

DOI: 10.37100/2616-7689.2021.9(28).3  
 УДК 330.341.2.533  
 JEL CLASSIFICATION: Q 40, Q 41, Q 42, Q 48, L 94

**ПЕРСПЕКТИВИ АТОМНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ УКРАЇНИ В УМОВАХ СТАЛОГО РОЗВИТКУ**

**PROSPECTS OF NUCLEAR ENERGY SECTOR OF UKRAINE IN CONDITIONS OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT**

**Володимир БОЙКО,**  
 кандидат економічних наук,  
 Державна установа «Інститут економіки природокористування та сталого розвитку Національної академії наук України», Київ  
 ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6399-8926>

**Volodymyr BOIKO,**  
 Candidate of Economic Sciences,  
 Public Institution «Institute of Environmental Economics and Sustainable Development of the National Academy of Sciences of Ukraine», Kyiv

**Ірина МІСКЕВИЧ,**  
 аспірант,  
 Державна установа «Інститут економіки природокористування та сталого розвитку Національної академії наук України», Київ  
 ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2237-2107>

**Iryna MISKEVYCH,**  
 postgraduate student,  
 Public Institution «Institute of Environmental Economics and Sustainable Development of the National Academy of Sciences of Ukraine», Kyiv

Досліджено сучасні перспективи атомної енергетики України в умовах сталого розвитку. Зазначено, що українська енергетика перебуває на межі кризи. Низка викликів, з якими зіштовхнулася наша держава, не сприяють ефективному розв'язанню проблем у галузі й лише розширюють їх масштабність і спектр, зокрема в екологічному аспекті. Аргументовано, що розвиток атомної енергетики можна вважати засобом, який гарантуватиме Україні енергетичну безпеку та знизить залежність від зовнішнього постачання природного газу й вугілля.

Наголошено на стратегічному значенні атомної енергетики для держави. Окреслено її переваги в контексті зовнішніх витрат на виробництво електроенергії порівняно з іншими технологіями енергогенерації.

Так, з'ясовано, що супутні витрати, пов'язані з виробництвом електроенергії на станціях, які працюють на вугіллі, набагато вищі, ніж на АЕС. Більше того, витрати, спричинені кліматичними змінами, за даними дослідників, у сонячній енергетиці більші у понад 4 рази. Зауважено, що впродовж останніх 10 років ситуація децю змінилася і технології, зокрема стосовно ефективності акумуляторів і технології їх переробки, значно покращилися, проте атомна енергетика не втрачає вигідних позицій.

Виявлено основні виклики для енергетичної системи України: зношеність і вплив на навколишнє природне середовище теплової генерації; незадовільні темпи модернізації основних генеруючих потужностей, переважно ТЕС; невідповідність гнучкості об'єднаної енергетичної системи розвитку зеленої енергетики; незадовільні темпи й масштаби впровадження відновлюваної енергетики.

Проаналізовано складові атомно-енергетичного комплексу України. Визначено основні перспективи розвитку атомної енергетики, що насамперед стосується добудови 3 і 4 енергоблоків Хмельницької АЕС, а також будівництва малих модульних реакторів. Запропоновано узагальнену концептуальну модель гібридної енергогенерації, основою якої є відновлювана та атомна енергетика, здатні відігравати роль маневрового (балансуючого) джерела електроенергії.

**Ключові слова:** атомна енергетика, реактор, сталий розвиток, відновлювана енергетика, енергетична безпека.

*This article examines the current prospects for developing nuclear energy in Ukraine in terms of sustainable development. The strategic importance of nuclear energy for Ukraine is indicated. The advantages of nuclear energy in the context of electricity production's external costs over other energy generation technologies are noted. Today, nuclear energy is considered the most cost-effective low-carbon energy source. An analysis of reports from the Atomic Energy Agency and the US Department of Energy shows that nuclear power generation is a leader in many countries' energy sector, producing cheaper electricity than traditional TPPs. The main challenges for the energy system of Ukraine are highlighted. Among them are: wear and tear and impact on the environment of thermal generation (equipment at thermal power plants is worn out by 70–90 %); the unsatisfactory pace of modernization of the main generating capacities, mainly TPPs; the inconsistency of the flexibility of the United Energy System (UES) of Ukraine with the development of "green" energy (increasing the share of "green" energy increases the risks of UES sustainability) and the corresponding ill-consideredness in the pace and scale of renewable energy implementation. Lack of shunting power; the need to duplicate the capacity of renewable energy due to the low installed capacity factor (ICUF) and significant dependence on natural and climatic conditions; the need to replace existing nuclear power units, which end their extended service life with new, more modern ones that will meet the latest safety and economy standards; the imperfection of the electricity market, primarily in the context of its sale by nuclear generation producers under bilateral agreements; deficit of investments in the whole fuel and energy complex.*

*The main prospects for the development of nuclear energy in Ukraine are identified. Completion of Units 3 and 4 of Khmelnytskyi NPP (KhNPP) remains a critical prospect. An obstacle to this for Ukraine is the lack of appropriate technologies on the Ukrainian side and the curtailment of cooperation with Russia and companies belonging to this state. Another obstacle is that the promising power units of KhNPP based on WWER-1000 belong to the second generation, which today do not morally meet the latest trends and requirements in efficiency and safety standards. Theoretically, Western leaders in the nuclear industry, Orano and Westinghouse, could develop nuclear power plants based on their next-generation "3" and "3+" reactors, where the essential safety requirements are already embedded in the original design of the unit.*

*Another option would be to implement a small modular reactor technology project in Ukraine. Technologically, this will quickly resolve the issue of load management, which arose due to the rapid increase in the share of renewable energy generation in our country. This type of reactor has a significant advantage, which in addition to the minimum load on the environment is: the possibility of placement in areas where additional services are needed in the energy market; low construction costs; frequency of service and operating time; the full cycle of work with fuel. In general, low-power reactors can be used to implement the strategy of hybrid power generation (renewable + nuclear energy).*

**Key words:** nuclear energy, reactor, sustainable development, renewable energy, energy safety.

**Постановка проблеми.** Сьогодні українська енергетика перебуває на межі кризи. Низка викликів, з якими зіштовхнулася наша держава, не сприяють ефективному розв'язанню проблем у галузі й лише розширюють їх масштабність і спектр, зокрема в екологічному аспекті.

Вітчизняна економіка тільки частково забезпечена традиційними видами первинної енергії, характеризується середньоєвропейським рівнем енергозалежності та не повною мірою відповідає актуальним тенденціям щодо самостійності в енергетичній сфері, адже стан енергозабезпечення та енергоспоживання в нашій державі гірший порівняно з передовими країнами. Це призводить до того, що економіка споживає

значно більшу кількість первинної енергії на одиницю ВВП, ніж у розвинених державах, зокрема ЄС та США – майже вдвічі, Литві та Польщі – майже втричі. При цьому частка природного газу у структурі власного споживання енергії перевищує 40 % (у світі цей показник становить 21 %).

Таким чином, розвиток атомної енергетики може бути засобом, що гарантуватиме Україні енергетичну безпеку та знизить залежність від постачання природного газу й вугілля. Проте численні фінансово-економічні, технічні, політичні та законодавчі перешкоди не лише унеможливають розвиток атомно-енергетичної галузі й підтримання її функціонування на належному рівні, а й створюють проблеми із забезпеченням

стабільності й гарантуванням передових стандартів безпеки. Загострюють існуючі проблеми й висновки окремих громадських екологічних організацій, адже зауваження їх експертів не завжди мають економічно обґрунтований характер, реальне стратегічне бачення та не повною мірою відповідають принципам сталого розвитку. Відтак розширення власних низьковуглецевих енергетичних потужностей залишається під загрозою.

У зазначеному контексті доцільно активізувати наукові дослідження у напрямі перспектив розвитку атомної енергетики як найбільш ефективного низьковуглецевого джерела енергії та пошуку шляхів його екологобезпечності, що гарантуватиме стале економічне зростання.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Слід зауважити, що проблемам атомної енергетики з боку наукових кіл у галузі економіки природокористування і сталого розвитку приділяється недостатньо уваги. Це пояснюється насамперед тим, що в суспільстві панує думка про неможливість розвитку атомно-промислового комплексу й одночасного досягнення сталого зростання держави. Проте останнім часом певні дослідження в цьому напрямі активізувалися. Варто відзначити таких дослідників, як К. Маркевич, В. Омельченко, А. Шевцов, А. Дорошкевич, К. Копішинська, І. Широкова, Т. Перга, С. Азаров, В. Сидоренко, О. Задунай, О. Васильєв. Окрім цього, слід згадати праці фахівців Українського ядерного форуму, Інституту ядерних досліджень НАН України, Інституту

проблем безпеки атомних електростанцій НАН України та ін. Однак проблема недослідженості перспектив розвитку атомної енергетики України на шляху до сталості не втрачає актуальності й загострюється в умовах кризи вітчизняної енергетичної галузі.

**Метою статті** є дослідження перспектив сталого розвитку атомної енергетики України в умовах сталості та розробка пропозицій щодо першочергових кроків з виходу вітчизняної атомно-енергетичної галузі з кризи.

**Виклад основного матеріалу.** Значення атомно-енергетичного комплексу для нашої держави є надзвичайно важливим і його подальший розвиток обумовлений зростанням популярності ідеї забезпечення сталого піднесення національної економіки.

Слід зазначити, що сьогодні атомна енергетика розглядається як найбільш економічно ефективно низьковуглецеве джерело енергії. Аналіз звітів Агентства з атомної енергії та Міністерства енергетики США свідчить про те, що атомна генерація у багатьох країнах займає провідне місце в енергетичному секторі, виробляючи більш дешеву електроенергію, ніж традиційні ТЕС [1].

Масштабні дослідження останніх десятиліть стосовно зовнішніх витрат на виробництво електроенергії для різних технологій генерації підтверджують, що атомна енергетика має низку переваг не лише порівняно із традиційними видами енергогенерації, а й відновлювальною енергетикою (табл.).

Таблиця

Зовнішні витрати на виробництво електроенергії для різних технологій енергогенерації, 2005–2010 рр., євро/МВт\*

Показник	Атомна	Вугільна	Вугільна (буре)	Газова	Гідроенергетика
Здоров'я населення	1,55	8,35	3,84	4,24	0,57
Зменшення біорізноманіття	0,09	0,79	0,32	0,52	0,02
Шкода для зернових (N, Oz, SO <sub>2</sub> )	0,02	0,15	0,04	0,12	0,01
Матеріали (SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> )	0,03	0,11	0,03	0,07	0,01
Радіонукліди	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
Кліматичні зміни	0,43	17,6	19,57	8,97	0,16
<b>Всього</b>	<b>2,14</b>	<b>26,96</b>	<b>23,80</b>	<b>13,93</b>	<b>0,76</b>

\*Джерело: розроблено авторами за даними [2].

Продовження табл.

Показник	Вітрова	Вітрова офшорна	Сонячна	Біомаса (солома)	Біомаса (деревина)
Здоров'я населення	0,75	0,72	6,58	15,55	4,64
Зменшення біорізноманіття	0,04	0,03	0,34	2,94	0,49
Шкода для зернових (N, Oz, SO <sub>2</sub> )	0,01	0,01	0,07	0,10	0,13
Матеріали (SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> )	0,01	0,01	0,09	0,12	0,07
Радіонукліди	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Кліматичні зміни	0,21	0,17	1,81	1,46	1,20
<b>Всього</b>	<b>1,03</b>	<b>0,94</b>	<b>8,88</b>	<b>20,17</b>	<b>6,54</b>

Як видно з наведених даних, супутні витрати, пов'язані з виробництвом електроенергії на станціях, що працюють на вугіллі, набагато вищі, ніж на АЕС. Більше того, витрати, спричинені кліматичними змінами, за даними дослідників, у сонячній енергетики більші у понад 4 рази. Звичайно, упродовж останніх 10 років ситуація дещо змінилася і технології, зокрема стосовно ефективності акумуляторів і технологій їх переробки, значно покращились, проте атомній енергетиці, як і раніше, належать вигідні позиції.

Українська енергосистема перебуває в кризовому стані. Основними викликами є насамперед такі:

- зношеність і вплив на навколишнє природне середовище теплової генерації (обладнання на ТЕС зношене на 70–90 %);
- незадовільні темпи модернізації основних генеруючих потужностей, переважно ТЕС;
- невідповідність гнучкості об'єднаної енергетичної системи (ОЕС) розвитку зеленої енергетики (зростання частки останньої підвищують ризики стійкості ОЕС), необґрунтовані темпи і масштаби впровадження відновлюваної енергетики; дефіцит маневрових потужностей;
- необхідність дублювання потужностей відновлюваної енергетики внаслідок низького коефіцієнта встановленої потужності (КВВП) і значної залежності від природно-кліматичних умов;
- необхідність заміни діючих атомних енергоблоків АЕС, в яких закінчується продовжений термін експлуатації, новими, більш сучасними, що відповідатимуть новітнім нормам безпеки й економічності;
- недосконалість ринку електричної енергії, насамперед у контексті її продажу виробниками атомної генерації за двохсторонніми договорами;

- дефіцит інвестицій у паливно-енергетичному комплексі загалом.

Сьогодні атомно-енергетичний комплекс України потребує значної модернізації, щоб запобігти поступовому здорожчанню енергогенерації та забезпечити нашу державу максимально ефективним джерелом низьковуглецевої енергії.

Сучасний атомно-енергетичний комплекс є сформованою комплексною галуззю в системі національної економіки, яка включає:

- атомні електростанції, які мають 15 енергоблоків (13 ВВЕР-1000 і 2 ВВЕР-440);
- інфраструктурні об'єкти, що відповідають за відправку електричної енергії;
- промисловість із видобутку урану, який є базою для задоволення потреб АЕС у паливі;
- виробництво цирконію, що є базовим конструкційним матеріалом для виготовлення ядерного палива;
- виробництво іонообмінних матеріалів;
- наукові установи, які займаються проблемами розвитку атомної енергетики.

Важливою перспективою розвитку атомної енергетики України і енергетичної безпеки загалом залишається добудова 3 та 4 енергоблоків Хмельницької АЕС (ХАЕС), що стимується відсутністю відповідних технологій та згортанням співробітництва з РФ і компаніями, що належать цій державі (навіть через треті сторони).

Крім того, перспективні енергоблоки ХАЕС на базі ВВЕР-1000 відносяться до другого покоління, яке сьогодні морально не відповідає останнім тенденціям і вимогам щодо економічності й стандартів безпеки.

Теоретично західні лідери атомної промисловості компанії Orano (Франція) та Westinghouse (США) могли б збудувати атомні енергоблоки на базі своїх реакторів нового покоління «3» і «3+» (EPR та AP-1000

відповідно), де основні вимоги стосовно безпеки закладено вже у початкову конструкцію енергоблока [3]. Технології атомних реакторів нового покоління, зокрема «3+», характеризуються покращеними економічними показниками та рівнем безпеки. Міжнародне співробітництво в цій сфері розвивається досить динамічно. Так, енергоблоки на базі зазначених реакторів споруджуються та вводяться в експлуатацію в Китаї, США та Фінляндії. Проте перепроектування і добудова енергоблоків 3 і 4 ХАЕС із реакторними установками американського чи французького виробництва обійдеться Україні значно дорожче і відповідно економічна доцільність реалізації такого проекту є набагато нижчою.

Іншим варіантом можна вважати впровадження проекту технології малих модульних реакторів (наприклад, Holtec

SMR-160) [4], що технологічно дасть змогу швидко вирішити питання регулювання навантажень, які виникли через стрімке збільшення частки відновлюваної енергогенерації в нашій державі. Такий тип реакторів має суттєву перевагу, яка, окрім мінімального навантаження на довкілля, полягає у такому:

- можливості розміщення в зонах, де потрібні додаткові послуги на енергоринку;
- низькі витрати на будівництво;
- періодичність обслуговування і час експлуатації;
- повний цикл робіт із паливом.

Загалом реактори малої потужності можна застосовувати у процесі реалізації стратегії гібридної енергогенерації (відновлювана плюс атомна енергетика) (рис.).



Рис. Узагальнений варіант концепції гібридної енергогенерації (розроблено авторами)

**Висновки.** Таким чином, атомна енергетика залишається одним із найбільш перспективних напрямів розвитку світової енергетики, зокрема в Україні. Економіці нашої держави загрожує ризик імпортозалежності від енергетичних ресурсів, а тому розвиток атомної енергетики має ключове значення, адже понад 50 %

енергогенерації припадає на АЕС. Сьогодні атомна енергетика є базовою складовою енергозабезпечення та енергетичної безпеки нашої країни, оскільки має низку переваг порівняно із традиційними енергетичними ресурсами. Насамперед це стосується більш високої продуктивності, відсутності викидів

шкідливих речовин у повітря, можливості повторного використання палива.

Зважаючи на масштаби і важливість атомної енергетики, особливу увагу в Україні слід приділяти створенню нових потужностей у галузі, передусім розвитку міжнародного співробітництва із добудови 3 і 4 енергоблоків ХАЕС, а також будівництву модульних атомних реакторів новітнього типу, які змогли б замінити застарілі типи маневрової (балансувальної) енергетики, зокрема ТЕС.

### Список використаних джерел

1. Nuclear explained. Nuclear power plants [Електронний ресурс] / EIA. – 2020. – Режим доступу: <https://www.eia.gov/energyexplained/nuclear/nuclear-power-plants.php>.

2. Полные затраты на производство электроэнергии. – Булонь-Биянкур: Nuclear Energy Agency, 2018. – 215 с.

3. Верхоглядова Н.І. Послідовність забезпечення інноваційно-орієнтованого розвитку атомно-промислового комплексу на основі стратегічних детермінант / Н.І. Верхоглядова, С.А. Дробот // Бізнес-навігатор. – 2018. – Вип. 5. – С. 28–32

4. Holtec's Small Modular Reactor [Електронний ресурс] / Holtec International. – 2019. – Режим доступу: <https://holtecinternational.com/products-and-services/smr>.

### References

1. EIA (2020). Nuclear explained. Nuclear power plants. Retrieved from <https://www.eia.gov/energyexplained/nuclear/nuclear-power-plants.php>. [in English]

2. Nuclear Energy Agency (2020). *Polnye zraty na proizvodstvo elektrojenergii* [Total cost of electricity generation]. Boulogne-Billancourt, 215 [in Russian]

3. Verkhoglyadova, N.I. (2018). Poslidovnist zabezpechennja innovacijno-orijentovanogo rozvytku atomno-promyslovogo kompleksu na osnovi strategichnyh determinant [The sequence of ensuring innovation-oriented development of the nuclear-industrial complex on the basis of strategic determinants]. *Biznes-navigator*, 5, 28-32 [in Ukrainian]

4. Holtec International (2019). Holtec's Small Modular Reactor. Retrieved from <https://holtecinternational.com/products-and-services/smr/>. [in English]

Стаття надійшла до редакції 8 березня 2021 року