



ДОВГОСТРОКОВІ ШЛЯХИ ДЕКАРБОНІЗАЦІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОГО СЕКТОРУ УКРАЇНИ



Цей звіт підтриманий Європейською Кліматичною Фундацією. Відповідальність за інформацію та погляди, висловлені у цьому звіті, лежить на авторах. Європейська Кліматична Фундація не може бути визнана відповідальною за будь-яке використання інформації, яка викладена в цьому звіті.

ВСТУП

Внаслідок руйнувань, спричинених війною, український електроенергетичний сектор стикається з численними викликами: відновлення пошкоджених мереж і генеруючих потужностей і, водночас, задоволення поточних та майбутніх очікуваних потреб в електроенергії, які зростатимуть з відновленням економіки країни. У той же час Україна планує декарбонізувати свій електроенергетичний сектор не пізніше 2050 року, а всю економіку – до 2060 року. Таким чином, міркування щодо декарбонізації накладаються на виклики, пов'язані з війною та відновленням. Цей звіт має на меті допомогти у плануванні такого енергетичного переходу, оскільки містить аналіз довгострокових сценаріїв декарбонізації електроенергетики України за допомогою кількісних моделей.¹ У звіті оцінюється можливість створення електроенергетичної системи з нетто нульовими викидами до 2050 року з урахуванням супровідних витрат за двома сценаріями нетто нульових викидів з різними технологічними портфелями. Питання, на які ми намагаємося знайти відповідь у цьому звіті:

- Які наслідки інтеграції України в електроенергетичний ринок ЄС?
- Як має змінитися структура виробництва електроенергії для декарбонізації електроенергетичного сектору України до 2050 року, виходячи із загальної мети декарбонізації України до 2060 року? Зокрема:
 - Яка майбутня роль атомної енергетики? Чи потрібні Україні нові атомні електростанції?
 - Скільки потрібно вугільних електростанцій, щоб надійно задовольнити попит на електроенергію в найближчі зимові періоди? Чи можливе закриття вугільних електростанцій до 2035 року?
 - Яким є оптимальний портфель технологій відновлюваної енергетики та її географічний розподіл?
- Як забезпечити необхідну гнучкість енергосистеми і яка роль газових електростанцій?
- Яким буде вплив запровадження схеми торгівлі викидами ЄС – СТВ (або аналогічної системи) на виробництво електроенергії та торгівлю нею в Україні? Як вплине застосування механізму прикордонного вуглецевого коригування (СВАМ)?

Декарбонізація електроенергетичного сектору України має багато переваг. Завдяки зниженню вартості виробництва електроенергії на вітрових і сонячних електростанціях цей перехід стає більш економічно доступним. Переваги кращої стійкості та безпеки постачання завдяки розподіленим джерелам енергії стали особливо помітними під час війни. А перспектива європейської інтеграції робить вирішення проблеми викидів електростанцій, що працюють на викопному паливі, ще більш актуальним.

¹ Описи моделі та попередні програми можна знайти за цим посиланнями: [TIMES-Ukraine](#), [EPMM](#), [Green-X](#)

Результати моделювання

У дослідженні розроблено два сценарії нетто нульових викидів на додаток до базового сценарію, який відображає консервативну стратегію і, в значній мірі, консервативний технологічний шлях розвитку. Сценарій «Нетто нульові викиди - Відкрита технологія» (ННВ-ВТ) - це технологічно нейтральна траєкторія, що ґрунтується на оптимістичному припущенні щодо вартості атомних потужностей (як для великих, так і для малих модульних реакторів (ММР)); вартість ідентична тій, що використовується в Енергетичній стратегії України. Сценарій «Нетто нульові викиди - Відновлювані джерела енергії» (ННВ-ВДЕ) передбачає вищу вартість інвестицій в атомні генеруючі потужності, що відповідає останнім європейським тенденціям. Отже, цей сценарій робить основний акцент на відновлюваних джерелах енергії (ВДЕ) як домінуючій технології енергетичного переходу.

Таблиця 1. Ключові припущення сценаріїв

	Базовий	Базовий + СВАМ*	Нетто нульові викиди - Відкрита технологія (ННВ-ВТ)	Нетто нульові викиди - ВДЕ (ННВ-ВДЕ)
Населення, ВВП	однаково для всіх сценаріїв			
Ціноутворення на викиди діоксиду вуглецю	ні	СВАМ	Ціни СТВ ЄС	
Потенціал ВДЕ	Низький		Високий	
Атомні генеруючі потужності	ММР недоступні; доступні блоки великої потужності (5250 євро/кВт)		Доступні обидві технології (5250 євро/кВт)	Доступні обидві технології (7000 євро/кВт)

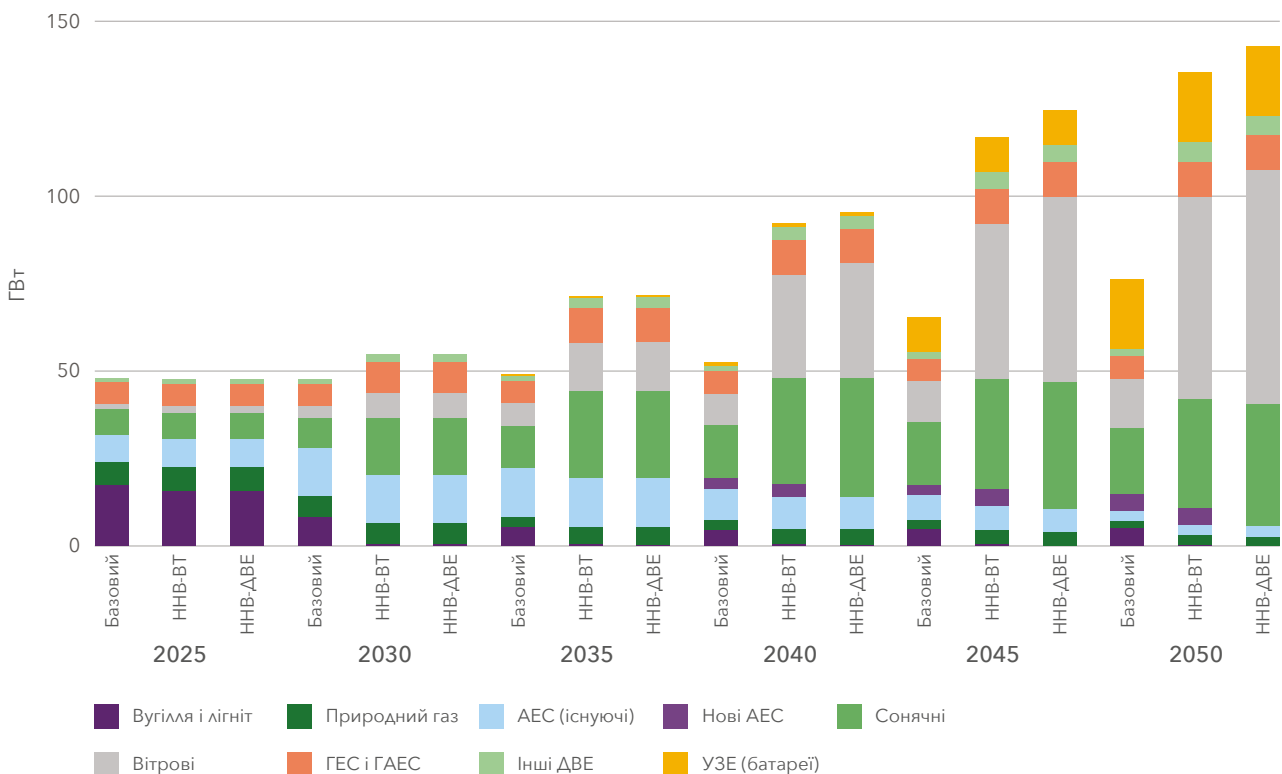
Результати оцінювання показують, що **декарбонізація української електроенергетики до 2050 року можлива як з технічної, так і з економічної точки зору**. Попит на електроенергію задовольняється в обох сценаріях у всі змодельовані роки. В системі буде достатньо гнучкої генерації для забезпечення необхідних резервних потужностей, навіть за умов попиту, який, як очікується, через значну електрифікацію та секторальну взаємодію зросте майже втричі порівняно з поточним рівнем.

БЛОК 1:

Структура потужностей у змодельованих сценаріях

У Базовому сценарії вугілля відіграє важливу роль у всі роки, і навіть у 2050 році у системі залишиться 5 ГВт вугільних потужностей. Натомість, у сценаріях нетто нульових викидів вугілля фактично витісняється з ринку до 2030 року. Атомні електростанції за Базовим сценарієм та сценарієм «Нетто нульові викиди - Відкрита технологія» залишаються в структурі генеруючих потужностей на рівні біля 8 ГВт у 2050 році, тобто приблизно на поточному рівні (враховуючи окупацію Запорізької АЕС). Втім, за сценарієм «Нетто нульові викиди - ВДЕ» атомні потужності становлять лише 3 ГВт. Згідно з результатами моделювання TIMES-Ukraine, за сценарієм «ННВ-ВДЕ» нові АЕС не будуть будуватися через вищий рівень інвестиційних витрат, що спостерігається на ринках ЄС. Масштабні інвестиції у відновлювану енергетику відбуваються в обох сценаріях. Значне збільшення потужностей ГЕС за сценаріями нетто нульових викидів у 2025-2035 роках передбачене згідно з оцінками «Укренерго». Такі значні зміни вимагають екологічної та соціальної оцінки. Потужність установок зберігання енергії (батареї) в моделі є екзогенною і однаковою в усіх трьох сценаріях.

Рисунок 1. Встановлена генеруюча потужність за технологіями, ГВт



Джерело: TIMES-Україна

Сценарії нетто нульових викидів передбачають введення **90-100 ГВт нових сонячних та вітрових електростанцій до 2050 року, а малі сонячні електростанції досягатимуть 14-24 ГВт** (залежно від сценарію). Після 2035 року очікується інтенсивний розвиток вітроенергетики, обумовлений цінами на викиди діоксиду вуглецю, закладеними в цих

сценаріях. Розвиток сонячної енергетики дуже динамічний до 2040 року, коли інтенсивно зростає використання офшорної вітроенергетики. **Досягнення нетто нульових викидів можливе без нових атомних блоків**, оскільки атомна енергетика за нинішнього рівня інвестиційних витрат у Європейському Союзі є дорожчою ніж відновлювані джерела енергії. Україні варто стежити за розвитком інвестицій в атомну енергетику, щоб мінімізувати ризик невиправданих витрат на будівництво нових реакторів. Результати досліджень також підтверджують, що **швидка відмова від вугілля можлива**. Сценарії нетто нульових викидів демонструють, що виробництво електроенергії на вугільних електростанціях можна буде поступово вивести зі структури генерації до 2030 року, якщо буде запроваджено еквівалентні європейським ціни на викиди діоксиду вуглецю, введено достатню кількість потужностей ВДЕ і Запорізька АЕС повернеться до роботи на повну потужність. Газові електростанції відіграють проміжну роль в енергетичному переході, дещо збільшуючи свій внесок у структуру виробництва електроенергії до 2040 року за всіма сценаріями, а згодом слугуватимуть резервними потужностями.

У змодельованому періоді **торговельна позиція України** змінюється від експортера до імпортера. Україна має значні обсяги експорту в усіх сценаріях до 2030 року, що зумовлено перевагою у вартості вітчизняного виробництва електроенергії за відсутності ціни на викиди діоксиду вуглецю.

У сценаріях нетто нульових викидів після 2030 року експорт електроенергії до ЄС зменшується через впровадження СТВ в Україні. Тим не менш, експортна позиція зберігається до 2040 року. Наприкінці періоду Україна, ймовірно, стане імпортером електроенергії. Однак результати досліджень також вказують, що сценарії нетто нульових викидів потребують нижчого рівня імпорту, ніж Базовий сценарій у 2050 році, незважаючи на зростання попиту внаслідок значної електрифікації.

Загальні витрати енергетичної системи² на задоволення зростаючого попиту на електроенергію з одночасним усуненням викидів є майже ідентичними до консервативного розвитку (за Базовим сценарієм), незважаючи на врахування ціни на викиди діоксиду вуглецю та інвестування значних ресурсів у низьковуглецеві технології. Збільшення капітальних інвестицій в обох сценаріях нетто нульових викидів обумовлено тим, що вони слугують не лише розвитку електроенергетичного сектору (як у Базовому сценарії), а й забезпечують декарбонізацію інших пов'язаних секторів економіки.

2 Модельний параметр, за яким відбувається оптимізація

БЛОК 2:

Порівняння витрат за різними сценаріями

Мінімізація дисконтованих загальних витрат системи (цільова функція моделі TIMES-Україна) є основним критерієм, за яким оцінюється траєкторія розвитку енергосистеми. Вона слугує важливим показником під час порівняння різних сценаріїв. Загальні витрати системи включають капітальні та операційні витрати на всі активи, пов'язані з енергосистемою, включно з обладнанням для генерації, транспортування та споживання енергії. Таким чином, капітальні інвестиції, що розглядаються в TIMES-Україна, є не просто інвестиціями в енергетичний сектор, а «інвестиціями, пов'язаними з енергетикою», на які припадає близько 60-70% від загального обсягу інвестицій в економіку. Таким чином, інвестиції в електроенергетику становлять лише 15-25% від загальних інвестицій, розрахованих за допомогою моделі, тоді як інші капітальні інвестиції спрямовані в інші сектори, такі як промисловість, транспорт і будівництво.

Загальні капітальні витрати за сценаріями нетто нульових викидів приблизно на 51% вищі, ніж за Базовим сценарієм, і становлять від 30 до 40 млрд євро на рік. Основні інвестиції стосуються електромобілів та інших транспортних засобів на екологічно чистому паливі, модернізації будівель, встановлення екологічно чистих систем опалення, а також нових електростанцій на ВДЕ та атомних електростанцій. Інвестиції в екологічно чисте опалення, електростанції та ТЕЦ подвоюються у сценаріях нетто нульових викидів порівняно з Базовим сценарієм і становлять близько 6,5 млрд євро на рік.

Незважаючи на те, що потреба в початкових інвестиціях у сценаріях нетто нульових викидів вища ніж у Базовому сценарії, загальні витрати системи вищі лише на 3%, оскільки економія витрат на паливо протягом усього терміну експлуатації обладнання суттєво компенсує більші початкові капітальні витрати. Додатковою перевагою від економії палива за сценаріями нетто нульових викидів буде покращення енергетичної безпеки України, оскільки значна частина палива імпортується.

Таблиця 2. Оцінка витрат системи

	Базовий сценарій	Сценарій «Нетто нульові викиди - Відкрита технологія»		Сценарій «Нетто нульові викиди - ВДЕ»	
	млрд євро	млрд євро	Різниця, %	млрд євро	Різниця, %
Загальні витрати енергетичної системи (дисконтовані)	1 733.1	1 784.0	2.9%	1 785.8	3.0%
Загальні капітальні витрати у період з 2025 р. по 2050 р. (недисконтовані)	623.2	940.4	50.9%	942.2	51.2%
Капітальні витрати у генеруючі потужності у період з 2025 р. по 2050 р. (недисконтовані)	96.1	201.5	109.7%	191.0	98.8%
Загальні операційні витрати у період з 2025 р. по 2050 р.	431.8	481.9	11.6%	485.9	12.5%
Загальні витрати на паливо, включно з доходами від екзогенного експорту у період з 2025 р. по 2050 р. (недисконтовані)	368.4	213.6	-42.0%	210.9	-42.8%

Джерело: Модель TIMES-Україна

Значне збільшення капітальних інвестицій у сценаріях нетто нульових викидів, головним чином за рахунок інвестицій у сонячну та вітрову енергетику, врівноважується зменшенням витрат на паливо та викиди CO₂. Зростання капітальних інвестицій підкреслює **важливість ефективного регулювання, яке може знизити загальні фінансові витрати** та сприяти збільшенню міжнародного інвестування. Ефективне регулювання включає довгострокове планування, передбачуване регулювання викидів діоксиду вуглецю, а також розвитку ВДЕ та інфраструктури.

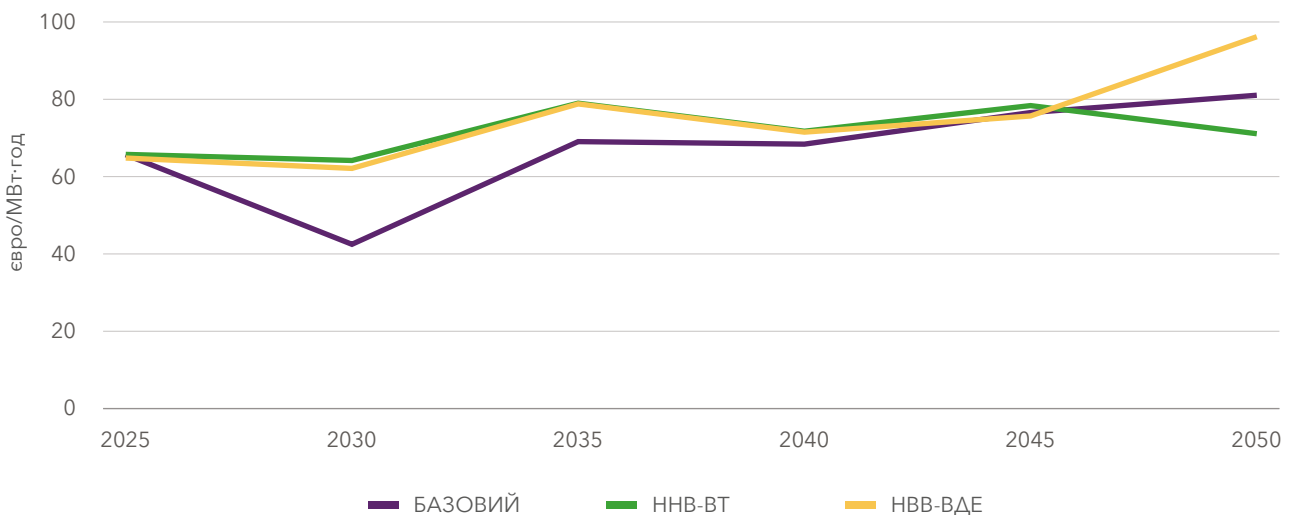
Оптові ціни на електроенергію, починаючи з 2035 року, залишаються в одному діапазоні за всіма трьома сценаріями. До 2035 року відсутність цін на викиди CO₂ робить ціну на електроенергію за Базовим сценарієм на 20 євро/МВт-год дешевшою, порівняно зі сценаріями нетто нульових викидів. У сценарії «Нетто нульові викиди - ВДЕ», в якому переважає вітроенергетика, зростання цін після 2045 року демонструє ризик незбалансованості технологічного портфелю поряд з різними варіантами забезпечення гнучкості (міждержавні мережі, зниження пікових навантажень), які можуть пом'якшити потенційне зростання цін на електроенергію.

БЛОК 3:

Оптові ціни на електроенергію за сценаріями

У 2025 році оптова ціна на електроенергію в Україні буде однаковою за всіма трьома сценаріями. Ціна на рівні близько 65 євро/МВт·год є значно нижчою ніж у сусідніх країнах, оскільки в Україні немає вуглецевих квот, а також висока частка АЕС з порівняно низькими маржинальними витратами через зношеність. Між 2025 та 2030 роками ціна за Базовим сценарієм є значно нижчою, оскільки це єдиний сценарій без ціноутворення на викиди CO₂, а внутрішніх генеруючих потужностей у поєднанні з імпортом достатньо для того, щоб уникнути високих цін у більшості часових інтервалів. Очікуваний спад у цей період є наслідком зниження ціни на газ. Отже, у 2030 році ціни у сценаріях нетто нульових викидів приблизно на 20 євро/МВт·год вищі ніж у Базовому сценарії.

Рисунок 3. Динаміка ціни на електроенергію базового навантаження за сценаріями



Джерело: EPMM

Зближення цін за всіма сценаріями до 2040 року пояснюється протилежними тенденціями у розвитку генеруючих потужностей. У Базовому сценарії наявні потужності, що працюють переважно на вугіллі, зменшуються за рахунок виведення з експлуатації. Таке зниження внутрішнього виробництва електроенергії призводить до зростання цін у певні часові проміжки (години). З іншого боку, у сценаріях нетто нульових викидів суттєве збільшення частки електроенергії з ВДЕ у загальному балансі призводить до зменшення середньої ціни. В результаті, до 2045 року ціни за всіма трьома сценаріями зближуються на рівні близько 75 євро/МВт·год.

До 2050 року траєкторії цін знову розходяться. Сценарій «Нетто нульові викиди - Відкрита технологія» передбачає найнижчу ціну (~70 євро/МВт·год), оскільки атомна енергетика та ВДЕ можуть задовольнити зростаючий попит у більшості часових проміжків, уникаючи виникнення високих цін. У Базовому сценарії ціни вищі (~80 євро/МВт·год) через нижчу частку

виробництва електроенергії з ВДЕ. Висока ціна у сценарії «Чисті нульові викиди - ВДЕ» (~95 євро/МВт·год) пояснюється домінуванням вітрових електростанцій у структурі виробництва. У періоди низького виробництва електроенергії на вітрових електростанціях внутрішньої пропозиції не вистачає, що призводить до надзвичайно високих цін в окремі години та підвищення середньорічної ціни.

Існує декілька варіантів дій для зменшення зростання ціни в кінці періоду за сценарієм «Нетто нульові викиди - ВДЕ». Будівництво додаткових сонячних електростанцій потужністю 9 ГВт у 2050 році призведе до формування такої ж ціни, як і за сценарієм «Нетто нульові викиди - Відкрита технологія». Збільшення транскордонних потужностей передачі на 1,5 ГВт або скорочення споживання на 3,3% дозволить привести ціни до рівня сценарію «Нетто нульові викиди - Відкрита технологія».

До 2035 року вищі оптові ціни на електроенергію за сценаріями нетто нульових викидів призведуть до зростання цін для споживачів. Це потребуватиме застосування **добре продуманих схем підтримки вразливих споживачів**: занадто широке охоплення споживачів потребувало б значних витрат для підтримки протягом тривалого періоду і послабило б їх чутливість до зміни цін. Водночас, на етапі відновлення економіки України слід **сприяти підвищенню енергоефективності**, оскільки ринкове ціноутворення, що об'єктивно відображає витрати, є найбільш ефективним і довгостроковим інструментом для скорочення енергоспоживання та подолання енергозалежності.

Різниця в цінах між Україною та ЄС у початковий період призводить до **високого рівня використання міждержавних мереж для експорту електроенергії**. Після 2030 року рівень використання знижується, оскільки ціновий спред зменшується. Наприкінці змодельованого періоду коефіцієнти використання інтерконекторів та перевантаження зростають у сценаріях нетто нульових викидів в обох напрямках міждержавної торгівлі. Високий рівень використання інтерконекторів свідчить про те, що **розширення транскордонних потужностей є ключовим аспектом майбутнього розвитку сектору** в Україні.

Таблиця 3. Середньогодинні торгові потоки у % від нетто пропускної спроможності міждержавних електромереж в Україні

БАЗОВИЙ СЦЕНАРІЙ					ННВ-ВТ				ННВ-ВДЕ						
Utilization, %															
	2025	2030	2040	2050		2025	2030	2040	2050		2025	2030	2040	2050	
ЕКСПОРТ	HU	94,4%	97,8%	64,5%	45,9%	HU	94,6%	85,6%	60,9%	52,0%	HU	94,8%	85,7%	57,4%	50,2%
	MD	12,7%	90,1%	4,8%	33,2%	MD	11,4%	81,3%	47,8%	46,3%	MD	11,4%	82,0%	43,1%	43,9%
	PL	99,8%	100,0%	48,7%	20,2%	PL	99,8%	87,9%	30,7%	30,8%	PL	99,8%	88,2%	29,3%	33,6%
	RO	92,7%	97,0%	61,1%	46,1%	RO	92,9%	82,9%	64,4%	53,2%	RO	93,5%	83,6%	60,9%	51,3%
	SK	94,2%	97,2%	31,8%	20,3%	SK	94,3%	76,5%	19,5%	30,6%	SK	94,5%	76,7%	20,0%	33,1%
ІМПОРТ	HU	4,2%	1,8%	7,8%	47,0%	HU	4,0%	7,3%	8,0%	44,0%	HU	3,9%	6,9%	10,2%	44,9%
	MD	48,7%	3,9%	77,7%	43,9%	MD	49,8%	8,8%	10,8%	37,5%	MD	49,4%	8,8%	13,5%	38,3%
	PL	0,0%	0,0%	35,7%	71,5%	PL	0,0%	7,0%	56,7%	57,1%	PL	0,0%	6,9%	60,6%	57,6%
	RO	5,0%	1,6%	14,2%	41,1%	RO	4,8%	7,9%	11,8%	38,6%	RO	4,5%	7,5%	14,7%	39,1%
	SK	4,2%	1,9%	36,2%	66,4%	SK	4,1%	13,0%	56,6%	55,2%	SK	3,9%	12,6%	60,2%	54,7%

Механізм прикордонного вуглецевого коригування (СВАМ) був змодельований для українського енергетичного сектору як додатковий варіант Базового сценарію, оскільки в сценаріях нетто нульових викидів передбачається, що Україна використовує систему торгівлі квотами на викиди парникових газів (СТВ) ЄС або аналогічну систему, а отже, СВАМ не застосовується. СВАМ – це прикордонний податок на викиди вуглецю, запроваджений ЄС з метою створення рівних умов для товарів, вироблених в ЄС або імпортованих з країн, де немає податку на викиди вуглецю або він менший. СВАМ застосовується до промислових секторів з високим рівнем викидів та електроенергетики і буде повністю впроваджений з 2026 року. Це означає, що експорт електроенергії з України до ЄС буде оподатковуватись на кордоні. Це фактично зменшує експорт, оскільки в ті часові інтервали, коли податок перевищує ціновий спред, експорт до країн ЄС не здійснюватиметься. Після впровадження СВАМ відносно дешева електроенергія буде споживатися всередині країни, а не експортуватися до ЄС. Таке заміщення знижує оптову ціну електроенергії в Україні, водночас збільшуючи ціновий спред між Україною та ЄС. СВАМ має серйозні **негативні наслідки для виробників електроенергії та трейдерів, оскільки вони втрачають доходи від експорту**. Однак він не впливає на графік пропозиції (висхідний порядок розташування генеруючих потужностей на основі їх маржинальних витрат), а отже, не «запускає» декарбонізацію електроенергетичного сектору, як це робить СТВ (або еквівалентний податок на викиди вуглецю). «Базовий сценарій+СВАМ» передбачає **значну зміну нетто експортної позиції України**, зменшуючи її приблизно на 7-13 ТВт·год порівняно з Базовим сценарієм.

РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПОЛІТИКИ

Довгострокове бачення

Всебічне і далекоглядне бачення, закладене в національній політиці, є запорукою успішної декарбонізації. Україна повинна розробити дорожню карту, яка узгоджується з кліматичними цілями ЄС і містить чіткі цілі та етапи. Дорожня карта також має включати план здійснення енергетичного переходу, що враховує технологічний прогрес, динаміку ринку та розвиток регуляторного середовища. Забезпечуючи довгострокову перспективу, уряд може створити стабільне та передбачуване середовище для інвесторів, сприяючи зміцненню довіри та прихильності до процесу декарбонізації.

Впровадження у 2030 році європейської системи ціноутворення на викиди діоксиду вуглецю, як це передбачено у сценаріях нетто нульових викидів, слугує ключовим каталізатором енергетичного переходу. Це забезпечить надійну основу для декарбонізації, що призведе до прискореного впровадження ВДЕ та поступової відмови від вугільних електростанцій. Для того, щоб взяти участь у СТВ ЄС, Україні необхідно прискорити підготовку відповідних інституцій та процедур. Плавний перехід може передбачати поступове підвищення національного податку на викиди діоксиду вуглецю. Запровадження СТВ призведе до того, що Механізм прикордонного вуглецевого коригування (СВАМ), який має бути впроваджений ЄС для всіх третіх країн з 2026 року, стане незастосовним для України. В той час як доходи від СТВ залишатимуться в Україні, доходи від мита в рамках СВАМ залишатимуться в ЄС. Це погіршить конкурентні позиції України, оскільки країна може експортувати на 30-50% менше електроенергії порівняно з Базовим сценарієм. СВАМ не «запустить» декарбонізацію доки внутрішнього попиту буде достатньо для споживання раніше експортованої електроенергії.

Принципи енергетичного переходу

Прозорість є ключовим фактором у розбудові громадської довіри та залученні приватних інвестицій. Створення чітких механізмів формулювання політики, прийняття рішень та їх реалізації допомагає зацікавленим сторонам зрозуміти доцільність регуляторних актів. Тому українському уряду слід визначити пріоритетом прозорі канали та механізми комунікації, щоб підтримувати тісний зв'язок з громадськістю та інвесторами. **Залученість громадськості** та ефективні **комунікаційні стратегії** повинні бути вбудовані у процеси формування регуляторного середовища з метою сприяння виникненню відчуття залученості та спільної відповідальності за енергетичний перехід.

Фундаментальним принципом декарбонізації є забезпечення **справедливості** у розподілі витрат і вигод. Важливо надавати пріоритет політиці, яка не дозволить соціально незахищеним верствам населення нести непропорційний тягар витрат на забезпечення енергетичного переходу. Нехтування принципами справедливості може призвести до соціальних заворушень, опору впровадженню стратегії, а також до розколу в суспільстві щодо декарбонізації.

Розвиток і зміцнення надійних інституцій – антимонопольного комітету, енергетичного регулятора, служби захисту прав споживачів – є критично важливими для залучення приватних інвестицій та зменшення «премії за ризик» країни, що здорожчує капітал. Створення агентств, здатних здійснювати нагляд і забезпечувати дотримання законодавства, гарантує рівні умови для всіх учасників ринку.

Інфраструктура та міжнародна інтеграція

Енергетичний перехід означає, з одного боку, масштабну розбудову нових безвуглецевих генеруючих потужностей, а з іншого – мереж передачі та розподілу електроенергії. Ці активи характеризуються високими початковими капітальними витратами та низькими операційними витратами. Великий обсяг необхідних інвестицій означає, що державні ресурси повинні супроводжуватися приватними інвестиціями. Таким чином, зниження нинішньої високої вартості капіталу в Україні є ключовим фактором для зменшення загальної вартості інвестицій. **Заміщення викопного палива виробництвом безвуглецевої електроенергії можна досягти до 2050 року за рахунок збільшення обсягів відновлюваної енергетики, навіть без нових атомних електростанцій (сценарій «Нетто нульові викиди - ВДЕ).** З реінтеграцією Запорізької АЕС існуючий парк атомних електростанцій допоможе декарбонізувати сектор. Для будівництва нових АЕС необхідне значне зниження вартості будівництва (5250 євро/кВт за сценарієм «Нетто нульові викиди - Відкрита технологія») порівняно з поточним рівнем.

Україна має величезний потенціал для використання сонячної та вітрової енергії. У даному дослідженні прогнозується особливо сильне зростання вітроенергетики. Впровадження вітроенергетики на значній території України зменшить волатильність виробництва електроенергії завдяки «портфельному» ефекту. Проте оптимальний портфель технологій відновлюваної енергетики чутливий до зміни вартості та наявності/доступності електромереж.

Для прискорення реалізації масштабних проектів у сфері ВДЕ Україна має спростити дозвільні процедури, зменшивши бюрократичні перепони щодо підключення до мережі. Крім того, інвестиції в мережеву інфраструктуру та установки зберігання електроенергії мають вирішальне значення для балансування ВДЕ із непостійним характером виробництва.

Однією з рекомендацій є впровадження економічно ефективного ринкового механізму підтримки – двостороння система контрактів на різницю (CfD). Це забезпечить інвесторам передбачуваний потік доходів і посилить конкуренцію, одночасно захищаючи споживачів від зайвих витрат. При цьому, необхідно ґрунтовно продумати умови аукціону та контракту, а також встановити коректні граничні ціни і забезпечити відкритість довгострокових графіків проведення аукціонів.

До 2035 року можна повністю відмовитися від використання вугілля без загрози для ресурсної достатності енергосистеми. Згідно з моделюванням, до 2030 року в системі залишиться лише 850 МВт вугільних електростанцій в обох сценаріях нетто нульових викидів.

Щоб отримати повноцінні вигоди від інтеграції України до ENTSO-E, торгівлі електроенергією та балансування ВДЕ на більшому географічному ринку, існує потреба у значних транскордонних потужностях (ТКП). Коефіцієнти використання ТКП є високими протягом усього періоду моделювання, що свідчить про те, що ТКП є важливими елементами енергосистеми України. Вони допомагають системі в години пікового навантаження та підвищують її гнучкість. Одним з варіантів зниження високої ціни на електроенергію за сценарієм «Нетто нульові викиди - ВДЕ» наприкінці періоду є будівництво додаткових потужностей до тих, що вже заплановані в десятирічному плані розвитку системи передачі. Результати моделювання показують, що додаткові 1,5 ГВт транскордонних потужностей матимуть ефект зниження ціни на 25 євро/МВт-год. Розбудова запланованих транскордонних потужностей має стати пріоритетом у майбутній трансформації енергосистеми України. Вищі потужності ТКП уможливають більший і швидкий розвиток ВДЕ змінного характеру, забезпечать кращу безпеку системи та дозволять отримати вищі доходи для України до 2040 року, поки українська енергосистема матиме цінові переваги у порівнянні з сусідніми країнами ЄС.

Гнучкість енергосистеми

Система з великою кількістю відновлюваних джерел енергії вимагає високої гнучкості. Важливо враховувати всі можливі фактори забезпечення гнучкості (пропозиція, попит, установки зберігання енергії, міждержавні мережі) і надавати пріоритет тим, що мають найшвидші терміни реалізації та найкраще співвідношення витрат і доходів. Підвищення гнучкості системи також вимагає значних інвестицій у технології «розумних» мереж і системи управління попитом. Крім того, стимулювання впровадження технологій зберігання енергії, таких як батареї, сприятиме гнучкості системи.

Енергосистема залишається збалансованою у всіх сценаріях протягом усіх років, задовольняючи вимоги до резервів навіть тоді, коли «керована» генерація заміщується технологіями змінної/негарантованої потужності. У всіх випадках моделювання передбачає збільшення гнучкої потужності з 8% (від середньотижневого навантаження) у 2020 році до 25% у 2050 році. Гнучкість потужностей на завантаження забезпечується завдяки гідроелектростанціям та батареям, а також заходам з управління попитом. За сценаріями нетто нульових викидів при забезпеченні гнучкості потужностей на розвантаження, вугілля заміщується газом і, значно більшою мірою, відновлюваними джерелами енергії, починаючи з 2030 року і надалі. Роль газу в сценаріях нетто нульових викидів є обмеженою, становлячи менше 8% від загального виробництва електроенергії у 2030 році і лише 2% у 2050 році. Це підкреслює поступовий перехід до більш чистих і сталих джерел енергії, мінімізуючи залежність від газу.

Попит на електроенергію

Декарбонізація економіки вимагає масової електрифікації та взаємодії секторів. Незважаючи на те, що за сценаріями нетто нульових викидів попит на електроенергію зростає більш ніж удвічі між 2025 і 2050 роками, енергосистема ефективно задовольнятиме зростаючу потребу. Це демонструє адаптивність і коректність політики декарбонізації.

У процесі переходу споживачі відіграють ключову роль. Вони зменшують обсяги споживання електроенергії з мережі, а отже, і потребу в інфраструктурі для її транспортування. Комбінація сонячних панелей з малими батареями, дозволить споживачам забезпечити гнучкість, особливо якщо вони об'єднані в рамках агрегаторів. Залучення активних споживачів вимагає спрощення бюрократичних процедур та запровадження фінансових стимулів (зокрема, шляхом ефективного встановлення цін на оптовому та роздрібному ринках), не створюючи при цьому навантаження на функціонування системи. Регуляторне середовище може включати схеми net billing або «купуй все, продавай все».

Окрім того, сприяння енергетичним проектам на локальному рівні за допомогою кооперативних моделей може розширити можливості місцевих громад. Уряд може стимулювати такі проекти за допомогою цільових субсидій або податкових пільг, що сприятиме забезпеченню енергетичної стійкості та підвищенню відчуття залученості.

Покращення енергоефективності все ще залишається одним з головних факторів скорочення викидів, поруч із розвитком відновлюваної енергетики. Відбудова України має включати оптимальне поєднання цих основних опцій декарбонізації. Україні слід розглянути можливість прийняття та впровадження оновлених будівельних норм, які надають пріоритет енергоефективності. Рекомендується використовувати фінансові стимули, такі як податкові пільги або субсидії для підприємств і домогосподарств, що впроваджують енергоефективні технології. Під час відбудови слід пам'ятати, що інвестиції в інфраструктуру, пов'язану з викопним паливом, зокрема газотранспортні та розподільчі мережі, газові котельні, ризикують призвести до створення «заморожених» активів.

Крім того, уряд повинен проводити інформаційні кампанії з метою підвищення обізнаності громадян про важливість енергозбереження. Формування культури енергоефективності вимагає скоординованих зусиль із залученням навчальних закладів, ЗМІ та місцевих громад.

Вартість енергетичного переходу

Загальні витрати енергетичної системи у сценаріях нетто нульових викидів, включно з усім обладнанням для виробництва, транспортування та використання енергії, є подібними до Базового сценарію. Це означає, що **у довгостроковій перспективі енергетичний перехід не буде значно дорожчим для суспільства**. Енергетичний перехід вимагає значних капітальних інвестицій, особливо на початку змодельованого періоду. Інвестиції включають не лише генеруючі потужності, але й електромобілі, теплові насоси та більш ефективні побутові прилади, які купують домогосподарства. У сценаріях нетто нульових викидів інвестиції в електроенергетику подвоюються порівняно з Базовим сценарієм, щоб задовольнити двократне збільшення попиту внаслідок електрифікації. Великі інвестиційні витрати врівноважуються відносно помірними операційними витратами декарбонізованої

електроенергетичної системи, яка, до того ж, забезпечує додаткові переваги – покращення енергобезпеки, торговельного балансу та екологічності.

Необхідність залучення приватного капіталу є важливим питанням планування енергетичного переходу та формування відповідного регуляторного середовища. Приватні інвестори, як іноземні, так і вітчизняні, повинні бути впевнені, що їхні інвестиції захищені, а потенційні прибутки пропорційні ризикам. Тому найбільшим регуляторним пріоритетом буде зниження ризиків для інвесторів та забезпечення стабільного і передбачуваного інвестиційного клімату на основі повної імплементації законодавства ЄС. Через війну так званий «ризик країни» залишатиметься високим впродовж певного часу, принаймні поки Україна не стане повноправним членом ЄС. Тому надзвичайно важливо зменшувати ризик, який залишається під повним державним контролем, тобто – регуляторний ризик.

Хоча за сценаріями нетто нульових викидів оптові ціни спочатку на 15-20 євро/МВт·год вищі (до 2035 року), згодом вони стабілізуються і зближуються з цінами за Базовим сценарієм завдяки ефекту зниження цін на електроенергію з ВДЕ. Це свідчить про те, що будь-яке тимчасове підвищення цін на ранніх стадіях декарбонізації з часом пом'якшується, що призводить до економічно ефективного та сталого енергетичного переходу.

Кінцеві споживачі роблять свій вибір на основі роздрібних цін, які, в свою чергу, повинні відображати ціни на оптовому ринку. При цьому, більшість споживачів не повинні наражатися на ризик цінових коливань, що притаманні оптовому ринку. Споживачі повинні мати можливість вибору цінових пропозицій («тарифних планів»), що відповідають їхній схильності до ризику, рівню споживання та потенціалу забезпечення гнучкості попиту.

Фундаментальним принципом декарбонізації є забезпечення справедливості у розподілі вигод і витрат. Доцільно надавати пріоритет політиці, яка не дозволить соціально незахищеним верствам населення нести непропорційний тягар витрат на забезпечення енергетичного переходу. Це може включати цільові субсидії для домогосподарств з низьким рівнем доходу, програми перекваліфікації для працівників занепадаючих галузей, а також інклюзивні механізми фінансування. Здійснюючи ґрунтовне оцінювання впливу, уряд може виявляти потенційні диспропорції та вирішувати їх на етапі формування політики. Нехтування принципами справедливості може призвести до соціальних заворушень, опору впровадженню стратегії, а також до розколу в суспільстві щодо ставлення до декарбонізації.

З повним текстом звіту можна ознайомитися [ТУТ](#).

