. Цей показник також включає викиди парникових газів, що утворюються під час виробництва енергообладнання та первинних енергоносіїв, що використовуються станцією.

За результатами аналізу життєвого циклу, усі технології відновлюваної енергетики (за виключенням біоенергетики) виявили показники нижчі за 50 г CO_2 екв/кВт·год – див. Рис.1.

температура повітря від 2 до 5° С, а підвищення рівня моря - від 0,6 до 1,2 метри. Зміна клімату може унеможливити довгострокове економічне зростання та підвищить ризики для безпеки життєдіяльності людини на глобальному рівні. Вплив зміни клімату матиме наслідком більш часті та сильні спеки, посухи, повені та інші екстремальні погодні явища, зміну режиму опадів та виснаження екосистем, що суттєво підвищуватиме ризики для здоров'я та благополуччя людей і довкілля.

Щодо України, то частка енергетичного сектору у загальних обсягах викидів парникових газів сягає 65%. За даними 2015 р. вуглецеємність ВВП в Україні у 1,9 рази перевищує світовий показник, у 2,4 рази показник країн ОЕСР та у 3,3 рази показник країн ЄС.

Показники вуглецевого сліду різних технологій

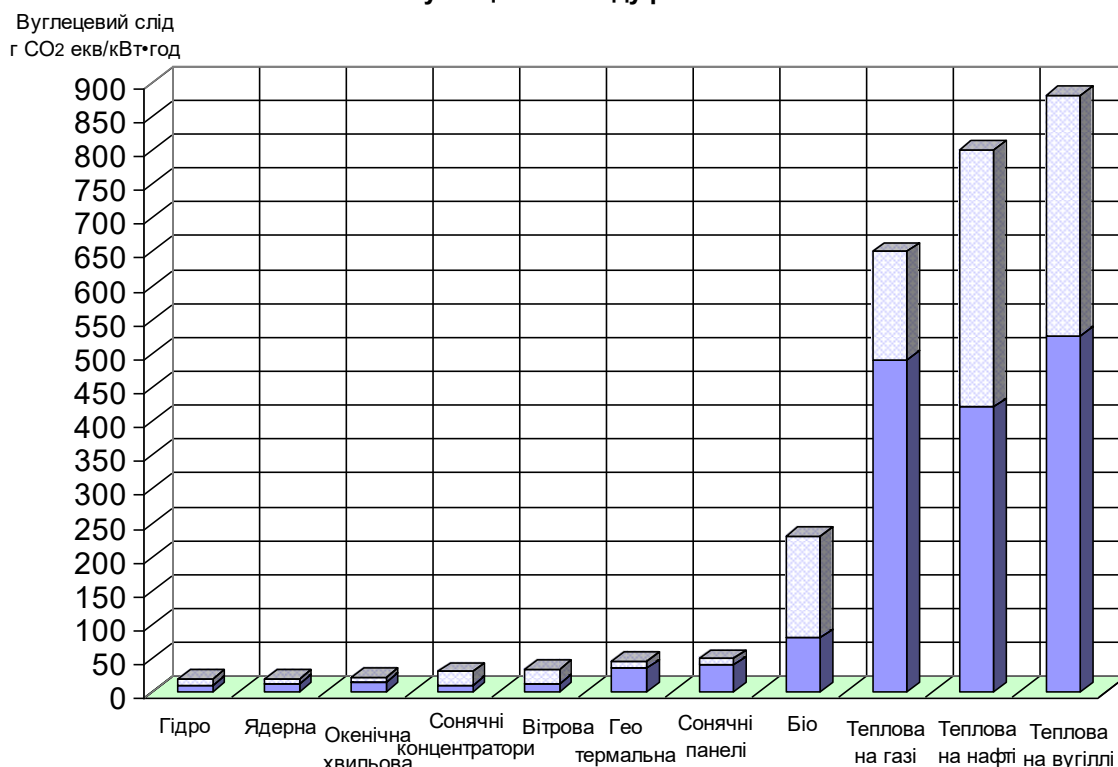


Рис.1. Показники вуглецевого сліду різних технологій виробництва електроенергії⁸

Аналіз показників емісії CO₂ протягом всього життєвого циклу та їх порівняння з викопними видами палива дає такі показники для різних типів виробництва електроенергії (г CO₂екв/кВт•год): сонячні концентратори – 10÷30, гідроенергетика – 10÷20, вітер – 12÷34, океанічна хвильова – 15÷22, геотермальна – 35÷45, сонячна фотоелектрика – 40÷49, біоенергетика – 80÷230, природний газ – 490÷650, нафта – 420÷800, вугілля – 525÷880. Щодо ядерної енергетики, то можливість віднесення її до низьковуглецевої залежить від концентрацією урану в руді, оскільки чим менше міститься урану в руді, тим більше енергії потребується для його рудного збагачення та відокремлення. Так, бідні руди з концентрацією урану 0,01 % залишать по собі стільки ж викидів вуглецю, скільки й виробництво електроенергії на біопаливі (до 220 г CO₂екв/кВт•год). Проте для України з концентрацією урану 0,1 % в руді, а тим більш для багатих руд Казахстану та Росії, які наразі використовуються для виробництва ядерного палива для АЕС України, ядерна енергетика обґрунтовано може бути віднесена до низьковуглецевої з показником емісії 13÷20 г CO₂екв/кВт•год.

Слід зазначити, що стратегічними документами України передбачається

⁸ International Life Cycle Chair. Technical Report. Comparing Power Generation Options and Electricity Mixes/ 2014. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.hydroquebec.com/data/developpement-durable/pdf/comparing-power-generation-options-and-electricity-mixes.pdf>

стале розширення використання всіх видів ВДЕ при збереженні частки ядерної та гідроенергії. Такий підхід відповідає світовим тенденціям та прогнозам Міжнародного енергетичного агентства (далі – МЕА)⁹, провідних світових компаній (ExxonMobil¹⁰, BP¹¹). Так, відповідно до цих прогнозів до 2040 року первинне постачання енергії, виробленої з вугілля та нафти, має суттєво знизитися, а виробництво енергії з відновлюваних джерел – зрости випереджальними темпами при майже незмінній частці енергії, виробленої з природного газу та незначному зменшенні частки енергії, виробленої на ГЕС та АЕС (див. Рис. 2).

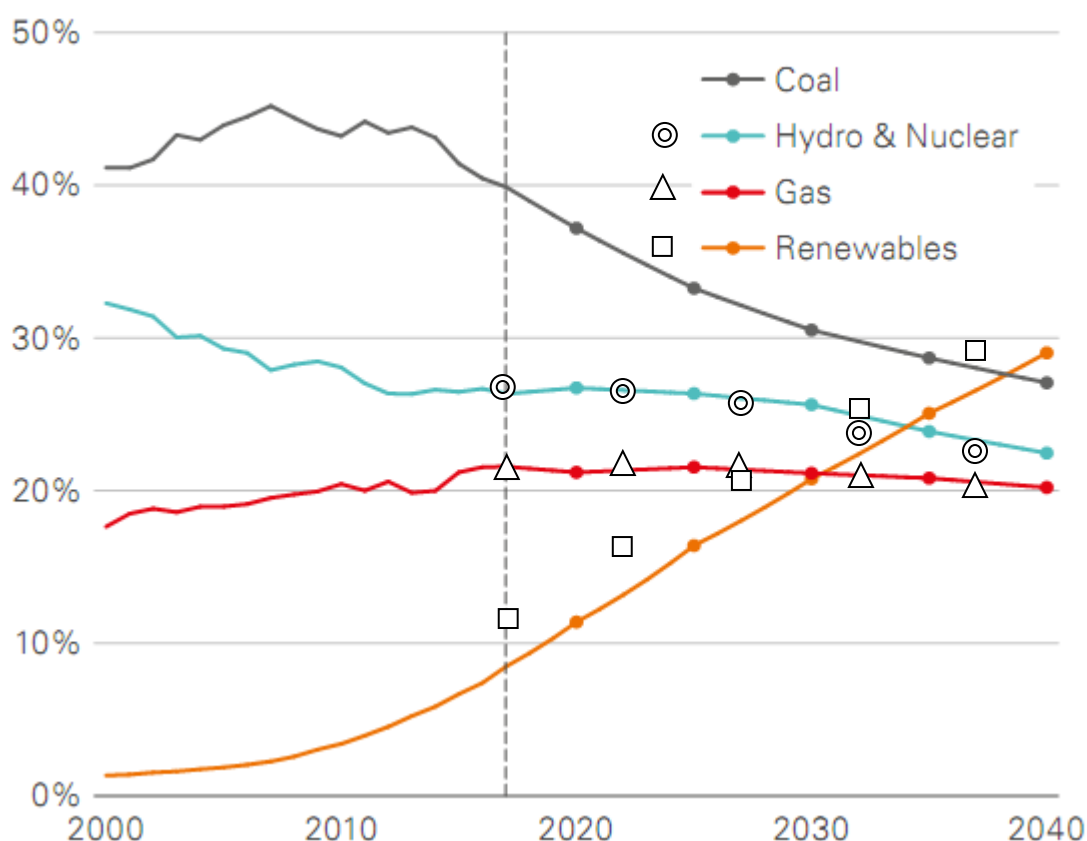


Рис. 2. Світові тенденції щодо первинного постачання енергії (за даними BP¹²)

Таким чином, як з точки зору реалізації завдань щодо запобігання зміні клімату, так і з точки зору забезпечення сталого розвитку країни та гарантування її енергетичної безпеки, найбільшого впливу на державну політику набуває декарбонізація енергетики. У свою чергу, це вимагає формування відповідного балансу енергогенеруючих потужностей: ядерна

⁹ World Energy Outlook 2019. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.iea.org/weo2019/>

¹⁰ 2017 Outlook for Energy: A View to 2040. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://cdn.exxonmobil.com/~media/global/files/outlook-for-energy/2017/2017-outlook-for-energy.pdf>

¹¹ BP Energy Outlook. 2019 edition. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/energy-outlook/bp-energy-outlook-2019.pdf>

¹² Там же.

енергетика, гідроенергетика, сонячна та вітрова енергетика, отримання енергії з біомаси, інші ВДЕ з найменшим рівнем викидів парникових газів.

На сьогоднішні день переважну частку серед низьковуглецевих джерел енергії в Україні становить ядерна та гідроенергетика – див. Рис. 3, а серед ВДЕ – сонячна та вітрова – див. Рис. 4.

Структура низьковуглецевої генерації в ОЕС України за встановленою потужністю (станом на кінець 2018 р., МВт та %)

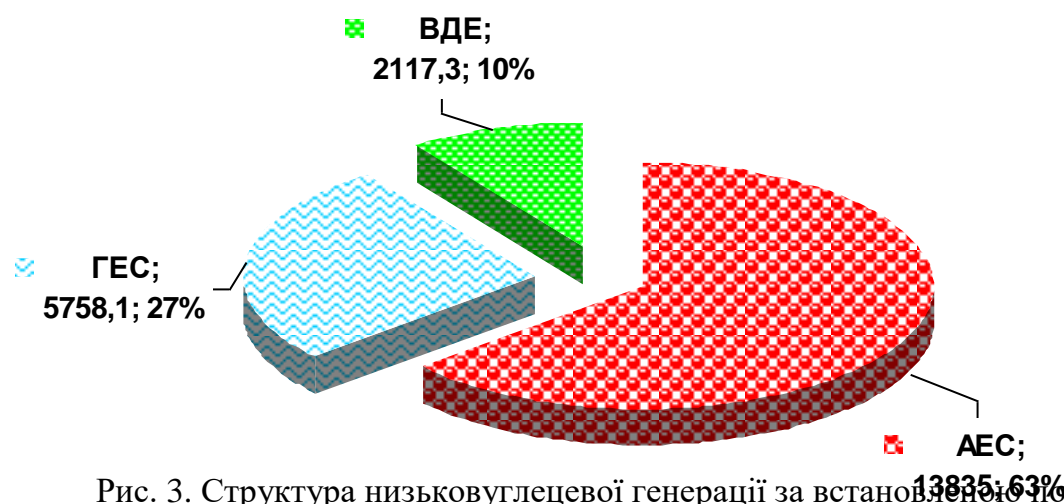


Рис. 3. Структура низьковуглецевої генерації за встановленою потужністю

Структура потужностей ВДЕ на материковій частині України (станом на кінець 2018 р., МВт та %)

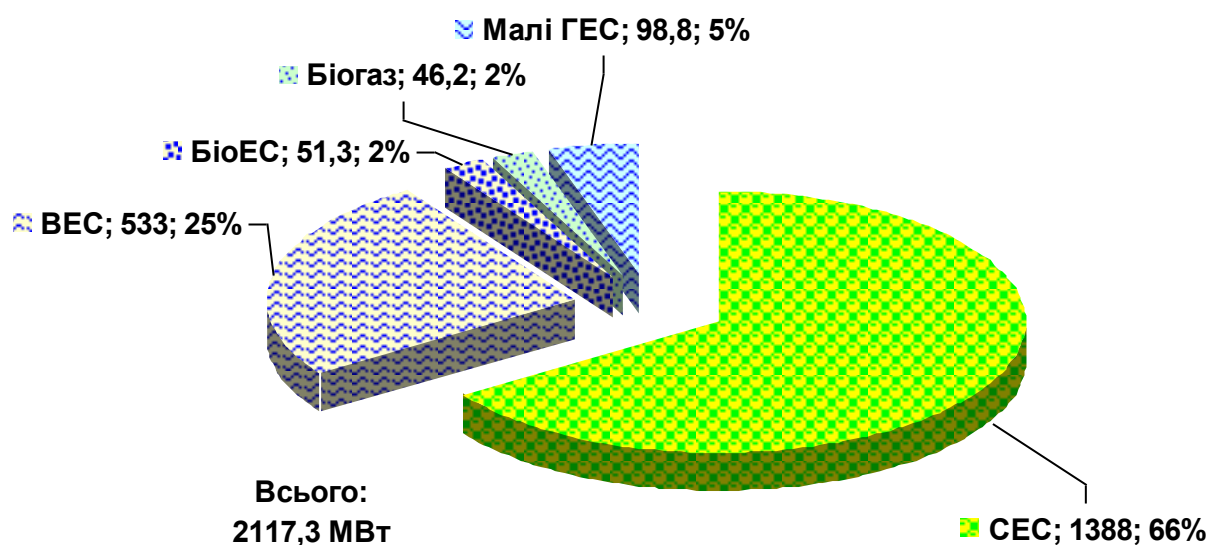


Рис. 4. Структура ВДЕ за встановленою потужністю

Водночас, хоча за встановленою потужністю ВДЕ складають близько 15 % від встановленої потужності АЕС, в ОЕС України вони виробляють майже у 30

разів менше електроенергії, ніж АЕС – див. Рис. 5. При цьому сонячні електростанції виробляють електроенергії навіть менше вітрових, встановлена потужність яких у 2,5 разу менша за сонячні – див. Рис. 6.

Структура та обсяги виробництва електроенергії в ОЕС України у 2018 році, млрд кВт•год та %.

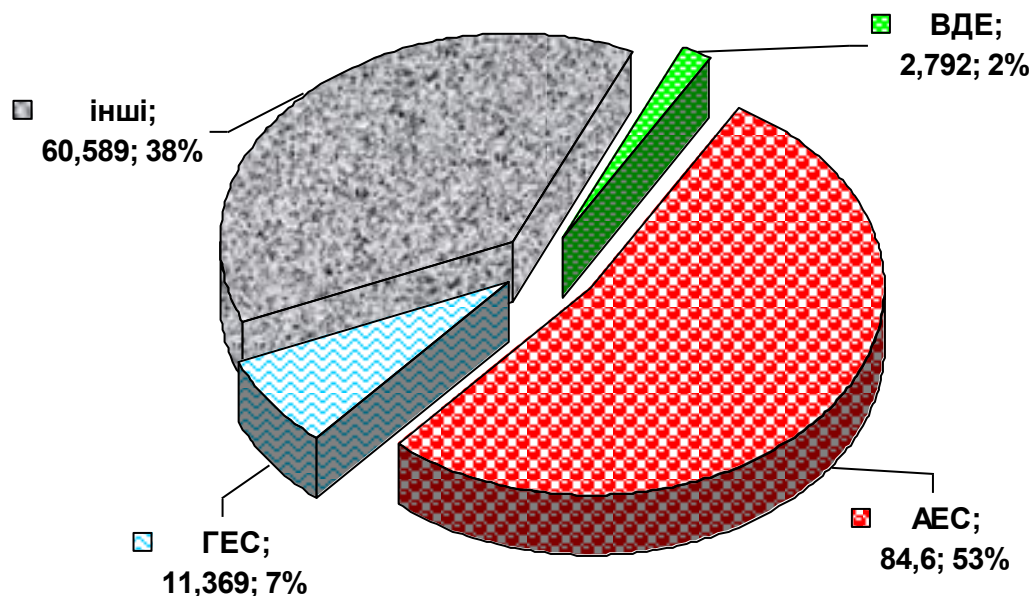


Рис. 5. Структура та обсяги виробництва електроенергії в Україні

Структура та обсяги виробництва "зеленої" енергії в Україні у 2018 році, млрд кВт•год та % (від загального виробництва ВДЕ).

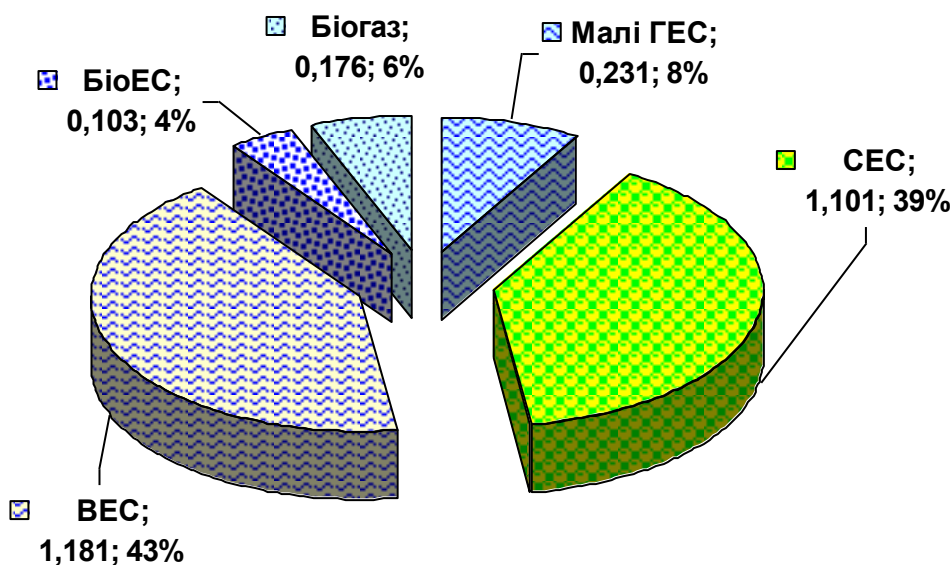


Рис. 6. Структура та обсяги виробництва «зеленої» генерації в Україні

Світовий досвід розвитку низьковуглецевої генерації

У червні 2017 року вийшов звіт МЕА, присвячений перспективам

енергетичних технологій ЕТР-2017¹³, в якому вперше детально розглянуто, як технології чистої енергії можуть сприяти просуванню енергетичного сектору до більш амбітних цілей у сфері запобігання зміні клімату.

Зроблено висновок, що саме завдяки енергетичній трансформації («енергетичному переходу») вдасться зменшити сумарні викиди парникових газів від усіх джерел (енергетика, транспорт, промисловість, сільське господарство, будівлі), які сягали 34 Гт CO₂ у 2018 році, до 10 Гт у 2060 році¹⁴.

В У рамках ЕТР-2017 також публікується звіт МЕА «Відстежування прогресу в сфері чистої енергії», який показує наявні недоліки у розробці та впровадженні технологій чистої («зеленої») енергетики. Зокрема, зроблено висновок, що прогрес у сфері чистої енергії був би більш значним, якби політики давали чіткі сигнали щодо цінності технологічних інновацій. Наразі ж у низці технологічних секторів дедалі помітнішим стає брак фінансової та політичної підтримки. Саме тому, незалежно від обраного шляху енергетичної трансформації, необхідна політична (державна) підтримка заходів з пришвидшення впровадження інноваційних технологій чистої енергії¹⁵.

Подібні висновки містяться й в останній всеосяжній оцінці МЕА переходу на екологічно чисту енергію, що зроблена у 2019 році та наведена у центральному інноваційному репозиторії МЕА¹⁶. У своїх дослідженнях МЕА виділяє 45 ключових технологій і секторів та показує, що тільки 7 з них відповідають Сценарію сталого розвитку МЕА¹⁷: сонячна фотоелектрика, біоенергетика, накопичувачі енергії, електромобілі та залізничний транспорт, освітлювальні прилади та дата-центри. 22 потребують поліпшення, зокрема: вітрова, гідро, ядерна та воднева енергетика, використання енергії у промисловості та на транспорті, «розумні» мережі та управління попитом, а 16 взагалі відстають, зокрема: геотермальна енергетика, сонячні концентратори, енергія хвиль та припливів, теплові насоси, газ метан нафтових та вугільних родовищ, спалювання вугілля, скорочення викидів та утилізація CO₂, використання біопалива на транспорті, енергоефективні будівлі.

Для цих ключових технологій МЕА визначає основні технологічні проблеми – інноваційні прогалини, які необхідно заповнити для досягнення довгострокових цілей переходу на екологічно чисту енергію. У рамковій програмі визначено близько 100 прогалин в інноваціях¹⁸. Ці прогалини розподілені за 7-ма напрямками: енергетика, ВДЕ, паливо, транспорт, будівлі, промисловість, інтеграція енергії.

¹³ Energy Technology Perspectives 2017. Catalysing Energy Technology Transformations / The International Energy Agency. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.acs-giz.si/resources/files/Energy_technology_perspectives.pdf

¹⁴ Див. Figure 1.8. URL: https://www.iea.org/etp/etp2017/secure/global_outlook/

¹⁵ Див. URL: <https://webstore.iea.org/energy-technology-perspectives-2017>

¹⁶ Innovation / The International Energy Agency. URL: <https://www.iea.org/topics/innovation/>

¹⁷ Sustainable Development Scenario. A cleaner and more inclusive energy future / The International Energy Agency. URL: <https://www.iea.org/weo/weomodel/sds/>

¹⁸ Innovation gaps / The International Energy Agency. URL: <https://www.iea.org/topics/innovation/innovationgaps/>
 Аналітична записка. Серія «Національна безпека», № 6/2019

Кожна інноваційна прогалина є інноваційним завданням, яке необхідно розв'язати. Для кожної прогалини в інноваціях МЕА визначає, які рішення існують на сьогодні, ранжує їх готовність за шкалою рівня готовності технологій (Technology Readiness Level – TRL), яка проходить від етапу розробки концепції, науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт, створення прототипу до впровадження технологічного рішення, його масштабування та інтеграції. Також МЕА аналізує, які дії робляться для просування цих рішень і усунення прогалин, які уряди, компанії та дослідницькі інститути наразі очолюють ці зусилля. Нарешті, МЕА рекомендує, що доцільно зробити урядам, підприємствам енергетики та іншим зацікавленим сторонам, щоб скористатися цими можливостями як в короткостроковій, так й у довгостроковій перспективі.

Так, наприклад, сонячним фотогальванічним установкам (у т.ч. присадибним) потрібні більш інтелектуальні інвертори та накопичувачі енергії для зниження витрат на їх інтеграцію в енергосистему та забезпечення її стабільної роботи.

Загалом же у сфері низьковуглецевої енергетики виділено низку інноваційних прогалин¹⁹, зокрема:

- у сфері ядерної енергетики: неелектричне застосування (опріснення води, отримання тепла, отримання водню; при цьому два останні застосування можуть використовуватися в ланцюгу накопичення та зберігання енергії); малі модульні ядерні реактори²⁰; інноваційні ядерні палива, які мають підвищену аварійну стійкість;
- у сфері гідроенергетики: інноваційні гідроенергетичні конструкції, що не вимагають встановлення гребель (наприклад, турбіни з горизонтальною віссю, що працюють у потоці); використання енергії припливів;
- у сфері сонячної фотоелектрики: інтеграція в енергосистему; новітні інтелектуальні інвертори, що знижують витрати на інтеграцію; новітні технології виробництва економічних, стійких до зовнішніх впливів та ефективних сонячних панелей;
- у сфері прибережної вітроенергетики: інтеграція в енергосистему; новітні технології управління турбінами; покращення прогнозування видачі енергії в систему; можливість роботи в більш широкому діапазоні швидкостей вітру;
- у сфері офшорної вітроенергетики: інновації щодо монтажу установок (наприклад, збирання на суші); новітні системи передавання виробленої електроенергії в систему; розміщення вітроустановок на більших глибинах (наприклад, за рахунок

¹⁹ Див.: URL: <https://www.iea.org/topics/innovation/power/>

²⁰ На сьогодні технологія ММР визнана одним із найперспективніших напрямів із розвитку ядерної енергетики, а загальносвітовий ринок ММР після 2025 р. оцінюють приблизно в 1 трлн дол. США. Десять провідних країн світу розробляють понад 50 проектів ММР.

плаваючих установок);

- у сфері геотермальної енергетики: краще розуміння потенціалу гідротермальних джерел; передові технології буріння;
- у сфері використання енергії океану: використання теплової енергії океану; використання градієнту солоності (наприклад, при впадінні річок, де зустрічаються прісна і солоня вода); використання енергії океанічних течій.

Втім навряд чи будь-яка окрема країна зможе вирішити всі свої енергетичні та кліматичні проблеми самотужки. Міжнародна співпраця та зміцнення державно-приватного партнерства можуть допомогти країнам прискорити інноваційні процеси шляхом визначення спільних пріоритетів і проблем, усунення наявних прогалин в інноваціях, обміну прогресивним досвідом для впровадження технологій чистої енергії. При цьому, МЕА концентрує увагу на важливості забезпечити політичну підтримку новітніх технологій на всіх стадіях інноваційного циклу.

Проблемні питання та перспективи розвитку різних видів низьковуглецевої генерації в Україні

Ядерна енергетика²¹. Для держави, яка має розвинену ядерну енергетику, достатню сировинну базу урану та цирконію (які є базовими елементами для виробництва ядерного палива), урановидобувну промисловість та дослідно-промислову базу виробництва цирконієвої продукції, науковий та технічний кадровий потенціал, розв'язання проблеми енергетичної залежності у визначальній мірі лежить саме у площині сталого розвитку ядерної енергетики та промисловості.

При цьому атомну енергію слід розглядати й як одне з найбільш ефективних джерел низьковуглецевої енергії, а ЕСУ-2035 виходить з того, що частка атомної генерації має зберегтися на рівні близько половини від загального обсягу виробництва електроенергії.

Водночас існуючі умови, коли відсутні зрушення з погашення заборгованості за вироблену ДП «НАЕК «Енергоатом» продукцію (яка вже перевищила 12 млрд грн), коли в умовах нового ринку електроенергії уряд покладає спеціальні зобов'язання на ДП «НАЕК «Енергоатом» в обсягах 90 % від виробленої Компанією електроенергії, а той час як задля задоволення правомірного загальносуспільного інтересу достатньо 60 % від виробленої Компанією електроенергії²², свідчать, що атомна енергетика використовується в якості «дійної

²¹ Оператором АЕС України є ДП «НАЕК «Енергоатом». На чотирьох атомних електростанціях України (Хмельницькій, Рівненській, Запорізькій та Южно-Українській) перебуває в експлуатації 15 енергоблоків, з яких 13 – з реакторами ВВЕР-1000 потужністю по 1000 МВт і 2 – з реакторами ВВЕР-440 потужністю 415 та 420 МВт. Протягом останніх років ними вироблялося від 50 до 55%, а в окремі періоди і до 60% електроенергії від її загального виробництва в Україні. Більшість атомних енергоблоків України вже відпрацювали встановлений ресурс у 30 років. ДП «НАЕК «Енергоатом» здійснює заходи з подовження роботи енергоблоків у понад проектний термін до 40-а, 50-и і, навіть, 60-и років. Втім, окрихчування металу зварних швів корпусу реактора та складнощі з дослідженням їх стану є найкритичнішим питанням, яке може завадити подовженню ресурсу реакторів на термін понад 50 років.

²² За даними Міненерговугілля населення та комунально-побутові споживачі (у т.ч. ТКЕ, водоканали, Аналітична записка. Серія «Національна безпека», № 6/2019

корови» та забезпечує приховане перехресне субсидування теплової (а в ній визначальну роль відіграє вугільна генерація) і альтернативної енергетики²³, які знаходяться переважно у приватній власності. Тим самим ДП «НАЕК «Енергоатом» фактично вилучене з конкурентного ринку електроенергії взагалі. І це при тому, що на «Енергоатом» водночас покладено обов'язки компенсувати Гарантованому покупцю вартість дорогої «зеленої» енергії й тільки з 1 липня 2020 року ці обов'язки мають перейти до Оператора ринку.

Така ситуація стоїть на заводі планам ЕСУ-2035 щодо збереження частки атомної генерації на рівні близько половини від загального обсягу виробництва електроенергії, оскільки для будівництва та введення в експлуатацію нових заміщувальних атомних потужностей в ДП «НАЕК «Енергоатом» відсутній фінансовий ресурс.

Слід зазначити, що при виборі моделі атомного енергоблоку, які будуть використані при будівництві заміщувальних атомних потужностей, слід враховувати й сучасні світові тенденції реакторобудування. Новітні інноваційні типи реакторів об'єднує підвищена безпека, заснована на принципах внутрішньої самозахисності, коли властивості реактора забезпечують його зупинку та розхолодження за будь-яких аварійних ситуацій на основі природних зворотних зв'язків та процесів. Ще однією важливою особливістю цих реакторів є здатність працювати на природному урані чи відпрацьованому ядерному паливі існуючих АЕС. Бажаною властивістю є й можливість цих реакторів працювати в маневровому режимі (коли потужність реактора може достатньо швидко регулюватися в широких межах), але це є найбільш важко здійсненим через те, що при змінах потужності реактора суттєво змінюються й нейтронно-фізичні характеристики його активної зони – відбувається так зване «отруєння реактора» чи «йодна» яма, що може призвести до втрати керуваності ланцюгової реакції поділу²⁴.

Найприйнятнішою для реалізації в сучасних українських умовах є технологія малих модульних реакторів (Small Modular Reactor – SMR чи MMP)²⁵, які в розрахунку на 1 кВт встановленої потужності потребують нижчих капітальних витрат (порівняно з реакторами великої потужності). З урахуванням вже наявної інфраструктури та професійних кадрів, а також можливості високого ступеня локалізації виробництва технологічного обладнання MMP в Україні (включно з

дитсадки, школи, лікарні) споживають близько 51 млрд. кВт-годин електроенергії, що еквівалентно 60% від обсягу генерації Енергоатому.

²³ Аналітична записка «Роль та місце атомно-промислового комплексу України в контексті забезпечення енергетичної незалежності та суверенітету держави». Національний інститут стратегічних досліджень. 2019 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://niss.gov.ua/doslidzhennya/nacionalna-bezpeka/rol-ta-misce-atomno-promisloвого-kompleksu-ukraini-v-konteksti>

²⁴ Намагання підняти потужність реактора в умовах його отруєння, поряд з конструктивними особливостями реактора РВПК-1000, призвели до аварії на 4-му енергоблоці ЧАЕС у 1986 році.

²⁵ Small Modular Reactors: Adding to Resilience at Federal Facilities.

<https://www.energy.gov/sites/prod/files/2018/01/f47/Small%20Modular%20Reactors%20-%20Adding%20to%20Resilience%20at%20Federal%20Facilities%20.pdf>

корпусами реактора), спрощеної логістики (відсутні великогабаритні конструкції), можливості налагодження власного виробництва ядерного палива для цих реакторів в Україні²⁶, існує можливість забезпечення на цій основі розширеного відтворення ядерної генерації в Україні.

Водночас під час проектування ММР можна передбачити, що частина виробленої енергії може бути використана для отримання водню, який є одним із найперспективніших видів неуглецевого палива на транспорті²⁷. Подібний підхід, коли частина енергії, що виробляється в реакторі під час «нічного провалу» (коли споживання падає і в енергосистемі є надлишок енергії), може використовуватися для отримання тепла та водню, а ті, у свою чергу, для генерації електроенергії під час денного піку споживання, тим самим покриваючи нестачу маневрових потужностей в ОЕС, визнаний одним із перспективних як на рівні МЕА, так і в країні, яка експлуатує більше всіх ядерних реакторів у світі – США^{28, 29}. Близької позиції дотримуються й експерти МАГАТЕ, які розглядають симбіоз ядерної та відновлюваної (зокрема, водневої) енергетики як основу нових гнучких гібридних енергетичних систем, в яких ядерні та ВДЕ-технології доповнюють одна одну³⁰.

Саме тому Україні (як на державному, так і корпоративному рівнях) у межах міжнародної співпраці доцільно забезпечити підтримку інноваційних проєктів щодо малих модульних реакторів, у т. ч. використання ММР для отримання водню та забезпечення маневреності не за рахунок зміни режимів роботи реактора (що у будь-якій системі несе додаткові ядерні ризики), а за рахунок водневої енергетики, водневих паливних комірок та інноваційного ядерного палива для ММР, стійкого до аварій. Зазначене надасть змогу забезпечити інноваційний розвиток економіки країни та досягти встановлених як політичних (енергетична незалежність), так і глобальних (боротьба зі зміною клімату) цілей.

Слід зазначити, що стимулювання розвитку новітніх ядерних технологій (до яких відносяться й малі модульні реактори) є одним із завдань, встановлених Стратегією низьковуглецевого розвитку України до 2050 року. Проте реалізувати це завдання, як і забезпечити частку ядерної енергії в загальному балансі, передбачену Енергетичною стратегією України на період до 2035 року, **без вирішення**

²⁶ Напрямок виробництва інноваційного ядерного палива, стійкого до аварійних умов, може бути реалізований в рамках створення в Україні власного виробництва ядерного палива, що передбачено Концепцією Державної цільової економічної програми розвитку атомно-промислового комплексу на період до 2020 року (схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 9 листопада 2016 р. № 943-р).

²⁷ The Future of Hydrogen. Seizing today's opportunities / The International Energy Agency. URL: https://webstore.iea.org/download/direct/2803?fileName=The_Future_of_Hydrogen.pdf (дата звернення: 30.09.2019).

²⁸ Could Hydrogen Help Save Nuclear. URL: https://www.energy.gov/ne/articles/could-hydrogen-help-save-nuclear?fbclid=IwAR20ii9IU9Suj_E4ADSVJwV2Q1GFXueMtdqpPDUq7e9MI9qXTKITE70k2XQ

²⁹ Nation's First Small Modular Reactor Plant to Power Nuclear Research at Idaho National Laboratory. URL: https://www.energy.gov/ne/articles/nations-first-small-modular-reactor-plant-power-nuclear-research-idaho-national?fbclid=IwAR0I7EiZUZNGG4Dknl5Oa57xWq2liqWGJOq_JWAZnorFqBJnPHloW-tfJLk

³⁰ Див.: URL: <https://www.iaea.org/newscenter/news/nuclear-and-renewables-playing-complementary-roles-in-hybrid-energy-systems>

фінансово-економічних питань та залучення інвестицій неможливо.

Гідроенергетика³¹. Гідроенергетика відіграє важливу роль у гнучкості та стійкості ОЕС України, оскільки забезпечує енергетичну систему високоманевровими потужностями, що беруть участь в регулюванні добових графіків навантаження з покриттям пікової частини та заповненням нічних провалів (за рахунок роботи гідроакумулюючих агрегатів у насосному режимі). Вона також виконує функції регулювання частоти та аварійного резерву потужності в ОЕС.

Енергетичною стратегією України на період до 2035 року встановлені завдання щодо завершення реконструкції існуючих потужностей ГЕС та будівництва агрегатів ГАЕС, що дозволить зберегти в структурі генерації найбільш економічні та маневрові з них, а також збільшити їх потужність. Передбачається зростання виробництва електроенергії на ГЕС та ГАЕС з 7 (у 2015 році) до 12 (у 2025 році) та 13 (у 2035 році) млрд. кВт·год електроенергії на рік.

Це завдання має бути виконане за рахунок будівництва та введення в експлуатацію 3-го агрегату Ташлицької ГАЕС³², Канівської ГАЕС, Каховської ГЕС-2, другої черги Дністровської ГАЕС, каскаду Верхньодністровських ГЕС.

Слід зазначити, що на фоні об'єктів великої гідроенергетики України мала гідроенергетика через незначну питому вагу в загальному енергобалансі (поточна потужність об'єктів малої гідроенергетики становить близько 98 МВт) не може істотно впливати на структуру енергозабезпечення країни. Проте вона має суттєвий природний потенціал розвитку, зокрема у західних регіонах, де для деяких районів Закарпатської та Чернівецької областей мала гідроенергетика дасть змогу розв'язати низку проблем в енергопостачанні віддалених і важкодоступних районів сільської місцевості, стати джерелом повного енергозабезпечення, а також сприятиме децентралізації загальної енергетичної системи.

Сонячна та вітрова енергетика. За даними Міжнародного агентства з відновлювальної енергетики IRENA³³ сонячна енергетика в Україні має обґрунтований потенціал на рівні 4 ГВт, а вітрова – 16-24 ГВт.

За даними Атласу енергетичного потенціалу відновлюваних та нетрадиційних джерел енергії України³⁴ середньорічна кількість сумарної енергії сонячного випромінювання, яка надходить щорічно на територію України, знаходиться в

³¹ У 2019 році частка гідроенергії в загальному виробництві електроенергії становила близько 7,4% – було вироблено 11,78 зі 159,35 млрд. кВт·год електроенергії. Основна частина цієї електроенергії вироблена на ГЕС та ГАЕС ПрАТ «Укргідроенерго», до складу якого входять: Київська ГЕС та Київська ГАЕС, Канівська ГЕС, Кременчуцька ГЕС, Середньодніпровська ГЕС, Дніпровська ГЕС-1 та Дніпровська ГЕС-2, Каховська ГЕС, Дністровська ГЕС та Дністровська ГАЕС; Канівська ГАЕС та Каховська ГЕС-2 в процесі підготовки до будівництва. У 2019 році загальна кількість гідроагрегатів Товариства становила 103, а їх сумарна встановлена потужність досягла 5,758 ГВт. Див.: URL: https://uhe.gov.ua/diyalnist/osnovni_pokaznyky

³² Входить до складу Південноукраїнського енергокомплексу, до складу якого також входять Південноукраїнська атомна електростанція та Олександрівська мала гідроелектростанція.

³³ REMAP – 2030. Перспективи розвитку відновлюваної енергетики в Україні до 2030 року. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://sae.gov.ua/sites/default/files/UKR%20IRENA%20REMAP%20_%202015.pdf

³⁴ Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України. Київ.: ТОВ «Віол Принт», – 2008. – 55 с.

межах від 1 070 кВт·год/м² в північній частині України до 1 400 кВт·год/м² в південній. Фотоелектричне обладнання може ефективно експлуатуватися протягом усього року, проте максимально ефективно – протягом 7-и місяців на рік (з квітня по жовтень) в південних регіонах та 5-и місяців на рік у північних (з травня по вересень)³⁵.

Щодо вітрового потенціалу, то середньорічна швидкість вітру на території країни коливається в межах від 3 до 5 м/сек, а в найбільш перспективних регіонах (Карпатському та південному) середня річна швидкість вітру більше 5,5 м/сек, а на висоті 80 метрів перевищує 7,5 м/сек.

На кінець 2018 року на материковій частині України встановлена потужність об'єктів сонячної енергетики складала 1388 МВт, а вітрової – 533 МВт. Було вироблено, відповідно, 1,101 та 1,181 млрд кВт·год електроенергії, що склало, відповідно, 39 % та 43 % від загального виробництва електроенергії ВДЕ.

Національним планом дій з відновлюваної енергетики на період до 2020 року передбачено довести щорічне виробництво електроенергії на СЕС до 2420 ГВт·год (при встановленій потужності 2300 МВт), а на ВЕС – до 5900 ГВт·год (при встановленій потужності 2280 МВт). Зазначене має призвести до скорочення споживання природного газу більш ніж на 2,5 млрд м³ та запобігти викидам CO₂ в обсягах не менш 5,3 млн т на рік³⁶.

Втім ці плани сонячною генерацією вже виконані – лише за 9 місяців 2019 року встановлена потужність СЕС зросла на 150 % (до 3420 МВт), а ВЕС – на 75 % (до 932 МВт).

Досягненню таких результатів сприяє й постійне зниження питомої вартості обладнання для СЕС та ВЕС, яка приходить на 1 кВт встановленої потужності. Відповідно, знижується й обсяг необхідних питомих капіталовкладень, які наразі оцінюються у 1500-1750 \$/кВт³⁷ (при вартості обладнання у 1125-1170 \$/кВт, що становить 65-75 % від загальних витрат на спорудження СЕС та ВЕС; інші витрати йдуть на спорудження фундаментів, монтаж, розвиток електромереж та приєднання електростанцій до мереж тощо).

Ці дані корелюють і з оцінками Міжнародного агентства з відновлювальної енергетики IRENA³⁸, яке на кінець 2018 року оцінює питомі капіталовкладення для СЕС в діапазоні 796÷2746 \$/кВт та для ВЕС – 1175÷2439 \$/кВт з середньозваженими значеннями, відповідно, у 1210 та 1498 \$/кВт. Водночас частка вартості обладнання поступово зменшується і в середньому вже складає від 30 до 50 % загальних витрат. Це означає, що очікувати дальшого суттєвого зниження

³⁵ За узагальненими даними Держенергефективності. URL: <http://saee.gov.ua/uk/activity/vidnovlyuvana-enerhetyka>

³⁶ Проект Дорожньої карти розвитку відновлюваної енергетики України на період до 2020 року. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://saee.gov.ua/uk/pressroom/1133>

³⁷ Там же.

³⁸ Див. Figure S.4 та S.5. URL: <https://www.irena.org/publications/2019/May/Renewable-power-generation-costs-in-2018>

питомих капітальних витрат на спорудження СЕС та ВЕС не слід.

Водночас слід враховувати, що по мірі зростання частки «зеленої» енергетики ризики для стійкості ОЕС підвищуються, оскільки і сонячна, і вітрова енергетика залежать як від сезонних, так і денних/нічних, погодинних і навіть щохвилинних коливань сонячного випромінювання, швидкості та напрямку вітру. Типовий погодинний графік запланованої та фактичної генерації ВЕС та СЕС наведений на Рис.7.

Вже у 2018 році коливання виробітку потужності ВДЕ сягають 450 МВт³⁹.

Погана прогнозованість потужності СЕС та ВЕС навіть у короткостроковій перспективі та стохастичний режим їх роботи з можливістю швидких змін потужності, а також значні відмінності графіків виробництва ними електроенергії у різні, навіть суміжні дні, обумовлюють внесення суттєвих збурень в роботу ОЕС. Зазначене потребує додаткових маневрових (у т.ч. швидкодіючих) генеруючих потужностей.

За досвідом найбільш розвинених енергосистем, потужність засобів балансування в енергосистемі повинна становити 25-30 % від встановленої потужності ВЕС та СЕС.

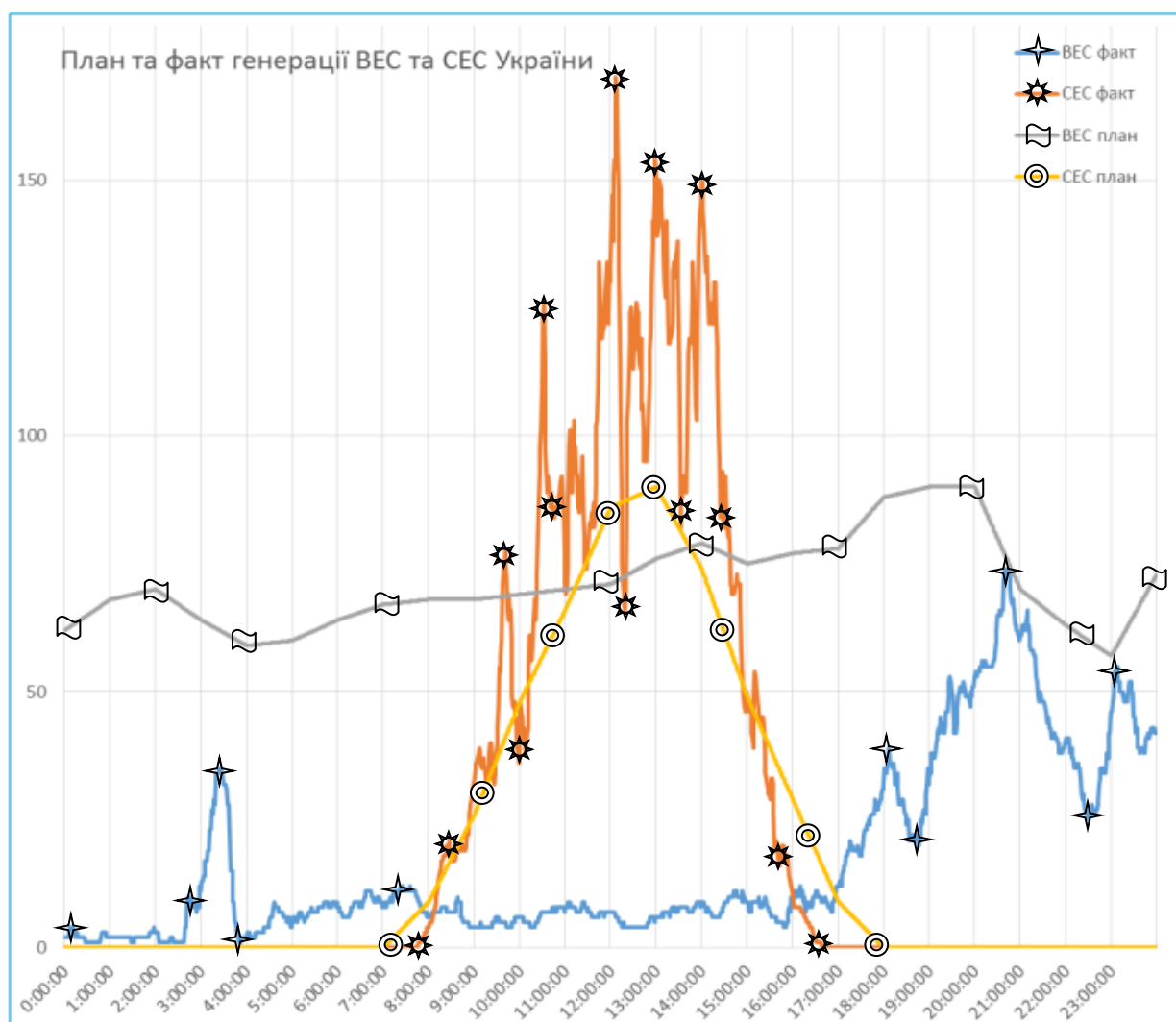
За даними ДП НЕК «Укренерго»⁴⁰ одним із найбільш ефективних шляхів забезпечення стабільної роботи ОЕС України та збереження темпів зростання потужності СЕС та ВЕС є *впровадження систем акумулювання електроенергії* для компенсації флуктуацій сонячної та вітрової генерації в обсягах 0,1 ГВт до 2021 року та 0,5 ГВт до 2025 року, а також *збільшення потужностей високоманеврових ТЕС зі швидким стартом*⁴¹ в період з 2020 року по 2025 рік з 0,5 ГВт до 2-2,5 ГВт з підтримкою на цьому рівні у подальшій перспективі. Реалізація такого шляху забезпечить можливість інтеграції до складу ОЕС України до 2025 року до 4,2 ГВт потужностей ВЕС та 3,3 ГВт потужностей СЕС.

³⁹ Проблемні питання розвитку виробництва електроенергії з ВДЕ в ОЕС України. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ua.energy/wp-content/uploads/2018/03/13.03.18-Kovalchuk-VRU-zelena-generatsiya.pdf>

⁴⁰ Там же.

⁴¹ На сьогоднішній день звичайною справою у США стала вимога 1 500 пусків на рік для маневрових ТЕС. Це стандартна вимога і для новітніх ТЕС у Німеччині, швидкість пуску яких встановлюється на рівні двох хвилин. У цьому сегменті конкурують лише газопоршневі двигуни. Див.:

URL: <https://www.epravda.com.ua/columns/2019/09/4/651261/>



та СЕС (за даними ДП НЕК «Укренерго»)⁴²

При збереженні існуючої ситуації з розвитку генеруючих потужностей та відсутності реалізації заходів щодо інтеграції ВЕС та СЕС (підвищення високоманеврових та акумулюючих можливостей енергосистеми), можливості розвитку ВЕС та СЕС будуть обмежені на рівні 3 ГВт⁴⁵, які станом на 1 жовтня 2019 року вже досягнуті.

Збільшення ВДЕ до 7,5 ГВт відповідно до вже виданих ТУ на приєднання призведе до коливань виробітку потужності ВДЕ протягом доби у 2200 МВт. ОЕС України може витримати подібне збурення лише у разі зменшення бази АЕС на 5750 МВт та збільшення виробітку електроенергії на ТЕС на 2800 МВт, що суперечить політиці декарбонізації. Потрібно вводити електростанції швидкодіючого резерву (газопоршневі станції, ГАЕС) потужністю до 3000 МВт. Це

⁴² Аналітичний звіт до питання розвитку ВЕС та СЕС в складі ОЕС України. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ua.energy/wp-content/uploads/2018/06/ANALITYCHNYJ-ZVIT-2.pdf>

⁴⁵ Укренерго пропонує план «С» для розвитку «зеленої» генерації. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ua.energy/osnovni-podiyi/ukrenergo-proponuye-plan-s-rozvytku-vde/>

збільшить базове навантаження АЕС до 6500 МВт при роботі ТЕС на рівні 1500 МВт⁴⁶.

Аналогічні висновки містяться й у проекті Звіту з оцінки відповідності (достатності) генеруючих потужностей⁴⁷, розробленому НЕК «Укренерго» у 2019 році. Так, наразі в умовах швидкого будівництва електростанцій із негарантованою потужністю на ВДЕ та гострого дефіциту маневрених потужностей нарастають проблеми щодо забезпечення балансової надійності ОЕС України. Для розв'язання цих проблем необхідно в період до 2030 року введення в дію високоманеврових ТЕС зі швидким стартом загальною потужністю до 3 ГВт та систем акумулювання електроенергії загальною потужністю біля 3 ГВт, збільшення потужностей ГЕС на 0,36 ГВт та ГАЕС (введення в роботу 4-го гідроагрегату на Дністровський ГАЕС та двох гідроагрегатів на Канівській ГАЕС), забезпечити подовження роботи атомних енергоблоків. При цьому, з огляду на необхідність проведення робіт з реконструкції та екологізації ТЕС, а також необхідність мати можливість компенсації за рахунок роботи ТЕС проблем, що можуть виникнути у разі неможливості подовження терміну роботи всіх діючих енергоблоків АЕС на 20 років, встановлена потужність вугільних ТЕС повинна становити близько 16 ГВт, а доступна не менш 12 ГВт; в якості додаткового резерву забезпечення потужності енергосистеми доцільно залишити в стані резерву два газомазутні блоки одиничною потужністю 300 МВт.

В Україні підтримка відновлюваної енергетики закріплена на законодавчому рівні. Ця підтримка реалізована шляхом встановлення «зелених» тарифів та гарантованої купівлі виробленої електроенергії.

Такий механізм стимулювання виробництва електроенергії з альтернативних джерел енергії зберігається й в рамках нового ринку електроенергії^{48, 49}.

З іншої сторони, законодавством України передбачаються заходи щодо збалансування обсягів енергії, виробленої з альтернативних джерел, та її передачі до ОЕС України. Так, Законом України «Про альтернативні джерела енергії»⁵⁰ передбачено, що з урахуванням особливостей використання альтернативних джерел

⁴⁶ Проблемні питання розвитку виробництва електроенергії з ВДЕ в ОЕС України. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ua.energy/wp-content/uploads/2018/03/13.03.18-Kovalchuk-VRU-zelena-generatsiya.pdf>

⁴⁷ Звіт з оцінки відповідності (достатності) генеруючих потужностей. (Проект від 31.10.2019). [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ua.energy/wp-content/uploads/2019/10/Zvit-z-otsinky-vidpovidnosti-vid-31.10.19.pdf>

⁴⁸ Закон України «Про внесення зміни до Закону України "Про електроенергетику" щодо коефіцієнтів "зеленого" тарифу для електроенергії, виробленої з використанням альтернативних джерел енергії». [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1804-19>

⁴⁹ Відповідно до Закону України «Про ринок електричної енергії» виробники електричної енергії, яким встановлено «зелений» тариф або які за результатами аукціону набули право на підтримку, мають право продати електричну енергію, вироблену ними, гарантованому покупцю за «зеленим» тарифом або за аукціонною ціною з урахуванням встановлених надбавок. Див.: URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2019-19#n1801>

⁵⁰ Закон України «Про альтернативні джерела енергії». [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/555-15>

енергії, що обумовлені природними умовами, необхідним є «узгодження та збалансування періодичності передачі обсягів енергії, виробленої з альтернативних джерел, зокрема передачі електричної енергії в об'єднану енергетичну систему України», а самі виробники відповідно до Закону України «Про ринок електричної енергії» мають «нести фінансову відповідальність за небаланси електричної енергії за цінами, визначеними відповідно до правил ринку, у разі невиконання ними акцептованих оператором системи передачі погодинних графіків електричної енергії»⁵¹.

У свою чергу, для зменшення та недопущення небалансу виробникам електроенергії з альтернативних джерел, які використовують енергію сонця та вітру (які найбільш залежить від примх погоди) потрібно мати пристрої для акумулювання енергії, бо тільки за наявності систем акумулювання енергії вдасться забезпечити виконання погодинних графіків та уникнути фінансових санкцій за врегулювання небалансів. Ця фінансова відповідальність почне діяти з 1 січня 2021 року (спочатку часткова, а не пізніше 1 січня 2030 року – повна).

Водночас впровадження систем акумулювання енергії на ВЕС та СЕС дозволить збалансувати роботу ОЕС України, тим самим зменшивши потребу в додаткових маневрових потужностях.

Енергія з біомаси. Сектор біоенергетики можна віднести до такого, що найбільш динамічно розвивається. Так, у 2017 році виробництво біопалив та відходів в Україні склало 3618 тис. т н.е., а постачання первинної енергії з них – 3046 тис. т н.е. (або 3,4 % загального первинного постачання енергії – ЗППЕ)⁵². При цьому ріст сектору біоенергетики України протягом 2013-2017 рр. оцінювався в середньому у 45 % на рік по показнику виробництва біопалив та відходів і 35 % на рік по загальному постачанню первинної енергії з них. На ринку біопалив найбільший сегмент займало тверде біопаливо у вигляді дров, деревної тріски, пелет (гранул) та брикетів з біомаси, тюкованої соломи.

⁵¹ Прикінцевими положеннями Закону України «Про ринок електричної енергії» встановлено, що починаючи з 1 січня 2021 року частка відшкодування гарантованому покупцю суб'єктами господарювання, які входять до складу балансуєної групи гарантованого покупця та здійснюють продаж електричної енергії, виробленої з альтернативних джерел енергії, за «зеленим» тарифом або аукціонною ціною, вартості врегулювання небалансу гарантованого покупця первісно становить 10% вартості небалансу, яка збільшується кожного наступного року на 10%, а починаючи з 1 січня 2030 року становитиме 100%. Передбачено, що відшкодування небалансу в залежності від виду генерації та часки енергії з альтернативних джерел у щорічному енергетичному балансі здійснюється у разі відхилень більше 5% (для малої гідроенергетики) – 10% (для СЕС) – 20% (для ВЕС). При цьому, у разі фактичного досягнення суб'єктами господарювання, які виробляють електричну енергію з альтернативних джерел енергії, у щорічному енергетичному балансі України частки в розмірі 5 відсотків і більше, відшкодування небалансу здійснюватиметься у разі відхилень, відповідно, у 5%, 5% та 10%.

Водночас, з під дії цих положень до 31 грудня 2029 року фактично виведені суб'єкти господарювання, які виробляють електричну енергію з альтернативних джерел енергії, введених в експлуатацію «до дня набрання чинності цим Законом» – тобто до квітня 2017 року.

⁵² Енергетичний баланс України за 2017 рік. [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2012/energ/en_bal/arh_2012.htm

За даними Держстату⁵³ у 2018 р. 29,6 % генеруючих підприємств (установок) з виробництва електроенергії та теплоенергії працювали на біопаливі (у 2017 р. – 27,1 %). Зазначеними об'єктами генерації у 2018 р. відпущено електричної енергії 287,5 млн кВт·год, що складає майже 0,2 % від загальних обсягів (проти 0,14 % у 2017 та 0,1 у 2016 р.), теплової енергії – 7636,7 тис. Гкал (чи 7,8 % проти 6,9 % у 2017 р. та 5,4 у 2016 р.).

І Стратегією низьковуглецевого розвитку до 2050 року, і Енергетичною стратегією України на період до 2035 року передбачено низку заходів щодо розширення використання біомаси та біопалив для виробництва теплової та електричної енергії. При цьому слід враховувати, що використання біомаси не призводить до посилення парникового ефекту, оскільки не змінює природний баланс CO₂, а зменшення викидів відбувається за рахунок заміщення вуглецевих викопних джерел енергії масами/паливами органічного походження, які все одно зазнають біологічного розкладу.

Так, згідно з визначенням, наведеним у директиві Європарламенту та Ради Європи 2009/28/ЄС⁵⁴, «біомаса» означає «частину продуктів, що підлягає біологічному розкладенню, відходи та залишки біологічного походження, що отримуються з сільського господарства (враховуючи речовини рослинного та тваринного походження), лісового господарства та суміжних галузей, враховуючи рибальство та аквакультуру, а також частину промислових та міських відходів, що підлягає біологічному розкладенню».

Аналогічне визначення міститься й в українському законодавстві. Відповідно до Закону України «Про альтернативні види палива»⁵⁵ біомасою вважається «невикопна біологічно відновлювана речовина органічного походження, здатна до біологічного розкладу, у вигляді продуктів, відходів та залишків лісового та сільського господарства (рослинництва і тваринництва), рибного господарства і технологічно пов'язаних із ними галузей промисловості, а також складова промислових або побутових відходів, здатна до біологічного розкладу», а під біопаливом розуміється «тверде, рідке та газове паливо, виготовлене з біологічно відновлювальної сировини (біомаси), яке може використовуватися як паливо або компонент інших видів палива».

Україна має значний потенціал для розвитку біоенергетики, оскільки володіє великим ресурсом біомаси, доступної для виробництва енергії: відходи сільського господарства, відходи деревини, енергетичні культури, як традиційні (цукровий

⁵³ Постачання та використання енергії у 2018 році. [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2018/energ/pve/arh_pve_u.htm

⁵⁴ Директива Європейського Парламенту та Ради 2009/28/ЄС від 23 квітня 2009 року про заохочення до використання енергії, виробленої з відновлюваних джерел та якою вносяться зміни до, а в подальшому скасовуються Директиви 2001/77/ЄС та 2003/30/ЄС. [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

http://sae.gov.ua/documents/dyrektyva_2009_28.pdf

⁵⁵ Закон України «Про альтернативні види палива». [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

<http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1391-14>

буряк та зернові – на біоетанол, кукурудза – на біогаз), так і ті, що призначені суто для енергетичних цілей та вирощування яких почало активно розвиватися в останні роки (ріпак на біодизель, міскантус, швидкозростаючі деревовидні культури: верба, тополя).

За даними Біоенергетичної асоціації України (далі – БАУ)^{56, 57} економічно обґрунтований енергетичний потенціал існуючих відходів біомаси складає близько 25 млн т у.п., а енергетичний потенціал біомаси, яку можна виростити на невикористаних сільськогосподарських землях площею більше 4 млн га – близько 13 млн т у.п. За рахунок цього потенціалу можна покрити до 18 % загального обсягу споживання первинних енергоносіїв в Україні.

В енергетичних цілях біомасу можна використовувати як шляхом прямого спалювання (відходів деревини, соломи, лушпиння тощо), так і після переробки у вигляді біопалив: рідких (ефіри ріпакової олії, спирти, рідкі продукти піролізу, біодизель тощо) та газоподібних (бігаз з відходів сільського господарства, осаду стічних вод, твердих побутових відходів, продукти газифікації деревини тощо)⁵⁸.

Енергетичною стратегією України на період до 2035 року також передбачається зростання частки сектору електроенергетичної галузі, який використовує тверду біомасу та біопалива як енергоресурс, що зумовлено як відносною сталістю виробництва (наявністю ресурсної бази), так і тенденцією до формування локальних генеруючих потужностей. При цьому перевага віддаватиметься одночасному виробництву теплової та електричної енергії в когенераційних установках і заміщенню вуглеводневих викопних видів палива.

Слід зазначити, що біомаса є місцевим видом палива, – тобто при виробництві енергії з біомаси використовуються наявні місцеві ресурси регіону, включаючи і трудові. З іншої сторони, біомаса є й відновлюваним видом палива, тобто за умови раціонального ведення господарства є практично невичерпним місцевим джерелом енергії. Таким чином, використання біомаси призводить до розвитку місцевої економіки, сприяє сталому розвитку регіону та не створює негативних наслідків, пов'язаних з виснаженням природних родовищ традиційних вуглеводнів.

ЕСУ-2035 передбачає низку заходів щодо збільшення використання біомаси у генерації електричної та теплової енергії, зокрема, шляхом:

стимулювання використання біомаси як палива на підприємствах, де біомаса є залишковим продуктом;

⁵⁶ Аналітична записка БАУ №1 (2012) «Місце біоенергетики в проекті оновленої Енергетичної стратегії України до 2030 року». [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.uabio.org/img/files/docs/position-paper-uabio-1-ua.pdf>

⁵⁷ Перспективи вирощування та використання енергетичних культур в Україні. Аналітична записка БАУ №10. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.uabio.org/img/files/docs/position-paper-uabio-10-ua.pdf>

⁵⁸ Посібник «Підготовка та впровадження проектів заміщення природного газу біомасою при виробництві теплової енергії в Україні». [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.uabio.org/img/posibnyk-opovleniy-2016.pdf>

інформування про можливості використання біомаси як палива в індивідуальному теплопостачанні;

забезпечення роботи систем опалення (у т.ч. центрального) на енергії з відновлюваних джерел (пелети, побутове сміття тощо);

сприяння створенню конкурентних ринків біомаси.

Водночас реалізації цих заходів заважає низка проблем, зокрема:

1) пов'язаних із вирощуванням енергетичних сільськогосподарських культур. Так, за даними БАУ⁵⁹ низка енергетичних культур відсутні в Державному класифікаторі продукції та послуг ДК 016:2010 (Секція А «Продукція сільського господарства, лісового господарства та рибного господарства»), що може створити юридичні та інші проблеми на певному етапі господарської діяльності виробників цих культур. Крім того, виробники енергокультур стикаються з необхідністю сплати ПДВ при оформленні своїх відносин з інвестором, тоді як вони ще не виробили жодної продукції. Це пов'язано з тим, що продукцією вважаються саджанці, вирощені самою компанією для використання на своїх же плантаціях. Ще одна проблема полягає в тому, що виробник енергокультур не вважається «сільгоспвиробником» і не має відповідних пільг (наприклад, по оренді техніки), поки він не здійснив перший продаж свого врожаю. Враховуючи, що врожай верби і тополі збирається кожні 3-4 роки, період до першого продажу та отримання відповідних пільг є досить тривалим;

2) пов'язаних із заготовленням деревини. Так, за даними БАУ⁶⁰ держлісгоспи не мають достатньої техніки, мотивації, а іноді й можливості для значного збільшення заготівлі деревного палива. Разом із тим існує ціла низка обмежень для приватних компаній по заготівлі деревного палива в державних лісах;

3) пов'язаних із виробництвом та використанням брикетів (пелет) з агробіомаси. Так, за даними БАУ⁶¹ значна частка пелет та брикетів наразі експортується з України в країни Європи через недостатньо великий попит на внутрішньому ринку. Так, експорт деревних пелет у 2015 р. склав більше 38,5 % їх загального обсягу виробництва, а експорт пелет з лушпиння з урахуванням реекспорту навіть перевищив обсяг їх виробництва в Україні. Розвитку виробництва та споживання пелет в Україні сприятиме й запровадження їх сертифікації в Україні за нормами ENplus, яка відповідає кращим європейським практикам;

4) пов'язаних із розвитком конкурентного ринку біомаси та біопалив в Україні. Так, за даними БАУ⁶² у потенційних споживачів з енергетичного сектора

⁵⁹ Перспективи вирощування та використання енергетичних культур в Україні. Аналітична записка БАУ №10. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.uabio.org/img/files/docs/position-paper-uabio-10-ua.pdf>

⁶⁰ Можливості заготівлі деревного палива в лісах України. Аналітична записка БАУ №19. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.uabio.org/img/files/docs/position-paper-uabio-19-ua.pdf>

⁶¹ Аналіз можливостей виробництва та використання брикетів з агробіомаси в Україні. Аналітична записка БАУ №20. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://uabio.org/img/files/docs/position-paper-uabio-20-ua.pdf>

⁶² Створення конкурентного ринку біопалив в Україні. Аналітична записка БАУ №18. [Електронний ресурс]. – Аналітична записка. Серія «Національна безпека», № 6/2019

існують проблеми⁶³ з доступом до ресурсів деревної біомаси, а також біомаси сільськогосподарського походження. На сьогодні не існує спеціальних форм реалізації деревного палива (бірж, аукціонів) для потреб біоенергетичних об'єктів, що викликає труднощі у забезпеченні надійних поставок біопалива на такі об'єкти. Також немає організованих систем забезпечення купівлі-продажу біомаси сільськогосподарського походження (тюків соломи, стебел кукурудзи та ін.) для цілей енергетики. Споживачі мають самі знаходити виробників й домовлятися з ними або навіть самостійно організовувати збір та доставку біомаси, що у багатьох випадках викликає значні труднощі. Ще однією проблемою є складнощі з підключенням незалежних виробників теплової енергії з біомаси до централізованого тепlopостачання.

Для вирішення цих проблем потрібно:

забезпечити вільний доступ підприємств всіх форм власності до відходів і побічної продукції лісового та сільського господарства;

запровадити в Україні систему сертифікації пелет за нормами ENplus;

заснувати біопаливну біржу для реалізації операцій купівлі-продажу різних видів біомаси;

спростити процедури підключення незалежних виробників теплової енергії з біомаси до централізованого тепlopостачання.

Інші ВДЕ з найменшим рівнем викидів парникових газів. Відповідно до Закону України «Про альтернативні джерела енергії», окрім вже згаданих (гідроенергії, енергії сонця та вітру, енергії біомаси, включаючи газ з органічних відходів, газ каналізаційно-очисних станцій, біогази), до відновлюваних джерел відносять геотермальну енергію, енергію хвиль та припливів, вторинні енергетичні ресурси, до яких належать доменний та коксівний газ, газ метан вугільних родовищ, а також перетворення скидного енергопотенціалу технологічних процесів.

За даними Міжнародного агентства з відновлювальної енергетики IRENA,⁶⁴ **Україна має значний потенціал геотермальної енергії.** Зокрема, економічно-доцільний потенціал енергетичних ресурсів термальних вод оцінюється у 8,4 Мт н.е. на рік, а в електричному вимірі – 98,6 ТВт·год на рік, що перевищує сумарний потенціал енергії сонця та вітру.

Великі запаси термальних вод винайдені в Чернігівській, Полтавській, Харківській, Луганській, Сумській областях та Криму. Проте опалення за рахунок геотермальних вод працює лише на території окупованого Криму, де в експлуатації перебуває 11 систем циркуляції геотермальних вод. Ці системи відповідають вимогам до сучасних технологій одержання геотермального тепла. Працюють і

Режим доступу: <http://uabio.org/img/files/docs/position-paper-uabio-18-ua.pdf>

⁶³ Аналітичний звіт до питання розвитку ВЕС та СЕС в складі ОЕС України. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ua.energy/wp-content/uploads/2018/06/ANALITYCHNYJ-ZVIT-2.pdf>

⁶⁴ REMAP – 2030. Перспективи розвитку відновлюваної енергетики в Україні до 2030 року.

http://sae.gov.ua/sites/default/files/UKR%20IRENA%20REMAP%20_%202015.pdf

пілотні, і промислові установки.

Сотні свердловин термальних вод на іншій території країни законсервовані, але можуть бути розконсервовані з метою використання потенціалу геотермального тепла.

Іншим видом енергії, що відноситься до ВДЕ, є *енергія хвиль та припливів*, світовий ресурс якої оцінюється навіть вищим від ресурсів великої та малої річкової гідроенергетики. Найбільш поширеним способом використання енергії морів та океанів є спорудження припливних електростанцій та установок поплавкового чи понтонного типу, що працюють на енергії морських хвиль. Проте для України промислове використання цих ресурсів є проблематичним через замерзання Азовського і Чорного морів, що суттєво обмежує доцільність використання енергії хвиль, та вкрай низький припливний потенціал – припливна хвиля на Чорному морі не перевищує 10 см, у той час як економічно-прийнятна висота становить декілька метрів⁶⁵.

Доменний та коксівний газ відносяться до вторинних вироблених газів. Доменний газ утворюється під час виплавляння чавуну на кам'яновугільному коксі в доменних печах. Він значно низькокалорійніший, ніж природний газ, а його використання вимагає підвищених заходів безпеки, оскільки він є отруйним через значний вміст чадного газу (монооксиду вуглецю CO) – до 20-30 % . За рахунок його використання потенційно можна забезпечити до 30-40 % потреб в тепловій енергії металургійного комбінату. Розвиток цього напрямку нетрадиційної енергетики дозволить підприємствам не тільки економити органічне паливо, але й спрощувати вирішення екологічних проблем для створення сприятливих санітарних та житлових умов життя і праці населення.

Коксівний газ отримують при виробництві коксу в коксових батареях. Він має значно більш високу теплоту згоряння (бо містить більше метану та водню) і є не таким небезпечним⁶⁶. Втім використання цих газів не отримало широкого розповсюдження, оскільки фактично обмежене металургійними комбінатами, де вони отримані.

Питання видобування *газу метану вугільних родовищ* під час дегазації та подальшого його використання як енергетичного ресурсу законодавчо врегульовані Законом України «Про газ (метан) вугільних родовищ»⁶⁷. Його загальні ресурси в Україні за різними даними^{68,69} оцінюються у 12-25 трлн м³. Проте технічна

⁶⁵ Перша велика електростанція, що працює на енергії припливів, була побудована в 1968 р. в усті ріки Ранс (Франція), і мала різницю рівнів у 3 м.

⁶⁶ В.А.Скляр. «Прогрессивные энерго- и ресурсосберегающие металлургические технологии».

⁶⁷ Закон України «Про газ (метан) вугільних родовищ». [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1392-17>

⁶⁸ Метан вугільних пластів в Україні. Проект «Нетрадиційний газ в Україні». [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://shalegas.in.ua/metan-vugil-nyh-plastiv-v-ukrayini/>

⁶⁹ Baker Tilly. Газовидобування в Україні. 2012. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.bakertilly.ua/media/Gazovydobuvannya_v_ukrayini.pdf

можливість витягу значної частки цих запасів залишається під сумнівом, оскільки вугільні пласти в Україні залягають на значній глибині (500-5000 м) і мають невелику товщину (до 2 м). Тому перспективний видобуток метану вугільних пластів оцінюється на рівні 2-12 млрд м³ на рік.

***Довідково:** метан вугільних родовищ міститься в порах і тріщинах вугільної породи, а також в сорбованому вигляді. Тому для видобутку метану вугільних пластів може використовуватися гідравлічний розрив пласта. Після гідравлічного розриву настає період зневоднювання родовища (2-3 роки), і тільки на третій-четвертий рік розроблення родовище виходить на максимальний обсяг видобутку.*

Водночас значна частина шахтного метану, що вивільняється при видобуванні вугілля, потрапляє в атмосферу. Так, за даними Міненерговугілля⁷⁰, у 2012 році при видобутку 85,7 млн тонн вугілля було виділено 1,4 млрд м³ шахтного метану. Проте більшість метану через системи вентиляції вугільних шахт потрапила в атмосферу і лише 370 млн м³ було вловлено системами дегазації, якими обладнано лише 44 шахти із 155. При цьому лише 43 % із вловленого метану були в подальшому утилізовані для виробництва теплової та/або електричної енергії, тоді як решта була спалена на факелі або так само потрапила в атмосферу. Це пов'язано з тим, що лише на 18 шахтах концентрація метану в газоповітряній суміші з дегазаційних установок перевищує 25 %, тоді як використання суміші з меншою концентрацією метану заборонено відповідно до правил безпеки.

В Україні здійснюється державна підтримка видобування всіх типів газу вугільних родовищ. Зокрема, прибуток від господарської діяльності з видобування та використання газу (метану) вугільних родовищ звільнений від обкладання податком на прибуток до 2020 року відповідно до Закону України «Про газ (метан) вугільних родовищ». Проте зазначених заходів недостатньо для розвитку цього напряму використання ВДЕ, тим більш що при видобуванні та дальшому використанні шахтного метану вирішуються не лише завдання ВДЕ, але й підвищується безпека видобутку вугілля та зменшуються викиди метану в атмосферу від цієї діяльності. Таким чином, видобуток метану вугільних родовищ має високий потенціал в Україні, однак вимагає розробки заходів з державної підтримки таких проектів.

Ще одним видом енергії, що відноситься до ВДЕ, є *енергія довкілля*, яка включає тепло атмосферного повітря, води річок, морів, верхнього шару ґрунту та ґрунтових вод. За даними Міжнародного агентства з відновлювальної енергетики IRENA⁷¹ технічно-досяжний енергетичний потенціал енергії довкілля в Україні складає 12,6 Мт н.е. на рік, а його використання дозволить заощадити близько

⁷⁰ Status of coal mine methane degasification and utilization in Ukraine. Methane Expo 2013. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.globalmethane.org/expo-docs/canada13/coal_09%20Ukraine.pdf

⁷¹ Там же.

15,6 млрд м³ природного газу⁷². При цьому найбільш ефективно використання цієї енергії досягається шляхом використання теплових насосів, які можуть працювати як для обігріву, так і для охолодження.

Досвід провідних країн свідчить, що енергію ґрунту та повітря найчастіше використовують у теплонасосних установках потужністю 10-20 кВт, які обслуговують окремі невеликі будинки. В умовах України це можуть бути садибні будинки міст та сіл. Перевагою теплонасосних установок є значне скорочення витрат первинної енергії, безпека роботи та їх екологічна чистота, низька вартість отриманої теплової енергії, а також можливість підвищення ступеня автономності систем життєзабезпечення будівель. Водночас на заваді їх більш широкому використанню стоїть ціна цих систем, яка в перерахунку капітальних витрат на опалення/охолодження 1 м² площі приміщення є найвищою серед усіх енергетичних систем (хоча з урахуванням сумарних витрат установки на теплових насосах є цілком конкурентоздатними). Окрім того слід враховувати, що інтенсивна експлуатація теплових насосів може призвести: взимку – до зниження температури ґрунтового масиву та його промерзання, а влітку – до підвищення температури ґрунту та його перегріву. Щоб не допустити цього необхідно підтримувати такий рівень використання енергії ґрунту, який дозволив би експлуатувати джерело енергетичних ресурсів без шкоди для навколишнього середовища. Для кожного регіону України існує певна максимальна інтенсивність видобування геотермальної енергії, яку можна підтримувати тривалий час.

Водневе паливо. Ще одним напрямом використання неуглецевих джерел енергії є *розширення інфраструктури для транспортних засобів, що використовують неуглецеве, зокрема водневе паливо*⁷³.

Яскравим прикладом тут виступає Німеччина, в якій у 2018 році потяги на водні розпочали регулярні пасажирські перевезення⁷⁴. Технологія використовує водневі елементи. Вона є найбільш перспективною та дозволяє запровадити безуглецевий цикл: електроенергія, отримана на СЕС та ВЕС (або на АЕС під час нічного провалу споживання), використовується для отримання водню шляхом електролізу води; отриманий водень з'єднується з киснем в паливному елементі, у результаті чого виникає електричний струм; струм поступає на електричні двигуни, які приводять транспортний засіб у рух.

⁷² Енергія доквілля. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://saee.gov.ua/ae/termo-energy>

⁷³ Зазначене завдання встановлено як Енергетичною стратегією України на період до 2035 року, так і Стратегією низьковуглецевого розвитку України до 2050 року.

⁷⁴ Водневий потяг - європейський технологічний прорив із застереженнями.

<https://www.dw.com/uk/%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D0%B5%D0%B2%D0%B8%D0%B9-%D0%BF%D0%BE%D1%82%D1%8F%D0%B3-%D1%94%D0%B2%D1%80%D0%BE%D0%BF%D0%B5%D0%B9%D1%81%D1%8C%D0%BA%D0%B8%D0%B9-%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D1%96%D1%87%D0%BD%D0%B8%D0%B9-%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%80%D0%B8%D0%B2-%D1%96%D0%B7-%D0%B7%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F%D0%BC%D0%B8/a-45542260>

До недоліків технології можна віднести достатньо високу вартість (як отримання водню, так і самого паливного елемента), нерозвинену інфраструктуру водневих заправок, а також проблеми забезпечення безпеки при отриманні, зберіганні, транспортуванні та застосуванні водню. Втім, навіть з урахуванням здатності водню створювати вибухонебезпечні суміші, вибухо- та пожежонебезпечність водню зіставна з небезпеками природного газу та бензинів; техніко-економічні проблеми можуть бути вирішені, а водневий транспорт стати цілком безпечним і конкурентоздатним⁷⁵.

Для України водень є перспективним паливом, яке в умовах жорсткого дотримання вимог техніки безпеки може замінити вуглеводневі джерела енергії та зменшити рівень енергетичної залежності країни. Основним завданням на цьому шляху є забезпечення достатньо високої ефективності виробництва і зберігання водню та розробка конкурентоспроможних енергоустановок з його використання. Зважаючи ж на наявний науковий потенціал⁷⁶, ці завдання можуть бути вирішені в Україні вже у ближчій перспективі.

⁷⁵ Воднева енергетика: перспективи України (аналітичний матеріал). А. І. Шевцов, М. Г. Земляний, В. В. Вербинський. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.db.niss.gov.ua/docs/energy/194.htm>

⁷⁶ Українські дослідницькі лабораторії що працюють над водневими проектами. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://uahe.net.ua/ukrainian-projects/346-ukraiynski-doslidnitski-laboratoriji-shcho-pratsyuyut-nad-vodnevim-proektami.html>