

# **Низьковуглецева енергетика: світовий досвід, потенціал, стан та перспективи розвитку в Україні**

**Бобро Дмитро Геннадійович**  
**Провідний науковий співробітник**  
**Відділ енергетичної та техногенної безпеки НІСД**

**м. Київ - 2019 р.**

Комюніке засідання Ради керуючих Міжнародного Енергетичного Агентства (МЕА) на рівні Міністрів, яке відбулося 6 грудня 2019 року та проходило під девізом “Створення майбутнього енергетики”:

«...Ми визнаємо важливість провідних енергетичних переходів для термінового вирішення ключових та складних глобальних проблем і задач, таких як енергетична безпека, зміна клімату, ефективність використання ресурсів, стійке споживання, виробництво та доступ до енергії...

Ми підтримуємо провідну роль МЕА у формуванні глобальної енергетичної політики для вирішення проблем **переходу на екологічно чисту енергію та забезпечення глобальної енергетичної безпеки та доступності**.

Оскільки енергетичний сектор є джерелом більше 85% глобальних викидів CO<sub>2</sub> ми визнаємо важливу роль, яку політика та інновації повинні грати в успішній боротьбі зі зміною клімату. Ми вважаємо, що енергетичні переходи мають визначальне значення для безпечного, доступного та стійкого енергетичного майбутнього.

Ми доручаємо Секретаріату і надалі укріпляти свою роботу у цій сфері щоб надавати підтримку особам, які приймають рішення, щодо **прискорення використання технологій з низьким рівнем викидів та просування чистих, стійких, доступних і безпечних енергетичних технологій** для досягнення як коротко- так і довготермінових цілей.

Ми визнаємо роль інновацій та вітаємо зусилля по широкому використанню досвіду, накопиченого в програмах технологічного співробітництва МЕА».

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).

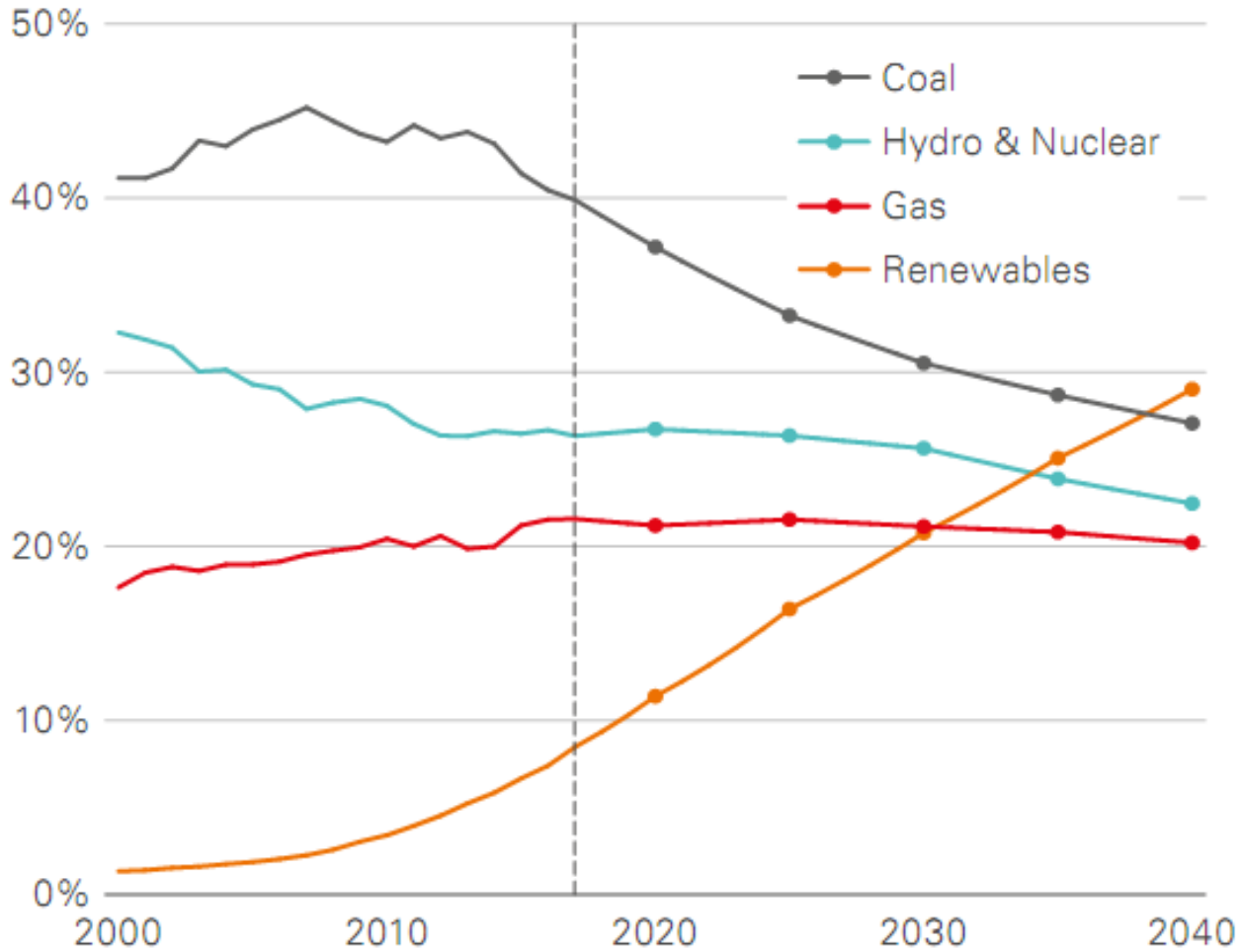
Стратегічними документами України передбачається стале розширення використання всіх видів ВДЕ при збереженні частки ядерної та гідроенергії.

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 сектором (за даними МЕА – до 85%, а для України – більше 65%), 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.

Такий підхід відповідає світовим тенденціям та прогнозам Міжнародного енергетичного агентства, провідних світових компаній (ExxonMobil, BP). 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 на ГЕС та АЕС та з природного газу.

# Роль низьковуглецевої енергетики



Комюніке засідання Ради керуючих МЕА [1]:

«Ми вітаємо швидке зростання використання відновлюваних джерел енергії, особливо в енергетичному секторі, що обумовлений скороченням витрат та політичними зусиллями, та визнаємо важливу роль ВДЕ в перехідних процесах в енергетиці.

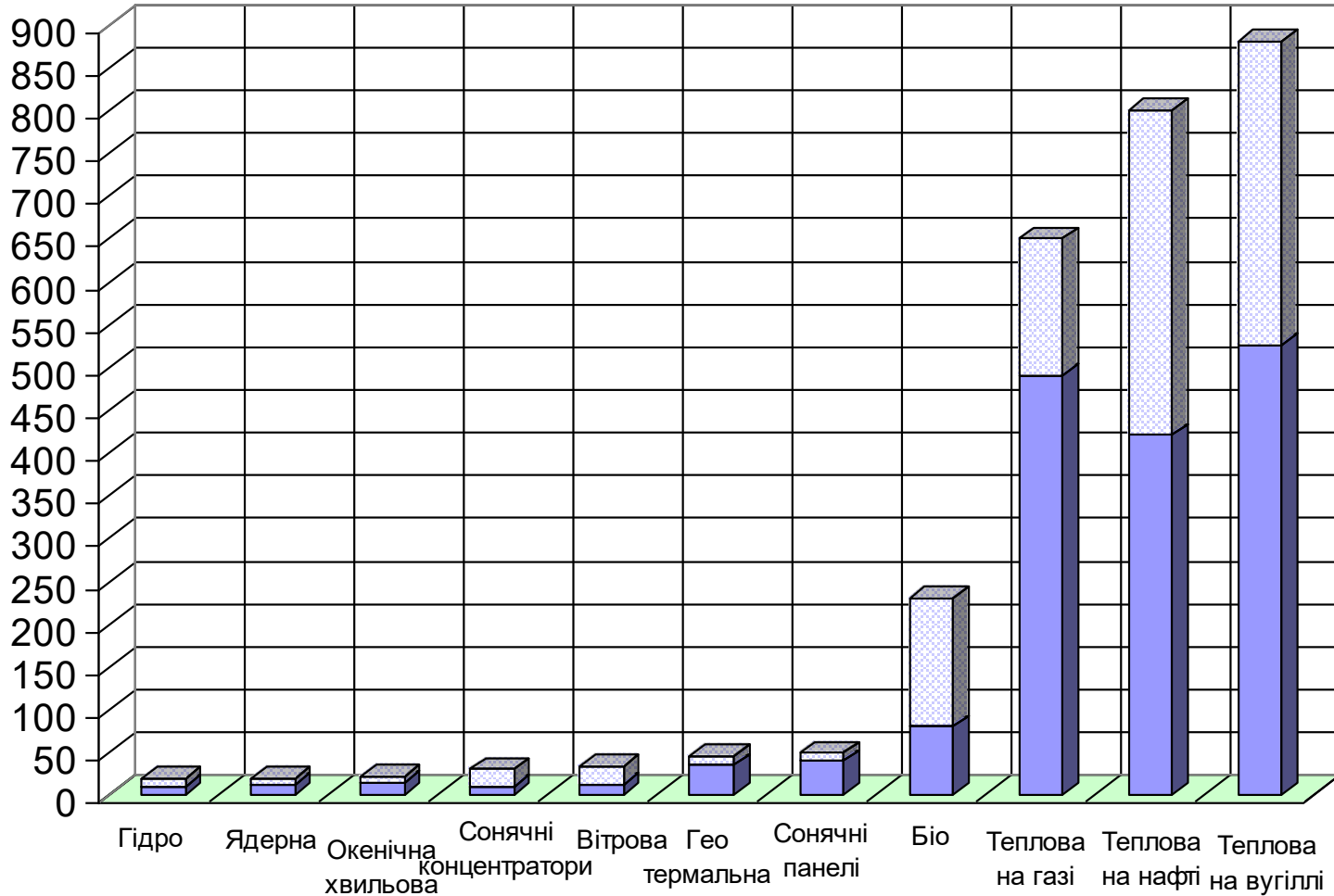
Ми вітаємо цілісний аналіз Секретаріату, який **ставить технології ВДЕ в більш широкий енергетичний контекст**, що охоплює всі технології та паливні ресурси для промисловості, секторів транспорту та опалення, а також **підвищену увагу до системної інтеграції та важливу роль сховищ енергії**.

Ми доручаємо Секретаріату ще більш посилити роботу у цій сфері, щоб підтримати осіб, які приймають рішення, **прискорити впровадження стійких рішень з низьким та нульовим рівнем викидів** для досягнення як короткотермінових, так і довготермінових цілей»

[1] [https://www.iea.org/news/communique-of-the-2019-meeting-of-the-iea-governing-board-at-ministerial-level?utm\\_campaign=IEA%20newsletters&utm\\_sourc%E2%80%A6](https://www.iea.org/news/communique-of-the-2019-meeting-of-the-iea-governing-board-at-ministerial-level?utm_campaign=IEA%20newsletters&utm_sourc%E2%80%A6)

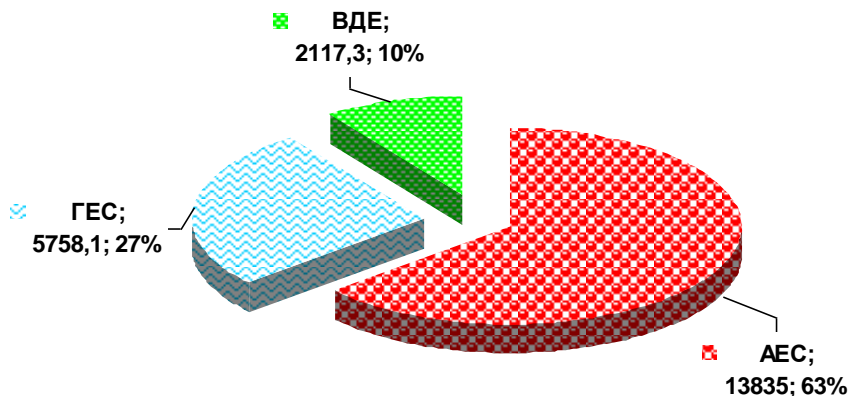
## Показники вуглецевого сліду різних технологій

Вуглецевий слід  
г CO<sub>2</sub> екв/кВт•год

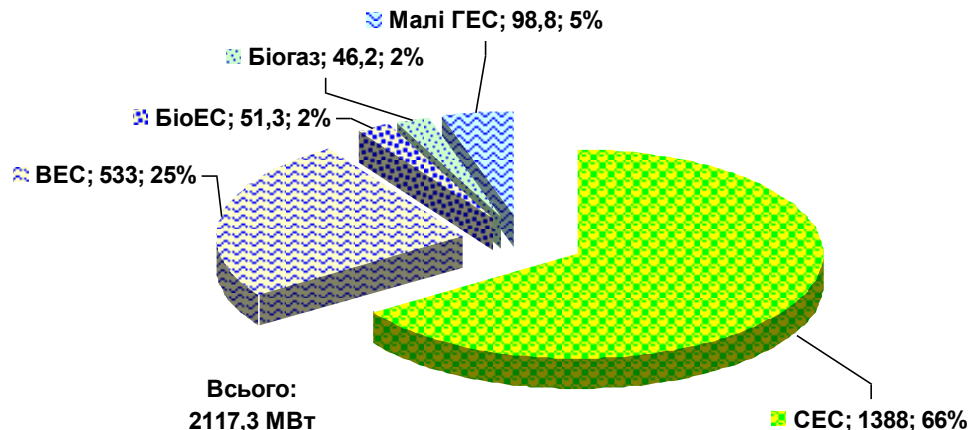


# Структура низьковуглецевої енергетики

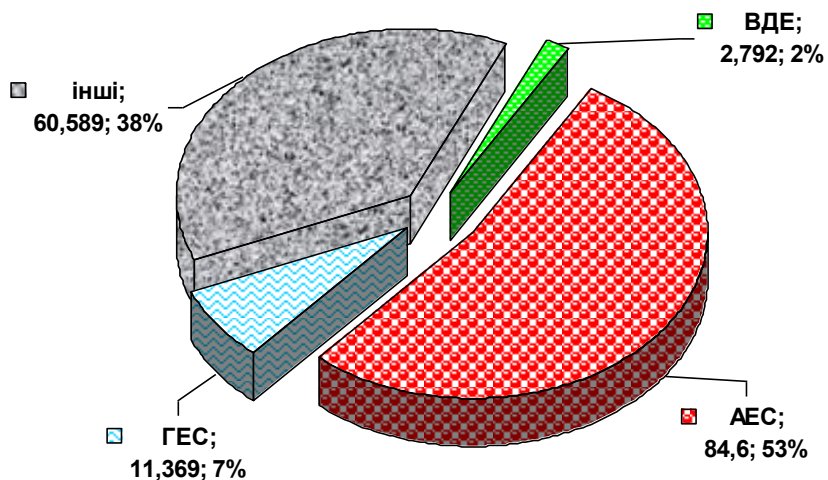
Структура низьковуглецевої генерації в ОЕС України за встановленою потужністю (станом на кінець 2018 р., МВт та %)



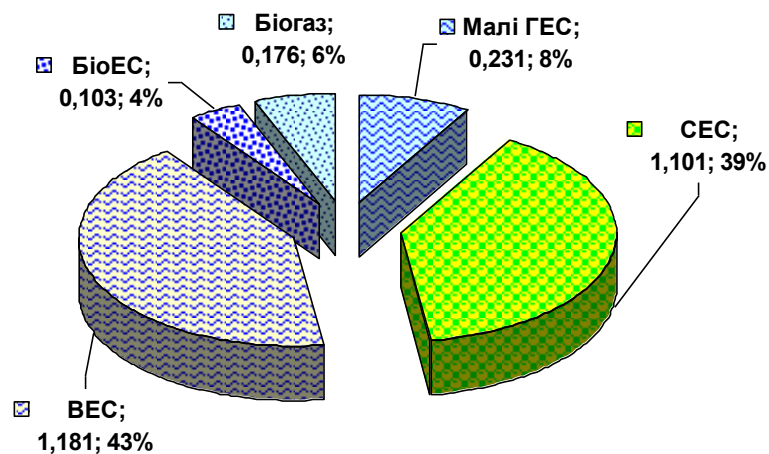
Структура потужностей ВДЕ на материковій частині України (станом на кінець 2018 р., МВт та %)



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



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



Проте на шляху реалізації цього потенціалу є низка проблем:

- Технологічного плану – невідповідність гнучкості Об'єднаної енергетичної системи України (ОЕС) розвитку «зеленої» енергетики, коли по мірі зростання частки «зеленої» енергетики підвищуються ризики для стійкості ОЕС. Так, за даними ДП «НЕК “Укренерго” ще у 2018 році денні коливання виробітку потужності ВДЕ сягали 450 МВт. Збільшення ВДЕ до 7,5 ГВт відповідно до вже виданих ТУ на приєднання призведе до коливань виробітку потужності ВДЕ протягом доби у 2200 МВт.
- Фінансового плану – високі “зелені” тарифи та зобов'язання держави викуповувати весь обсяг “зеленої” електроенергії спотворюють конкуренцію на ринку електроенергії та призводять до дефіциту коштів на ринку, який у 2020 році за різними оцінками може сягнути від 12 до 40 млрд.грн.
- Соціально-економічного плану – коли майже  $\frac{2}{3}$  генерації виключені з конкурентного ринку через недосконалість механізму покладання спеціальних обов'язків для забезпечення загальносуспільних інтересів (PSO). Так, державні компанії ДП “НАЕК “Енергоатом” та ПрАТ «Укргідроенерго» в рамках PSO мають реалізовувати відповідно 90% та 35% електроенергії, яку вони виробляють.
- Політичного плану – коли держава заохочує інвесторів розвивати виробництво енергії з відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), встановлюючи високі «зелені» тарифи для окремих видів генерації, і, водночас, намагається ретроспективно змінити «правила гри» та обмежити конкуренцію в цьому сегменті виробництва електроенергії. Тим самим в інвесторів втрачається віра в здатність держави вести послідовну, прозору та передбачувану державну політику.



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

- 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); мережеві рішення (інтерконектори; інтелектуальні мережі Smart Grid; використання розподілених генеруючих потужностей); управління попитом, коли споживачі регулюють своє навантаження.
- Заохочуючи виробників ВДЕ дотримуватися планового графіку постачання електроенергії в мережу шляхом пришвидшеного впровадження компенсації вартості врегулювання небалансу гарантованого покупця за небаланси та відхилення від планового графіку постачання виробниками ВДЕ.
- 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; поетапне скасування механізму покладання спеціальних обов'язків з синхронною ліквідацією перехресного субсидування; соціальний захист вразливих категорій споживачів за допомогою адресних субсидій безпосередньо таким споживачам.
- 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.

У червні 2017 року вийшов звіт МЕА, присвячений перспективам енергетичних технологій ЕТР-2017 [2], 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 «енергетичному переходу» вдасться зменшити сумарні викиди парникових газів від усіх джерел (енергетика, транспорт, промисловість, сільське господарство, будівлі) з 34 Гт CO<sub>2</sub> у 2018 році, до 10 Гт у 2060 році

В рамках ЕТР-2017 також публікується звіт МЕА «Відстеження 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 енергії [3].

Подібні висновки містяться й у останній всеосяжній оцінці МЕА переходу на екологічно чисту енергію, що зроблена у 2019 році та наведена у центральному інноваційному репозиторії МЕА [4].

[2] Energy Technology Perspectives 2017. Catalysing Energy Technology Transformations / The International Energy Agency.

[http://www.acs-giz.si/resources/files/Energy\\_technology\\_perspectives.pdf](http://www.acs-giz.si/resources/files/Energy_technology_perspectives.pdf)

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

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

У своїх дослідженнях МЕА виділяє 45 ключових секторів та показує, що тільки 7 з них відповідають Сценарію сталого розвитку МЕА: 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 CO<sub>2</sub>, 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 інноваціях [5]. Ці прогалини розподілені за 7-ма напрямками: енергетика, ВДЕ, паливо, транспорт, будівлі, промисловість, інтеграція енергії.

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, 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 щоб скористатися цими можливостями.

[5] Innovation gaps / The International Energy Agency. URL:  
<https://www.iea.org/topics/innovation/innovationgaps/>

Загалом же в сфері чистої енергетики виділено низку інноваційних прогалин, 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 реактори; 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 в 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 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.

Для України в тій чи іншій ступені інтерес представляє участь у вирішенні всіх зазначених іноваційних прогалин. Водночас, 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 безпеки у визначальній мірі лежить саме у площині сталого розвитку ядерної енергетики та промисловості.**

Найприйнятнішою для реалізації в сучасних українських умовах є **технологія малих модульних реакторів (ММР)**, які в розрахунку на 1 кВт встановленої потужності потребують нижчих капітальних витрат (у порівнянні з реакторами великої потужності). З урахуванням можливості високого ступеня локалізації виробництва технологічного обладнання ММР в Україні (включно з корпусами реактора), спрощеної логістики (відсутні великогабаритні конструкції), можливості налагодження власного виробництва ядерного палива для цих реакторів в Україні, 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 транспорті. 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.

Подібний підхід визнаний одним із перспективніших як на рівні МЕА, так і в країні, яка експлуатує більше всіх ядерних реакторів у світі – США [6], [7].

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 одну** [8].

Саме тому Україні (як на державному, так і корпоративному рівнях) у межах міжнародної співпраці доцільно забезпечити підтримку інноваційних проектів 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.**

[6] Could Hydrogen Help Save Nuclear. URL: [https://www.energy.gov/ne/articles/could-hydrogen-help-save-nuclear?fbclid=IwAR20ii9IU9Suj\\_E4ADSVJwV2Q1GFXueMtdqpPDUq7e9MI9qXTKITE70k2XQ](https://www.energy.gov/ne/articles/could-hydrogen-help-save-nuclear?fbclid=IwAR20ii9IU9Suj_E4ADSVJwV2Q1GFXueMtdqpPDUq7e9MI9qXTKITE70k2XQ)

[7] 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=IwAR0I7EiZUZNKG4DknI5Oa57xWq2liqWGJOq\\_JWAZnorFqBJnPHIoW-tfJLk](https://www.energy.gov/ne/articles/nations-first-small-modular-reactor-plant-power-nuclear-research-idaho-national?fbclid=IwAR0I7EiZUZNKG4DknI5Oa57xWq2liqWGJOq_JWAZnorFqBJnPHIoW-tfJLk)

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



***Дякую за увагу!***

Дмитро Бобро Геннадійович  
Провідний науковий співробітник  
відділу енергетичної та  
техногенної безпеки НІСД  
[bdg@niss.gov.ua](mailto:bdg@niss.gov.ua)