



Danish Energy Agency



Міністерство
енергетики
України

КАТАЛОГ КРИТИЧНО ВАЖЛИВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

для енергетичного сектору України

Версія: Січень 2024 р.



Данське енергетичне
агентство



Міністерство
енергетики
України



EA Енергетичний аналіз



ДУ «Інститут
економіки та
прогнозування
НАН України»

Версія: Січень 2024 р.

Зміст

8	Вступ
12	Методологія
29	Оцінювання вибраних технологій
31	ГАЗОВІ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ
42	СОНЯЧНІ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ
60	НАЗЕМНІ ВІТРОЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ
78	АКУМУЛЯТОРНІ БАТАРЕЇ
88	БІОГАЗОВА УСТАНОВКА
91	ВУГІЛЬНІ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ, РЕМОНТ І ПРОДОВЖЕННЯ ТЕРМІНУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ (ЗАМІНА ОБЛАДНАННЯ)
102	ТЕХНОЛОГІЇ КОГЕНЕРАЦІЇ З БІОМАСИ
118	ГІДРОЕЛЕКТРОСТАНЦІЯ
131	Список літератури
132	Додаток А: Методологія
138	Додаток В: Розрахунки нормованої вартості електроенергії
139	Додаток С: Наскрізні питання
143	Додаток D: Методологія визначення ресурсного потенціалу сонячних електростанцій в Україні
144	Додаток E: Методологія визначення потенціалу вітроенергетичних ресурсів в Україні
145	Додаток F: Паспортні дані
145	Додаток G: Розгляд на місцевому рівні
149	Перелік аббревіатур

Перелік рисунків

- 15 Рисунок 1: Приклад I. Візуалізація критеріїв і загальна оцінка – чим більше піктограм, тим кращий рейтинг
- 16 Рисунок 2: Стислий опис найкращих технологій у кожній категорії (газові двигуни, дахові сонячні електростанції для домогосподарств, комерційні та промислові, наземні вітроенергетичні турбіни, вітрові парки потужністю >20 МВт, модернізація вугільних електростанцій, літій-іонні акумуляторні батареї для громад, ТЕЦ середньої потужності на деревних пелетах, мікро-ГЕС на річці)
- 21 Рисунок 3: Оцінка швидкості впровадження, виміряна в тижнях
- 22 Рисунок 4: Огляд оцінки стійкості всіх підтипів технологій, параметри зважені
- 23 Рисунок 5: LCOE для виробництва електроенергії у зимовий період протягом 2 років
- 24 Рисунок 6: LCOE загального виробництва протягом усього терміну експлуатації
- 32 Рисунок 7: Технологічна схема газотурбінної установки [1]
- 34 Рисунок 8: Когенераційна установка з газовим двигуном
- 44 Рисунок 9: Очікуване виробництво електроенергії сонячними електростанціями (МВт•год на МВт встановленої потужності) у різних регіонах України. Щорічне виробництво 1200 МВт•год/МВт відповідає коефіцієнту використання встановленої потужності (КВВП) 14%. Карти побудовані з урахуванням узагальненого виробництва електроенергії на сонячних електростанціях у різних регіонах України на основі даних Глобального сонячного атласу, що охоплює період з 1994 по 2018 рік
- 52 Рисунок 10: Очікуване виробництво електроенергії сонячними електростанціями в зимовий період (МВт•год на МВт встановленої потужності) у різних регіонах України. Виробництво 350 МВт•год/МВт у зимовий період відповідає приблизно 30% річного виробництва та коефіцієнту використання встановленої потужності (КВВП) 8%. Карти побудовані з урахуванням узагальненого виробництва електроенергії на сонячних електростанціях у різних регіонах України на основі даних Глобального сонячного атласу, що охоплює період з 1994 по 2018 рік
- 57 Рисунок 11: Очікуване річне виробництво електроенергії сонячними електростанціями (МВт•год на МВт встановленої потужності) у різних регіонах України. Щорічне виробництво 1200 МВт•год відповідає коефіцієнту використання встановленої потужності (КВВП) 14%. Буферні зони в 100 км і 280 км були створені до контрольованих Росією територій і Білорусі, з урахуванням найбільшої дальності дії російської артилерії та балістичних ракет малої дальності (БРМД). Карти

побудовані з урахуванням узагальненого виробництва електроенергії на сонячних електростанціях у різних регіонах України на основі даних Глобального сонячного атласу, що охоплює період з 1994 по 2018 рік

- 58** Рисунок 12: Очікуване виробництво електроенергії сонячними електростанціями в зимовий період (МВт•год на МВт встановленої потужності) у різних регіонах України. Виробництво 350 МВт•год у зимовий період відповідає приблизно 30% виробництва та коефіцієнту використання встановленої потужності (КВВП) 8%. Буферні зони в 100 км і 280 км були створені до контрольованих Росією територій і Білорусі, з урахуванням найбільшої дальності дії російської артилерії та балістичних ракет малої дальності (БРМД). Карти побудовані з урахуванням узагальненого виробництва електроенергії на сонячних електростанціях у різних регіонах України на основі даних Глобального сонячного атласу, що охоплює період з 1994 по 2018 рік
- 61** Рисунок 13: Загальна технологія та електрична система вітрової турбіни
- 62** Рисунок 14: Чотири вітроенергетичні турбіни Vestas потужністю 3 МВт
- 62** Рисунок 15: Карта вітрових ресурсів, очікуване річне виробництво електроенергії вітроенергетичними турбінами (МВт•год на МВт встановленої потужності) у різних регіонах України. Щорічне виробництво 3500 МВт•год/МВт відповідає коефіцієнту використання встановленої потужності (КВВП) 40%
- 66** Рисунок 16: Очікуване виробництво електроенергії вітроенергетичними турбінами (МВт•год на МВт встановленої потужності) у різних регіонах України в зимовий період (який в цьому контексті визначається як жовтень-березень, загалом 4374 години)
- 71** Рисунок 17: Очікуване виробництво електроенергії вітроенергетичними турбінами (МВт•год на МВт встановленої потужності) у різних регіонах України в зимовий період (який у цьому контексті визначається як жовтень-березень, загалом 4374 години) разом із зазначенням дальності дії російської артилерії та балістичних ракет малої дальності
- 72** Рисунок 18: Вітроенергетичні турбіни для домогосподарств ANTARIS потужністю 2,5 кВт
- 79** Рисунок 19: Послуги постачальника, які можна надавати за допомогою літій-іонних акумуляторних батарей різним групам зацікавлених сторін [2]
- 80** Рисунок 20: Схематичне зображення мережевої системи накопичення енергії
- 89** Рисунок 21: Принципова схема біогазової ТЕЦ [8]
- 93** Рисунок 22: Ескіз основних елементів вугільної ТЕЦ великої потужності
- 93** Рисунок 23: Зображення частки інвестиційних витрат при продовженні

- терміну експлуатації вугільної електростанції [13]
- 94** Рисунок 24: Зображення частки інвестиційних витрат при заміні певної категорії компонентів вугільної електростанції на нові компоненти. Цю частку слід помножити на вартість нової вугільної електростанції
- 103** Рисунок 25: Основні системи ТЕЦ, приклад ТЕЦ на відходах [Технологічні дані — «Енергетичні установки для виробництва електроенергії та централізованого тепlopостачання», 2016 р., Данське енергетичне агентство]
- 119** Рисунок 26: Схеми гідроелектростанцій на річці (посилання 2, 3)
- 119** Рисунок 27: Схема водосховища гідроелектростанції (посилання 2, 3)
- 120** Рисунок 28: Принцип роботи каскадної системи (посилання 4)
- 120** Рисунок 29: Гідроакумуюча електростанція
- 121** Рисунок 30: Гідроенергетика — визначення напору нетто та брутто (посилання 5)
- 121** Рисунок 31: Діаграма використання гідроенергетичних турбін (посилання 5)
- 122** Рисунок 32: Загальні інвестиційні витрати, КВВП, LCOE для гідроенергетики (світовий показник) (посилання 6)
- 129** Рисунок 33: Дністровський гідроенергетичний комплекс, за матеріалами [21]
- 130** Рисунок 34: Греблі та каскад Дніпра за матеріалами [21]
- 148** Рисунок 35: Мереш'янська сонячна електростанція у Харківській області, частково пошкоджена російськими атаками. Фото: Solar Generation
- 148** Рисунок 36: Сонячна електростанція у Харкові, частково пошкоджена російськими атаками. Фото: Асоціація сонячної енергетики України

Перелік таблиць

- 13** Таблиця 1: Огляд характеристик оцінювання та визначення рівнів, колонка «Критерії» вказує на те, до якого з чотирьох основних критеріїв відноситься характеристика, позначена літерою (W, Q, R або C) у колонці. W: вплив зими, Q: швидкість реалізації (швидка), R: стійкість в експлуатації в умовах України та C: вартість виробництва електроенергії (також відома як нормована вартість електроенергії).
- 14** Таблиця 2: Огляд характеристик, які впливають на критерії, і візуалізація рейтингів, чим більше піктограм, тим кращий рейтинг
- 18** Таблиця 3: Матриця оцінювання критеріїв на рівні підтипів технологій, для швидкості впровадження: зелений колір означає, що технологія

може бути впроваджена протягом менш ніж 0,5 року; жовтий колір означає, що може бути впроваджена протягом 1-1,5 року; червоний колір означає, що для її впровадження знадобиться більше ніж 2 роки.

- 25** Таблиця 4: Матриця оцінювання параметрів
- 31** Таблиця 5: Газові електростанції – загальна матриця оцінювання критеріїв
- 32** Таблиця 6: Газові турбіни, простий цикл – матриця оцінки критеріїв
- 34** Таблиця 7: Газові двигуни – матриця оцінювання критеріїв
- 35** Таблиця 8: Газова енергетика – матриця оцінювання параметрів. Одиниця LCOE – [євро/МВт•год]
- 42** Таблиця 9: Сонячні електростанції – загальна матриця оцінювання критеріїв
- 44** Таблиця 10: Дахова сонячна електростанція для житлового будинку – матриця оцінювання критеріїв
- 46** Таблиця 11: Сонячні електростанції на дахах комерційних, промислових та громадських будівель – матриця оцінювання критеріїв
- 48** Таблиця 12: Сонячні електростанції для комунальних підприємств – матриця оцінювання критеріїв
- 49** Таблиця 13: Плавуча промислова сонячна електростанція – матриця оцінювання критеріїв
- 51** Таблиця 14: Сонячні електростанції – матриця оцінювання параметрів. Одиниця LCOE – [євро/МВт•год]
- 60** Таблиця 15: Вітроенергетика – загальна матриця оцінювання критеріїв
- 62** Таблиця 16: Вітроенергетика – матриця оцінювання критеріїв для наземних вітропарків великої потужності (20-100 МВт)
- 63** Таблиця 17: Вітроенергетика – матриця оцінки критеріїв для кластера наземних вітроенергетичних установок (4,2-20 МВт)
- 64** Таблиця 18: Вітроенергетика – матриця оцінювання критеріїв для вітроенергетичних турбін, які були у використанні для наземного вітропарку великої потужності (20-100 МВт)
- 65** Таблиця 19: Вітроенергетика – матриця оцінювання параметрів для наземних вітроенергетичних турбін (МВт). Одиниця LCOE – [євро/МВт•год]
- 72** Таблиця 20: Вітроенергетика – матриця оцінювання критеріїв для вітроенергетичних турбін для домогосподарств
- 74** Таблиця 21: Вітроенергетика – матриця оцінювання параметрів для наземних вітроенергетичних турбін для домогосподарств (кВт). Одиниця LCOE – [євро/МВт•год]
- 81** Таблиця 22: літій-іонна акумуляторна батарея мережевого рівня – матриця оцінювання критеріїв
- 83** Таблиця 23: Оцінка критеріїв для літій-іонної акумуляторної батареї для громад

- 84** Таблиця 24: Матриця оцінювання характеристик для акумуляторних батарей. Одиниця LCOE — [євро/МВт•год]
- 91** Таблиця 25: Вугільна енергетика — загальна матриця оцінювання критеріїв
- 94** Таблиця 26: Вугільні електростанції, продовження терміну експлуатації — матриця оцінювання критеріїв
- 96** Таблиця 27: Вугільні електростанції, продовження терміну експлуатації — матриця оцінювання параметрів. Одиниця LCOE — [євро/МВт•год]
- 104** Таблиця 28: Матриця оцінювання критеріїв для ТЕЦ на біомасі з паровою турбіною протитиску, що використовують деревні пелети, тріску та солому як паливо
- 105** Таблиця 29: Матриця оцінювання параметрів ТЕЦ на біомасі з паровою турбіною протитиску середньої потужності. Одиниця LCOE — [євро/МВт•год]
- 110** Таблиця 30: Матриця оцінки критеріїв для установок з органічним циклом Ренкіна, що використовують деревні пелети, тріску та солому як паливо
- 111** Таблиця 31: Матриця оцінювання характеристик ТЕЦ з органічним циклом Ренкіна на біомасі. Одиниця LCOE — [євро/МВт•год]
- 118** Таблиця 32: Гідроенергетика — загальна матриця критеріїв для гідроенергетичних технологій
- 120** Таблиця 33: Класифікація гідроелектростанцій за потужністю
- 122** Таблиця 34: Перелік гідроелектростанцій в Україні — ГЕС: гідроелектростанція з греблею; ГАЕС: гідроакумулююча електростанція; RoR: ГЕС на річці (без греблі) — зі змінною потужністю, як вітрова та сонячна енергія
- 123** Таблиця 35: Матриця оцінювання критеріїв для гідроелектростанцій 144
- 125** Таблиця 36: Матриця оцінювання характеристик гідроелектростанцій. Одиниця LCOE — [євро/МВт•год]
- 142** Таблиця 37 : Категорії трансформаторів та їх ключові характеристики
- 142** Таблиця 38: Орієнтовний час постачання за категоріями трансформаторів

ВСТУП

Передумови/контекст

Попередня діяльність з моделювання технологічних рішень та енергетики, що проводилася в рамках Українсько-данського енергетичного партнерства (UDEPP), показала, що різні зацікавлені сторони використовують різні дані та припущення щодо поточних і майбутніх енергетичних технологій в Україні. Це може спричинити розбіжності між різними дослідженнями та призвести до різних або несумісних висновків і рекомендацій у стратегічних документах. Найбільш важливо, що внаслідок повномасштабного вторгнення Росії в Україну було завдано значної шкоди енергетичній інфраструктурі країни.

Тому в рамках Українсько-данської програми енергетичного партнерства (UDEPP) Міністерство енергетики України (Міненерго) звернулося із запитом на швидку розробку короткострокових та термінових каталогів енергетичних технологій для окремих децентралізованих електрогенеруючих потужностей, актуальних для України, які можуть бути швидко впроваджені та здатні сприяти

підвищенню безпеки децентралізованого енергопостачання в зимовий період, у найкращому випадку — вже у 2023-24 роках, але, безумовно, у 2024-25 роках.

Мета полягає в тому, щоб каталог допоміг місцевим, регіональним і національним зацікавленим сторонам, розробникам, компаніям та іншим особам визначити пріоритети та вибрати відповідні технологічні рішення для енергогенерації, окреслити рамки та визначити пріоритети для вибору технологій і залучення інвестицій та донорської допомоги для відновлення та розвитку енергосистеми України в наступних зимових періодах.

Цей каталог критично важливих технологій щодо підготовки до зими допоможе досягти згоди між зацікавленими сторонами в Україні щодо вартості та технічних характеристик технологій енергогенерації, надаючи перевірені та узгоджені дані щодо технологій енергогенерації за цими чотирма новоствореними вимірами:

- Потужність в зимовий період
- Швидкість впровадження
- Технологічна стійкість
- Нормована вартість електроенергії

(протягом двох років роботи, на відміну від повного терміну експлуатації)

У довгостроковій перспективі буде розроблено повноцінний каталог енергетичних технологій для України.

Як короткострокові, так і довгострокові каталоги технологій, а також відповідні технологічні параметри ефективності та витрати, забезпечать загальну та ключову основу для планування та впровадження заходів у секторі енергетики та електроенергетики.

З огляду на актуальну мету каталогу — підготуватися до майбутніх зим, а також з урахуванням короткого часу, доступного для розробки та завершення першої версії каталогу, — було необхідно звузити число технологій, а також діапазон деталей, які зазвичай містяться в каталогах технологій. Це рішення було прийнято за погодженням з Міністерством енергетики. Отже, цей каталог критично важливих технологій включає лише дані про ретельно відібрані технології та дані лише для поточної ситуації. Дані часових рядів про минулий і майбутній розвиток технологій протягом десятиліть не включені, як це зазвичай буває у звичайних каталогах технологій в енергетичному секторі.

Мета цього каталогу критично важливих технологій

Цей каталог критично важливих технологій має на меті підтримати прийняття рішень на місцевому, регіональному та національному рівнях різними зацікавленими сторонами, донорами, розробниками, компаніями та органами влади.

Тому основна увага в цьому каталозі технологій для децентралізованої енергогенерації зосереджена на визначенні їхнього потенціалу для постачання електроенергії в поточному українському контексті протягом зимових періодів

2023-24/2024-25 рр., які можуть бути впроваджені для сприяння підвищенню надійності енергопостачання.

Отже, технологічні рішення, включені до цього каталогу, оцінюють за такими чотирма основними критеріями:

Вплив зими, який визначається як частка річного виробництва, що може бути поставлена в зимовий період (з жовтня по березень).

Можливість введення в експлуатацію в короткі терміни (швидкість впровадження). Сюди входить оцінка (А) часу на планування та отримання дозволів від регуляторних органів, (В) часу на придбання станції (компонентів і матеріалів) і (С) часу технічного встановлення.

Стійкість вибраних технологій. Це передбачає оцінку того, наскільки ефективно працює технологія на рівні розподільної системи, наскільки добре її можна замаскувати та укрити, а також вимоги (ризиків та навички) для підтримання її в робочому стані.

Нормована вартість електроенергії (LCOE) для електропостачання в зимовий період протягом короткого терміну експлуатації (2 роки). Як довідкова інформація, для оцінювання економічної ефективності технологічного рішення в довгостроковій перспективі, також наведено нормовану вартість електроенергії для загального обсягу електроенергії за весь термін експлуатації.

Крім того, до цього каталогу критично важливих технологій включено лише ті технології, які можуть добре відповідати чотирьом вищезазначеним основним критеріям. Вимога щодо придатності для розподіленого виробництва означає, наприклад, що до каталогу включено лише ті типи технологічних рішень, які доцільно використовувати на потужностях, менших за 60 МВт.

Для початку було розглянуто вісім типів технологічних рішень для електрогенерації (перелічені в розділі нижче). За допомогою процесу відбору було визначено обмежену кількість конкретних «підтипів технологій», які доречні для оцінки в поточному контексті в Україні. У результаті відбору восьми загальних типів технологічних рішень було сформовано список з 22 підтипів технологій, який наведено нижче.

Оцінка чотирьох основних критеріїв для різних технологічних рішень підкріплена оцінкою 14 переважно описових та якісних характеристик, перелічених у Таблиці 1. У Додатку А: Методологія розглядаються ці 14 характеристик і пояснюється, чому вони важливі для включення в оцінку в цьому каталозі критично важливих технологій, а також те, як можна оцінити якісні характеристики за тривірневою шкалою (добре, задовільно, погано).

Кожний розділ, присвячений конкретній технології, також міститиме стислий опис технології, а також таблицю даних, орієнтовану на дані за сучасних умов (наприклад, 2024 року). Паспортні дані різних технологій з традиційного каталогу технологій в енергетичному секторі, що описують технічні та фінансові характеристики, можна знайти в Додатку F: Паспортні дані

У зв'язку з тим, що на розробку цього каталогу було відведено дуже мало часу, його будуть постійно оновлювати, і в наступну версію будуть додані ще не розглянуті підтипи технологій та документація.

Технології, включені в оцінювання

Оцінювання проводиться для таких технологій:

1. Газові електростанції

- a) Газові турбіни, простий цикл, природний газ
- b) Газові двигуни, природний газ

c) Газові двигуни, біогаз безпосередньо з біогазової установки нового будівництва

2. Сонячні електростанції (PV)

a) Дахові сонячні електростанції на приватних будинках

b) Дахові сонячні електростанції та наземні сонячні електростанції для комерційних та громадських будівель (включно з лікарнями) без акумуляторних батарей

b) 5. b) Дахові сонячні електростанції та наземні сонячні електростанції для комерційних та громадських будівель (включно з лікарнями) з акумуляторними батареями

c) Наземні промислові сонячні електростанції для комунальних підприємств без акумуляторних батарей

d) Плаваючі промислові сонячні електростанції для комунальних підприємств, наприклад, на греблях ГЕС (тут греблі можна розглядати як водосховища, але вони не включені в каталог)

3. Вітроенергетичні турбіни

a) Наземні вітроенергетичні турбіни, вітрові парки потужністю 20–100 МВт

b) Наземні вітроенергетичні турбіни, вітрові парки потужністю 20–100 МВт, турбіни, що були у використанні

c) Наземна вітроелектростанція, кластер з 3–5 турбінами потужністю 3–20 МВт

d) Вітроенергетичні турбіни для домогосподарств 1–25 кВт

4. Вугільні електростанції, продовження терміну експлуатації (заміна обладнання)

a) Модернізація наявних установок, підвищення ефективності

5. Літій-іонні акумуляторні батареї, крім акумуляторних батарей малої потужності (BESS)

a) Мережеві акумуляторні батареї (потужність приблизно від 2 МВт до 150 МВт, ємність від 2 МВт·год до 500 МВт·год)

b) Акумуляторні батареї для громад

(потужність приблизно 40-150 кВт, ємність приблизно 40- 600 кВт•год)

6. Біогаз

- під час перевірки не було визначено конкретних підтипів технологій, але газовий двигун на біогазі включено до складу газової енергетики

7. Технології когенерації з біомаси (ТЕЦ)

- a) Деревні пелети середнього розміру, протитиск, 25 МВт•год
- b) Деревні пелети малого розміру, органічний цикл Ренкіна, 3 МВт•год
- c) Деревна тріска, середня, протитиск, 25 МВт•год
- d) Деревна тріска, мала, органічний цикл Ренкіна, 3 МВт•год
- e) Солома/стебла/лушпиння, мала, органічний цикл Ренкіна, 3 МВт•год
- f) Солома/стебла/лушпиння, середня, протитиск, 25 МВт•год

8. Гідроенергетика

- a) Мінігідроелектростанція на річці

- b) Мікрогідроелектростанція на річці

- c) Модернізація гідроенергетики (греблі), у т.ч. гідроакумуючі електростанції

Структура розділів технологій каталогу

Формат розділів, присвячених технологіям, включає огляд кожної групи технологій, що демонструє загальні висновки відповідного технологічного сегмента. Потім йде детальне оцінювання кожного підтипу технології, що охоплює:

1. Стислий опис технології
2. Оцінювання критерію на основі чотирьох визначених критеріїв
3. Оцінювання характеристик на основі чотирнадцяти визначених характеристик
4. Таблиця даних у форматі Excel у додатку F
5. Через спільну схожість між деякими технологіями порядок оцінювання відрізняється для різних технологій, а деякі з пунктів оцінювання представлені разом для кластерів підтипів технологій.

МЕТОДОЛОГІЯ

Якісні та кількісні характеристики, що розглядаються в цьому каталозі критично важливих технологій, базуються на інформації, яка зібрана за допомогою напівструктурованих інтерв'ю з українськими, данськими та міжнародними експертами та розробниками в галузі енергетики, а також з українськими органами влади, асоціаціями та організаціями, що працюють в енергетичному секторі та його ланцюгах постачання.

За результатами інтерв'ю з розробниками та експертами описано та проаналізовано типовий процес встановлення електростанцій, очікувані вузькі місця й реалістичні можливості для прискорення процесу впровадження за нинішніх умов за відповідними характеристиками.

На додаток до інформації, отриманої в ході інтерв'ю, були використані дані Данських енергетичних технологій, адаптовані до українського контексту, а також дані про вітрові та сонячні ресурси в Україні з відкритих джерел та інформація, зібрана з літературних джерел і вебсайтів виробників.

Оцінювання характеристик і критеріїв

Загалом, відправна точка для оцінювання технологій — ценові проекти, які реалізують з нуля. Це означає, що попередню розробку проекту або підготовку місця для установок не проводили, а обладнання, що використовується, нове. Хоча це могло б позитивно вплинути на швидкість впровадження проекту, якби він базувався на вже розроблених проектах, наприклад, на проектах, які перебували в процесі реалізації або навіть були затверджені до початку війни, або якщо установки створюють на тому ж місці та як заміна зруйнованим об'єктам, або якщо використовувалося обладнання, що було у використанні. На жаль, ідентифікація вже розроблених проектів і потенційних проектів щодо заміни не була можливою в рамках цього проекту.

У випадку, якщо будь-яка з вищезгаданих можливостей буде включена в оцінку технології, про це буде чітко зазначено.

Огляд 14 характеристик, які розглядаються та оцінюються в цьому каталозі технологій, представлено в Таблиці 1. Щоб

полегшити розрізнення між критеріями та характеристиками, кожній характеристиці (P) присвоєно номер, наприклад, P1, P2, P3, як це наведено в Таблиця 1.

Опис 14 характеристик наведено в Додатку А: Методологія. У додатку наведено опис

причин для розгляду кожної характеристики в цьому каталозі технологій і того, як вони впливають на впровадження проектів з енергогенерації в нинішніх українських реаліях. Після цього наведений опис трирівневої шкали оцінювання, специфічної для кожної з цих характеристик.

Характеристики	Критерії	Рівні оцінювання:		
		Добре	Задовільно	Погано
P1-Виробництво електроенергії в зимовий період	W	>75%	40%-75%	<40%
P2-Нормована вартість електроенергії (LCOE) протягом короткого терміну експлуатації, виробництво взимку	C	Низька	Середня	Висока
P3-Нормована вартість електроенергії (LCOE) протягом усього терміну експлуатації	C	Низька	Середня	Висока
P4-Розподілена генерація	R	<5 МВт	5-20 МВт	20-60 МВт
P5-Регуляторні вимоги в процесі розробки проекту	Q	Швидко та легко	Проміжні	Довго
P6-Час постачання та наявність компонентів і матеріалів	Q	зима 2023/2024 р.	зима 2024/2025 р.	>2 років
P7-Вимоги до логістики та транспортної інфраструктури	Q	низькі	Задовільні	високі
P8-Час технічних робіт зі встановлення (після отримання дозволу)	Q	Короткий	Середній	Довгий
P9-Вимоги до кваліфікованого персоналу на етапі будівництва	Q	Низькі	Середні	Високі
P10-Здатність до балансування мережі	R	Висока	Середня	Низька
P11-Вимоги до інфраструктури електромережі	Q	Легкі	Середні	З питаннями
P12-Потреба у кваліфікованому персоналі для експлуатації та технічного обслуговування, а також у спеціальних запасних частинах	R	Низька	Середня	Висока
P13-Можливість маскування та укриття	R	Висока	Середня	Низька
P14-Ризик, пов'язаний з постачанням палива	R	Низький	Середній	Високий

















Таблиця 1: Огляд характеристик оцінювання та визначення рівнів, колонка «Критерії» вказує на те, до якого з чотирьох основних критеріїв відноситься характеристика, позначена літерою (W, Q, R або C) у колонці. W: вплив зими, Q: швидкість реалізації (швидко), R: стійкість в експлуатації в умовах України та C: вартість виробництва електроенергії (також відома як нормована вартість електроенергії).

Чотири основні критерії наведені в Таблиці 2. Такі критерії W: вплив зими, Q: швидкість реалізації (швидкість), R: стійкість в експлуатації в умовах України та C: вартість виробництва електроенергії (так звана нормована вартість електроенергії (LCoE)).

Кожна з 14 характеристик впливає на один з чотирьох основних критеріїв. Для всебічного огляду це показано в Таблиці 1 та Таблиці 2. У Таблиці 2 в колонці «характеристика» можна побачити, що деякі з критеріїв, якот «вплив зими» (W) і «нормована вартість

електроенергії» (C), складаються лише з однієї характеристики, тоді як критерії «швидкість реалізації» (Q) та «стійкість» (R) оцінюються на основі 6 та 5 характеристик.

Крім того, деякі характеристики можуть мати абсолютний показник (наприклад, нормована вартість експлуатації в євро/кВт·год), що в цілому дозволяє відносно легко оцінити вплив зими (W) і нормовану вартість електроенергії (C). Для інших критеріїв, навпаки, не всі характеристики оцінюються як абсолютні показники.

Значок	Показник	Характеристика	Погано	Задовільно	Добре
	Потужність у зимовий період	P1	 Низький рівень виробництва в зимовий період	 Середній рівень виробництва в зимовий період	 Високий рівень виробництва в зимовий період
	Швидкість впровадження	P5, P6, P7, P8, P9, P11	 Довгий термін	 Середній термін	 Короткий термін
	Стійкість	P4, P10, P12, P13, P14	 Низька стійкість	 Середня стійкість	 Висока стійкість
	Нормована вартість електроенергії	P2, (P3)	 Висока вартість	 Середня вартість	 Низька вартість

Таблиця 2: Огляд характеристик, які впливають на критерії, і візуалізація рейтингів, чим більше піктограм, тим кращий рейтинг

Швидкість впровадження (Q) базується на оцінці часу, який витрачається на різні етапи розробки проекту, представлені різними характеристиками. Деякі з характеристик вимірюють в тижнях і, відповідно, можуть бути підсумовані, як, наприклад, P5—«Регуляторні вимоги в процесі розробки проекту», P6—«Час постачання та наявність компонентів і матеріалів» та P8—«Час технічних робіт з монтажу (після отримання дозволу)», тоді як P7—«Вимоги до логістики та транспортної інфраструктури», P9—«Вимоги до кваліфікованого персоналу

на етапі будівництва» та P11—«Вимоги до інфраструктури електромережі» базуються на якісних оцінках, де технологічні рішення ранжуються відносно один одного. Крім того, для характеристик, які вимірюються в тижнях, слід враховувати, що деякі періоди можуть збігатися.

Під час оцінювання за показником стійкості (R) немає абсолютних показників в однакових одиницях для всіх п'яти характеристик, які впливають на критерії. Тому п'ять характеристик для

кожної технології оцінюють порівняно з показниками інших технологій. Тут і далі п'ять характеристик зважені. Р4–«Розподілена генерація» та Р13–«Можливість маскуваня та укриття» оцінюють як найбільш важливі. Тому Р4 і Р13 отримали зважений показник – 30%. Р10–«Здатність до балансування мережі» та Р14–«Ризик, пов'язаний з постачанням палива» мають зважений показник 15%, тоді як Р12–«Потреба у кваліфікованому персоналі для експлуатації та технічного обслуговування, а також у спеціальних запасних частинах» має зважений показник 10%.

Слід зазначити, що для характеристики Р13 – «Можливість маскуваня та укриття». Оцінювання лише уточнює, наскільки легко технологічне рішення можна замаскувати або укрити, наприклад, накривши його бетонним накриттям або захистивши сіткою від безпілотників. Тому оцінка базується на фізичній конфігурації технологічного рішення. Отже, оцінювання того, яким типам атак можуть протистояти різні укриття, не проводиться.

Загальну оцінку розраховують як середнє арифметичне за чотирма критеріями, як показано на Рисунку 1.

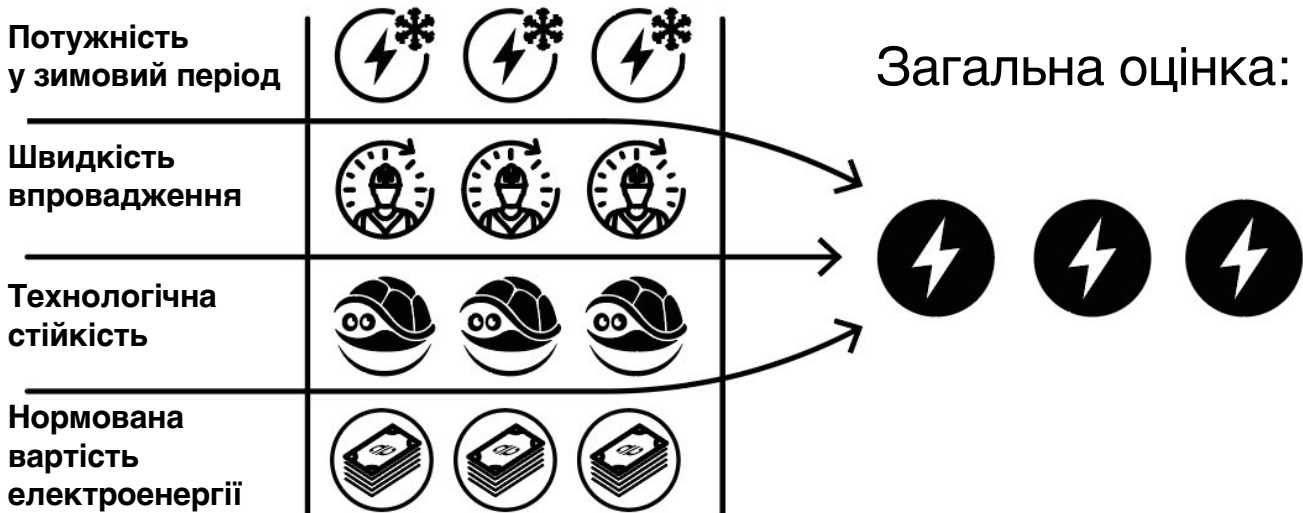


Рисунок 1: Приклад I. Візуалізація критеріїв і загальна оцінка – чим більше піктограм, тим кращий рейтинг

Головна сторінка технологічного рішення

На кожній головній сторінці технологічного рішення оцінки критеріїв представлені графічно за допомогою таких піктограм, наведених в Таблиці 2 і на Рисунку 1.

Розрахунок LCOE

Опис метода наведено в Додатку В: Розрахунки нормованої вартості електроенергії.

Загальні висновки оцінювання: стислий опис технології

На рисунку 2 «Вугільні електростанції: продовження терміну експлуатації» представлено огляд оцінювання технології з найвищою оцінкою в кожній з категорій. Чим більше піктограм, тим кращий рейтинг.

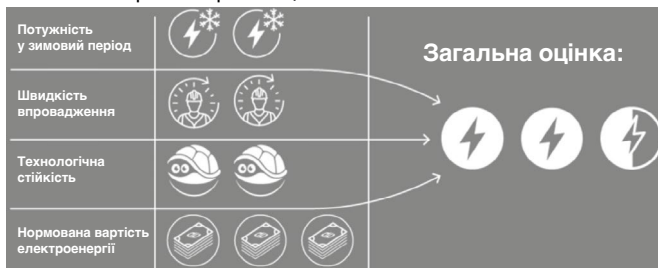
Газова електростанція:



Сонячні електростанції:



Наземна вітроелектростанція:



Вугільні електростанції, продовження терміну експлуатації



Акумуляторні батареї:



Технології когенерації з біомаси:



Гідроелектростанція на річці:



Рисунок 2: Стислий опис найкращих технологій у кожній категорії (газові двигуни, дахові сонячні електростанції для домогосподарств, комерційні та промислові, наземні вітроенергетичні турбіни, вітрові парки потужністю >20 МВт, модернізація вугільних електростанцій, літій-іонні акумуляторні батареї для громад, ТЕЦ середньої потужності на деревних пелетах, мікро-ГЕС на річці)

У Таблиці 3 наведено комплексне оцінювання рівня підтипів технологій за чотирма основними критеріями. Газові двигуни та турбіни, що працюють на природному газі, перевершують інші, і тим забезпечують найвищу загальну

оцінку. ТЕЦ малої потужності на деревних пелетах також ефективна, хоча й дещо меншою мірою.

Газові турбіни, газові двигуни та інші теплові

установки мають найбільший потенціал для енергопостачання в зимовий період, на відміну, наприклад, від сонячних електростанцій, які обмежено працюють в зимовий період.

Газові двигуни, дахові сонячні електростанції, вітроенергетичні турбіни та акумуляторні батареї для домогосподарств можуть бути впроваджені протягом півроку, тоді як газові двигуни, великі сонячні електростанції, наземні вітроенергетичні турбіни, що були у використанні, ТЕЦ малої потужності на біомасі та модернізовані вугільні електростанції вважаються можливими для впровадження до 2024-25 років через короткі процедури погодження та коротші строки будівництва. На противагу цьому, інші технології потребують триваліших термінів, що перевищують 1,5 року, через складні процедури погодження та тривалий час постачання або встановлення/будівництва. Це стосується, наприклад, наземних вітроелектростанцій, ТЕЦ середньої потужності на біомасі, на соломі/лушпинні та деревній трісці, малих гідроелектростанцій (на річці) і двигунів на біогазі, що працюють виключно на газі з біогазової установки нового будівництва.

Скорочення термінів реалізації проєктів вітроенергетичних турбін великої потужності можливе шляхом пом'якшення вимог до оцінки впливу на навколишнє середовище. За ідеальних умов, включно з використанням вітроенергетичних турбін, що були у використанні, проєкти потенційно можуть бути створені протягом 1,5-2 років, що підкреслює важливість гнучкості регулювання для рішень у сфері сталої енергетики.

Газові турбіни та окремі газові двигуни малої потужності також демонструють високий рівень стійкості, оскільки їх можна ефективніше укривати та захищати завдяки меншим розмірам і гнучкості в розташуванні. Те ж саме стосується й акумуляторних батарей. Стійкість також вважається високою для сонячних електростанцій малої та середньої потужності й вітроенергетичних турбін для домогосподарств через їхні розміри, тому

передбачається, що вони не розглядаються як важлива ціль для обстрілів.

Якщо розглядати економічну ефективність (нормована вартість електроенергії, LCOE) технологій протягом короткого періоду часу та лише для технологій виробництва газу взимку, то найбільш економічно ефективними виявляються наземні вітроелектростанції, модернізовані вугільні електростанції, всі ТЕЦ середньої потужності на біомасі та ГЕС малої потужності на річці.

Якщо розраховувати нормовану вартість електроенергії (LCOE) за весь термін експлуатації технології, включаючи загальне виробництво електроенергії, то найбільш економічно ефективними рішеннями є великі вітрові електростанції, гідроелектростанції та сонячні електростанції. Ці технології є використовують відновлювані джерела енергії, не потребують витрат на паливо і мають низькі витрати на обслуговування та експлуатацію. Це сприяє низькому показнику LCOE протягом усього терміну експлуатації.

З іншого боку, якщо розглядати економічну ефективність вітрових і гідроелектростанцій великої потужності протягом усього їхнього життєвого циклу, то сонячні електростанції стають найбільш економічно ефективними рішеннями. Їх поновлювана природа та нижчі операційні витрати сприяють значному прибутку протягом усього терміну експлуатації.

Крім того, для більшості технологій трансформатори, що забезпечують підключення електростанції до мережі, — це критично важливий компонент. Отже, час постачання трансформаторів — критично важлива характеристика для більшості технологій. Зацікавлені сторони зазначили, що час постачання трансформаторів наразі становить від 40 тижнів до двох років, але існують способи отримати трансформатори швидше. Отже, дворічний термін постачання трансформаторів — ризик, але в оцінках його не було враховано.

У наведених нижче таблицях подано огляд критеріїв оцінки для всіх технологій.

Оцінка за критеріями	1.a. Газові турбіни, простий цикл, природний газ	1.b. Газові двигуни, природний газ	1.c. Газові двигуни, біогаз	2.a. Дахова сонячна електростанція для житлового будинку	2.b.5.b Сонячні електростанції для комерційних та громадських будівель з акумуляторними батареями	2.b. Сонячні електростанції для комерційних та громадських будівель без акумуляторних батарей	2.c. Наземні промислові сонячні електростанції без акумуляторних батарей	2.d. Плавучі промислові сонячні електростанції
Вплив зимового періоду	WWW	WWW	WWW	W	W	W	W	W
Швидкість впровадження	QQ	QQ	Q	QQQ	QQQ	QQQ	QQ	QQ
Стійкість	RR	RRR	RR	RRR	RRR	RRR	RR	RR
Вартість (LCOE, термін експлуатації 2 роки в зимовий період)	CCC	CCC	CCC	C	C	C	C	C
Загальна оцінка (1-3)	2,5	2,8	2,3	2,0	2,0	2,0	1,5	1,5

Оцінка за критеріями	3.a. Наземні вітроенергетичні турбіни, вітрові парки (>20 МВт)	3.b. Наземні вітроенергетичні турбіни, що були у використанні, вітрові парки (>20 МВт)	3.c. Кластер наземних вітроелектростанцій (4,2-20 МВт)	3.d. Вітроенергетичні турбіни для домогосподарств (<100 кВт)	4. Модернізація вугільних електростанцій	5.a. Акумуляторна батарея, літій-іонна, для комунальних підприємств	5.b. Акумуляторна батарея, літій-іонна, для громад
Вплив зимового періоду	WW	WW	WW	WW	WWW	WW	WW
Швидкість впровадження	Q	Q	Q	QQQ	QQ	QQ	QQ
Стійкість	RR	RR	RR	RRR	R	RR	RR
Вартість (LCOE, термін експлуатації 2 роки в зимовий період)	CCC	CCC	CCC	C	CCC	C	CC
Загальна оцінка (1-3)	2,0	2,0	2,0	2,3	2,3	1,8	2,0

Оцінка за критеріями	7.a. Деревні пелети, ТЕЦ середньої потужності	7.b. Деревні пелети, ТЕЦ малої потужності	7.c. Деревна тріска, ТЕЦ середньої потужності	7.d. Деревна тріска, ТЕЦ малої потужності	7.e. Солома, ТЕЦ середньої потужності	7.f. Солома, ТЕЦ малої потужності	8.a. Мінігидроелектростанція на річці	8.b. Мікрогидроелектростанція на річці	8.c. Модернізація гідроелектростанції, включно з ГАЕС
Вплив зимового періоду	WWW	WWW	WWW	WWW	WWW	WWW	WW	WW	WWW
Швидкість впровадження	Q	QQ	Q	Q	Q	Q	QQ	QQ	Q
Стойкість	RR	RR	RR	RR	RR	RR	RR	RRR	RR
Вартість (LCOE, термін експлуатації 2 роки в зимовий період)	CCC	CCC	CCC	C	CCC	C	CCC	CCC	CCC
Загальна оцінка (1-3)	2,3	2,5	2,3	1,8	2,3	1,8	2,3	2,5	2,3

Таблиця 3: Матриця оцінювання критеріїв на рівні підтипів технологій, для швидкості впровадження: зелений колір означає, що технологія може бути впроваджена протягом менш ніж 0,5 року; жовтий колір означає, що може бути впроваджена протягом 1-1,5 року; червоний колір означає, що для її впровадження знадобиться більше ніж 2 роки.

Детальна інформація за чотирма основними критеріями

Вплив зими (виробництво в зимовий період) (W)

Теплові електростанції, до яких відносяться системи, які працюють на газі, вугіллі та біомасі, досягають найвищих показників ефективності. Основною причиною цього є їхня диспетчеризація — здатність регулювати виробництво електроенергії відповідно до зміни попиту або доступності енергопостачання. На відміну від відновлюваних джерел, ці станції можуть збільшувати або зменшувати виробництво залежно від попиту, що робить їх дуже надійними в зимові місяці, коли попит на енергію часто різко зростає.

На ефективність вітрових і гідроелектростанцій можуть впливати сезонні погодні умови, але в цілому обидві

технологічні рішення демонструють досить високий рівень доступності протягом зимового періоду, що зумовлює середній бал.

Системи накопичення енергії з використанням акумуляторних батарей також отримали середній бал, але з інших причин. Ефективність цих систем значною мірою залежить від мережі, до якої вони підключені, зокрема, від того, чи наявна достатня потужність для їх заряджання в не пікові години. Якщо потужність мережі недостатня, акумуляторні батареї можуть бути не в змозі накопичити достатньо енергії для використання в періоди пікового попиту, що знижує їхню ефективність.

Зрештою, сонячні електростанції (PV), як правило, найгірше працюють у зимові місяці. Коротший світловий день і нижче положення сонця в небі зменшують кількість сонячного світла, яке сонячні панелі можуть

перетворити на електроенергію. Крім того, сніг і лід можуть покривати панелі, ще більше знижуючи їх ефективність. Як наслідок, сонячні електростанції часто менш надійні взимку, що призводить до зниження оцінки їхньої продуктивності.

Швидкість впровадження (Q)

Стосовно швидкості впровадження, то газові технології, сонячні електростанції (PV), вітроенергетичні турбіни для домогосподарств та акумуляторні системи накопичення енергії отримують найвищі оцінки. Ці технологічні рішення можуть бути впроваджені відносно швидко завдяки розвиненим технологіям, спрощеним процесам погодження та наявності готових рішень.

Наземні вітроелектростанції, різні технологічні рішення для комбінованого виробництва теплової та електричної енергії (ТЕЦ) з біомаси, проекти модернізації вугільних електростанцій та мікрогідроелектростанції на річці отримують середню оцінку. Впровадження цих технологій передбачає складніші процедури, включно з дотриманням регуляторних вимог, плануванням та будівництвом, що може подовжити терміни впровадження.

Гідроелектростанції малої потужності на річці та наземні вітроенергетичні турбіни отримують найнижчу оцінку за швидкістю впровадження. Ці проекти часто пов'язані зі значними регуляторними перешкодами та тривалими процесами планування, що може затримати їх впровадження. Газові двигуни, що працюють виключно на паливі, яке постачається з біогазової установки

нового будівництва, також мають найнижчу оцінку за швидкістю впровадження через значний регуляторний процес і процес планування, а також складний процес встановлення біогазової установки.

Як показано на Рисунку 3, час, необхідний для дотримання регуляторних вимог, проведення екологічних досліджень і планування, особливо важливий для проєктів наземних вітрових електростанцій і гідроелектростанцій малої потужності на річці. Ці етапи можуть значно подовжити загальний термін реалізації цих технологій. Загалом, технології малої потужності, як-от сонячні електростанції та вітроенергетичні турбіни для домогосподарств, можуть бути впроваджені найшвидше. Завдяки малій потужності спрощуються процедури затвердження та встановлення, і ці технології часто доступні в готовому вигляді. Це контрастує з більшими, мегаватними технологіями, які, як правило, створюються на замовлення для конкретних проєктів, що збільшує час від замовлення до початку експлуатації.

Застосування технологій, що були у використанні, може прискорити процес реалізації. Наприклад, у випадку вітроенергетичних турбін і газових двигунів повторне використання компонентів або цілих систем з виведених з експлуатації або модернізованих проєктів може скоротити час і витрати, пов'язані з впровадженням цих систем. Крім того, терміни реалізації проєктів вітроенергетичних турбін можна було б значно скоротити, якби вимоги до оцінки впливу на навколишнє середовище були пом'якшені. Ці оцінювання, хочай мають вирішальне значення для забезпечення сталості та екологічної сумісності цих проєктів, але забирають багато часу.

Оцінка швидкості реалізації (Q)

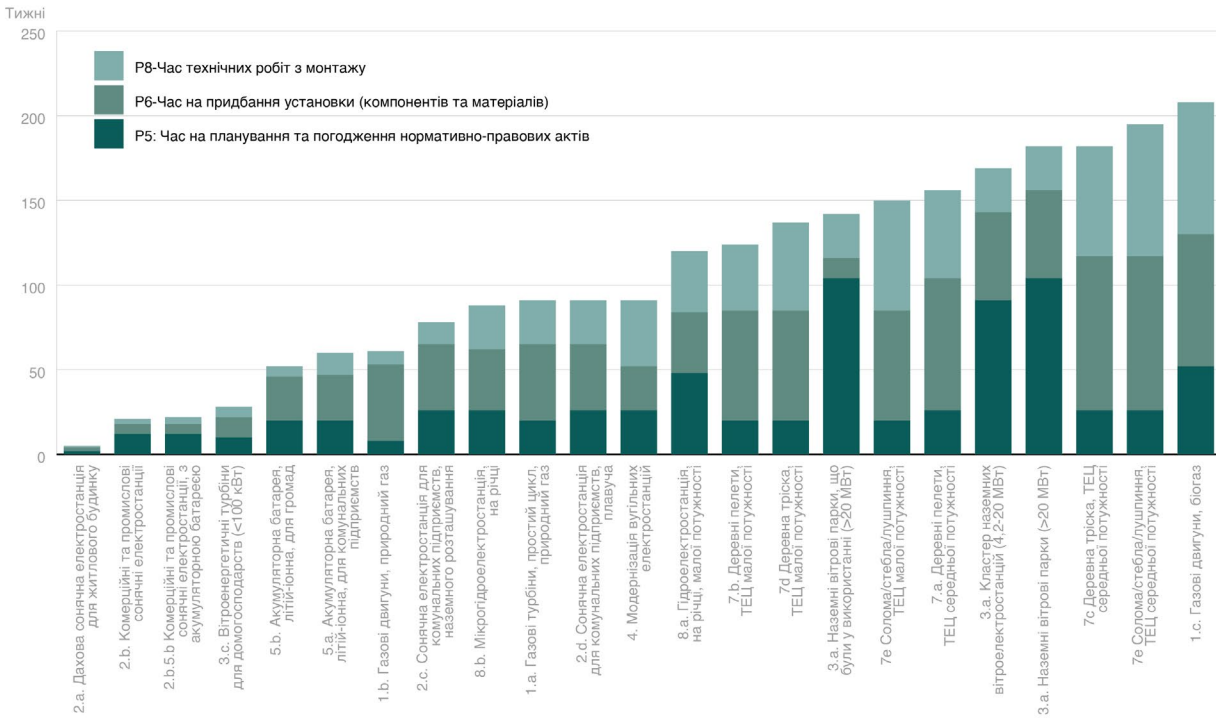


Рисунок 3. Оцінка швидкості впровадження, виміряна в тижнях.

Стійкість (R)

Стійкість енергетичної технології значною мірою визначається її потужністю та розподіленістю. Розподілені технології, як правило, стійкіші завдяки своїй здатності витримувати збої та відновлюватися після них. Огляд стійкості підтипів технологій наведено на Рисунку 4.

Вугільні електростанції отримали найнижчий бал з точки зору стійкості. Основна причина цього — їх централізований характер. Ці великі установки не розосереджені по різних місцях, що робить їх вразливішими до збоїв у роботі. Одна добре спланована атака може вивести з ладу всю станцію, що матиме значущий вплив на енергопостачання.

З іншого боку, найвищу оцінку мають малі газові технологічні рішення та системи накопичення енергії з використанням акумуляторних батарей. Ці системи можна укрити та захистити ефективніше завдяки меншим розмірам і гнучкості в розташуванні. Завдяки можливості розосередження, вони також сприяють підвищенню стійкості, оскільки пошкодження однієї частини системи не обов'язково впливає на всю мережу в цілому.

Малі технологічні рішення, як-от сонячні панелі, що встановлюються на даху, і вітроенергетичні турбіни для домогосподарств, також отримали високі бали. Хоча ці системи потенційно можуть бути пошкоджені ворожою артилерією, безпілотниками або ракетами, вони зазвичай не вважаються важливими

цілями через свій невеликий розмір і можливість розосередження.

Великі вітрові та сонячні електростанції також отримують високі бали, оскільки через їхнє розосереджене розташування

знадобиться кілька атак, щоб знищити їх повністю. Крім того, трансформаторні підстанції, що з'єднують ці станції з високовольтною мережею, можуть бути замасковані або захищені, наприклад, бетонним накриттям.

Оцінка стійкості (R)

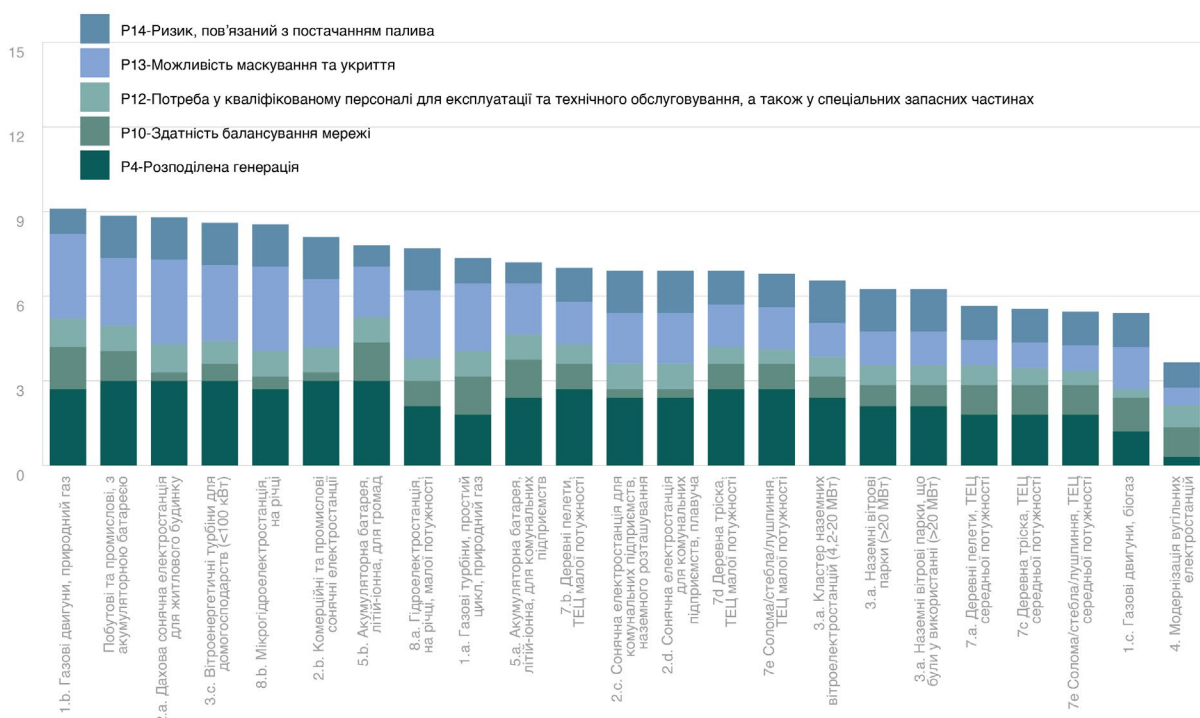


Рисунок 4: Огляд оцінки стійкості всіх підтипів технологій, параметри зважені. Технологія, що характеризується найбільшою стійкістю, має найвищий бал і знаходиться ліворуч, тоді як технологія з найменшими показниками стійкості має найнижчий бал і знаходиться праворуч

LCOE (C)

Нормована вартість електроенергії (LCOE) — це ключовий показник для оцінки економічної життєздатності різних

технологій виробництва електроенергії. Вона являє собою вартість мегаватт·години (у реальних євро) будівництва та експлуатації генеруючої установки протягом передбачуваного фінансового терміну експлуатації та робочого циклу.

У цьому аналізі критеріїв LCOE оцінюють протягом двох зимових сезонів, а також протягом усього терміну експлуатації технології, результати наведені на Рисунок 5. Вартість CO₂ для викопного палива та біомаси не включена в короткостроковий показник LCOE.

У короткостроковій перспективі, особливо протягом двох зимових періодів, газові турбіни та газові двигуни демонструють найнижчі показники LCOE. Це пов'язано насамперед з їхньою високою виробничою потужністю в холодні місяці та відносно низькими початковими інвестиційними витратами. Слідом за газовими технологіями, інші технології теплової генерації великої потужності та вітрова енергетика також

демонструють конкурентоспроможні короткострокові показники LCOE.

З іншого боку, усі технології сонячної енергетики демонструють високі короткострокові показники LCOE. Це пов'язано з їхньою обмеженою здатністю виробляти електроенергію в зимові місяці в поєднанні з високими початковими інвестиційними витратами.

LCOE — 2 роки протягом зимового періоду

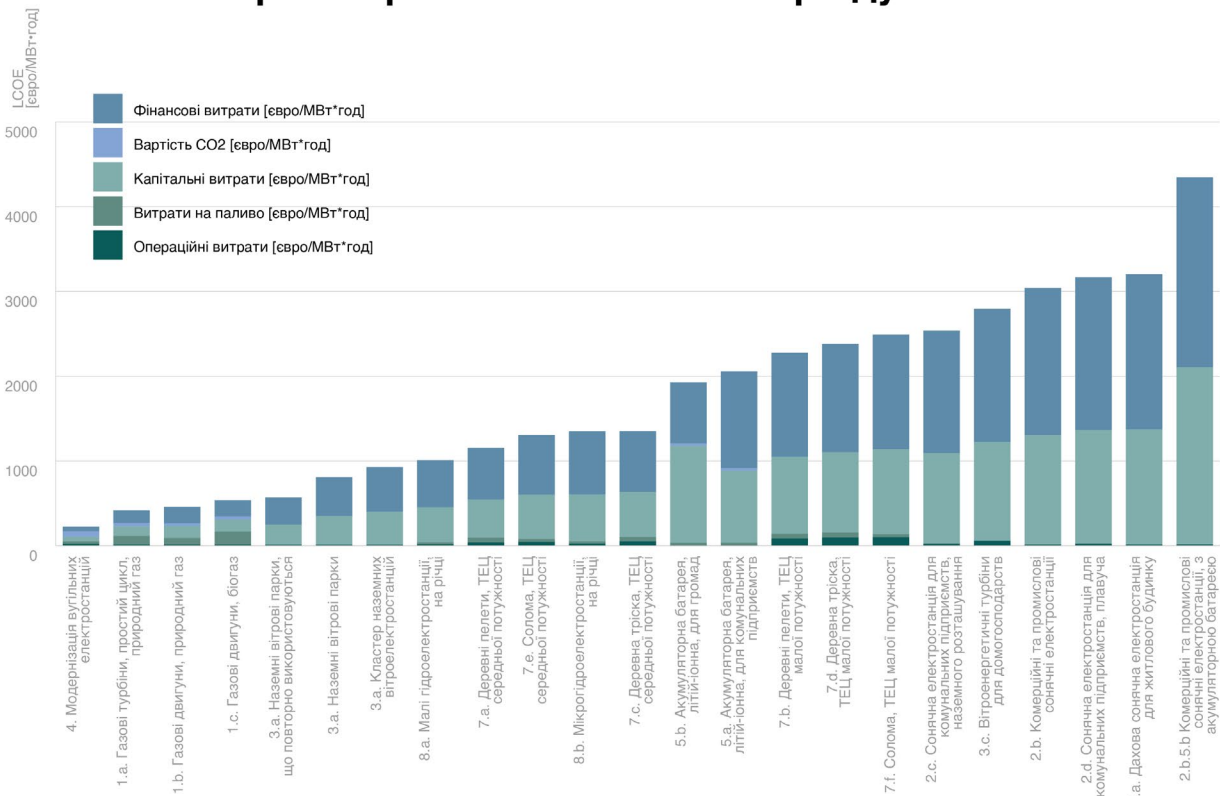


Рисунок 5: LCOE для виробництва електроенергії у зимовий період протягом 2 років

У разі розгляду LCOE протягом усього терміну експлуатації технології¹, як показано на Рисунку 6, картина змінюється. Вітрові та сонячні електростанції великої потужності, а також гідроелектростанції стають найбільш економічно ефективними рішеннями. Ці технології, хоча й потребують значних початкових інвестицій, забезпечують значну

віддачу протягом усього терміну експлуатації завдяки своїй відновлюваній природі та низьким експлуатаційним витратам.

Крім того, вугільні електростанції та комерційні дахові сонячні електростанції також демонструють конкурентоспроможні показники LCOE протягом усього терміну

¹ Включно з середньою зваженою вартістю капіталу (WACC) для всіх технологій і вартістю викидів CO2 для викопного палива.

експлуатації. Попри екологічні проблеми, пов'язані з вугільною енергетикою, її значні обсяги виробництва електроенергії призводять до нижчих витрат у довгостроковій перспективі.

Решта теплових електростанцій, а також акумуляторні батареї та вітроенергетичні турбіни для домогосподарств демонструють

відносно високі показники LCOE. Ці технологічні рішення стикаються з такими проблемами, як висока вартість палива (для теплових електростанцій) і високі інвестиційні витрати порівняно з обсягом виробництва (для акумуляторних батарей і вітроенергетичних турбін для домогосподарств), що призводить до зростання витрат у довгостроковій перспективі.

LCOE загального виробництва протягом усього терміну експлуатації

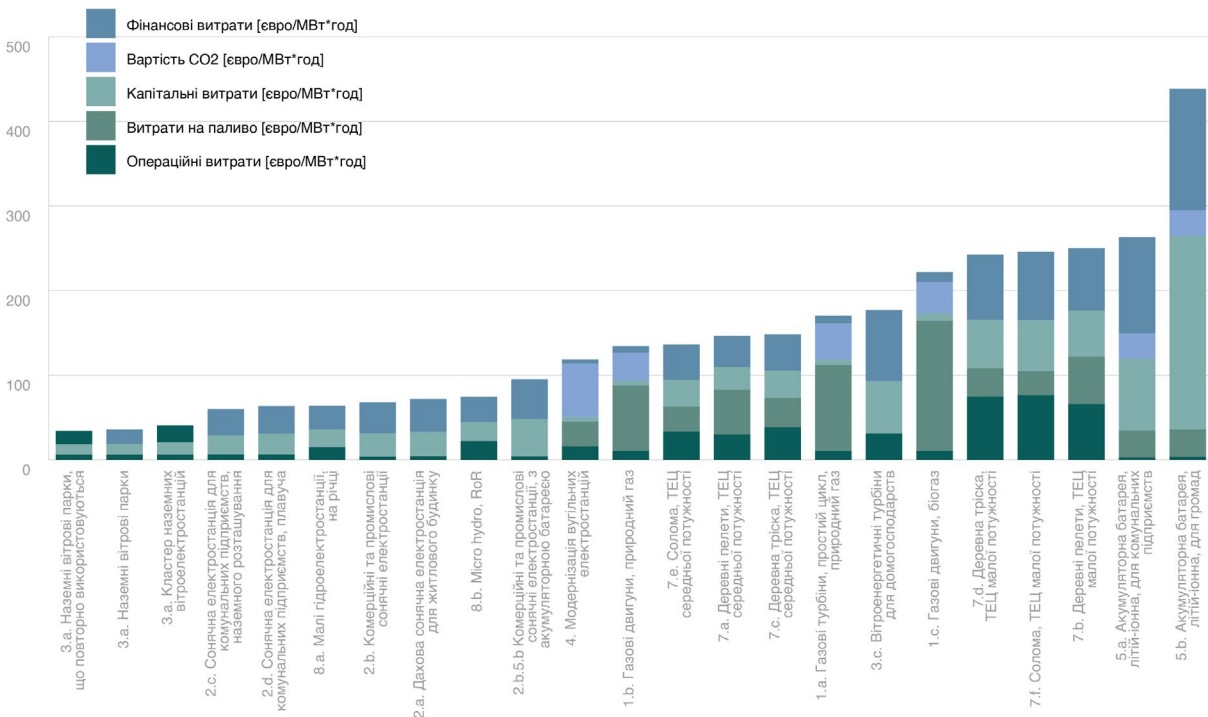


Рисунок 6: LCOE загального виробництва протягом усього терміну експлуатації

Огляд оцінки характеристик

Таблиця 4: Матриця оцінювання параметрів містить огляд оцінки всіх характеристик для всіх підтипів технологій.

Характеристики	1.a. Газові турбіни, простий цикл, природний газ	1.b. Газові двигуни, природний газ	1.c. Газові двигуни, біогаз	2.a. Дахова сонячна електростанція для житлового будинку	2.b.5.b Сонячні електростанції для комерційних та громадських будівель з акумуляторними батареями	2.b. Сонячні електростанції для комерційних та громадських будівель без акумуляторних батарей	2.c. Наземні промислові сонячні електростанції без акумуляторних батарей	2.d. Плавучі промислові сонячні електростанції
P1-Виробництво електроенергії в зимовий період	>75%	>75%	>75%	<30%	<30%	<30%	<30%	<30%
P2-Нормована вартість електроенергії (LCOE) протягом короткого терміну експлуатації, виробництво взимку [євро/МВт•год]	372	423	500	3204	4347	3043	2539	3169
P3-Нормована вартість електроенергії (LCOE) протягом усього терміну експлуатації [євро/МВт•год]	170	135	222	71	95	68	60	63
P4-Розподілена генерація	5-40 МВт	1-10 МВт	1-10 МВт	0,006 МВт	0,1 МВт	0,1 МВт	15 МВт	10 МВт
P5-Регуляторні вимоги в процесі розробки проекту	Проміжний	Швидко та легко	Довго	Швидко та легко	Швидко та легко	Швидко та легко	Проміжний	Проміжний
P6-Час постачання та наявність компонентів і матеріалів	Проміжний	Проміжний	Довго та складно	Швидко та легко	Швидко та легко	Швидко та легко	Проміжний	Проміжний
P7-Вимоги до логістики та транспортної інфраструктури	Низькі	Низькі	Низькі	Низькі	Низькі	Низькі	Середні	Середні
P8-Час технічних робіт зі встановлення (після отримання дозволу)	Середньострокова перспектива	Швидко та легко	Довго та складно	Швидко та легко	Швидко та легко	Швидко та легко	Швидко та легко	Середньострокова перспектива
P9-Вимоги до кваліфікованого персоналу на етапі будівництва	Низькі	Низькі	Середні	Низькі	Низькі	Низькі	Низькі	Низькі
P10-Здатність до балансування мережі	Висока	Висока	Висока	Низька	Середня	Низька	Низька	Низька
P11-Вимоги до інфраструктури електромережі	Легкі	Легкі	Середні	Легкі	Легкі	Легкі	З питаннями	З питаннями

Характеристики	1.a. Газові турбіни, простий цикл, природний газ	1.b. Газові двигуни, природний газ	1.c. Газові двигуни, біогаз	2.a. Дахова сонячна електростанція для житлового будинку	2.b.5.b Сонячні електростанції для комерційних та громадських будівель з акумуляторними батареями	2.b. Сонячні електростанції для комерційних та громадських будівель без акумуляторних батарей	2.c. Наземні промислові сонячні електростанції без акумуляторних батарей	2.d. Плавучі промислові сонячні електростанції
P12-Потреба у кваліфікованому персоналі для експлуатації та технічного обслуговування, а також у спеціальних запасних частинах	Низька	Низька	Висока	Низька	Низька	Низька	Низька	Низька
P13-Можливість маскування та укріття	Високий потенціал	Високий потенціал	Середній потенціал	Високий потенціал	Високий потенціал	Високий потенціал	Середній потенціал	Середній потенціал
P14-Ризик, пов'язаний з постачанням палива	Середній ризик	Середній ризик	Низький ризик	Низький ризик	Низький ризик	Низький ризик	Низький ризик	Низький ризик

Характеристики	3.a. Наземні вітрові парки (>20 МВт)	3.b. Наземні вітрові парки, що були у використанні (>20 МВт)	3.c. Кластер наземних вітроелектростанцій (4,2-20 МВт)	3.d. Вітроенергетичні турбіни для домогосподарств (<100 кВт)	4. Модернізація вугільних електростанцій	5.a. Акумуляторна батарея, літій-іонна, мережевого рівня	5.b. Акумуляторна батарея, літій-іонна, для громад
P1-Виробництво електроенергії в зимовий період	50%	50%	50%	50%	>75%	50%	50%
P2-Нормована вартість електроенергії (LCOE) протягом короткого терміну експлуатації, виробництво взимку [євро/МВт•год]	808	568	927	2795	160	2025	1899
P3-Нормована вартість електроенергії (LCOE) протягом усього терміну експлуатації [євро/МВт•год]	36	35	40	177	119	264	439
P4-Розподілена генерація	>20 МВт	>20 МВт	4,2-20 МВт	0,1 МВт	500 МВт	5-150 МВт	40-200 кВт
P5-Регуляторні вимоги в процесі розробки проекту	Довго	Довго	Довго	Швидко та легко	Проміжний	Проміжний	Проміжний
P6-Час постачання та наявність компонентів і матеріалів	Проміжний	Швидко та легко	Проміжний	Швидко та легко	Проміжний	Проміжний	Проміжний
P7-Вимоги до логістики та транспортної інфраструктури	Високі	Високі	Високі	Низькі	Середні	Низькі	Низькі

Характеристики	7.a. Деревні пелети, ТЕЦ середньої потужності	7.b. Деревні пелети, ТЕЦ малої потужності	7.c. Деревна тріска, ТЕЦ середньої потужності	7.d. Деревна тріска, ТЕЦ малої потужності	7.e. Солома, ТЕЦ середньої потужності	7.f. Солома, ТЕЦ малої потужності
P7-Вимоги до логістики та транспортної інфраструктури	Середні	Середні	Середні	Середні	Середні	Середні
P8-Час технічних робіт зі встановлення (після отримання дозволу)	Довго та складно	Середньострокова перспектива	Довго та складно	Довго та складно	Довго та складно	Довго та складно
P9-Вимоги до кваліфікованого персоналу на етапі будівництва	Середні	Середні	Середні	Середні	Середні	Середні
P10-Здатність до балансування мережі	Задовільна	Задовільна	Задовільна	Задовільна	Задовільна	Задовільна
P11-Вимоги до інфраструктури електромережі	Середні	Легкі	Середні	Легкі	Середні	Легкі
P12-Потреба у кваліфікованому персоналі для експлуатації та технічного обслуговування, а також у спеціальних запасних частинах	Середня	Середня	Середня	Середня	Середня	Середня
P13-Можливість маскування та укриття	Низький потенціал	Середній потенціал	Низький потенціал	Середній потенціал	Низький потенціал	Середній потенціал
P14-Ризик, пов'язаний з постачанням палива	Низький ризик	Низький ризик	Низький ризик	Низький ризик	Низький ризик	Низький ризик

Характеристики	8.a. Мінігідроелектростанція на річці	8.b. Мікрогідроелектростанція на річці	8.c. Модернізація гідроелектростанції, включно з ГАЕС
P1-Виробництво електроенергії в зимовий період	50%	50%	>75%
P2-Нормована вартість електроенергії (LCOE) протягом короткого терміну експлуатації, виробництво взимку [євро/МВт•год]	1008	1350	н/д
P3-Нормована вартість електроенергії (LCOE) протягом усього терміну експлуатації [євро/МВт•год]	64	74	н/д
P4-Розподілена генерація	10-100 МВт	0-10 МВт	100 МВт
P5-Регуляторні вимоги в процесі розробки проєкту	Довго	Середнє	Довго
P6-Час постачання та наявність компонентів і матеріалів	Середній	Середній	Середній
P7-Вимоги до логістики та транспортної інфраструктури	Середні	Низькі	Середні
P8-Час технічних робіт зі встановлення (після отримання дозволу)	Середньострокова перспектива	Середньострокова перспектива	Середньострокова перспектива

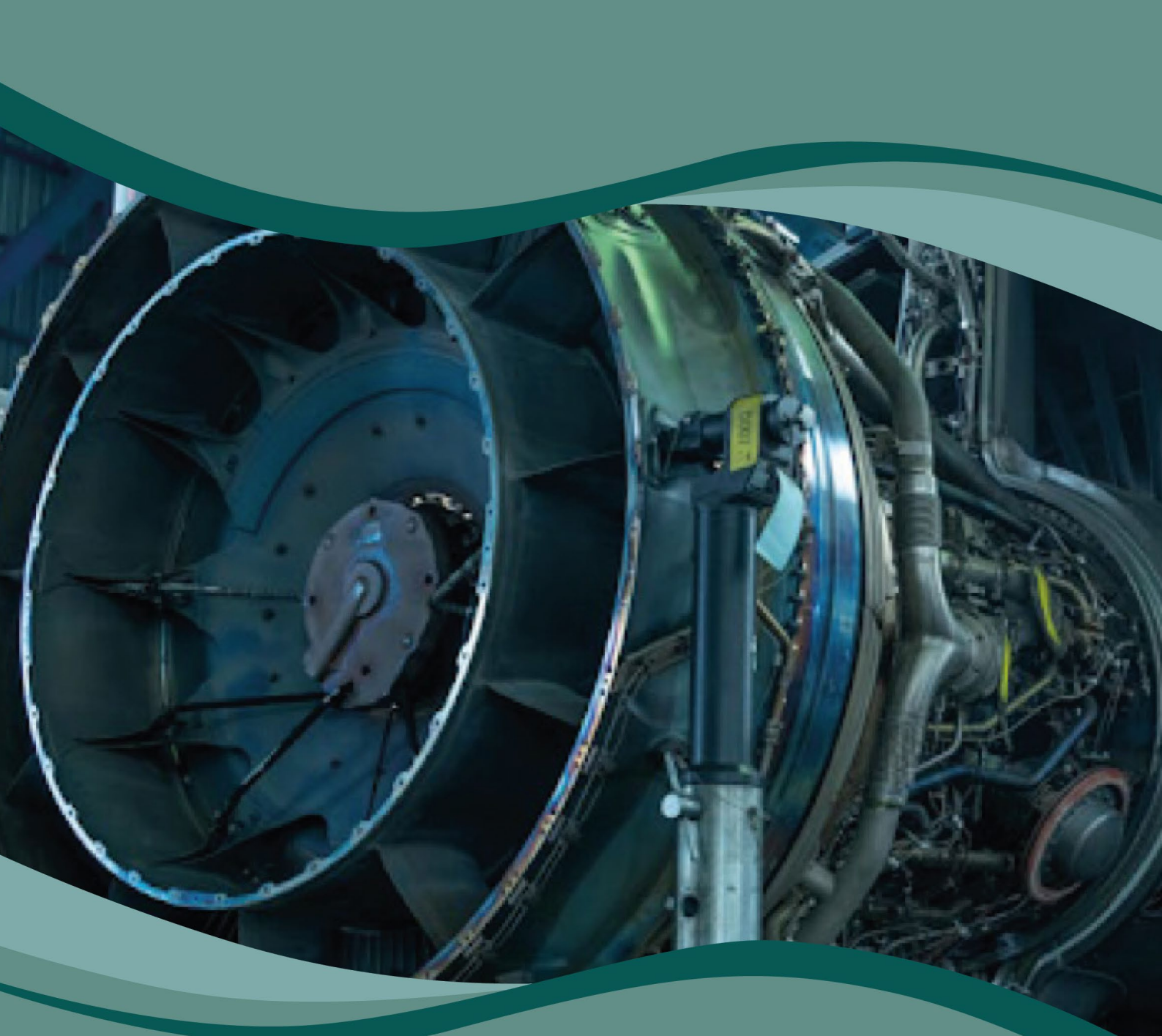
Характеристики	8.a. Мінігидро-електростанція на річці	8.b. Мікрогидро-електростанція на річці	8.c. Модернізація гідроелектростанції, включно з ГАЕС
P9-Вимоги до кваліфікованого персоналу на етапі будівництва	Середні	Середні	Середні
P10-Здатність до балансування мережі	Середня	Низька	Низька
P11-Вимоги до інфраструктури електромережі	Середні	Середні	Легкі
P12-Потреба у кваліфікованому персоналі для експлуатації та технічного обслуговування, а також у спеціальних запасних частинах	Низька	Низька	Низька
P13-Можливість маскування та укриття	Високий потенціал	Високий потенціал	Середній потенціал
P14-Ризик, пов'язаний з постачанням палива	Низький ризик	Низький ризик	Низький ризик

Таблиця 4: Матриця оцінювання параметрів












Наскрізні питання, пов'язані з мережею — операційні виклики в енергосистемі України, а також виклики, пов'язані з інтеграцією технологій у сфері відновлюваної енергетики, фінансові питання та питання, пов'язані з трансформаторами, викладені в Додатку С.

ОЦІНЮВАННЯ ВИБРАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

У цьому розділі технології оцінюються за критеріями та характеристиками.



Газові Електростанції

Потужність у зимовий період	  	Загальна оцінка:   
Швидкість впровадження	 	
Технологічна стійкість	  	
Нормована вартість електроенергії	  	

ГАЗОВІ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

Рейтинг на першій сторінці показує оцінку технології, яка отримала найвищий загальний бал серед підтехнологій, зазначених у розділі. Чим більше піктограм,

тим кращі показники². Для газових технологій найкращий результат мають газові двигуни, що працюють на природному газі. Оцінки для всіх підтехнологій наведені в Таблиці 5.

Оцінка за критеріями	1.a. Газові турбіни, простий цикл, природний газ	1.b. Газові двигуни, природний газ	1.c. Газові двигуни, біогаз
Вплив зимового періоду	WWW	WWW	WWW
Швидкість впровадження	QQ	QQ	Q
Стійкість	RR	RRR	RR
Вартість (LCOE, термін експлуатації 2 роки в зимовий період)	CCC	CCC	CCC
Загальна оцінка (1-3)	2.5	2.8	2.3

Таблиця 5: Газові електростанції – загальна матриця оцінювання критеріїв

У цьому розділі розглядаються три типи газових електростанцій:

- Газові турбіни, простий цикл, що працюють на природному газі
- Газовий двигун, що працює на природному газі
- Газовий двигун, що працює на біогазі (неочищений), який постачається виключно з біогазової установки нового будівництва.

Газові турбіни та газові двигуни можуть бути виготовлені в широкому діапазоні потужності — від декількох кіловатів до декількох мегаватів. Конкретно для цього проекту основна увага приділяється газовій турбіні з відкритим циклом потужністю від 5 до 40 МВт і газовому двигуну потужністю від 1 до 10 МВт. Вибір цих технологій в першу чергу має на меті підкреслити відмінності газових електростанцій різної потужності, а не наголошувати на виборі

² Детальне пояснення див. у Таблиці 2: Огляд характеристик, які впливають на критерії, і візуалізація рейтингів, чим більше піктограм, тим кращий рейтинг

між такими технологіями як турбіна та двигун.

Газові турбіни, простий цикл

Стислий опис технології

Основні компоненти газотурбінної електростанції простого циклу (або відкритого циклу): газова турбіна, редуктор (за необхідності), компресор, камера згоряння та генератор (див. Рисунок 7).

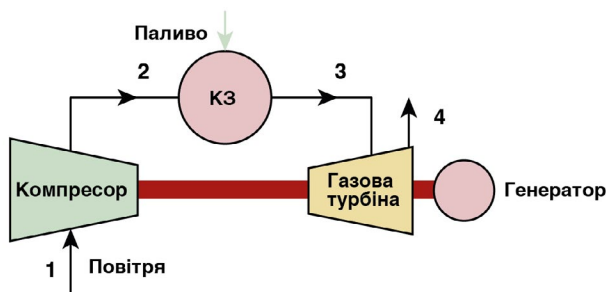


Рисунок 7: Технологічна схема газотурбінної установки [1]

Газові турбіни можуть бути обладнані проміжними охолоджувачами компресора, де стиснене повітря охолоджується, щоб зменшити потужність, необхідну для стиснення. Використання вбудованих рекуператорів (попередній підігрів повітря для горіння) для підвищення ефективності також може бути здійснено шляхом використання теплообмінників типу «повітря-повітря» — шляхом збільшення втрат тиску на виході з турбіни. Газотурбінні установки можуть мати пряме впорскування пари в камеру згоряння для збільшення потужності внаслідок розширення в секції турбіни (цикл Ченга). Зараз на ринку представлені (радіальні) газові турбіни невеликої потужності менше 100 кВт, так звані мікротурбіни. Вони часто обладнані попереднім підігрівом повітря для горіння на основі тепла вихлопу газової турбіни (вбудований рекуператор) для досягнення прийняттого електричного ККД (25-30%).

Оцінка за критеріями	1.а. Газові турбіни, простий цикл, природний газ
Вплив зимового періоду	WWW
Швидкість впровадження	QQ
Стійкість	RR
Вартість (LCOE, термін експлуатації 2 роки в зимовий період)	CCC
Загальна оцінка (1-3)	2.5

Таблиця 6: Газові турбіни, простий цикл – матриця оцінки критеріїв

Вплив зими (виробництво в зимовий період)

Газові турбіни зможуть забезпечити значний внесок в енергосистему України в зимовий період. Газові електростанції диспетчеризовані, і для них цілком можливо виробляти електроенергію з високим коефіцієнтом використання потужності, що наближається до 90-100% у зимовий період, за необхідності.

Швидкість впровадження

Час впровадження значною мірою залежить від розміру проекту та вибору технології. Час постачання самого технологічного рішення становить близько 1 року, але потенційно може бути меншим, якщо використовується вживане обладнання, тоді як встановлення зазвичай займає півроку для проектів потужністю від 10 до 40 МВт. З урахуванням часу на планування та отримання дозволів від регуляторних органів, загальний час впровадження проекту може становити близько 1,5 року.

Стійкість

Стійкість газових турбін можна пояснити двома ключовими факторами. По-перше, їхня невелика потужність дозволяє розосередити газові турбіни на великій території. Таке розосередження мінімізує вразливість до потенційних повітряних ударів артилерії, ракет або безпілотних

літальних апаратів. По-друге, відносно невеликі розміри газових турбін дозволяють встановлювати їх у бункерах, які можна ефективно замаскувати для підвищення їхньої безпеки. Потенційні перебої з газопостачанням, як в окремих регіонах України, так і на національному рівні, спричинені терористичними атаками, становлять ризик, яким не можна нехтувати. Нормована вартість електроенергії (LCOE), короткострокові та протягом усього терміну експлуатації

Завдяки низьким початковим витратам³ і великому потенціалу для виробництва електроенергії в зимовий період, газові турбіни демонструють найнижчу нормовану вартість виробництва електроенергії серед усіх технологій протягом двох зимових періодів. З іншого боку, нормована вартість протягом усього терміну експлуатації приблизно у два-три рази перевищує відповідні показники вітрової та сонячної енергетики.

Паспортні дані наведені у Додатку F.

Газовий двигун

Розділ охоплює:

- Газовий двигун, що працює на природному газі.
- Газовий двигун, що працює на неочищеному біогазі, який постачається виключно з біогазової установки нового будівництва.

Різниця в технології газового двигуна немає, ефективність трохи нижча у разі використання неочищеного біогазу. Технологія біогазової установки описана в розділі «Біогаз».

Стислий опис технології

Оцінка включає газовий двигун, що працює на природному газі та на неочищеному біогазі.

Газовий двигун для когенерації тепла та електроенергії приводить в дію електрогенератор для виробництва електроенергії. Електрична ефективність може досягати 45-48 %. Вода в системі охолодження двигуна (охолодження двигуна, оливи та турбокомпресора) і гарячі вихлопні гази можуть бути використані для виробництва тепла, наприклад, для централізованого тепlopостачання або пари низького тиску. Типова потужність газового двигуна коливається від 5 кВт до 10 МВт.

Для двигунів з іскровим запалюванням доступні два способи згоряння палива: розріджене згоряння та стехіометричне згоряння. Інша технологія запалювання використовується у двопаливних двигунах. Двопаливний двигун (дизель-газ) із системою впорскування запального рідкого палива — це газовий двигун, який замість свічок запалювання використовує невелику кількість рідкої оливи (1% - 6%) для запалювання газоповітряної суміші шляхом стиснення (як в дизельному двигуні). Двопаливні двигуни часто можуть працювати тільки на дизельному пальному, а також на газі із запальним рідким паливом. На Рисунку 8 наведена когенераційна установка з газовим двигуном, котлами-рекуператорами та абсорбційним тепловим насосом з паровим приводом для отримання високого рівня виробництва тепла та максимально можливого загального ККД.

³ Інвестиційні витрати низькі порівняно з іншими технологіями, включеними до цього каталогу.

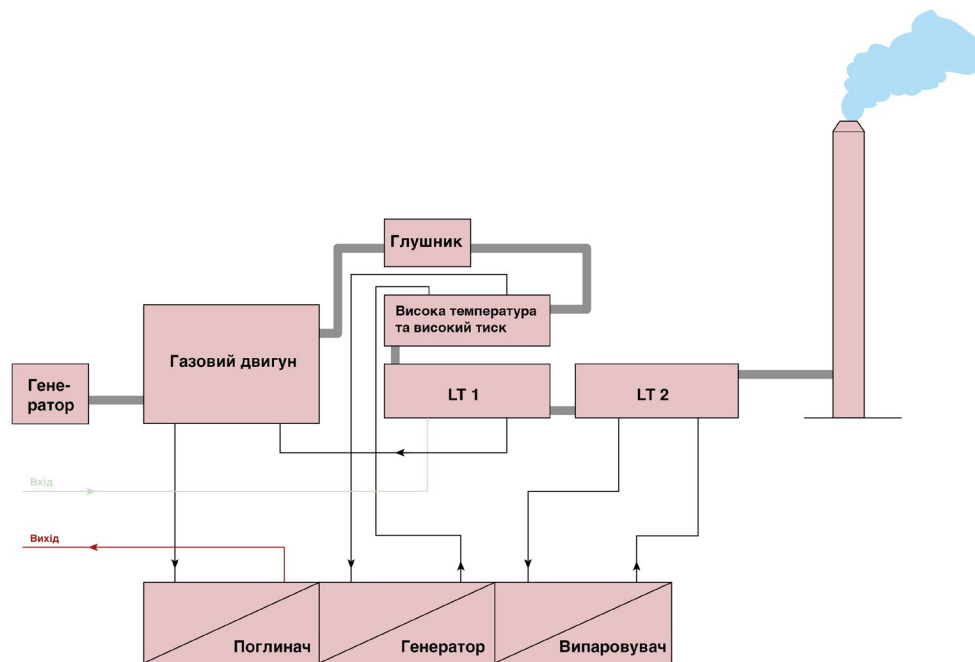


Рисунок 8: Когенераційна установка з газовим двигуном

Оцінка за критеріями

Оцінювання проводять для газових двигунів, що працюють на природному газі та біогазі. Для варіанту на біогазі передбачається, що буде встановлена нова біогазова установка, і що двигун буде заправлятися безпосередньо та виключно з біогазової установки. Однак вартість біогазової установки не включається в розрахунок LCoE, але враховується в усіх інших оцінках характеристик.

Оцінка за критеріями	1.б. Газові двигуни, природний газ	1.с. Газові двигуни, біогаз
Вплив зимового періоду	WWW	WWW
Швидкість впровадження	QQ	Q
Стійкість	RRR	RR
Вартість (LCOE, термін експлуатації 2 роки в зимовий період)	CCC	CCC
Загальна оцінка (1-3)	2.8	2.3

Таблиця 7: Газові двигуни – матриця оцінювання критеріїв

Вплив зими (виробництво в зимовий період)

Газові двигуни можуть зробити значний внесок в енергосистему України в зимовий

період. Газові двигуни керуються диспетчером та можуть ефективно працювати з високим коефіцієнтом використання потужності, що наближається до 90-100%, за необхідності. Швидкість впровадження

Терміни впровадження значною мірою залежать від розміру проєкту. Постачання технологічного рішення оцінюється приблизно в 1 рік, що потенційно може бути коротшим у разі використання обладнання, що було у використанні. Тривалість встановлення може бути різною: від кількох тижнів для невеликих проєктів потужністю 1 МВт до півроку для великих проєктів потужністю 10 МВт, які потребують індивідуального встановлення. З урахуванням планування та регуляторних дозволів, загальний час впровадження проєкту може бути скорочений до менш ніж 1 року.

Стійкість

Стійкість газових двигунів пов'язана з двома факторами. По-перше, їхня помірна потужність полегшує розосередження газових двигунів на більшій території, зменшуючи вразливість до потенційних повітряних ударів з артилерії, ракет або безпілотних літальних апаратів. По-друге, дуже компактні розміри газових двигунів дозволяють встановлювати їх у бункерах, що підвищує безпеку завдяки ефективному маскуванню. Ризик потенційних

перебоїв у постачанні газу, як в окремих регіонах України, так і в країні в цілому через терористичні атаки, — це серйозна проблема, яку не можна ігнорувати.

Витрати на виробництво (LCOE), короткострокові та протягом усього терміну експлуатації

Завдяки низьким початковим інвестиціям і значущому потенціалу виробництва електроенергії в зимовий період, газові двигуни демонструють найнижчу вартість виробництва електроенергії протягом двох зимових періодів серед усіх технологій. Однак нормована вартість протягом усього терміну експлуатації приблизно у два-три рази вища, ніж у вітрової та сонячної енергетики для комунальних підприємств.

Оцінка характеристик газової енергетики

Цей розділ охоплює як газові турбіни, так і газові двигуни, оскільки їхні характеристики, проблеми та можливості значною мірою однакові. Також розглядаються двигуни, що використовують біогаз як паливо.

Характеристики	1. а. Газові турбіни, простий цикл, природний газ	1. b. Газові двигуни, природний газ	1. c. Газові двигуни, біогаз
P1-Виробництво електроенергії в зимовий період	>75%	>75%	>75%
P2-Нормована вартість електроенергії (LCOE) протягом короткого терміну експлуатації, виробництво взимку [євро/МВт•год]	372	423	500
P3-Нормована вартість електроенергії (LCOE) протягом усього терміну експлуатації [євро/МВт•год]	170	135	222
P4-Розподілена генерація	5-40 МВт	1-10 МВт	1-10 МВт
P5-Регуляторні вимоги в процесі розробки проєкту	Середні	Швидко та легко	Довго
P6-Час постачання та наявність компонентів і матеріалів	Середній	Середній	Довго та складно
P7-Вимоги до логістики та транспортної інфраструктури	Низькі	Низькі	Низькі
P8-Час технічних робіт зі встановлення (після отримання дозволу)	Середньо-строкова перспектива	Швидко та легко	Довго та складно
P9-Вимоги до кваліфікованого персоналу на етапі будівництва	Низькі	Низькі	Середні

Характеристики	1.а. Газові турбіни, простий цикл, природний газ	1.б. Газові двигуни, природний газ	1.с. Газові двигуни, біогаз
P10-Здатність до балансування мережі	Висока	Висока	Висока
P11-Вимоги до інфраструктури електромережі	Легкі	Легкі	Середні
P12-Потреба у кваліфікованому персоналі для експлуатації та технічного обслуговування, а також у спеціальних запасних частинах	Низька	Низька	Висока
P13-Можливість маскування та укриття	Високий потенціал	Високий потенціал	Середній потенціал
P14-Ризик, пов'язаний з постачанням палива	Середній ризик	Середній ризик	Низький ризик

Таблиця 8: Газова енергетика – матриця оцінювання параметрів. Одиниця LCOE – [євро/МВт·год].

P1: Виробництво електроенергії в зимовий період (W)

У газових турбінах і газових двигунах використовується газ як паливо. Якщо паливо доступне, вони можуть працювати на повну потужність у будь-яку годину доби, за винятком планових і вимушених відключень. Залежно від конкретної газової турбіни або двигуна, існують різні вимоги до часу проведення технічного обслуговування установки, що означає, що існують певні тижні в році, протягом яких планується, що газова турбіна або двигун не працюватимуть. Як правило, проведення технічного обслуговування планується влітку, коли потреба в установці менша. Вимушені зупинки можуть відбуватися з різних причин, але, як правило, вони пов'язані з певною формою несправності, яка трапляється під час виробництва. Тому встановлено, що газова електростанція може працювати за умови повного навантаження понад 95% часу протягом зимового періоду, що відповідає 4150 годинам роботи на повному навантаженні. 4150 годин роботи на повному навантаженні відповідає дещо вищому середньорічному виробітку наземної вітроенергетичної турбіни, розташованої в українському регіоні з найкращим вітровим профілем, і більш ніж удвічі перевищує річний виробіток

сонячної електростанції, розташованої в українському регіоні з найкращим профілем сонячного випромінювання. Отже, газові турбіни та двигуни можна вважати чудовим джерелом енергії в зимовий період.

P2/3 LCOE очікуваного виробництва

Очікується, що потреба в електроенергії, яка виробляється газовим двигуном або турбіною, значно нижча у літній період. Оскільки споживання електроенергії нижче, частково через це попит на тепло значно нижчий. Отже, більша частка електроенергії може вироблятися за допомогою таких технологій, як сонячні електростанції, вітрові, гідро- та атомні електростанції. Крім того, газові двигуни та турбіни також конкурують з електростанціями на інших видах палива та теплоелектроцентралями. З таких причин, хоча газові технології можуть працювати на повну потужність 8100 годин на рік, передбачається, що газова турбіна і двигун працюватимуть на повну потужність протягом 5000 годин на рік, так звані години роботи на повному навантаженні (FLH). Якщо врахувати терор з боку Росії, то можна очікувати, що FLH будуть вищими.

Більша частина виробництва, ймовірно, припадає на зимовий період, тому

передбачається, що 75% годин роботи на повному навантаженні припадатиме на зимовий період, а це означає, що газовий двигун і турбіна, за припущенням, працюватимуть 3750 годин роботи на повному навантаженні в зимовий період, хоча можливо і 4150 годин.

P2: Нормована вартість електроенергії (LCOE) протягом короткого терміну експлуатації, виробництво у зимовий період (C)

У разі сценарію надзвичайної ситуації, коли технологія використовується лише протягом двох зимових періодів, LCOE газового двигуна та газової турбіни найнижча з усіх оцінюваних технологій. Для газової турбіни з простим циклом очікується, що LCOE становитиме 370 євро/МВт•год, порівняно з 420 євро/МВт•год для газового двигуна.

Газові двигуни та турбіни вирізняються тим, що більша частина їхніх витрат протягом терміну експлуатації пов'язана зі споживанням палива, тоді як інвестиційні витрати відносно низькі, так само як і витрати на експлуатацію та технічне обслуговування. Якщо оцінювати витрати лише протягом обмеженого періоду експлуатації (два роки), то кількість спожитого палива та, відповідно, витрати на паливо пропорційно нижчі порівняно з інвестиційними витратами, що стосується LCOE.

Газові двигуни, що працюють на неочищеному біогазі, потребують дещо більших інвестиційних витрат, ніж двигуни, що працюють на природному газі, щоб уможливити ефективне використання біогазу, який також містить велику частку CO₂, як палива. Крім того, паливо трохи дорожче. Це призводить до того, що LCOE біогазового двигуна значно вища, ніж у двигуна, що працює на природному газі.

P3: Нормована вартість електроенергії (LCOE) протягом усього терміну експлуатації (C)

Для газової турбіни з простим циклом очікується, що LCOE протягом усього терміну експлуатації становитиме приблизно 170 євро/МВт•год. Для газового двигуна очікується, що LCOE становитиме близько 135 євро/МВт•год. Це у два-три рази вище, ніж у сонячної та вітрової енергетики, але нижче, ніж у технологій з використанням біомаси та малих вітрових і сонячних електростанцій. Витрати на паливо складають більшу частину витрат, і тому очевидно, що собівартість генерації за допомогою газових технологій дуже чутлива до зміни ціни на газ. У прогнозованому показнику LCOE довгострокова ціна на газ встановлена на рівні 35 євро/МВт•год (HHV), припускаючи, що ціна на зріджений природний газ встановлюється на європейському ринку.

P4: Розподілена генерація (R)

Типові газові турбіни мають потужність генерації в діапазоні 1-40 МВт, а типові газові двигуни мають потужність генерації 1-10 МВт. Це означає, що газові двигуни та турбіни забезпечують масштабований вибір децентралізованого виробництва енергії. Оскільки для газової турбіни більш типова потужність понад 5 МВт, газові турбіни загалом можна вважати середньою розподіленою потужністю генерації. Оскільки газові двигуни мають потужність 1-5 МВт, їх можна легко розподіляти. З урахуванням поточної ситуації в Україні, існує кілька переконливих причин на користь розподілених установок. Ці установки, розташовані поблизу центрів попиту, пропонують перевагу зменшення залежності від мережі передачі, тим самим зменшуючи ризики, пов'язані з потенційною втратою виробничих потужностей. Крім того, локальне виробництво електроенергії на майданчику кінцевого споживача зменшує необхідність у великій передачі електроенергії, а отже, зміцнює енергетичну безпеку.

Крім того, розосередження газових турбін і газових двигунів на великій території

робить їх менш вразливими до потенційних повітряних ударів артилерії, ракет або безпілотних літальних апаратів, що додатково підвищує їхню стійкість.

P5: Регуляторні вимоги в процесі розробки проєкту (Q)

Для двигунів, що працюють на природному газі, турбін і двигунів, що працюють на біогазі, регуляторні вимоги в процесі розробки проєкту вважаються такими, що виконуються швидко і просто. Це пов'язано з тим, що ці три технології мають модульну конструкцію, яка добре відома та попередньо сертифікована для експлуатації. Крім того, вони не потребують багато місця, що полегшує процес планування, оскільки будівля, в якій будуть розміщені технологічні рішення, має менший вплив на навколишнє середовище. Це означає, що процес підготовки звіту про оцінку впливу на навколишнє середовище є відносно коротким.

Отже, для двигуна, що працює на природному газі, турбіни та двигуна, що працює на біогазі, час, витрачений на планування та отримання дозволів, за оцінками, становить близько 20 тижнів.

P6: Час постачання / доступність компонентів і матеріалів (Q)

Очікується, що час постачання газових двигунів і турбін становитиме приблизно 1 рік, якщо їх замовити сьогодні. Причина, чому постачання займає так багато часу, полягає в тому, що виробники не створюють запасів газових двигунів і турбін, а виготовляють їх під замовлення. Це, як правило, пов'язано з різними вимогами кінцевого споживача, а це означає, що навіть якщо газові двигуни та турбіни побудовані як модульний блок, вони можуть мати різну потужність, і виробники не хочуть створювати великі запаси різних блоків, оскільки інвестиційні витрати досить високі, і немає гарантії того, що ці блоки будуть придбані.

Це означає, що після замовлення газового двигуна або турбіни виробник починає замовляти компоненти, як-от блоки двигунів, головки циліндрів, поршні, колінчасті вали тощо. Деякі з цих компонентів виробник може виготовити самостійно. Але процес отримання всіх цих компонентів займає певний час, оскільки на сьогодні спостерігається дефіцит сировини та компонентів, а це означає, що доведеться почекати, перш ніж компоненти та необхідні матеріали будуть отримані. Це затримує початок процесу монтажу, на додачу до того, що сам процес монтажу також потребує певного часу. Крім того, з опитування стало зрозуміло, що існують певні обмеження щодо наявності трансформаторів, які, за деякими винятками, необхідні для з'єднання газового двигуна та турбіни з мережею. Очікується, що трансформатори будуть поставлені протягом 1 року, а це означає, що навіть якщо газовий двигун або турбіна будуть змонтовані достроково, їх не вдасться підключити до мережі через відсутність трансформатора. В інтерв'ю деякі виробники газових двигунів заявили, що газовий двигун потужністю 0,5-1 МВт можна підключити до мережі без трансформатора.

Порівняно з деякими іншими технологіями, 1 рік вважається середнім терміном постачання.

P7: Вимоги до логістики та транспортної інфраструктури (Q)

Ця установка та компоненти, необхідні для будівництва, як правило, потребують транспортування тягачем з напівпричепом, що вимагає наявності дороги. Це означає, що газовий двигун і турбіна мають низькі вимоги до логістики та транспортної інфраструктури, оскільки дороги та тягачі з напівпричепом легкодоступні.

P8: Час технічних робіт зі встановлення (мінімальний час після отримання дозволу) (Q)

Час встановлення залежить від розміру проєкту. Для газових турбін і газових двигунів великої потужності (2-5 МВт і вище), після постачання газового двигуна та турбіни на об'єкт, усі технічні роботи зі встановлення займуть близько 26 тижнів, навіть якщо турбіна або двигун поставляється у вигляді модуля. Це пов'язано з тим, що майданчик потрібно підготувати до будівництва, побудувати дороги до станції, інженерні комунікації та іншу необхідну інфраструктуру. Фундамент для двигунів або турбін необхідно побудувати, так само як і пов'язані з ними споруди. Після цього можна встановлювати двигуни або турбіни разом з допоміжним обладнанням. Після цього можна тестувати функціональність, безпеку та виробництво. Очікується, що всі ці процеси займуть певний час, але можуть бути скорочені за допомогою певної підготовки, але навіть у цьому випадку очікується, що в цілому це займе 26 тижнів, оскільки не можна очікувати, що все буде працювати безперебійно. Підприємці можуть затримуватися або можуть виникнути деякі проблеми з плануванням, що спричинить певні простои під час будівництва.

У порівнянні з іншими технологіями, очікується, що час встановлення буде в середньому діапазоні.

Газові двигуни малої потужності до 1 МВт (можливі також каскадні системи з більшою потужністю) можуть поставлятися в контейнерній системі, що дозволяє швидко змонтувати їх протягом декількох тижнів.

Р9: Вимоги до кваліфікованого персоналу на етапі будівництва (Q)

На етапі будівництва потрібні різноробочі, оператори важкої техніки, бетонярі, зварювальники, сантехніки, електрики, фахівці з опалення, вентиляції та кондиціонування повітря, а також спеціалісти з техніки безпеки. Таких працівників нескладно знайти на етапі будівництва, оскільки ці категорії працівників легко

доступні в Україні або можуть бути залучені з інших країн, залежно від політики компанії. Якщо компанії не можуть відправити своїх працівників в Україну на будівництво з міркувань безпеки, деякі компанії можуть і будуть навчати різноробочих з України. Під час опитування було встановлено, що навчання для монтажу невеликого газового двигуна або турбінної установки може зайняти близько місяця, що може відбуватися під час монтажу замовлених газових двигунів або турбін, тому потреба у кваліфікованому персоналі на етапі будівництва низька.

Р10: Здатність до балансування мережі (R)

За наявності природного газу або біогазу, газовий двигун, турбіна та біогазовий двигун можуть виробляти електроенергію в будь-яку годину доби, а запуск відбувається дуже швидко. Тому здатність до балансування мережі вважається високою для всіх цих технологічних рішень.

Р11: Вимоги до інфраструктури електромережі (Q)

Залежно від потужності генерації газових двигунів або турбін, вимоги до мережі при підключенні газових двигунів і турбін до електромережі будуть відрізнятися. Оскільки газові турбіни можуть мати потужність генерації понад 10 МВт, вимоги до підключення газових турбін до мережі вищі, ніж у газових двигунів. Саме тому вимоги до підключення газової турбіни до мережі вважаються помірними, оскільки вони можуть бути підключені практично до будь-якої мережі, за умови, що газові турбіни підключаються через трансформатор. Як зазначалося раніше, газові двигуни можуть не потребувати трансформатора, якщо потужність генерації не перевищує 1 МВт, і газові двигуни можуть бути підключені до електромережі майже будь-де, тому підключення газових двигунів до електромережі очікується простим.

Р12: Потреба у кваліфікованому персоналі для експлуатації та технічного обслуговування, а також у спеціальних запасних частинах (R)

Щоб підтримувати газовий двигун або турбінну установку в робочому стані, потрібні фахівці з експлуатації, технічного обслуговування, контрольно-вимірювальних приладів, електрики та механіки. Залежно від розміру установки ці фахівці можуть не потребувати повної зайнятості, але можуть бути викликані, коли виникає конкретна проблема, що стосується їхньої сфери діяльності. Залежно від розміру установки, технік з експлуатації може керувати кількома невеликими блоками з однієї диспетчерської. Оскільки кожний з цих спеціалістів може виконувати свої обов'язки на декількох установках, і їх можна швидко навчити, поки виконується замовлення газових турбін або двигунів, потреба у кваліфікованій робочій силі вважається низькою, порівняно з іншими технологіями.

Р13: Можливість маскування та укриття (R)
Газові турбіни та двигуни займають невелику площу, а це означає, що їх можна легко помістити в бункер, який можна замаскувати. Тому можливість маскування та укриття оцінюється як дуже висока.

Р14: Ризик, пов'язаний з постачанням палива (R)

Оскільки Росія вторглася в Україну та використовує постачання газу як важіль тиску на європейські країни, ризик, пов'язаний з постачанням газу як палива, оцінюється як середній, оскільки європейські країни можуть раптово не мати газу, який можна було б відправити в Україну через газопроводи. Але Україна також має значний видобуток газу, який можна використовувати для газових двигунів і турбін, але паливні лінії можуть зазнати російського терору, що може знизити доступність газу на короткі проміжки часу, доки газопроводи не будуть знову відремонтовані. Якщо доступність газу знизиться, деякі газові двигуни або турбінні установки, можливо, доведеться вимкнути на менший період часу.

Якщо газові двигуни використовують біогаз, ризик, пов'язаний з постачанням палива, очікується низьким, оскільки біогаз надходить з власних біогазових установок України, до яких двигуни, як правило, підключають напряму. Очікується, що біогазові установки використовуватимуть сільськогосподарські відходи, яких в Україні достатньо.



Сонячні електростанції

Потужність у зимовий період		Загальна оцінка:
Швидкість впровадження		
Технологічна стійкість		
Нормована вартість електроенергії		

СОНЯЧНІ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

Рейтинг на першій сторінці показує оцінку технології, яка отримала найвищий загальний бал серед підтехнологій, зазначених у розділі. Чим більше піктограм,

тим кращі показники⁴. Для сонячних електростанцій найкращий бал отримують дахові сонячні електростанції. Оцінки для всіх підтехнологій наведені в Таблиці 9.

Оцінка за критеріями	2.a. Дахова сонячна електростанція для житлового будинку	2.b.5.b Сонячні електростанції для комерційних та громадських будівель з акумуляторними батареями	2.b. Сонячні електростанції для комерційних та громадських будівель без акумуляторних батарей	2.c. Наземні промислові сонячні електростанції без акумуляторних батарей	2.d. Плавучі промислові сонячні електростанції
Вплив зимового періоду	W	W	W	W	W
Швидкість впровадження	QQQ	QQQ	QQQ	QQ	QQ
Стійкість	RRR	RRR	RRR	RR	RR
Вартість (LCOE, термін експлуатації 2 роки в зимовий період)	C	C	C	C	C
Загальна оцінка (1-3)	2.0	2.0	2.0	1.5	1.5

Таблиця 9: Сонячні електростанції — загальна матриця оцінювання критеріїв

У цьому розділі розглядаються чотири різні типи сонячних електростанцій (PV):

- Дахова сонячна електростанція для житлового будинку
- Дахова сонячна електростанція для комерційних і громадських будівель

- Наземні промислові сонячні електростанції
- Плавуча промислова сонячна електростанція

Спочатку наводиться загальний стислий опис технології, в якому пояснюються основні

⁴ Детальне пояснення див. у Таблиці 2: Огляд характеристик, які впливають на критерії, і візуалізація рейтингів, чим більше піктограм, тим кращий рейтинг

технічні деталі, які загальні для сонячних електростанцій. Далі кожна технологія розглядається в окремих підрозділах, що містять стислий опис технології, оцінку критеріїв і таблицю даних у додатку F. Оцінювання характеристик для кожної технології, навпаки, проводиться спільно, з урахуванням їхньої схожості. За можливості, наводиться різниця між технологіями.

Стислий опис технології

Сонячна енергетика перетворює енергію сонячного світла в електрику за допомогою фотоелектричних установок, що складаються з сонячних елементів. Сонячний елемент — це напівпровідниковий компонент, який генерує електроенергію під впливом сонячного випромінювання. З практичних міркувань кілька сонячних елементів зазвичай з'єднують між собою та ламінують (або наносять на неї) скляну панель, щоб отримати захищений від механічних пошкоджень та атмосферних впливів сонячний модуль.

На додаток до сонячних модулів, сонячна електростанція, яку підключають до мережі або приєднують до систем змінного струму, також включає баланс системи (BOS), що складається з монтажною системою, інвертора(ів) постійного струму в змінний, кабелів, розподільних коробок, оптимізаторів, обладнання для моніторингу/спостереження, а для сонячних електростанцій більшої потужності — також трансформатора(ів).

Сонячні (PV) модулі зазвичай мають розмір 1-2,5 м², а найкращі модулі мають потужність в межах 220 Вт/м² (і ККД близько 22%). Їх продають з гарантією на продукцію, яка зазвичай становить від десяти до дванадцяти років, гарантією на потужність — мінімум 25 років, а очікуваний термін експлуатації — понад 30 років, залежно від типу фотоелементів і методу інкапсуляції. Наразі нові проєкти

великих сонячних електростанцій в межах досяжності російських військових дій відсутні, оскільки гарантії від пошкоджень через військові дії не надаються.

Сонячні електростанції можуть бути встановлені на рівні розподілу (на дахах односімейних будинків, на дахах комерційних або громадських будівель або поруч з ними), на рівні передачі (промислові сонячні електростанції для комунальних підприємств або плавучі сонячні електростанції) або для використання поза мережею.

Специфіка виробництва електроенергії сонячними електростанціями робить це технологічне рішення привабливим для поєднання з короткочасним зберіганням електроенергії, наприклад, літій-іонними акумуляторними батареями. Хоча плавучі сонячні електростанції, розміщені на греблях гідроелектростанцій, було б очевидно комбінувати з гідроакумулюючими електростанціями. У будь-якому випадку, усі типи сонячних електростанцій можна комбінувати з акумуляторними батареями, але в цьому звіті наведено лише приклад комбінування сонячних електростанцій на комерційних або громадських будівлях з літій-іонними акумуляторними батареями.

Для розрахунку узагальненої потужності сонячних електростанцій у різних регіонах України було використано растрову карту, що охоплює всю територію України. Растрова карта взята з Глобального сонячного атласу⁵. Карта, наведена на Рисунку 9, показує очікуване річне виробництво електроенергії сонячною електростанцією в години роботи при повному навантаженні (години роботи при повному навантаженні: МВт•год на МВт встановленої потужності) у різних регіонах України. Більш детальну інформацію про методологію розрахунку можна знайти в Додатку D.

⁵ <https://globalsolaratlas.info/map>

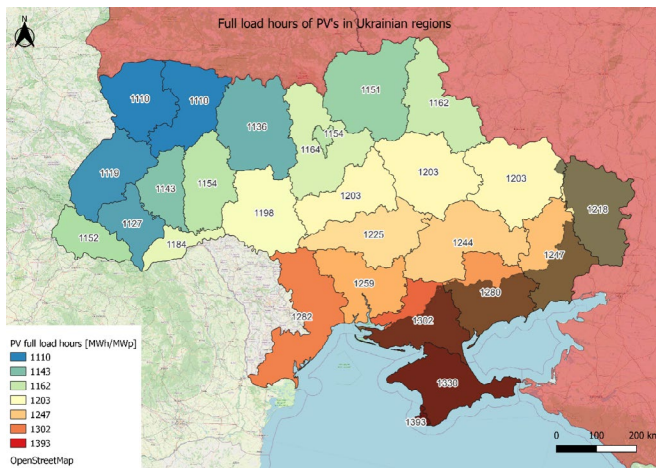


Рисунок 9: Очікуване виробництво електроенергії сонячними електростанціями (МВт·год на МВт встановленої потужності) у різних регіонах України. Щорічне виробництво 1200 МВт·год/МВт відповідає коефіцієнту використання встановленої потужності (КВВП) 14%. Карту побудовано з урахуванням узагальненого виробництва електроенергії на сонячних електростанціях у різних регіонах України на основі даних Глобального сонячного атласу, що охоплює період з 1994 по 2018 рік

Загальна оцінка 4-х критеріїв для сонячної електростанції

Сонячна електростанція пропонує значний потенціал для виробництва електроенергії, а також — це масштабований варіант для розподіленого виробництва енергії, що позитивно впливає на стійкість технології. У порівнянні з іншими відновлюваними технологіями, як-от вітроенергетика та гідроенергетика, вона демонструє відносно швидкий процес розвитку, особливо у випадку сонячних електростанцій малої потужності. Однак, якщо розглядати нормовану вартість електроенергії для короткого терміну служби та виробництва в зимовий період, сонячні електростанції демонструють один з найвищих показників серед усіх розглянутих технологій. Попри

те, що вона забезпечує один з найнижчих показників LCOE, якщо розраховувати його за весь період виробництва енергії.

Дахова сонячна електростанція для житлового будинку

Стислий опис технології

Дахова сонячна електростанція для житлового будинку — це сонячна електростанція, встановлена на даху будинку, який розрахований на одну сім'ю. Ця система призначена для уловлювання сонячного світла та перетворення його в електроенергію для використання на місці або для подачі назад в мережу. Зазвичай вона складається з сонячних панелей, інверторів, підключення до мережі та монтажних конструкцій, що дозволяє домовласникам використовувати екологічно чисту та сталу енергію сонця для забезпечення своїх домогосподарств електроенергією. Передбачається, що загальна потужність фотоелектричних модулів у житловій системі становить до 10 кВт.

Оцінка за критеріями	2.а. Дахова сонячна електростанція для житлового будинку
Вплив зимового періоду	W
Швидкість впровадження	QQQ
Стійкість	RRR
Вартість (LCOE, термін експлуатації 2 роки в зимовий період)	C
Загальна оцінка (1-3)	2.0

Таблиця 10: Дахова сонячна електростанція для житлового будинку — матриця оцінювання критеріїв

Вплив зими (виробництво в зимовий період)

Сонячна електростанція зазвичай виробляє більше електроенергії в літній період, ніж у зимовий⁶. Лише 30% від загального обсягу виробництва припадає на зимовий

⁶ Жовтень-березень

період. Середній коефіцієнт використання встановленої потужності (КВВП) у зимовий період становить близько 8%, тоді як річний КВВП становить 14%. Потенціал генерації сонячної електростанції відрізняється по всій країні, що для зимового періоду виробництва наведено на карті на Рисунку 10. Це характерно для сонячних електростанцій і загалом не відрізняється для різних підтипів технологій в межах категорії сонячних електростанцій.

Швидкість впровадження (Q)

Загалом, сонячна електростанція для житлових будинків може бути введена в експлуатацію менш ніж за 5 тижнів після прийняття відповідного рішення. Після цього сонячна електростанція може бути змонтована протягом тижня. Хоча підготовчі процеси, включно з перевіркою та розрахунками, щоб визначити, чи підходить конструкція даху для встановлення модулів, також можуть бути проведені за один-два дні. Крім того, буде встановлений термін постачання, який також можна припустити відносно коротким — менш як 2 тижні. Можна не враховувати час, витрачений на отримання дозволів, тобто споживачі можуть встановлювати модулі виробництва електроенергії для власного споживання без отримання дозволу. Однак можна укласти угоди для отримання статусу активного споживача, що досягається шляхом підписання договорів купівлі-продажу електроенергії за механізмом самогенерації, договорів з гарантованими покупцями або постачальниками універсальних послуг на продаж електроенергії за «зеленим тарифом», що потребуватиме додаткового часу, але це не є необхідним для введення в експлуатацію сонячних електростанцій для житлових будинків.

Стійкість (R)

Сонячні електростанції для житлових будинків демонструють значну стійкість у разі потенційних загроз, як-от російські

удари, завдяки їхньому розосередженому розташуванню. Сонячна електростанція має значний потенціал для децентралізованого виробництва електроенергії. У нинішніх умовах в Україні розподілені сонячні електростанції, розташовані поблизу місць споживання, мають такі переваги, як зменшення залежності від мережі, що зменшує ризики, пов'язані з потенційною втратою виробничих потужностей. Експлуатація та технічне обслуговування сонячних електростанцій не вимагає виключно кваліфікованої робочої сили, що полегшує збір українських бригад для обслуговування сонячних установок.

Витрати на виробництво (LCOE), короткострокові та протягом усього терміну експлуатації (C)

Сонячні електростанції для житлових будинків демонструють найменш конкурентну нормовану вартість електроенергії (LCOE) під час короткострокового аналізу (2 роки) і лише для виробництва електроенергії в зимовий період. Це пов'язано з високими капітальними витратами та низьким рівнем виробництва в зимовий період. З іншого боку, нормована вартість електроенергії для сонячних електростанцій є однією з найнижчих серед проаналізованих технологій протягом усього терміну експлуатації.

Паспортні дані наведені у Додатку F.

Дахова сонячна електростанція для комерційних і громадських будівель

Стислий опис технології

Сонячні електростанції для комерційних або громадських будівель, встановлені на даху або на землі — це сонячні фотоелектричні системи, що встановлюються на даху комерційних або громадських будівель, або на землі біля них. Ця система призначена для уловлювання сонячного світла та

перетворення його в електроенергію для використання на місці або для подачі назад в мережу. Зазвичай вона складається із сонячних панелей, інверторів, з'єднань з мережею, монтажних конструкцій, обладнання для моніторингу, яке відстежує роботу сонячної електростанції.

Розмір і потужність: сонячні електростанції на дахах комерційних підприємств і громадських будівель варіюються від невеликих установок до великих проєктів, залежно від попиту на енергію та доступного

простору. Передбачається, що загальна потужність фотоелектричних модулів у житловій системі становить до 100 кВт.

Варіант, який розглядається в цьому аналізі, — це поєднання сонячної електростанції та накопичувача енергії (літій-іонної акумуляторної батареї) для накопичення надлишків електроенергії для використання в періоди низької сонячної активності або як резервне джерело живлення.

Оцінка за критеріями	2.b. 5.b. Сонячні електростанції для комерційних та громадських будівель з акумуляторними батареями	2.b. Сонячні електростанції для комерційних та громадських будівель без акумуляторних батарей
Вплив зимового періоду	W	W
Швидкість впровадження	QQQ	QQQ
Стійкість	RRR	RRR
Вартість (LCOE, термін експлуатації 2 роки в зимовий період)	C	C
Загальна оцінка (1-3)	2.0	2.0

Таблиця 11: Сонячні електростанції на дахах комерційних, промислових та громадських будівель — матриця оцінювання критеріїв

Вплив зими (виробництво в зимовий період)

Сонячна електростанція зазвичай генерує більше енергії влітку порівняно із зимовим періодом⁷, і лише близько 30% від загального обсягу виробництва припадає на зимовий період. Однак коефіцієнт використання встановленої потужності (КВВП) варіюється між регіонами. Середній коефіцієнт використання встановленої потужності (КВВП) у зимовий період становить близько 8%, тоді як середній річний КВВП становить 14%. Це характерно для сонячних електростанцій і загалом не відрізняється для різних підтипів технологій в межах категорії сонячних електростанцій.

Швидкість впровадження (Q)

Розробка проєкту сонячної електростанції для підприємств включає кілька ключових етапів, зокрема проведення попереднього техніко-економічного обґрунтування, обстеження даху та земельної ділянки, а також виконання техніко-економічного обґрунтування. Проведення техніко-економічного обґрунтування (ТЕО) і проєктно-кошторисної документації (ПКД) варіюється залежно від необхідності проведення детального аналізу. Як правило, спочатку розробляють проєктно-кошторисну документацію. Потім оголошують тендери на будівництво, після чого проєкт вводять в експлуатацію

⁷ Жовтень-березень

та передають місцевим муніципальним компаніям для постійного технічного обслуговування.

Терміни будівництва сонячних електростанцій залежать від таких факторів, як виробник, модель та обсяг замовлення, і можуть варіюватися від кількох тижнів до кількох місяців. У комерційних проєктах сонячних електростанцій дослідження можливості реалізації проєкту займає близько 5-7 днів, перевірки — близько 10 днів, ТЕО — близько одного місяця, а підготовка проєктно-кошторисної документації — близько 1,5 місяця (до 4 місяців за менш сприятливих обставин). Під час проведення тендерів підрядники повинні мати на складі необхідне обладнання та забезпечити його постачання протягом 7 днів під час проведення тендеру.

Тривалість монтажу становить приблизно 3–4 тижні.

Отже, загальний час реалізації становить приблизно трохи більш як 20 тижнів.

Стійкість (R)

Сонячні електростанції для комерційних та громадських будівель демонструють помірну стійкість у разі потенційних загроз, як-от російські удари, завдяки їхньому розосередженому розташуванню. Сонячна електростанція має значний потенціал для децентралізованого виробництва електроенергії. У нинішніх умовах в Україні розподілені сонячні електростанції, розташовані поблизу місць споживання, мають такі переваги, як зменшення залежності від мережі, що зменшує ризики, пов'язані з потенційною втратою виробничих потужностей. Експлуатація та технічне обслуговування сонячних

електростанцій не вимагає виключно кваліфікованої робочої сили, що полегшує формування українських бригад для обслуговування сонячних установок.

Поєднання з акумуляторними батареями підвищує стійкість. Крім того, акумуляторні батареї можуть бути встановлені під землею або укриті та замасковані, попри значну потребу в охолодженні.

Нормована вартість електроенергії (LCOE), короткострокові та протягом усього терміну експлуатації (C)

Сонячні електростанції для комерційних та громадських будівель демонструють одні з найменш конкурентних показників нормованої вартості електроенергії (LCOE), якщо аналізувати короткострокову перспективу (2 роки) і лише для виробництва електроенергії в зимовий період. Це пов'язано з високими капітальними витратами та низьким рівнем виробництва в зимовий період. З іншого боку, нормована вартість електроенергії для сонячних електростанцій є однією з найнижчих серед проаналізованих технологій протягом усього терміну експлуатації.

Паспортні дані наведені у Додатку F.

Наземні промислові сонячні електростанції

Стислий опис технології

Наземні промислові сонячні електростанції — це сонячні фотоелектричні системи великої потужності, які розроблені та встановлені для постачання електроенергії підприємствам або в електромережу. Такі електростанції характеризуються значними масивами сонячних панелей, які, як правило, займають біля гектару землі.

Оцінка за критеріями	2.с. Наземні промислові сонячні електростанції без акумуляторних батарей
Вплив зимового періоду	W
Швидкість впровадження	QQ
Стійкість	RR
Вартість (LCOE, термін експлуатації 2 роки в зимовий період)	C
Загальна оцінка (1-3)	1,5

Таблиця 12: Сонячні електростанції для комунальних підприємств — матриця оцінювання критеріїв

Вплив зими (виробництво в зимовий період)

Сонячна електростанція зазвичай генерує більше енергії влітку порівняно із зимовим періодом⁸, і лише близько 30% від загального обсягу виробництва припадає на зимовий період. Однак коефіцієнт використання встановленої потужності (КВВП) варіюється між регіонами. Середній коефіцієнт використання встановленої потужності (КВВП) у зимовий період становить близько 8%, тоді як середній річний КВВП становить 14%. Це характерно для сонячних електростанцій і загалом не відрізняється для різних підтипів технологій в межах категорії сонячних електростанцій.

Швидкість впровадження (Q)

Швидкість впровадження наземних промислових сонячних електростанцій визначена як середня. Розробка таких сонячних електростанцій включає кілька ключових етапів, включно з визначенням потенційних майданчиків, забезпеченням прав на землю, перевіркою потужності електромережі, проектуванням, отриманням дозволів, переговорами щодо укладення договорів купівлі-продажу електричної енергії, забезпеченням

фінансування, закупівлею обладнання і, зрештою, будівництвом та випробуванням. Передбачається, що етапи, які передують замовленню та будівництву, займуть трохи довше 1 року.

Завдяки наявності досвідчених будівельних компаній, сонячна електростанція може бути побудована протягом приблизно 6 місяців. Серед проблем — затримки з підключенням до мережі, нестача кваліфікованих інженерів і проблеми з транспортуванням. Термін постачання фотоелектричних модулів, як правило, короткий, оскільки вони наявні у великій кількості на складах в Європі. Час постачання інверторів і решти обладнання варіюється, але в цілому короткий. Інфраструктура України може створювати проблеми, але завдяки модульній структурі жодні частини великих сонячних електростанцій не потребують перевезення спеціальним транспортом. Попри війну, що триває, будівництво сонячних електростанцій в Україні триває, що підкреслює потребу у кваліфікованій робочій силі. Підключення до електромережі вимагає добре розвинутої інфраструктури, яка стикається з проблемами, пов'язаними з атаками на мережу під час війни з Росією. Однак, можна зробити висновок, що загальний період від ідеї до експлуатації становить трохи менше ніж 2 роки.

Стійкість (R)

Стійкість наземної промислової сонячної електростанції оцінюють як середню. У нинішніх умовах в Україні розподілені сонячні електростанції, розташовані поблизу центрів споживання, мають такі переваги, як зменшення залежності від мережі, що зменшує ризики, пов'язані з потенційною втратою виробничих потужностей. Локалізоване виробництво електроенергії підвищує енергетичну безпеку, мінімізуючи потребу в передачі електроенергії на великі відстані.

⁸ Жовтень-березень

Експлуатація та технічне обслуговування сонячних електростанцій не вимагає виключно кваліфікованої робочої сили, що полегшує формування українських бригад для обслуговування сонячних установок. Стійкість можна підвищити, включивши принаймні дворічні обов'язкові договори на обслуговування до технічної частини конкурсної документації.

Під час війни для захисту трансформаторної підстанції можна використовувати захисні споруди, укриття, камуфляж або підземні бункери, але можливість захисту модулів обмежена, і можна припустити, що ризик для наземних промислових сонячних електростанцій, які розглядаються як мішені, вищий.

Нормована вартість електроенергії (LCOE), короткострокові та протягом усього терміну експлуатації (C)

Наземні промислові сонячні електростанції демонструють найменш конкурентну нормовану вартість електроенергії (LCOE) під час короткострокового аналізу (2 роки) і лише для виробництва електроенергії в зимовий період. Це пов'язано з високими капітальними витратами та низьким рівнем виробництва в зимовий період. З іншого боку, нормована вартість електроенергії для сонячних електростанцій є однією з найнижчих серед проаналізованих технологій протягом усього терміну експлуатації.

Паспортні дані наведені у Додатку F.

Плавуча промислова сонячна електростанція

Стислий опис технології

Плавучі промислові сонячні електростанції — це великі фотоелектричні сонячні установки, які розміщують на водних об'єктах, як-от греблі та водосховища, за допомогою плавучих

платформ. У випадку, якщо їх розміщують на поверхні греблі гідроелектростанції, трансформатори та мережу можна використовувати спільно, що є економічною перевагою. Ключова відмінність від наземних сонячних електростанцій полягає в тому, що для підтримки сонячних панелей на поверхні води використовуються спеціально спроектовані плавучі конструкції або платформи. Чи може сонячна електростанція отримати вигоду від зменшення випромінювання через відбиття від поверхні води, поки що не було задокументовано.

Оскільки плавучі промислові сонячні електростанції зазвичай підключають до електромережі, згенеровану електроенергію можна розподіляти та використовувати за потребою. Інверторні системи використовуються для перетворення електроенергії постійного струму (DC), що генерується сонячними панелями, у змінний струм (AC), сумісний з мережею.

Оцінка за критеріями	2.d. Плавуча промислова сонячна електростанція
Вплив зимового періоду	W
Швидкість впровадження	QQ
Стійкість	RR
Вартість (LCOE, термін експлуатації 2 роки в зимовий період)	C
Загальна оцінка (1-3)	1,5

Таблиця 13: Плавуча промислова сонячна електростанція — матриця оцінювання критеріїв

Вплив зими (виробництво в зимовий період)

Сонячна електростанція зазвичай генерує більше енергії влітку порівняно із зимовим періодом⁹, і лише близько 30% від загального обсягу виробництва припадає на зимовий період. Однак коефіцієнт

⁹ Жовтень-березень

використання встановленої потужності (КВВП) варіюється між регіонами. Середній коефіцієнт використання встановленої потужності (КВВП) у зимовий період становить близько 8%, тоді як середній річний КВВП становить 14%. Це характерно для сонячних електростанцій і загалом не відрізняється для різних підтипів технологій в межах категорії сонячних електростанцій.

Швидкість впровадження (Q)

Швидкість реалізації плавучої промислової сонячної електростанції визначена як середня. Розробка такої сонячної електростанції включає кілька ключових етапів, включно з визначенням потенційних майданчиків, забезпеченням прав на землю, перевіркою потужності електромережі, проєктуванням, отриманням дозволів, переговорами щодо укладення договорів купівлі-продажу електричної енергії, забезпеченням фінансування, закупівлею обладнання і, зрештою, будівництвом та випробуванням. Передбачається, що етапи, які передують замовленню та будівництву, займуть трохи довше 1 року.

Ураховуючи, що плавучі сонячні електростанції відносно нове технологічне рішення, може бути складно знайти та найняти досвідчені будівельні компанії. Тому передбачається, що будівництво плавучої сонячної електростанції може зайняти трохи більше часу, ніж наземної, але все одно може бути завершено протягом приблизно 8 місяців. Серед проблем — затримки з підключенням до мережі, нестача кваліфікованих інженерів і проблеми з транспортуванням. Час постачання інверторів і решти обладнання варіюється, але в цілому короткий. Інфраструктура України може створювати проблеми, але завдяки модульній структурі жодні частини великих сонячних електростанцій не потребують перевезення спеціальним транспортом. Підключення до електромережі вимагає добре розвиненої електромережі, але може

відбутися швидше у разі розміщення на греблі гідроелектростанції, де вже встановлені установки достатньої потужності. Однак, можна зробити висновок, що загальний період від ідеї до експлуатації становить трохи більше ніж 2 роки.

Стійкість (R)

Стійкість плавучої сонячної електростанції оцінюють як середню. У нинішніх умовах в Україні розподілені сонячні електростанції, розташовані поблизу центрів споживання, мають такі переваги, як зменшення залежності від мережі, що зменшує ризики, пов'язані з потенційною втратою виробничих потужностей. Локалізоване виробництво електроенергії підвищує енергетичну безпеку, мінімізуючи потребу в передачі електроенергії на великі відстані.

Експлуатація та технічне обслуговування сонячних електростанцій не вимагає виключно кваліфікованої робочої сили, що полегшує збір українських бригад для обслуговування сонячних установок. Стійкість можна підвищити, включивши принаймні дворічні обов'язкові договори на обслуговування до технічної частини конкурсної документації.

Під час війни для захисту трансформаторної підстанції можна використовувати захисні споруди, укриття, камуфляж або підземні бункери, але можливість захисту модулів обмежена, і можна припустити, що ризик для плавучої сонячної електростанції, яка розглядається як мішень, вищий, ніж для сонячних електростанцій малої потужності.

Нормована вартість електроенергії (LCOE), короткострокові та протягом усього терміну експлуатації (C)

Плавучі промислові сонячні електростанції демонструють найменш конкурентну нормовану вартість електроенергії (LCOE) під час короткострокового аналізу (2 роки) і лише для виробництва електроенергії в зимовий період. Це пов'язано з високими

капітальними витратами та низьким рівнем виробництва в зимовий період. З іншого боку, нормована вартість електроенергії для плавучих сонячних електростанцій знаходиться посередині серед проаналізованих технологій протягом усього терміну експлуатації.

Оцінка характеристик різних сонячних електростанцій

Через їхню схожість оцінка характеристик охоплює всі підтипи технологій сегмента сонячних електростанцій. За можливості наводиться різниця між ними.

Паспортні дані наведені у Додатку F.

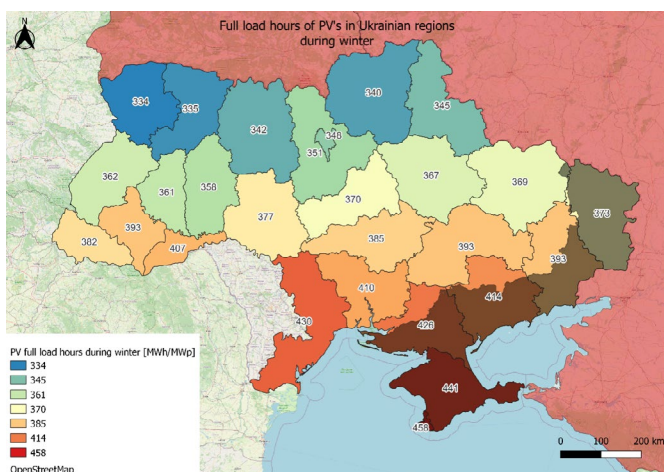
Характеристики	2.a. Дахова сонячна електростанція для житлового будинку	2.b.5.b Сонячні електростанції для комерційних та громадських будівель з акумуляторними батареями	2.b. Сонячні електростанції для комерційних та громадських будівель без акумуляторних батарей	2.c. Наземні промислові сонячні електростанції без акумуляторних батарей 2.d. Плавучі промислові сонячні електростанції	2.d. Плавучі промислові сонячні електростанції
P1-Виробництво електроенергії в зимовий період	<30%	<30%	<30%	<30%	<30%
P2-Нормована вартість електроенергії (LCOE) протягом короткого терміну експлуатації, виробництво взимку [євро/МВт•год]	3200	4350	3050	2550	3150
P3-Нормована вартість електроенергії (LCOE) протягом усього терміну експлуатації [євро/МВт•год]	71	95	68	60	63
P4-Розподілена генерація	0,006 МВт	0,1 МВт	0,1 МВт	15 МВт	10 МВт
P5-Регуляторні вимоги в процесі розробки проекту	Швидко та легко	Швидко та легко	Швидко та легко	Середні	Середні
P6-Час постачання та наявність компонентів і матеріалів	Швидко та легко	Швидко та легко	Швидко та легко	Середній	Середній
P7-Вимоги до логістики та транспортної інфраструктури	Низькі	Низькі	Низькі	Середні	Середні
P8-Час технічних робіт зі встановлення (після отримання дозволу)	Швидко та легко	Швидко та легко	Швидко та легко	Швидко та легко	Середньо-строкова перспектива
P9-Вимоги до кваліфікованого персоналу на етапі будівництва	Низькі	Низькі	Низькі	Низькі	Низька
P10-Здатність до балансування мережі	Низька	Середня	Низька	Низька	Низька
P11-Вимоги до інфраструктури електромережі	Легко	Легко	Легко	З питаннями	З питаннями
P12-Потреба у кваліфікованому персоналі для експлуатації та технічного обслуговування, а також у спеціальних запасних частинах	Низька	Низька	Низька	Низька	Низька
P13-Можливість маскування та укриття	Високий потенціал	Високий потенціал	Високий потенціал	Середній потенціал	Середній потенціал

Характеристики	2.a. Дахова сонячна електростанція для житлового будинку	2.b.5.b Сонячні електростанції для комерційних та громадських будівель з акумуляторними батареями	2.b. Сонячні електростанції для комерційних та громадських будівель без акумуляторних батарей	2.c. Наземні промислові сонячні електростанції без акумуляторних батарей 2.d. Плаваючі промислові сонячні електростанції	2.d. Плаваючі промислові сонячні електростанції
P14-Ризик, пов'язаний з постачанням палива	Низький ризик	Низький ризик	Низький ризик	Низький ризик	Низький ризик

Таблиця 14: Сонячні електростанції – матриця оцінювання параметрів. Одиниця LCOE – [євро/МВт·год].

P1: Виробництво електроенергії в зимовий період:

Сонячна електростанція зазвичай виробляє більше електроенергії в літній період, ніж у зимовий¹⁰. Лише 30% від загального обсягу виробництва припадає на зимовий період. Середній коефіцієнт використання встановленої потужності (КВВП) у зимовий період становить близько 8%, тоді як річний КВВП становить 14%. Очевидно, що виробництво залежить від конкретного місця розташування. Рисунок 10 демонструє очікуване річне виробництво електроенергії в зимовий період в години роботи при повному навантаженні (години роботи при повному навантаженні: МВт·год на МВт встановленої потужності) у різних регіонах України.



потужності) у різних регіонах України. Виробництво 350 МВт·год/МВт у зимовий період відповідає приблизно 30% річного виробництва та коефіцієнту використання встановленої потужності (КВВП) 8%. Карті побудовані з урахуванням узагальненого виробництва електроенергії на сонячних електростанціях у різних регіонах України на основі даних Глобального сонячного атласу, що охоплює період з 1994 по 2018 рік

Рисунок 10: Очікуване виробництво електроенергії сонячними електростанціями в зимовий період (МВт·год на МВт встановленої

P2: Нормована вартість електроенергії (LCOE) протягом короткого терміну експлуатації, виробництво у зимовий період (C)

¹⁰ Жовтень-березень

Нормована вартість виробництва електроенергії протягом двох зимових періодів (перспектива надзвичайної ситуації) становить приблизно:

- 3250 євро/МВт·год для дахової сонячної електростанції для житлового будинку
- 3050 євро/МВт·год для сонячних електростанцій для комерційних та громадських будівель без акумуляторних батарей
- 4350 євро/МВт·год сонячних електростанцій для комерційних та громадських будівель з акумуляторними батареями
- 2550 євро/МВт·год для наземних промислових сонячних електростанцій без акумуляторних батарей
- 3150 євро/МВт·год для плавучих промислових сонячних електростанцій

Це значно вище, ніж для всіх інших технологій, включених до цього аналізу. Це пов'язано з високими початковими капітальними витратами та низьким рівнем виробництва електроенергії в зимовий період.

P3: Нормована вартість електроенергії (LCOE) протягом усього терміну експлуатації (C)

З іншого боку, сонячні електростанції демонструють низьку нормовану вартість електроенергії (LCOE), якщо враховувати цілорічне виробництво та очікуваний термін експлуатації проєкту, який становить щонайменше 30 років, за винятком будь-яких непередбачуваних подій:

- 70 євро/МВт·год для дахової сонячної електростанції для житлового будинку
- 95 євро/МВт·год для комерційних та промислових сонячних електростанцій, з акумуляторною батареєю
- 70 євро/МВт·год для комерційних та промислових сонячних електростанцій
- 60 євро/МВт·год для наземних промислових сонячних електростанцій
- 65 євро/МВт·год для плавучих сонячних електростанцій

Це показує, що LCOE протягом усього терміну експлуатації сонячних електростанцій загалом нижча, ніж для всіх інших технологій, включених до цього аналізу, за винятком вітрової та гідроенергетики. У поєднанні з акумуляторними батареями нормована вартість електроенергії збільшується приблизно на 35%. Вартість збільшення власного споживання продукції з фотоелектричних модулів завдяки комбінуванню з акумуляторною батареєю не включається в розрахунок нормованої вартості електроенергії.

P4: Розподілена генерація (R)

Сонячна електростанція має значний потенціал виробництва електроенергії як масштабований вибір для децентралізованого виробництва енергії. Сонячні електростанції можуть мати різну потужність — від кількох ватів до кількох мегаватів.

З урахуванням поточної ситуації в Україні, існує кілька переконливих причин на користь розподілених сонячних електростанцій. Ці установки, розташовані поблизу центрів попиту, пропонують перевагу зменшення залежності від мережі передачі, тим самим зменшуючи ризику, пов'язані з потенційною втратою виробничих потужностей. Крім того, локальне виробництво електроенергії на майданчику кінцевого споживача зменшує необхідність у передачі електроенергії на довгі відстані, а отже, зміцнює енергетичну безпеку.

P5: Регуляторні вимоги в процесі розробки проєкту (Q)

Загалом, якщо сонячні панелі встановлюють на приватному житловому будинку, а виробництво не перевищує лімітів власного споживання сім'ї, отримувати дозвіл або ліцензію не потрібно.

Процес підготовки до встановлення сонячних електростанцій на житлових будинках включає перевірку та розрахунок, щоб визначити, чи підходить конструкція даху для встановлення модулів, що займає один-два дні. Можна не враховувати час, витрачений на отримання дозволів, оскільки споживачі можуть встановлювати модулі виробництва електроенергії для власного споживання без отримання дозволу. Однак можна укласти угоди для отримання статусу активного споживача, що досягається шляхом підписання договорів купівлі-продажу електроенергії за механізмом самовиробництва, договорів з гарантованими покупцями або постачальниками універсальних послуг на продаж електроенергії за «зеленим тарифом», що потребуватиме додаткового часу, але це не є необхідним для введення в експлуатацію сонячних електростанцій для житлових будинків.

Розробка проєкту сонячної електростанції, як правило, включає такі етапи:

1. Попереднє техніко-економічне обґрунтування (ТЕО): включає теоретичну оцінку потенціалу для встановлення установки на основі базових даних про споживання енергії, фотографій будівлі та іншої інформації, пов'язаної зі споживанням. Воно надає початкову оцінку необхідних інвестицій, вигод від проєкту, прогнозованої собівартості виробництва електроенергії та компенсації електроенергії. Попереднє техніко-економічне обґрунтування може бути проведене протягом 5-7 днів.
2. Звіт про перевірку даху або Звіт про перевірку земельної ділянки: ці звіти є більш комплексними та, як правило, фінансуються міською радою або організацією, зацікавленою у розвитку проєкту. Сертифіковані інженери готують ці звіти, гарантуючи, що конструкція може витримати установку. Цей крок має вирішальне значення для запобігання непередбачуваним витратам на модифікацію конструкції на

більш пізніх стадіях процесу. Перевірка даху зазвичай займає близько 10 днів. Під час перевірки землі основна увага приділяється комунікаційній інфраструктурі та потенційним обмеженням, як-от газопроводи або інші фактори, що впливають на реалізацію проєкту.

3. Проведення техніко-економічного обґрунтування (ТЕО) або розробки проєктно-кошторисної документації (ПКД): вибір між цими варіантами залежить від різних факторів. У разі впевненості в доступності фінансування проєкту, зазвичай переходять безпосередньо до проєктно-кошторисної документації. Якщо потенційний інвестор зобов'язується фінансувати проєкт, всупереч можливим додатковим факторам, проєктно-кошторисна документація також може бути відправною точкою. Однак, якщо потрібен більш детальний аналіз, процес розпочинають з техніко-економічного обґрунтування. Це передбачає, що інженер проводить ретельну перевірку об'єкта та виконує детальні розрахунки на основі різних сценаріїв, ураховуючи такі фактори, як кількість панелей та якість електричної мережі. Техніко-економічне обґрунтування може зайняти близько 1 місяця, тоді як підготовка проєктно-кошторисної документації може зайняти від 1,5 до 4 місяців.
4. Оголошення тендерів на будівництво. Вважається, що установка потужністю 30 кВт може бути побудована за 7-10 днів, а установка потужністю 100 кВт – приблизно за 15-18 днів, якщо не виникне критичних проблем. Подальші процеси оформлення документації залежать від залучених сторін і від того, як швидко вони хочуть закрити питання.

Розробка сонячної електростанції, як правило, включає такі етапи:

1. Етап попереднього відбору: цей початковий етап передбачає оцінку потужності та доступності електромережі

для підключення сонячної електростанції до енергосистеми. Дослідження підключення до мережі проводяться для того, щоб переконатися, що мережа може прийняти потужність сонячних електростанцій у вибраній точці підключення. Результати цих досліджень мають вирішальне значення, перш ніж розробник сонячних електростанцій зможе взяти на себе зобов'язання щодо конкретного проєкту. Залежно від місця розташування електростанції, час очікування підключення до мережі може бути значним.

2. Етап розробки: на цьому етапі визначаються потенційні майданчики для будівництва сонячної електростанції, а також забезпечуються необхідні права на землю від землевласників шляхом купівлі або оренди землі. Рекомендовано провести консультації з сусідами та обговорити конкретні умови, що стосуються сонячних електростанцій, щоб забезпечити місцеву підтримку перед тим, як розпочинати основні процеси.
3. Проєктування та отримання дозволів на будівництво сонячної електростанції: цей етап включає проєктування розташування та розміру сонячної електростанції, а також отримання всіх необхідних дозволів та погоджень від регуляторних органів. Оцінка впливу на навколишнє середовище (ОВНС) не обов'язкова для сонячних електростанцій.
4. Договори купівлі-продажу електричної енергії: цей етап включає переговори про укладення договорів з комунальними службами або іншими покупцями на продаж електроенергії, виробленої сонячною електростанцією.
5. Фінансування: на цьому етапі забезпечується фінансування від інвесторів або кредиторів для покриття витрат на розробку, будівництво та експлуатацію сонячної електростанції.
6. Закупівля: цей етап передбачає придбання або оренду всього

необхідного обладнання, матеріалів і послуг для будівництва та експлуатації сонячної електростанції. Термін постачання нових сонячних панелей зазвичай не перевищує 10 тижнів, але для трансформаторів та інверторів у деяких випадках він може збільшитися до двох років. На цьому етапі також укладають договори з місцевими будівельними компаніями на виконання будівельних робіт, облаштування доріг, будівельних майданчиків та електричної інфраструктури.

7. Будівництво та введення в експлуатацію: цей етап охоплює будівництво, випробування, введення в експлуатацію та експлуатацію сонячної електростанції протягом усього терміну експлуатації. Завдяки наявності досвідчених будівельних компаній, сонячна електростанція може бути побудована протягом приблизно 6 місяців.

Щоб скоротити цей процес для промислових сонячних електростанцій, один з ефективних підходів полягає в тому, щоб починати з проєктів, які вже пройшли повну належну перевірку.

Р6: Час постачання / доступність компонентів і матеріалів (Q)

Загалом, фотоелектричні модулі наявні на складах в ЄС, і, відповідно, легко доступні. Однак терміни постачання сонячних електростанцій в Україні можуть варіюватися від декількох тижнів до декількох місяців, що частково залежить від розміру установки.

Р7: Вимоги до логістики та транспортної інфраструктури (Q)

Транспортування компонентів сонячних електростанцій, включно з панелями, інверторами та монтажним обладнанням, як правило, не вимагає спеціалізованих транспортних засобів, обладнання та маршрутів, у залежності від розміру

установки, оскільки вона в цілому може бути розділена на модулі. Хоча логістична та транспортна інфраструктура України може створювати труднощі через незадовільний стан доріг у певних регіонах, пошкодження портів і кранів, а також проблеми з безпекою на територіях, що постраждали від військових дій.

P8: Час технічних робіт зі встановлення (мінімальний час після отримання дозволу) (Q)

Будівництво та випробування: цей етап охоплює будівництво, випробування та введення в експлуатацію. Завдяки наявності досвідчених будівельних компаній, сонячна електростанція може бути побудована протягом приблизно 6 місяців. У той час як сонячні панелі для житлових будинків можуть бути змонтовані менш ніж за тиждень, сонячні панелі для комерційних та громадських будівель — менш ніж за 3 тижні, у залежності від їхнього розміру.

P9: Вимоги до кваліфікованого персоналу на етапі будівництва (Q)

Будівництво сонячних електростанцій потребує кваліфікованої робочої сили, що охоплює багато дисциплін і включає інжиніринг, керівництво проектом, закупівлі, монтаж, введення в експлуатацію, контроль якості, охорону здоров'я та безпеку, а також захист навколишнього середовища. Але не такою мірою, як для великої вітроенергетики. Однак, можливо, встановлення монтажних систем вимагає певного рівня кваліфікації. Можливість, яка згадується як перевага, - це залучення кваліфікованої робочої сили принаймні, коли мова йде про встановлення монтажної системи.

Базуючись на попередньому досвіді встановлення сонячних електростанцій потужністю близько 6,6 ГВт, очікується, що кваліфікований персонал доступний.

Попри це, було зазначено, що нестача кваліфікованих експертів з технічного нагляду для оцінювання якості будівництва та монтажу наразі є проблемою в Україні. P10: Здатність до балансування мережі (R) Здатність сонячної електростанції до балансування енергосистеми низька. Однак сонячні електростанції можуть забезпечувати зниження рівня регулювання, якщо вони виробляють електроенергію, або підвищувати необхідний рівень регулювання, якщо вони не виробляють електроенергію на максимальній потужності. Зазвичай сонячні електростанції працюють на максимальній потужності, оскільки за нормальних умов це максимізує прибуток її власника. Сонячні електростанції можуть підтримувати мережу, постачаючи електроенергію на рівні розподілу поблизу споживачів.

P11: Вимоги до інфраструктури електромереж (R)

Інтеграція промислових сонячних електростанцій в електромережу вимагає наявності добре розвинених ліній електропередач та розподілу, підстанцій, балансуєчих і допоміжних послуг, а також впровадження технологій «smart grid» (розумна мережа). Важливо зазначити, що інфраструктура електромереж України зіткнулася з викликами, зокрема, з атаками на неї ракет і безпілотних літальних апаратів з боку Росії під час нинішньої війни.

Важливим аспектом виступає необхідність безперешкодної інтеграції сонячної енергії в електромережу без її перевантаження. Отже, виникає необхідність у прийнятті регіонального підходу, який би чітко окреслював стратегічне розміщення сонячної енергетики, забезпечуючи таким чином її ефективну та раціональну інтеграцію в національне енергетичне середовище. Цей підхід має бути спрямований на розв'язання проблем інтеграції мереж і скоординованого планування для сталого розвитку сонячної енергетики в Україні.

P12: Потреба у кваліфікованому персоналі для експлуатації та технічного обслуговування, а також у спеціальних запасних частинах (R)

Експлуатація та технічне обслуговування сонячних електростанцій, як правило, не вимагає виключно кваліфікованої та спеціалізованої робочої сили, що робить відносно простим завданням зібрати українську команду, здатну обслуговувати сонячну електростанцію. Однак важливо підкреслити, що охоронна компанія має забезпечувати цілодобову охорону сонячної електростанції, оскільки ризик крадіжки досить високий, що є спільною проблемою для всіх сонячних (і гідро) електростанцій в Україні.

У тендерній документації настійно рекомендується передбачити включення обов'язкового договору на обслуговування принаймні на перші два роки. Крім того, доцільно розглянути можливість укладення договору на професійне технічне обслуговування після закінчення цього періоду. Наразі в Україні фахівці з технічного обслуговування відвідують сонячні електростанції двічі на рік, головним чином, для оцінювання якості з'єднань, перевірки відсутності проблем та розв'язання будь-яких питань, що виникають.

P13: Можливість маскування та укриття (R)

Неможливо замаскувати або укрити промислову сонячну електростанцію через її розмір, але можна захистити критичні компоненти, як-от трансформаторні підстанції, огородивши їх парканами та/або розмістивши під землею в бункерах або захистивши бетонними дахами.

Розміри та обсяги виробництва електроенергії сонячними електростанціями для житлових будинків, а також, певною мірою, для комерційних і громадських будівель відносно невеликі, тому їх значення для енергосистеми обмежене, а отже,

ризик обстрілу таких установок оцінюється як відносно низький, порівняно з великими станціями.

Наведена нижче карта ілюструє потенційну досяжність російської артилерії та балістичних ракет малої дальності (БРМД). Стає очевидним, що значна частина території України, за винятком центральних областей, знаходиться в зоні досяжності балістичних ракет малої дальності. Навіть у цих відносно безпечних регіонах енергетична інфраструктура залишається вразливою до потенційних атак безпілотних літальних апаратів або ударів ракетами більшої дальності. Слід зазначити, що карти (на двох рисунках нижче) також підкреслюють, що центральні регіони України, які стикаються з меншим ризиком російських артилерійських або ракетних атак, продовжують пропонувати достатній потенціал для виробництва електроенергії, навіть у зимовий період.

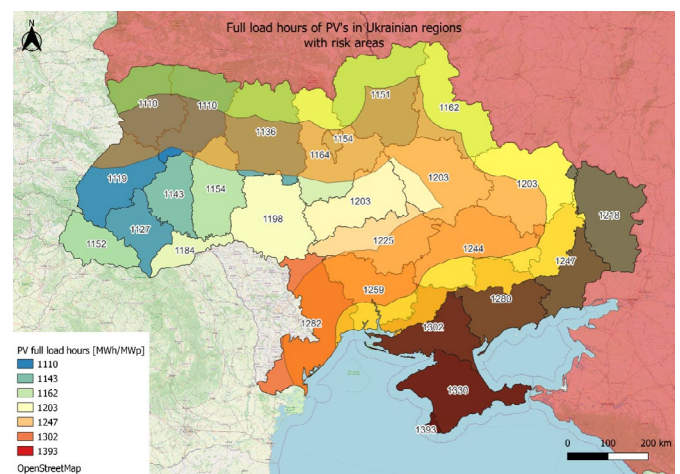


Рисунок 11: Очікуване річне виробництво електроенергії сонячними електростанціями (МВт·год на МВт встановленої потужності) у різних регіонах України. Щорічне виробництво 1200 МВт·год відповідає коефіцієнту використання встановленої потужності (КВВП) 14%. Буферні зони в 100 км і 280 км були створені до контрольованих Росією територій і Білорусі, з урахуванням найбільшої дальності дії російської артилерії та балістичних

ракет малої дальності (БРМД). Карти побудовані з урахуванням узагальненого виробництва електроенергії на сонячних електростанціях у різних регіонах України на основі даних Глобального сонячного атласу, що охоплює період з 1994 по 2018 рік

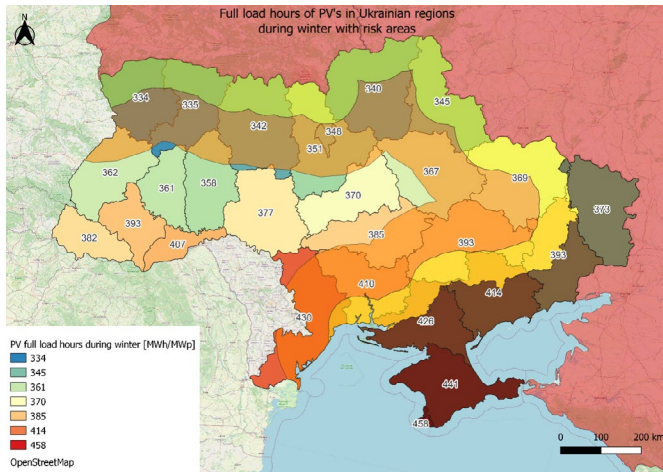


Рисунок 12: Очікуване виробництво електроенергії сонячними електростанціями в зимовий період (МВт·год на МВт встановленої потужності) у різних регіонах України. Виробництво 350 МВт·год у зимовий період відповідає приблизно 30% виробництва та коефіцієнту використання встановленої потужності (КВВП) 8%. Буферні зони в 100 км і 280 км були створені до контрольованих Росією територій і Білорусі, з урахуванням найбільшої дальності дії російської артилерії та балістичних ракет малої дальності (БРМД). Карти побудовані з урахуванням узагальненого виробництва електроенергії на сонячних електростанціях у різних регіонах

України на основі даних Глобального сонячного атласу, що охоплює період з 1994 по 2018 рік

Р14: Ризик, пов'язаний з постачанням палива (R)

Не актуально

Додаткова інформація щодо конкретних технологій, отримана з опитувань

Досягнення комплексного широкомасштабного переходу до «зелених» джерел енергії вимагає досягнення цінової конкурентоспроможності з традиційними нафтогазовими альтернативами. Ключовим фактором такого переходу є визначення надійних партнерів, які мають прийнятні для банків договори купівлі-продажу електричної енергії (РРА).

Згідно з думкою опитаних українських експертів, інвестиційне середовище в Україні характеризується дефіцитом суто фінансових інвестицій, що керуються виключно прагненням до отримання прибутку. Натомість зацікавлені сторони часто беруть участь у спільному фінансуванні, надаючи обладнання чи фінансові ресурси, або ж надають українцям різнобічну підтримку. Ці донори відіграють невіддільну роль у сприянні та просуванні проєктів сталого розвитку в Україні. Наприклад, цілі ініціативи Програми розвитку Організації Об'єднаних Націй щодо енергосервісних компаній (ПРООН ЕСКО) спрямовані на сприяння таким інвестиціям¹¹.

¹¹ <https://www.undp.org/ukraine/publications/overview-best-practices-esco-market-design-and-recommendations-ukraine>



Наземні вітроелектростанції

Потужність у зимовий період	 	Загальна оцінка:   
Швидкість впровадження	 	
Технологічна стійкість	 	
Нормована вартість електроенергії	  	

НАЗЕМНІ ВІТРОЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

Рейтинг на першій сторінці показує оцінку технології, яка отримала найвищий загальний бал серед підтехнологій, зазначених у розділі. Чим більше піктограм, тим кращі показники¹². Для вітроелектростанцій найкращий бал

отримали “вітроенергетичні турбіни, що були у використанні, для наземного вітропарку великої потужності” та “вітроенергетичні турбіни для домогосподарств”. Оцінки для всіх підтехнологій наведені в Таблиці 15.

Оцінка за критеріями	3.a. Наземні вітрові парки (>20 МВт)	3.b. Наземні вітрові парки, що були у використанні (>20 МВт)	3.c. Кластер наземних вітроелектростанцій (4,2-20 МВт)	3.d. Вітроенергетичні турбіни для домогосподарств (<100 кВт)
Вплив зимового періоду	WW	WW	WW	WW
Швидкість впровадження	Q	QQ	Q	QQQ
Стійкість	RR	RR	RR	RRR
Вартість (LCOE, термін експлуатації 2 роки в зимовий період)	CCC	CCC	CCC	C
Загальна оцінка (1-3)	2.0	2.3	2.0	2.3

Таблиця 15: Вітроенергетика – загальна матриця оцінювання критеріїв

¹² Детальне пояснення див. у Таблиці 2: Огляд характеристик, які впливають на критерії, і візуалізація рейтингів, чим більше піктограм, тим кращий рейтинг

У цьому розділі розглядаються чотири різні типи наземних вітроенергетичних технологій:

- Наземний вітропарк великої потужності (20-100 МВт)
- Кластер наземних вітроенергетичних турбін (5-20 МВт)
- Вітроенергетичні турбіни, що були у використанні, для наземного вітропарку великої потужності (20-100 МВт)
- Вітроенергетичні турбіни для домогосподарств

Перші три технології — це технології, що відрізняються переважно лише потужністю, що вимірюється в МВт, і їхні характеристики, проблеми та можливості значною мірою однакові. Тому ці технології розглядаються разом у більшості частин цього розділу.

Тоді як вітроенергетичні турбіни для домогосподарств мають потужність, що вимірюється у кВт і за своєю сутністю відрізняються від великих турбін як за технологією, так і за процесом встановлення, і тому розглядаються в окремому розділі.

Наземні вітроенергетичні турбіни (МВт)

Стислий опис технології

Завдяки схожості, цей розділ охоплює наземний вітропарк великої потужності (20-100 МВт), кластери наземних вітроенергетичних турбін (5-20 МВт) і вітроенергетичні турбіни, що були у використанні, для наземного вітропарку великої потужності (20-100 МВт).

Типова наземна вітроенергетична турбіна великої потужності, що встановлюється на сьогодні, — це турбіна з горизонтальною віссю, трьома лопатями, спрямована проти вітру та підключена до мережі, з активним регулюванням кута атаки, змінною швидкістю та управлінням ризиканням для оптимізації вироблення електроенергії у разі різних швидкостей вітру.

Вітроенергетичні турбіни працюють, вловлюючи кінетичну енергію вітру за допомогою лопатей ротора та передаючи її на приводний вал. Приводний вал з'єднаний або з редуктором, що підвищує швидкість, з'єднаним з середньо- або високошвидкісним генератором, або з низькошвидкісним генератором з прямим приводом. Генератор перетворює енергію обертання вала в електричну енергію. У сучасних вітрових турбінах крок лопастей ротора регулюється для максимізації виробництва електроенергії за умови низьких швидкостей вітру, а також для підтримки постійної вихідної потужності та обмеження механічних напруг і навантажень на турбіну за умови високих швидкостей вітру. Загальний опис технології турбіни та електричної системи на прикладі турбіни з редуктором наведено на Рисунку 13.

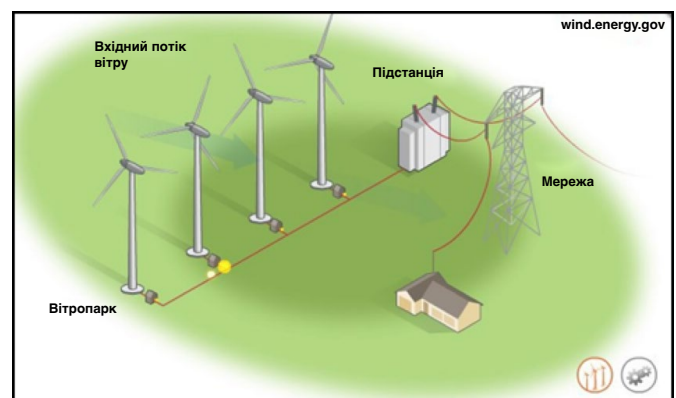
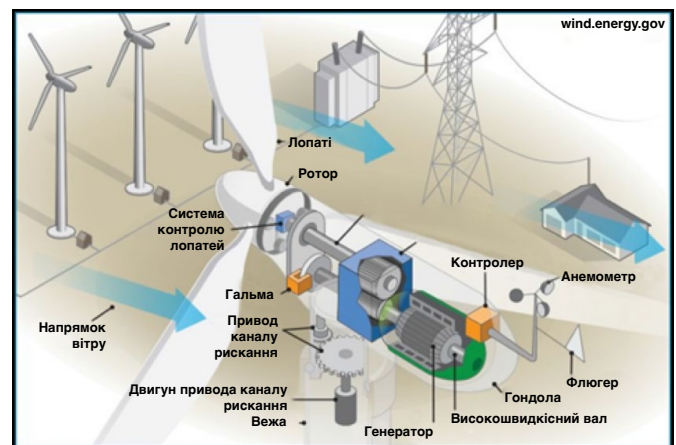


Рисунок 13: Загальна технологія та електрична система вітрової турбіни

Конструкція вітроенергетичної турбіни визначається трьома основними

параметрами. Це висота вісі, встановлена потужність (або номінальна потужність) і діаметр ротора. Останні два параметри часто об'єднують у похідний показник «питома потужність», який є співвідношенням між встановленою потужністю та площею обмаху. Питома потужність вимірюють у Вт/м².

На початок 2020 року загальна встановлена потужність українських вітропарків становила 1,17 ГВт. Вітровий ресурс в Україні значний, і дослідження показали, що в Україні потенційно може бути розміщено понад 600 ГВт вітроенергетичних потужностей.



Рисунок 14: Чотири вітроенергетичні турбіни Vestas потужністю 3 МВт

Рисунок 15 демонструє очікуване річне виробництво електроенергії вітроенергетичними турбінами (МВт·год на МВт встановленої потужності) у різних регіонах України. Для розрахунку узагальненої потужності вітроенергетичних турбін в різних регіонах України було використано растрову карту, що охоплює всю територію України. Растрова карта взята з Глобального вітрового атласу. Растрова карта містить річний коефіцієнт використання встановленої потужності

(КВВП) вітроенергетичних турбін ІЕС класу 2¹³. Більш детальну інформацію про методологію розрахунку можна знайти в Додатку Е.

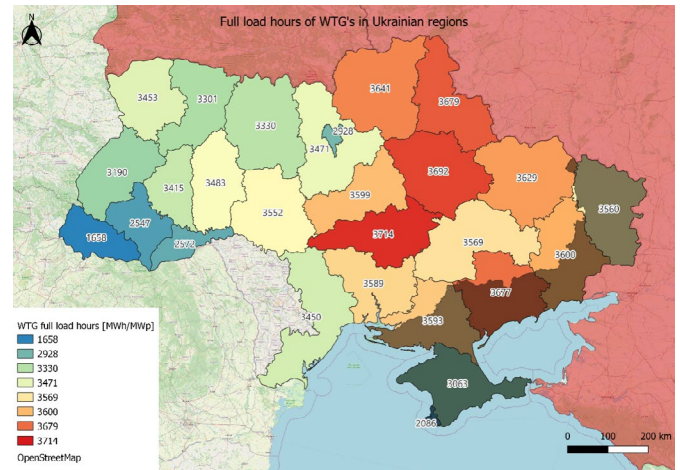


Рисунок 15: Карта вітрових ресурсів, очікуване річне виробництво електроенергії вітроенергетичними турбінами (МВт·год на МВт встановленої потужності) у різних регіонах України. Щорічне виробництво 3500 МВт·год/МВт відповідає коефіцієнту використання встановленої потужності (КВВП) 40%

Наземний вітропарк великої потужності (20-100 МВт)

Оцінка за критеріями	3.а. Наземні вітрові парки (>20 МВт)
Вплив зимового періоду	WW
Швидкість впровадження	Q
Стійкість	RR
Вартість (LCOE, термін експлуатації 2 роки в зимовий період)	CCC
Загальна оцінка (1-3)	2.0

Таблиця 16: Вітроенергетика — матриця оцінювання критеріїв для наземних вітропарків великої потужності (20-100 МВт)

¹³ Вітроенергетичні турбіни ІЕС класу 1, як правило, призначені для швидкості вітру понад 8 м/с. Ці турбіни проходять випробування для вищих екстремальних швидкостей вітру та сильнішої турбулентності.

Вітроенергетичні турбіни ІЕС класу 2 розраховані на середню швидкість вітру від 7,5 м/с до 8,5 м/с.

Вітроенергетичні турбіни ІЕС класу 3 розраховані на швидкість вітру менш як 7,5 м/с. Ці вітроенергетичні турбіни потребують більшого ротора, щоб уловлювати таку ж кількість енергії, як і аналогічна турбіна на об'єкті класу II. Джерело: <https://www.lmwindpower.com/en/stories-and-press/stories/learn-about-wind/what-is-a-wind-class>

Вплив зими, виробництво в зимовий період (W)

Наземний вітропарк великої потужності зможе забезпечити значний внесок в енергосистему України в зимовий період. Очевидно, що виробництво залежить від погодних умов, і протягом зимового періоду спостерігатимуться значні коливання у виробництві електроенергії. Однак, Україна — велика країна, тому не скрізь буває безвітряно. Вітроенергетичні турбіни великої потужності демонструють коефіцієнт використання встановленої потужності (КВВП) близько 40% у зимовий період, що означає, що в середньому 40% від встановленої потужності може бути використано.

Швидкість впровадження (Q)

Фактично, вітропарк може бути побудований протягом 6 місяців. Однак підготовчі процеси досить тривалі та включають отримання екологічних та юридичних дозволів (1-2 роки), час постачання вітроенергетичних турбін (до двох років), а також техніко-економічне обґрунтування та аналіз вибору місця розташування (близько 1 року). За ідеальних умов і спрощених процедур екологічного дозволу проєкт вітропарку з нуля може бути створений протягом 2 років, але 4-5 років є більш реалістичною оцінкою для великого наземного вітропарку, з урахуванням поточних рамкових умов України.

Стійкість (R)

Вітропарки демонструють значну стійкість у разі потенційних загроз, як-от російські удари, завдяки їхньому розосередженому розташуванню. Трансформаторна підстанція, що з'єднує вітропарк з високовольтною електромережею, може бути замаскована або захищена бетонним накриттям. Отже, знищення вітропарку потребуватиме кількох атак. Проектування

вітропарку з декількома блоками по 2-3 МВт, а не з меншою кількістю великих блоків по 5-6 МВт, зробило б вітропарк стійкішим до повітряних ударів.

Нормована вартість електроенергії (LCOE), короткострокові та протягом усього терміну експлуатації (C)

Великі вітропарки демонструють один з найбільш конкурентоспроможних профілів нормованої вартості електроенергії (LCOE) серед усіх наявних енергетичних технологічних рішень. Навіть у короткостроковій перспективі, що передбачає виробництво електроенергії протягом лише двох зимових періодів, вітроенергетика досить економічно вигідний варіант, попри початкові капітальні інвестиції.

Кластер наземних вітроенергетичних турбін (4,2-20 МВт)

Оцінка за критеріями	З.с. Кластер наземних вітроелектростанцій (4,2-20 МВт)
Вплив зимового періоду	WW
Швидкість впровадження	Q
Стійкість	RR
Вартість (LCOE, термін експлуатації 2 роки в зимовий період)	CCC
Загальна оцінка (1-3)	2.0

Таблиця 17: Вітроенергетика — матриця оцінки критеріїв для кластера наземних вітроенергетичних установок (4,2-20 МВт)

Вплив зими (виробництво в зимовий період)

Наземний вітропарк може зробити значний внесок в енергосистему України в зимовий період. Виробництво залежить від погодних умов, і будуть спостерігатися значні коливання в генерації, однак Україна — велика країна, тому не скрізь буває спокійно. Вітроенергетичні

турбіни великої потужності демонструють коефіцієнт використання встановленої потужності (КВВП) близько 40% у зимовий період, що означає, що в середньому 40% від встановленої потужності може бути використано.

Швидкість впровадження

Фактично, вітропарк може бути побудований протягом 6 місяців. Однак підготовчі процеси досить тривалі та включають отримання екологічних та юридичних дозволів (1-2 роки), час постачання вітроенергетичних турбін (до двох років), а також техніко-економічне обґрунтування та аналіз вибору місця розташування (близько 1 року). За ідеальних умов і спрощених процедур екологічного дозволу проєкт вітропарку може бути створений протягом 2 років, але 3-4 років є більш реалістичною оцінкою для кластера наземних вітроенергетичних установок великої потужності, з урахуванням поточних рамкових умов України. Порівняно з великими вітропарками потужністю до 100 МВт, менші проєкти може бути простіше розміщувати в місцях, де умови екологічного та юридичного погодження більш сприятливі.

Стійкість

Вітропарки демонструють значну стійкість у разі потенційних загроз, як-от російські удари, завдяки їхньому розосередженому розташуванню. Трансформаторна підстанція, що з'єднує вітропарк з високовольтною електромережею, може бути замаскована або захищена бетонним накриттям. Отже, для знищення вітропарку знадобиться кілька ударів. Проєктування вітропарку з декількома блоками по 2-3 МВт, а не з меншою кількістю великих блоків по 5-6 МВт, зробило б вітропарк стійкішим до повітряних ударів.

Нормована вартість електроенергії (LCOE), короткострокові та протягом усього терміну експлуатації

Кластери вітроенергетичних турбін — одні з найбільш конкурентоспроможних серед усіх доступних енергетичних технологій. Навіть у короткостроковій перспективі, що передбачає виробництво електроенергії протягом лише двох зимових періодів, вітроенергетика досить економічно вигідний варіант, попри початкові капітальні інвестиції.

Вітроенергетичні турбіни, що були у використанні, для наземного вітропарку великої потужності (20-100 МВт)

Оцінка за критеріями	3.б. Наземні вітроенергетичні турбіни, що були у використанні, вітрові парки (>20 МВт)
Вплив зимового періоду	WW
Швидкість впровадження	QQ
Стійкість	RR
Вартість (LCOE, термін експлуатації 2 роки в зимовий період)	CCC
Загальна оцінка (1-3)	2.3

Таблиця 18: Вітроенергетика — матриця оцінювання критеріїв для вітроенергетичних турбін, які були у використанні для наземного вітропарку великої потужності (20-100 МВт)

Вплив зими (виробництво в зимовий період)

Вітроенергетичні турбіни, які були у використанні, (як правило, віком 8-10 років і потужністю 3 МВт) у комплексі з великими вітропарками (20-100 МВт) можуть забезпечити значний внесок в енергосистему України в зимовий період. Виробництво залежить від погодних умов, і будуть спостерігатися значні коливання в генерації, однак Україна — велика країна, тому не скрізь буває безвітряно. Вітроенергетичні турбіни великої потужності демонструють коефіцієнт використання встановленої потужності (КВВП) близько 40% у зимовий період, що означає, що в середньому 40% від встановленої потужності може бути використано.

Швидкість впровадження

Фактично, вітропарк може бути побудований протягом 6 місяців. Однак підготовчі процеси досить тривалі та включають отримання екологічних та юридичних дозволів (1-2 роки), а також техніко-економічне обґрунтування та аналіз місця розташування (близько 1 року). З іншого боку, час постачання вітроенергетичних турбін, що були у використанні, залежно від постачальника, може бути дуже коротким. За ідеальних умов і спрощених процедур екологічного дозволу проєкт вітропарку з використанням турбін, що були у використанні, може бути створений протягом 1,5-2 років, але 3-5 років є більш реалістичною оцінкою, ураховуючи поточні рамкові умови в Україні.

Стійкість

Вітропарки демонструють значну стійкість у разі потенційних загроз, як-от російські удари, завдяки їхньому розосередженому розташуванню. Оскільки трансформаторна підстанція, що з'єднує вітропарк з високовольтною електромережею, може бути замаскована або захищена бетонним перекриттям, для того, щоб

знищити вітропарк, знадобиться кілька атак. Початкова вартість вітропарку, обладнаного вітроенергетичними турбінами, що були у використанні, може бути на 30-40% нижчою, ніж у випадку з новими турбінами, а це означає, що у випадку атаки на вітропарк будуть менші збитки.

Нормована вартість електроенергії (LCOE), короткострокові та протягом усього терміну експлуатації

Вітроенергетичні турбіни — це одні з найбільш конкурентоспроможних серед усіх доступних енергетичних технологій, якщо оцінювати їхній технічний термін експлуатації, і це стосується також старих турбін, які, як можна очікувати, демонструють показники LCOE, еквівалентні новим установкам. У короткостроковій перспективі, за умови виробництва електроенергії протягом лише двох зимових періодів, вітроенергетичні турбіни, що були у використанні, вигідніші за нові через початкові інвестиційні витрати, але все одно вищі, ніж, наприклад, газові турбіни або газові двигуни.

Оцінка параметрів наземних вітроенергетичних турбін

Характеристики	3.a. Наземні вітроенергетичні турбіни, вітрові парки (>20 МВт)	3.b. Наземні вітроенергетичні турбіни, що були у використанні, вітрові парки (>20 МВт)	3.c. Кластер наземних вітроелектростанцій (4,2-20 МВт)
P1-Виробництво електроенергії в зимовий період	50%	50%	50%
P2-Нормована вартість електроенергії (LCOE) протягом короткого терміну експлуатації, виробництво взимку [євро/МВт•год]	808	568	927
P3-Нормована вартість електроенергії (LCOE) протягом усього терміну експлуатації [євро/МВт•год]	36	35	40
P4-Розподілена генерація	>20 МВт	>20 МВт	4,2-20 МВт
P5-Регуляторні вимоги в процесі розробки проєкту	Довго	Довго	Довго
P6-Час постачання та наявність компонентів і матеріалів	Середній	Швидко та легко	Середній
P7-Вимоги до логістики та транспортної інфраструктури	Високі	Високі	Високі

Характеристики	3.a. Наземні вітроенергетичні турбіни, вітрові парки (>20 МВт)	3.b. Наземні вітроенергетичні турбіни, що були у використанні, вітрові парки (>20 МВт)	3.c. Кластер наземних вітроелектростанцій (4,2-20 МВт)
P8-Час технічних робіт зі встановлення (після отримання дозволу)	Середньострокова перспектива	Середньострокова перспектива	Середньострокова перспектива
P9-Вимоги до кваліфікованого персоналу на етапі будівництва	Середні	Середні	Середні
P10-Здатність до балансування мережі	Середня	Середня	Середня
P11-Вимоги до інфраструктури електромережі	Середні	Середні	Середні
P12-Потреба у кваліфікованому персоналі для експлуатації та технічного обслуговування, а також у спеціальних запасних частинах	Середня	Середня	Середня
P13-Можливість маскування та укріття	Середній потенціал	Середній потенціал	Середній потенціал
P14-Ризик, пов'язаний з постачанням палива	Низький ризик	Низький ризик	Низький ризик

Таблиця 19: Вітроенергетика — матриця оцінювання параметрів для наземних вітроенергетичних турбін (МВт). Одиниця LCOE — [євро/МВт·год]

Через їхню схожість кількісний параметр охоплює великий наземний вітропарк (20-100 МВт), кластери наземних вітроенергетичних турбін (5-20 МВт) і вітроенергетичних турбін, що були у використанні, для наземного вітропарку великої потужності (20-100 МВт). Вітроенергетичні турбіни для домогосподарств оцінюють в окремому розділі.

P1: Виробництво електроенергії в зимовий період (W)

Карта вітрів показує, що наземні вітроенергетичні турбіни зазвичай виробляють однакову кількість електроенергії в зимовий і літній періоди, демонструючи коефіцієнт використання встановленої потужності (КВВП), що становить близько 40%. Очевидно, що виробництво залежить від конкретного місця розташування. Вищезазначені коефіцієнти використання встановленої потужності (КВВП) свідчать про те, що

вітроенергетичні турбіни встановлюють у центральній та південній частині України, де спостерігаються найкращі вітрові умови.

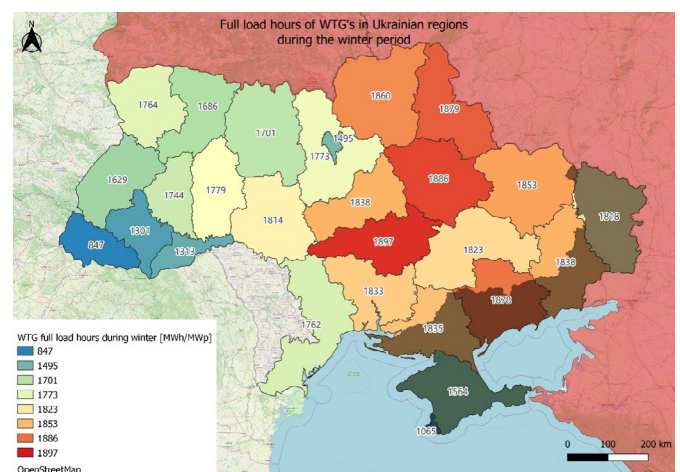


Рисунок 16: Очікуване виробництво електроенергії вітроенергетичними турбінами (МВт·год на МВт встановленої потужності) у різних регіонах України в зимовий період (який в цьому контексті визначається як жовтень-березень, загалом 4374 години)

P2: Нормована вартість електроенергії (LCOE) протягом короткого терміну експлуатації, виробництво у зимовий період (C)

Нормована вартість електроенергії протягом двох зимових періодів (перспектива надзвичайної ситуації) становить приблизно 810 євро/МВт•год для великого вітропарку (20-100 МВт) і дещо вища — близько 830 євро/МВт•год — для вітропарку потужністю до 20 МВт. Це значно вище, ніж для газових двигунів або газових турбін, витрати на які становлять близько 300-400 євро/МВт•год, але все ще значно нижче, ніж, наприклад, для сонячних електростанцій, акумуляторних батарей і певних технологій з використанням біомаси.

Нормована вартість електроенергії в зимовий період для вітроенергетичних турбін, що були у використанні, може бути приблизно на 30% нижчою, ніж для нових, через менші початкові капітальні витрати.

P3: Нормована вартість електроенергії (LCOE) протягом усього терміну експлуатації (C)

Великі наземні вітропарки (20-100 МВт) демонструють низьку LCOE протягом терміну експлуатації вітроенергетичних турбін, що становить щонайменше 25 років за відсутності непередбачуваних ситуацій, — близько 35 євро/МВт•год. Оскільки наслідки масштабування помірні, очікується, що LCOE вітроенергетичних турбін в менших кластерах потужністю до 20 МВт буде лише на 10% вищою.

Очікується, що LCOE вітроенергетичних турбін, що були у використанні, не матиме суттєвих відмінностей від нових турбін, оскільки нижчі початкові капітальні витрати компенсуються коротшим очікуваним терміном експлуатації та (потенційно) вищими витратами на експлуатацію та технічне обслуговування.

P4: Розподілена генерація (R)

Наземні вітроенергетичні турбіни розташовують на відносно великій території. Сучасні наземні вітроенергетичні турбіни мають встановлену потужність від 3 МВт до 6 МВт, і їх, як правило, розміщують на відстані від 300 до 500 метрів, залежно від розміру окремих турбін. Той факт, що вітроенергетичні турбіни розосереджені на великій території, робить їх менш вразливими до повітряних ударів артилерії, ракет або безпілотних літальних апаратів.

P5: Регуляторні вимоги в процесі розробки проекту (Q)

Розробка наземного вітропарку, як правило, включає вісім етапів:

1. Пошук та оформлення земельних ділянок: цей етап передбачає визначення потенційних ділянок для вітропарку та отримання необхідних прав на землю від землевласників. Оскільки сучасні вітропарки займають велику територію з великою кількістю землевласників, це може бути досить складним завданням. Пошук також включає аналіз стану ґрунту. Загалом техніко-економічне обґрунтування, за винятком оцінювання вітрових ресурсів, займе близько 6 місяців.
2. Оцінювання вітрових ресурсів: цей етап передбачає вимірювання швидкості та напрямку вітру на ділянці для визначення потенційного виробництва енергії вітропарком. Вимірювання вітру може зайняти близько 1 року, щоб бути достатньо надійним. Однак Українська вітроенергетична асоціація очікує, що до лютого 2024 року буде готовий електронний вітровий атлас, який охоплюватиме наземні та морські вітри. Атлас розробляють у співпраці з Національною лабораторією з відновлюваної енергетики США (NREL), він базується на вимірюваннях на висоті 100-120 метрів. Атлас може замінити необхідність фізичних вимірювань на

- місці. Достатність цифрових оцінок, часто залежить від конкретних умов, встановлених сторонами, які фінансують проєкт.
3. Дослідження з'єднання та передачі електроенергії: цей етап включає оцінювання пропускнуої здатності та доступності електромережі для підключення вітропарку до енергосистеми.
 4. Проєктування вітрової електростанції та отримання дозволів: цей етап включає проєктування розташування, розміру та кількості вітроенергетичних турбін, а також отримання всіх необхідних дозволів та погоджень від регуляторних органів. За оцінками Української вітроенергетичної асоціації, для великих вітропарків процес отримання екологічних дозволів займе близько трьох років. Це включає орнітологічні дослідження, дослідження кажанів, екологічні дослідження та геологічні наукові дослідження. Вимоги до оцінки впливу на навколишнє середовище (ОВНС) були дещо пом'якшені під час воєнного стану. Орнітологічні дослідження, однак, не змінилися, і вони тривають щонайменше один рік. Інші терміни, як-от громадські слухання, під час яких зацікавлені сторони можуть подавати свої зауваження до конкретного проєкту, були скорочені приблизно наполовину або на третину.
 5. Договори купівлі-продажу електричної енергії: цей етап включає переговори про укладення договорів з комунальними службами або іншими покупцями на продаж електроенергії, виробленої вітропарком.
 6. Фінансування: цей етап передбачає отримання фінансування від інвесторів або кредиторів для покриття витрат на розробку, будівництво та експлуатацію вітропарку.
 7. Закупівля: цей етап передбачає придбання або оренду всього необхідного обладнання, матеріалів і послуг для будівництва та експлуатації вітропарку. Термін постачання нових вітроенергетичних турбін зазвичай становить один рік, у

- деяких випадках – до двох років. На цьому етапі також укладають договори з місцевими будівельними компаніями на виконання будівельних робіт, облаштування доріг, будівельних майданчиків та електричної інфраструктури
8. Будівництво та експлуатація: цей етап включає будівництво, випробування, введення в експлуатацію та експлуатацію вітропарку протягом усього терміну його експлуатації. За наявності досвідчених будівельних компаній вітропарк може бути побудований протягом 6 місяців.

Очікується, що процес будівництва вітропарку буде більш-менш однаковим, незалежно від розміру вітропарку і того, чи будуть використовуватися нові турбіни або турбіни, що були у використанні.

R6: Час постачання / доступність компонентів і матеріалів (Q)

Термін постачання наземних вітроенергетичних турбін залежить від виробника, моделі та обсягу замовлення. Він може становити від шести місяців до двох років.

Однак варто зазначити, що вітроенергетичні турбіни, що були у використанні, можуть бути поставлені в найкоротші терміни. Вітроенергетичні турбіни, що були у використанні, як правило, мають вік близько 8-10 років і потужність близько 3-4 МВт. Існує зрілий ринок вітроенергетичних турбін, що були у використанні, і вважається можливим придбати щонайменше 100 МВт вітроенергетичних потужностей, що були у використанні, з Європи.

Українські учасники вітроенергетичної галузі висловлюють занепокоєння щодо використання вітроенергетичних турбін, що були у використанні, з різних причин: потенційно дорожчі запасні частини, надійність турбін, брак знань про те, як

обслуговувати старі турбіни. Тому важливо, щоб будь-які вітроенергетичні турбіни, які були у використанні, що продаються на українському ринку, постачалися з довгостроковими гарантіями або договорами на обслуговування.

Загальний час, необхідний для реалізації проєкту, залежить від багатьох факторів, як-от розмір, складність, доступ до мережі, регуляторні процедури тощо. Реалізація типового проєкту у сфері відновлюваної енергетики, як-от наземний вітропарк, може зайняти від трьох до п'яти років з моменту планування до початку експлуатації.

За найкращою оцінкою, розробка проєкту з нуля в Україні займе щонайменше два роки, навіть якщо будуть використовуватися старі вітроенергетичні турбіни, буде доступне електронне вимірювання швидкості вітру та проєкт може бути звільнений від тривалого процесу оцінювання впливу на навколишнє середовище. За менш сприятливих умов увесь процес може зайняти до п'яти років.

За можливості відновити проєкти вітропарків, які вже перебувають у процесі реалізації, але були закриті або законсервовані через війну, це могло б пришвидшити реалізацію проєкту.

Розмір вітропарку, незалежно від того, чи йдеться про невеликий кластер вітроенергетичних турбін потужністю до 20 МВт, чи про великий парк потужністю до 100 МВт, сам по собі має обмежений вплив на час реалізації проєкту. Однак, можливо, буде простіше розміщувати менші проєкти в місцях, де екологічні та правові умови для отримання дозволів більш сприятливі.

Р7: Вимоги до логістики та транспортної інфраструктури (Q)

Транспортування наземних вітроенергетичних турбін вимагає спеціальних транспортних засобів,

обладнання та маршрутів. Логістична та транспортна інфраструктура в Україні може створювати певні складнощі для розвитку відновлюваної енергетики через поганий стан доріг у деяких районах, пошкодження портів і кранів, а також ризики для безпеки в зонах бойових дій. Транспортування через Польщу можливе автомобільним транспортом, але складне через дороги та великогабаритні компоненти. Однак ближче до центральної частини України, питання ускладнюється. Існує приклад української компанії, яка під час війни зуміла перевезти всі вітроенергетичні турбіни через Польщу.

Порти були сильно пошкоджені, і перевезення, які раніше здійснювалися через Данію та Німеччину через Чорне море, стали майже неможливими.

Забезпечення доступу до належної транспортної інфраструктури може бути критично важливим параметром у процесі визначення місць для вітропарків.

Інфраструктура зв'язку (бажано через оптичні волокна) необхідна для управління вітроенергетичними турбінами на відстані.

Р8: Час технічних робіт зі встановлення (мінімальний час після отримання дозволу) (Q)

Менше одного року. За наявності досвідчених будівельних компаній вітропарк великої потужності (20-100 МВт) може бути побудований протягом 6 місяців.

Р9: Вимоги до кваліфікованого персоналу на етапі будівництва (Q)

Будівництво проєктів відновлюваної енергетики, як-от наземних вітропарків, потребує кваліфікованого персоналу в різних сферах, як-от інжиніринг, проєктний менеджмент, закупівлі, встановлення, введення в експлуатацію, контроль якості, охорона здоров'я та безпека, охорона навколишнього середовища. Базуючись на

попередньому досвіді встановлення близько 1,17 ГВт вітроенергетичних потужностей, очікується, що кваліфікований персонал доступний. Під час війни в Україні було побудовано три вітропарки.

До війни стало для веж можна було виробляти в Маріуполі, але це, очевидно, більше не можливо, і тому ці компоненти доводиться постачати з інших країн, наприклад, з Туреччини, Польщі або інших країн.

R10: Здатність до балансування мережі (R)

Інтеграція джерел відновлюваної енергії, як-от наземні вітрові електростанції, в електромережу вимагає наявності належних ліній електропередачі та розподільних ліній, підстанцій, балансування та допоміжних послуг, а також технологій «smart grid» (розумна мережа). Інфраструктура електромереж в Україні під час війни зазнає атак ракет і безпілотних літальних апаратів з боку Росії. За даними «Укренерго», вітроенергетичні турбіни порівняно легко інтегрувати в електромережу, оскільки турбіни розосереджені по всій Україні та зазвичай виробляють електроенергію протягом декількох днів поспіль.

Вітроенергетичні турбіни можуть сприяти безпеці енергопостачання на регіональному рівні під час масових відключень електроенергії, коли виходять з ладу критично важливі об'єкти передавальної інфраструктури та/або електростанції. У грудні 2022 року, коли сталося відключення електроенергії, частина Одеської області була забезпечена електроенергією завдяки роботі трьох вітрових електростанцій.

У деяких регіонах спостерігається профіцит електроенергії, тобто, попри війну, електричних потужностей більше, ніж потрібно. Тому стан електромережі варто враховувати як критерій у локалізації нових вітропарків.

R11: Вимоги до інфраструктури електромереж (R)

Електромережа вважається достатньо надійною для інтеграції наземної вітроенергетики, а також існує досить багато потенційних майданчиків для розміщення вітроелектростанцій розташованих на прийнятній відстані від мережі. Це гарантує, що вітроенергетичні проекти не мають зіткнутися з надмірними проблемами під час підключення до мережі.

R12: Потреба у кваліфікованому персоналі для експлуатації та технічного обслуговування, а також у спеціальних запасних частинах (R)

Для експлуатації та технічного обслуговування проектів відновлюваної енергетики, як-от наземні вітропарки, потрібен кваліфікований персонал у різних сферах, як-от моніторинг, усунення несправностей, ремонт, перевірка, випробування, очищення, оптимізація тощо. Наявність кваліфікованого персоналу в Україні може бути обмежена такими факторами, як відсутність навчальних програм або міграція кваліфікованих працівників. Базуючись на попередньому досвіді встановлення близько 1,7 ГВт вітроенергетичних потужностей, очікується, що кваліфікований персонал доступний. До Української вітроенергетичної асоціації входять дві сервісні компанії: Firewind та Enerproof.

R13: Можливість маскуванню та укриття (R)

Неможливо замаскувати або укрити окремі наземні вітроенергетичні турбіни через їхні розміри, але можна захистити критичні компоненти, як-от трансформаторні підстанції, огородивши їх парканами та/або розмістивши під землею в бункерах або захистивши бетонними накриттями.

На карті нижче наведено потенційні дальності дії російської артилерії та балістичних ракет малої дальності (БРМД). Виявляється, що значна частина України, за винятком центральної та південно-східної частини, знаходиться в межах досяжності балістичних ракет малої дальності, і навіть у цих регіонах енергетична інфраструктура може бути потенційно уражена безпілотними літальними апаратами або ракетами великої дальності. На карті також показано, що регіони в центральній Україні, які щонайменше піддаються ризику ураження російською артилерією або ракетами, демонструють високий потенціал виробництва електроенергії в зимовий період.

Ризик, пов'язаний з експлуатацією, майже повністю пов'язаний з ризиком російських атак на об'єкти. Через розосередженість енергетичних активів ці ризики вважаються досить низькими, з урахуванням також того, що до цього часу лише близько 10 вітроенергетичних турбін зазнали пошкоджень унаслідок війни. Трансформаторні підстанції демонструють хороші можливості для захисту за допомогою укріплення та маскування.

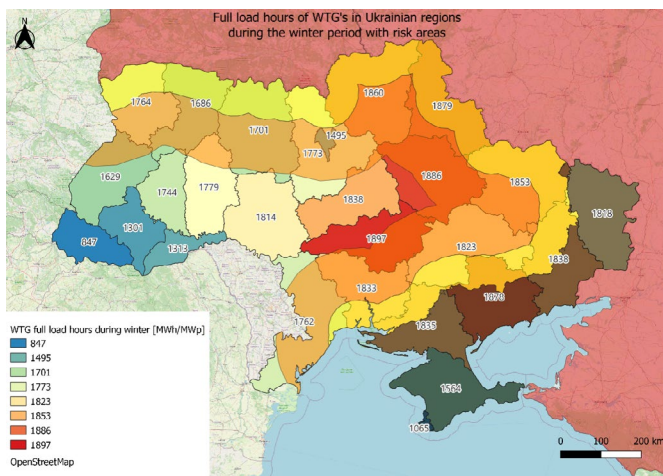


Рисунок 17: Очікуване виробництво електроенергії вітроенергетичними турбінами (МВт·год на МВт встановленої потужності) у різних регіонах України в зимовий період (який у цьому контексті визначається як жовтень-березень,

загалом 4374 години) разом із зазначенням дальності дії російської артилерії та балістичних ракет малої дальності

R14: Ризик, пов'язаний з постачанням палива (R)

Неактуальний ризик для вітроенергетичних турбін.

Додаткова інформація щодо конкретних технологій, отримана з опитувань

Іноземні інвестори, як-от МБРР (Міжнародний банк реконструкції та розвитку), МФК (Міжнародна фінансова корпорація), заявили, що готові інвестувати під час війни, але за однієї умови. Вони будуть інвестувати та надавати кредити виключно іноземним компаніям, оскільки з іноземними компаніями легше застрахувати будь-які ризики. Крім того, вони очікують підтримки від уряду України в розробці проєктів, а також створення страхового фонду, який би покривав військові ризики.

Іноземні розробники у сфері відновлюваної енергетики припускають, що швидкий розвиток ВЕС можна було б забезпечити, якби держава надавала ділянки та дозволи на будівництво шляхом експропріації або добровільних домовленостей із землевласниками.

Українська вітроенергетична асоціація стверджує, що політика Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг (НКРЕКП) ускладнює розвиток вітроенергетики, особливо щодо покладання відповідальності за небаланси на всіх виробників електроенергії з відновлюваних джерел потужністю понад 1 МВт. Це може розглядатися як перешкодження розвитку не лише вітроенергетики, але й сонячної енергетики.

Вітроенергетичні турбіни для домогосподарств

Стислий опис технології

Вітроенергетичні турбіни для домогосподарств мають встановлену потужність 0,5-25 кВт, з площею охоплення ротора, яка менше або дорівнює 200 м² та максимальною висотою 25 м, що виробляють електроенергію з напругою нижче 1000 В змінного струму або 1500 В постійного струму.

Вітроенергетичні турбіни для домогосподарств зазвичай встановлюють поблизу будинків у житлових районах. Українське законодавство дозволяє встановлювати вітроенергетичні турбіни для домогосподарств потужністю до 50 кВт у приватних домогосподарствах. Для правильного розміщення вітроенергетичних турбін для домогосподарств важливо дотримуватися відповідної відстані до найближчих сусідніх домогосподарств. Вітроенергетичні турбіни малої потужності можуть створювати помітний шум через швидке обертання та високу робочу швидкість.

Коефіцієнт використання встановленої потужності (КВВП) вітроенергетичних турбін малої потужності сильно варіюється в залежності від місцевих умов. Вітроенергетичні турбіни часто розташовані близько до будівель і дерев, що зменшує річний виробіток енергії від вітроенергетичних турбін через турбулентність, спричинену будівлями та деревами. Питома вихідна потужність, як і для великих вітроенергетичних турбін, впливатиме на коефіцієнт потужності, як і відносно низька висота вісі. Вітроенергетичні турбіни для домогосподарств можуть використовувати вироблену електроенергію для внутрішнього споживання, на додаток до постачання електроенергії в загальну мережу.



Рисунок 18: Вітроенергетичні турбіни для домогосподарств ANTARIS потужністю 2,5 кВт

Критерії оцінки вітроенергетичних турбін для домогосподарств

Оцінка за критеріями	3.d. Вітроенергетичні турбіни для домогосподарств (<100 кВт)
Вплив зимового періоду	WW
Швидкість впровадження	QQQ
Стійкість	RRR
Вартість (LCOE, термін експлуатації 2 роки в зимовий період)	C
Загальна оцінка (1-3)	2.3

Таблиця 20: Вітроенергетика — матриця оцінювання критеріїв для вітроенергетичних турбін для домогосподарств

Вплив зими (виробництво в зимовий період)

Вітроенергетичні турбіни для домогосподарств зможуть забезпечувати електроенергією окремі домогосподарства та енергосистему в зимовий період. Виробництво залежить від погодних умов, згідно з проаналізованими даними по Україні 51% годин роботи на повному навантаженні припадає на холодний період (див. Рисунок 16), що свідчить про те, що вітроенергетичні турбіни підтримують відносно стабільний рівень виробництва

електроенергії протягом усього року.
Швидкість впровадження

За оцінками, від початкового етапу планування до введення в експлуатацію вітроенергетичної турбіни для домогосподарств в Україні може зайняти приблизно чотири-п'ять місяців.

Планування та будівництво вітроенергетичних турбін для домогосподарств в Україні передбачає відносно коротший і менш складний регуляторний процес у порівнянні з великими наземними установками. Очікується, що постачання компонентів буде найбільш трудомістким і займе приблизно три місяці.

Після прибуття на місце час технічних робіт з встановлення займає близько 1-2 місяців із залученням важкої техніки, як-от екскаватори та крани. Після закладання фундаменту необхідно зачекати 2-6 тижнів, поки бетонна основа затвердіє. Сам процес встановлення, включно з монтажем вежі, генератора, лопаті та панелі управління, займає до двох днів. На етапах встановлення та введення в експлуатацію потрібен кваліфікований персонал зі спеціалізованої компанії.

Стійкість

Вітроенергетична турбіна для домогосподарств може вважатися менш вірогідною мішенню для потенційних загроз, як-от російські удари, з огляду на її менший розмір. Подібно до дахових сонячних електростанцій, ці вітроенергетичні турбіни мають переваги з точки зору розташування та розподілу. Розміщені поблизу точок попиту, вони зменшують залежність від мережі, тим самим знижуючи ризики, пов'язані з потенційною втратою енергетичних

потужностей. Крім того, локалізоване виробництво електроенергії поблизу споживача зменшує потребу в передачі електроенергії на довгі відстані, що сприяє підвищенню енергетичної безпеки.

Нормована вартість електроенергії (LCOE), короткострокові та протягом усього терміну експлуатації

За два зимові періоди, з точки зору аварійних ситуацій, нормована вартість електроенергії для вітроенергетичних турбін для домогосподарств становить приблизно 2600 євро/МВт•год, що значно вище, ніж у великих наземних вітроенергетичних турбін, але співвимірно з даховими сонячними електростанціями для житлових будинків. З точки зору терміну експлуатації (20 років), LCOE становить близько 170 євро/МВт•год для вітроенергетичних турбін для домогосподарств, що вважається середнім показником порівняно з альтернативами, розглянутими в цьому каталозі технологій. Оцінка характеристик вітроенергетичних турбін для домогосподарств

Отже, вітроенергетичні турбіни для домогосподарств в Україні забезпечують стабільне виробництво електроенергії, мають переваги в розподілі та регуляторних процесах. Завдяки меншому розміру вони також можуть підвищити стійкість до потенційних загроз. Нормована вартість електроенергії за два зимові періоди становить близько 2800 євро/МВт•год, що більшість тричі перевищує вартість МВт•год більших наземних вітроенергетичних турбін, але є порівнянною з даховими сонячними електростанціями для житлових будинків. За весь термін експлуатації нормована вартість електроенергії, яку виробляють вітроенергетичні турбіни для домогосподарств, становить близько 180 євро/МВт•год.

Характеристики	3.d. Вітроенергетичні турбіни для домогосподарств (<100 кВт)
P1-Виробництво електроенергії в зимовий період	50%
P2-Нормована вартість електроенергії (LCOE) протягом короткого терміну експлуатації, виробництво взимку [євро/МВт•год]	2795
P3-Нормована вартість електроенергії (LCOE) протягом усього терміну експлуатації [євро/МВт•год]	177
P4-Розподілена генерація	0,1 МВт
P5-Регуляторні вимоги в процесі розробки проєкту	Швидко та легко
P6-Час постачання та наявність компонентів і матеріалів	Швидко та легко
P7-Вимоги до логістики та транспортної інфраструктури	Низькі
P8-Час технічних робіт зі встановлення (після отримання дозволу)	Швидко та легко
P9-Вимоги до кваліфікованого персоналу на етапі будівництва	Середні
P10-Здатність до балансування мережі	Середня
P11-Вимоги до інфраструктури електромережі	Легко
P12-Потреба у кваліфікованому персоналі для експлуатації та технічного обслуговування, а також у спеціальних запасних частинах	Низька
P13-Можливість маскування та укріття	Високий потенціал
P14-Ризик, пов'язаний з постачанням палива	Низький ризик

Таблиця 21: Вітроенергетика — матриця оцінювання параметрів для наземних вітроенергетичних турбін для домогосподарств (кВт). Одиниця LCOE — [євро/МВт•год]

P1: Виробництво електроенергії в зимовий період (W)

Згідно з проаналізованими даними по Україні, 51% годин роботи на повному навантаженні припадає на холодний період (див. Рисунок 16). Це вказує на те, що вітроенергетичні турбіни підтримують відносно стабільний рівень виробництва електроенергії, незалежно від сезону.

P2: Нормована вартість електроенергії (LCOE) протягом короткого терміну експлуатації, виробництво у зимовий період (C)

Нормована вартість виробництва електроенергії за два зимові періоди (перспектива надзвичайної ситуації) становить близько 2800 євро/ МВт•год для вітроенергетичної турбіни для домогосподарств. Це значно вище, ніж для більших наземних вітроенергетичних

турбін. Вартість знаходиться приблизно на тому ж рівні, що і для дахових сонячних електростанцій для житлових будинків.

P3: Нормована вартість електроенергії (LCOE) протягом усього терміну експлуатації (C)

Вітроенергетичні турбіни для домогосподарств демонструють середню LCOE близько 180 євро/МВт•год протягом терміну експлуатації, який за відсутності непередбачуваних подій становить щонайменше 20 років.

P4: Розподілена генерація (R)

Вітроенергетичні турбіни для домогосподарств мають такі ж переваги щодо розташування та розподілу, як і дахові сонячні електростанції. Установки, розташовані поблизу місця споживання, пропонують перевагу зменшення залежності

від мережі передачі, тим самим зменшуючи ризики, пов'язані з потенційною втратою виробничих потужностей. Крім того, локальне виробництво електроенергії на майданчику кінцевого споживача зменшує необхідність у передачі електроенергії на довгі відстані, а отже, зміцнює енергетичну безпеку.

P5: Регуляторні вимоги в процесі розробки проекту (Q)

Варто зазначити, що регуляторний процес для вітроенергетичних турбін для домогосподарств часто коротший і менш складний, ніж для великих наземних вітроенергетичних турбін. В Україні також легше отримати дозвіл на встановлення вітроенергетичних турбін для домогосподарств, що були у використанні, оскільки для них не потрібно проходити такий же тривалий процес розробки проекту, як для потужніших вітроенергетичних турбін.

P6: Час постачання / доступність компонентів і матеріалів (Q)

За оцінками, час постачання вітроенергетичні турбіни для домогосподарств в Україні становить близько трьох місяців. До війни сталь для веж можна було виробляти в Маріуполі, але це більше неможливо, і тому ці компоненти доводиться постачати з інших країн, наприклад, з Туреччини, Польщі тощо.

P7: Вимоги до логістики та транспортної інфраструктури (Q)

Важливо, щоб до місця встановлення був забезпечений хороший доступ для вантажівки, тобто широка дорога з достатньою несучою здатністю.

P8: Час технічних робіт зі встановлення (мінімальний час після отримання дозволу) (Q)

Час технічних робіт з встановлення вітроенергетичних турбін для домогосподарств становить приблизно 1-2 місяці. Процес встановлення вітроенергетичних турбін може вимагати використання важкої техніки, як-от екскаватор і кран, залежно від розміру та типу установки. Крім того, зазвичай необхідно зачекати 2-6 тижнів після закладання фундаменту, щоб дати бетонній основі затвердіти. Вітроенергетичну турбіну встановлюють після того, як затвердіє фундамент. Вежу, генератор, лопаті та панель управління доставляють і монтують, після чого вітрову електростанцію вводять в експлуатацію. Роботи зі встановлення можуть зайняти до двох днів.

P9: Вимоги до кваліфікованого персоналу на етапі будівництва (Q)

Встановлення вітроенергетичної турбіни для домогосподарств потребує залучення спеціалізованої компанії для виконання робіт зі встановлення та введення в експлуатацію.

P10: Здатність до балансування енергосистеми (попиту) (R)

Вітроенергетичні турбіни для домогосподарств, так само як і потужніші турбіни, можуть використовуватися для зниження рівня регулювання, коли вітроенергетичні турбіни вимикаються і в електромережі спостерігається надлишок електроенергії та виникає така потреба. Якщо погодні умови дозволяють виробляти електроенергію, вітроенергетичні турбіни зі стану зниження рівня регулювання можна відносно легко перевести в стан підвищення рівня регулювання.

Вітроенергетичні турбіни також можуть сприяти безпеці енергопостачання під час масових відключень електроенергії, коли виходять з ладу критично важливі об'єкти передавальної інфраструктури та/або електростанції.

P11: Вимоги до інфраструктури електромереж (R)

Вважається, що електромережа достатньо надійна для інтеграції обсягів енергії, що постачається вітроенергетичними турбінами для домогосподарств.

P12: Потреба у кваліфікованому персоналі для експлуатації та технічного обслуговування, а також у спеціальних запасних частинах (R)

Регулярне обслуговування, ремонт і технічне обслуговування всіх вітроенергетичних турбін необхідні для запобігання будь-яких потенційних загроз безпеці та благополуччю людей і тварин. Обслуговування вітроенергетичних турбін має проводитися уповноваженим або сертифікованим постачальником послуг.

P13: Можливість маскуванню та укриття (R)



Неможливо замаскувати або укрити окремі наземні вітроенергетичні турбіни через їхні розміри, але можна захистити критичні компоненти, як-от трансформаторні підстанції, огородивши їх парканами та/або розмістивши під землею в бункерах або захистивши бетонними накриттями. Вітроенергетична турбіна для домогосподарств може вважатися менш вірогідною мішенню для потенційних загроз, як-от російські удари, з огляду на її менший розмір.

P14: Ризик, пов'язаний з постачанням палива (R)

Не актуальний ризик для вітроенергетичних турбін.



Акумуляторні батареї

Потужність у зимовий період	 	Загальна оцінка:   
Швидкість впровадження	 	
Технологічна стійкість	 	
Нормована вартість електроенергії		

АКУМУЛЯТОРНІ БАТАРЕЇ

Рейтинг на першій сторінці показує оцінку технології, яка отримала найвищий загальний бал серед підтехнологій, зазначених у розділі. Чим більше піктограм, тим кращі

показники¹⁴. Для літій-іонних акумуляторних батарей найкращий результат мають акумуляторні батареї для громад. Оцінки для всіх підтехнологій наведені в таблиці нижче.

Оцінка за критеріями	5.a. Акумуляторна батарея, літій-іонна, мережевого рівня	5.b. Акумуляторна батарея, літій-іонна, для громад
Вплив зимового періоду	WW	WW
Швидкість впровадження	QQ	QQQ
Стійкість	RR	RR
Вартість (LCOE, термін експлуатації 2 роки в зимовий період)	C	CC
Загальна оцінка (1-3)	1,8	2,3

У цьому розділі розглядаються літій-іонні акумуляторні батареї (LIB) з двома різними потужностями:

- Мережеві акумуляторні батареї (потужність приблизно від 1 до 150 МВт, накопичення енергії від 2 до 500 МВт•год)
- Акумуляторні батареї для громад (потужність приблизно 40-500 кВт, зберігання енергії 40-600 кВт•год)

Зі збільшенням частки відновлюваної енергії в енергосистемах зростає роль накопичення електроенергії. Акумуляторні

батарей також можуть бути доречними як сховища розподіленої електроенергії в місцях, особливо там, де немає доступу до наявних гідроакumuлюючих електростанцій. Попит може бути покритий за рахунок гідроакumuлюючих станцій¹⁵, які вже доступні в Україні.

Крім того, за останні роки вартість акумуляторних батарей помітно знизилася. Особливо це стосується певних типів літій-іонних акумуляторних батарей. Літій-іонні акумуляторні батареї (LIB) повністю

¹⁴ Детальне пояснення див. у Таблиці 2: Огляд характеристик, які впливають на критерії, і візуалізація рейтингів, чим більше піктограм, тим кращий рейтинг

¹⁵ Наприклад, ГЕС з греблями, у тому числі для перекачування води з нижчих водосховищ у вищі

переважали на ринку рішень для мережевого зберігання енергії протягом останніх 5-8 років і, схоже, залишаться такими в найближчий період. З цієї причини цей розділ присвячено літій-іонним акумуляторним батареям.

Стислий опис технології

Типова літій-іонна акумуляторна батарея має графітовий анод, катод з металевого оксиду літію та електроліт, який може бути рідким або (напів)твердим. Літій-іонну акумуляторну батарею зазвичай постачають у вигляді пакетів циліндричних елементів, і її питома енергія може досягати до 300 Вт/кг. Площа для установки акумуляторної батареї становила близько 5 м²/МВт·год.

Потенційне застосування акумуляторних батарей в електроенергетичних системах дуже широке — від підтримки слабких розподільчих мереж, наприклад, за

допомогою регулювання частоти та запуску з повністю знеструмленого стану, до надання оптових енергетичних послуг або автономних рішень.

Щоб зрозуміти, які послуги акумуляторні батареї можуть надавати енергосистемі, Rocky Mountain Institute провів мета дослідження [2] чинних оцінок вартості для енергосистеми та споживачів, проаналізувавши шість академічних та промислових джерел. Результати дослідження показали, що накопичувачі енергії можуть надавати тринадцять загальних послуг електроенергетичній системі (див. Рисунок 19). Ці послуги та цінність, яку вони створюють, зазвичай надходять до однієї з трьох груп зацікавлених сторін: споживачів, енергетичних чи промислових компаній або незалежних системних операторів/ регіональних організацій з передачі електроенергії (ISO/RTO).

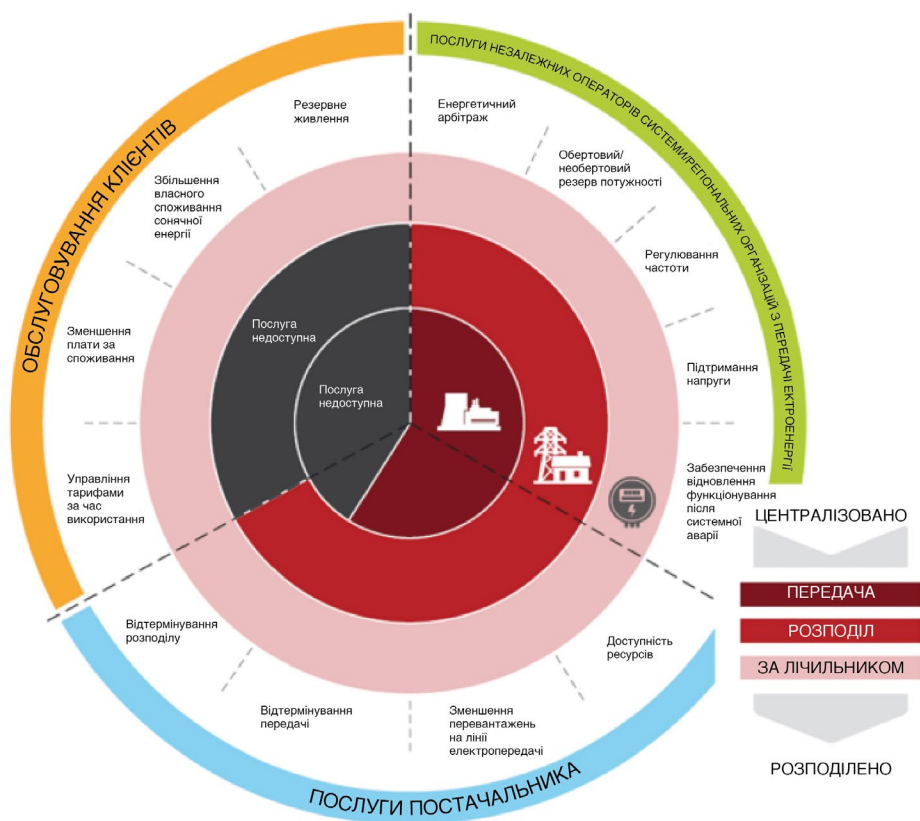


Рисунок 19: Послуги постачальника, які можна надавати за допомогою літій-іонних акумуляторних батарей різним групам зацікавлених сторін [2]

У цьому описі технологічного рішення основна увага приділяється акумуляторним батареям для надання оптових енергетичних послуг і послуг з управління енергоспоживанням споживачів, тобто перенесення часу на кілька годин (арбітраж) — наприклад, перенесення фотоелектричної (сонячної) генерації з денних на нічні години — забезпечення пікової потужності, управління попитом, надійністю та якістю електроенергії.

Щоб повною мірою скористатися перевагами накопичення електроенергії в мережі за допомогою літій-іонних акумуляторних батарей, рекомендується впроваджувати стратегії диспетчеризації з частими інтервалами, наприклад, погодинне або 15-хвилинне планування, щоб отримати повну вигоду від акумуляторних батарей.

Мережеві акумуляторні батареї

Стислий опис технології

Мережеві акумуляторні батареї — це тип технологічного рішення для накопичення енергії, що дозволяє накопичувати великі

обсяги електроенергії для подальшого використання. Вони можуть допомогти збалансувати попит і пропозицію електроенергії, особливо в умовах високого рівня впровадження відновлюваних джерел енергії, як-от вітру та сонця, які мінливі та непостійні. Мережеві акумуляторні батареї також можуть забезпечити інші переваги для енергосистеми, як-от регулювання частоти, підтримка напруги, згладження пікових навантажень і можливість забезпечення відновлення функціонування після системної аварії.

Схематичний огляд системи акумуляторних батарей та її підключення до мережі наведено на Рисунку 20. Система терморегулювання (TMS) контролює температуру в акумуляторних батареях, щоб запобігти перегріванню та термічному зворотньому зв'язку. Система управління енергоспоживанням регулює обмін енергією з мережею. Силова електроніка (інвертори) перетворює постійний струм на змінний перед подачею електроенергії в мережу. У деяких випадках (високовольтні мережі) для подачі електроенергії в мережу може знадобитися трансформатор.

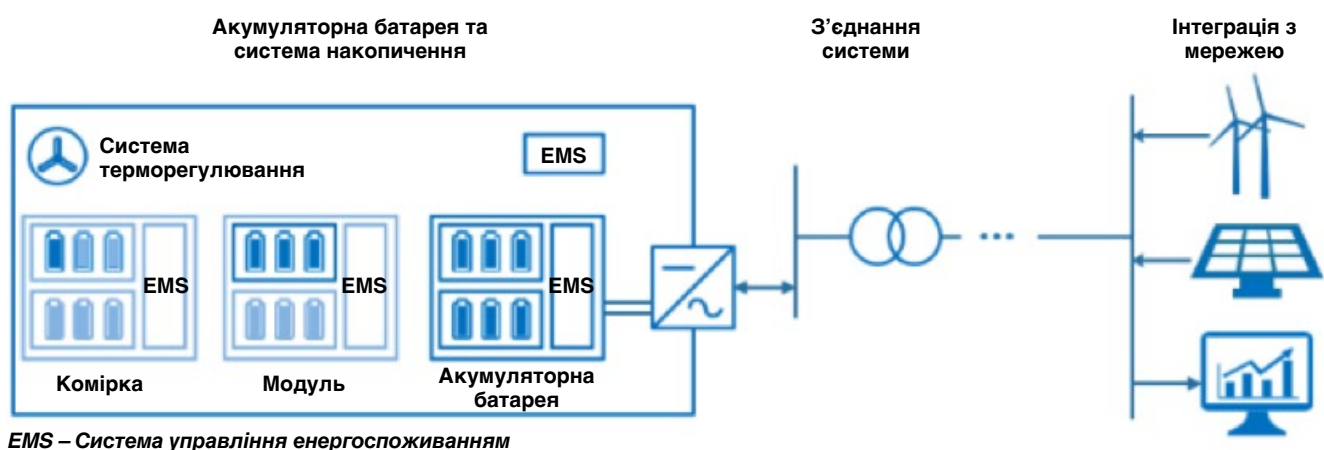


Рисунок 20: Схематичне зображення мережевої системи накопичення енергії

Швидкість заряджання та розряджання літій-іонної акумуляторної батареї часто вимірюють за допомогою C , тобто максимальної ємності, яку може видати акумуляторна батарея

стосовно її енергоємності. Наприклад, якщо акумуляторну батарею можна повністю розрядити за 20 хвилин, 1 годину або 2 години, то він має швидкість розряду $3C$,

C або C/2 відповідно. Експлуатація при вищих значеннях максимальної ємності, ніж зазначено на акумуляторній батареї, можлива, але це призведе до швидшого руйнування матеріалів елементів [3]. Літій-іонна акумуляторна батарея не зазнає впливу ефекту пам'яті (ефект поступової втрати максимальної енергоємності акумуляторних батарей, якщо їх багаторазово перезаряджати після часткового розряду) і може використовуватися для змінної глибини розряду в коротких циклах без втрати ємності [4]. Співвідношення між ємністю акумуляторної батареї (в МВт·год) і потужністю завантаження/розвантаження (в МВт) може бути налаштоване відповідно до потреб системи та для отримання кращого економічного обґрунтування.

Термін експлуатації акумуляторних батарей вимірюється загальною кількістю циклів, які вони пройшли за весь термін експлуатації. На сьогодні літій-іонна акумуляторна батарея зазвичай витримує близько 10000 повних циклів заряджання/розряджання. Оцінка критеріїв літій-іонної акумуляторної батареї мережевого рівня

Оцінка за критеріями	5.а. Акумуляторна батарея, літій-іонна, мережевого рівня
Вплив зимового періоду	WW
Швидкість впровадження	QQ
Стійкість	RR
Вартість (LCOE, термін експлуатації 2 роки в зимовий період)	C
Загальна оцінка (1-3)	1,8

Таблиця 22: літій-іонна акумуляторна батарея мережевого рівня — матриця оцінювання критеріїв

Вплив зими (виробництво в зимовий період) Літій-іонні акумуляторні батареї придатні для накопичення електроенергії в усі пори року. У системах з переривчастими відновлюваними джерелами енергії (VRE) літій-іонна акумуляторна батарея — це ефективне технологічне рішення для

забезпечення стабільності, оскільки вона може забезпечити повну потужність за лічені секунди. Однак ефективність акумуляторних батарей знижується за низьких температур, особливо за температури нижче 0°C. Акумуляторні батареї можуть мати проблеми з початком заряджання або розряджання за низьких температур. Крім того, літій-іонні акумуляторні батареї не придатні для накопичення протягом тривалого часу, наприклад, протягом декількох тижнів, а отже, не підходять для сезонної зміни виробництва енергії через відносно високу швидкість саморозряджання і високу вартість накопичувача.

Швидкість впровадження

На швидкість реалізації проекту з впровадження акумуляторних батарей в Україні впливає кілька факторів, як-от час постачання, час технічних робіт з встановлення, логістика та рівень кваліфікації персоналу. Час постачання акумуляторних батарей становить щонайменше шість місяців. Для дуже великих систем (100 МВт) термін постачання може збільшитися до 1-2 років. Логістика транспортування акумуляторних батарей в Україну може бути складною, оскільки постачальники здійснюють постачання лише до Польщі або Румунії, а покупець має спланувати перевезення звідти в Україну. Однак акумуляторні батареї розраховані на транспортування — вони важкі, але розраховані на перевезення в контейнерах. Час технічних робіт із встановлення акумуляторних батарей в Україні становить близько 2-3 тижнів, залежно від складності доступу до електричної системи. Час встановлення також залежить від функцій акумуляторної батареї, наприклад, від того, чи має вона бути здатною перезапустити систему у випадку системної аварії. Впровадження акумуляторних батарей в Україні вимагає наявності інженера-електрика.

У цілому, це призводить до того, що для

систем потужністю близько 20 МВт період реалізації становить щонайменше 7 місяців. Очікується, що більші системи матимуть довший час постачання, що збільшує час реалізації.

Стійкість

Використання систем акумуляторних батарей ефективно для забезпечення стабільності електропостачання. У ситуаціях, коли електромережа або виробництво електроенергії пошкоджені, акумуляторні батареї можуть ненадовго виконувати функцію резерву, оскільки вони можуть забезпечити повну потужність протягом декількох секунд. Однак в умовах війни акумуляторні батареї, як і інша енергетична інфраструктура, вразливі. На відміну від вітроенергетичних установок, великі акумуляторні батареї є легшими цілями, оскільки це один блок відносно великого розміру.

Однак компактність акумуляторних батарей також означає, що вони потенційно можуть бути замасковані або захищені декількома шарами бетону.

Нормована вартість електроенергії (LCOE), короткострокові та протягом усього терміну експлуатації

За прогнозами, протягом двох років, з урахуванням сценарію надзвичайної ситуації, нормована вартість електроенергії (LCOE) для акумуляторних батарей становитиме 2025 євро/МВт•год, що порівняно вище, ніж у деяких інших технологіях, але нижче, ніж, наприклад, у сонячних електростанцій

З точки зору терміну експлуатації, LCOE для акумуляторних батарей у 264 євро/МВт•год вважається помітно високою, якщо порівнювати її з низкою альтернатив, розглянутих у цьому каталозі технологій. Хоча вартість акумуляторних батарей значно знизилася за останні роки завдяки збільшенню обсягів виробництва електромобілів, перебої

на ринку та конкуренція з боку виробників електромобілів призвели до зростання цін на ключові мінерали, що використовуються у виробництві акумуляторних батарей, зокрема, на літій. На сьогодні стає очевидним, що подальше зниження витрат залежить не лише від технологічних інновацій, а й від цін на мінерали для акумуляторних батарей.

Акумуляторні батареї для громад

Стислий опис технології

Система накопичення енергії з використанням акумуляторних батарей можуть мати різноманітне застосування й, відповідно, можуть бути встановлені в різних обсягах і на різних рівнях напруги (див. Рисунок 19). Архітектура системи накопичення енергії з використанням акумуляторних батарей у кінцевому підсумку спільна для всіх типів використання, з незначними відмінностями залежно від конкретного застосування. В автономних і мікромережах (наприклад, акумуляторні батареї для громад) витрати на підключення до мережі зменшуються повністю або частково.

Акумуляторна батарея для громад — це спільне рішення для районного рівня, яке дозволяє як мешканцям цього району, так і ширшій громаді отримати доступ до численних переваг, які можуть надати акумуляторні батареї.

Промислові підприємства та домогосподарства можуть встановлювати акумуляторні батареї з лічильником, щоб змінити власну криву навантаження та інтегрувати розподілену генерацію, наприклад, дахові сонячні електростанції або промислові сонячні електростанції. Основні переваги пов'язані з економією роздрібних тарифів, зниженням пікових тарифів, надійністю та якістю постачання [5]. Акумуляторні батареї можуть збільшити власне споживання електроенергії та підтримати місцеву мережу, уникаючи перевантажень і відстрочивши нові інвестиції

та підсилення. У випадку двонаправлених потоків до/з мережі (виробник і споживач в одній особі), акумуляторні батареї можуть підвищити якість електроенергії розподіленої генерації та сприяти стабільності напруги. У розвинених ринкових умовах ці функції можуть не тільки відображати вимоги, встановлені законодавством, але й реалізовуватися в оплачуваних системних послугах.

Оцінка за критеріями	5.b. Акумуляторна батарея, літій-іонна, для громад
Вплив зимового періоду	WW
Швидкість впровадження	QQQ
Стійкість	RR
Вартість (LCOE, термін експлуатації 2 роки в зимовий період)	CC
Загальна оцінка (1-3)	2,3

Таблиця 23: Оцінка критеріїв для літій-іонної акумуляторної батареї для громад

Вплив зими (виробництво в зимовий період)

Акумуляторні батареї придатні для накопичення електроенергії в усі пори року. Однак ефективність акумуляторних батарей знижується за низьких температур, особливо за температури нижче 0°C. Акумуляторні батареї можуть мати проблеми з початком заряджання або розряджання за низьких температур. Крім того, літій-іонні акумуляторні батареї не придатні для накопичення протягом тривалого часу, наприклад, протягом декількох тижнів, а отже, не підходять для сезонної зміни виробництва енергії через відносно високу швидкість саморозряджання і високу вартість накопичувача.

Швидкість впровадження

Акумуляторні батареї для громад та інші менші системи акумуляторних батарей демонструють більшу гнучкість порівняно з великими акумуляторними батареями. Однією з помітних переваг акумуляторних батарей для громад є короткий час

постачання порівняно з великими акумуляторними батареями. Модульна конструкція та менші розміри сприяють більш раціональному виробничому процесу, що дозволяє швидше виробляти та відправляти продукцію.

Стійкість

Використання систем акумуляторних батарей ефективно для забезпечення стабільності електропостачання. У ситуаціях, коли електромережа або виробництво електроенергії пошкоджені, акумуляторні батареї можуть ненадовго виконувати функцію резерву, оскільки вони можуть забезпечити повну потужність протягом декількох секунд. В умовах війни акумуляторні батареї, як і інша енергетична інфраструктура, стають вразливими. На відміну від вітроенергетичних установок, акумуляторні батареї простіша мішень, оскільки це один блок відносно великого розміру.

Однак компактність акумуляторних батарей також означає, що вони потенційно можуть бути замасковані або захищені декількома шарами бетону.

Витрати на виробництво (LCOE), короткострокові та протягом усього терміну експлуатації

Протягом двох років, з урахуванням сценарію надзвичайної ситуації, вартість енергії від акумуляторних батарей для громадських будівель оцінюється в 1899 євро/МВт•год. Це вище, ніж у багатьох інших технологій, але дещо нижче, ніж у мережевих акумуляторних батарей. Якщо брати до уваги загальний термін експлуатації, то вартість акумуляторних батарей для громад становить 437 євро/МВт•год. Це вважається високою ціною порівняно з іншими варіантами, які ми розглянули в цьому каталозі технологій.

Оцінка параметрів для акумуляторних батарей

Характеристики	5.a. Акумуляторна батарея, літій-іонна, мережевого рівня	5.b. Акумуляторна батарея, літій-іонна, для громад
P1-Виробництво електроенергії в зимовий період	50%	50%
P2-Нормована вартість електроенергії (LCOE) протягом короткого терміну експлуатації, виробництво взимку [євро/МВт•год]	2025	1899
P3-Нормована вартість електроенергії (LCOE) протягом усього терміну експлуатації [євро/МВт•год]	264	439
P4-Розподілена генерація	5-150 МВт	40-200 кВт
P5-Регуляторні вимоги в процесі розробки проєкту	Середні	Середні
P6-Час постачання та наявність компонентів і матеріалів	Середній	Середній
P7-Вимоги до логістики та транспортної інфраструктури	Низькі	Низькі
P8-Час технічних робіт зі встановлення (після отримання дозволу)	Швидко та легко	Швидко та легко
P9-Вимоги до кваліфікованого персоналу на етапі будівництва	Низькі	Низькі
P10-Здатність до балансування мережі	Висока	Висока
P11-Вимоги до інфраструктури електромережі	Легко	Легко
P12-Потреба у кваліфікованому персоналі для експлуатації та технічного обслуговування, а також у спеціальних запасних частинах	Низька	Низька
P13-Можливість маскуванню та укриття	Середній потенціал	Середній потенціал
P14-Ризик, пов'язаний з постачанням палива	Середній ризик	Середній ризик

Таблиця 24: Матриця оцінювання характеристик для акумуляторних батарей. Одиниця LCOE — [євро/МВт•год]

P1: Виробництво електроенергії в зимовий період (W)

Акумуляторні батареї, хоч і придатні для накопичення електроенергії впродовж усього року, але за низьких температур, особливо нижче 0 °C, їхня ефективність знижується, що впливає на їхню здатність виробляти електроенергію в зимовий період. Акумуляторні батареї можуть зіткнутися з проблемами під час заряджання або розряджання за низьких температур. Крім того, літій-іонні акумуляторні батареї не придатні для накопичення протягом тривалого часу, наприклад, протягом декількох тижнів, а отже, не підходять для сезонної зміни виробництва енергії через

відносно високу швидкість саморозряджання і високу вартість накопичувача.

P2: Нормована вартість електроенергії (LCOE) протягом короткого терміну експлуатації (C)

Літій-іонні акумуляторні батареї відносно дорогі порівняно з деякими технологіями для виробництва електроенергії, що розглядаються в цьому каталозі, наприклад, сонячними електростанціями. Вартість акумуляторних батарей має тенденцію до зниження протягом останніх років завдяки значним інвестиціям у розробку ефективних акумуляторних батарей для електромобілів.

P3: Нормована вартість електроенергії (LCOE) протягом усього терміну експлуатації (C)

Протягом усього терміну експлуатації вартість акумуляторних батарей порівняно висока, якщо порівнювати з альтернативними технологіями, розглянутими в цьому каталозі технологій.

P4: Розподілена генерація (R)

Акумуляторні батареї сприяють розподіленій генерації, пропонуючи можливості локального накопичення та розподілу електроенергії.

P5: Регуляторні вимоги в процесі розробки проєкту (Q)

Регуляторні аспекти в процесі розробки проєктів акумуляторних батарей мають враховувати оптимальну інтеграцію в енергетичне середовище. Наразі в Україні відсутнє законодавство щодо підключення акумуляторних батарей мережевого рівня.

P6: Час постачання / доступність компонентів і матеріалів (Q)

Терміни постачання мережевих акумуляторних батарей варіюються від щонайменше шести місяців до 1-2 років для дуже великих систем, що впливає на швидкість впровадження. Терміни постачання акумуляторних батарей для громад, як правило, коротші.

P7: Вимоги до логістики та транспортної інфраструктури (Q)

Завдяки контейнерній конструкції акумуляторних батарей їх можна транспортувати в Україну вантажними автомобілями, що спрощує логістику.

P8: Час технічних робіт зі встановлення (мінімальний час після отримання дозволу) (Q)

Час технічних робіт з встановлення акумуляторних батарей в Україні становить приблизно 2-3 тижні, залежно від таких факторів, як доступ до електромережі та специфічні функціональні можливості.

P9: Вимоги до кваліфікованого персоналу на етапі будівництва (Q)

Впровадження акумуляторних батарей на етапі будівництва в Україні потребує кваліфікованого персоналу, зокрема, інженерів-електриків.

P10: Здатність до балансування енергосистеми (попит) (R)

Акумуляторні батареї сприяють здатності балансування енергосистеми та попиту в мережі, підвищуючи стабільність електропостачання.

P11: Вимоги до інфраструктури електромереж (R)

Використання акумуляторних батарей вимагає ретельного врахування вимог до інфраструктури електромережі для забезпечення сумісності та оптимальної продуктивності.

P12: Потреба у кваліфікованому персоналі для експлуатації та технічного обслуговування, а також у спеціальних запасних частинах (R)

Експлуатація та технічне обслуговування акумуляторних батарей в Україні вимагає кваліфікованого персоналу, що впливає на довгострокову стійкість. Крім того, потреба в спеціальних запасних частинах ускладнює процес технічного обслуговування.

P13: Можливість маскуванню та укриття (R)

Акумуляторні батареї потенційно можна замаскувати або укрити. Акумуляторні батареї для громад, оскільки вони менші

за розміром, можуть вважатися менш вірогідними цілями для потенційних загроз.

R14: Ризик, пов'язаний з постачанням палива (R)

На відміну від деяких інших джерел енергії, акумуляторні батареї не схильні до ризиків, пов'язаних з постачанням палива, що сприяє їх надійності.

Паспортні дані наведені у Додатку F.



Біогаз

БІОГАЗОВА УСТАНОВКА

Оцінка окремих технологій для біогазових установок не проводилася.

Біогазова установка включена лише як технологія, яка дозволяє виробляти паливо для газового двигуна, що працює на біогазі, який постачається виключно з біогазової установки нового будівництва. У цьому розділі наведено лише короткий опис технології біогазової установки. Оцінка біогазової електростанції з газовим двигуном, наведена у відповідному розділі.

Стислий опис технології

Біогаз, вироблений шляхом анаеробного зброджування, — це суміш кількох газів. Найважливішою складовою біогазу є метан, але також значну частину складає CO₂. Калорійність біогазу становить 23,3 – 35,9 МДж/м³, залежно від вмісту метану. Об'ємна частка метану в біогазі коливається від 50 до 72% в залежності від типу субстрату та його засвоєваних речовин, як-от вуглеводів, жирів і білків. Якщо матеріал складається переважно з вуглеводів, виробництво метану низьке. Однак, якщо вміст жирів високий, виробництво метану навпаки високе. Для роботи електростанцій або ТЕЦ на біогазі

необхідна мінімальна концентрація метану від 40 до 45%. Друга основна складова біогазу — вуглекислий газ. Його частка в біогазі сягає від 25 до 50% від об'єму. Інші гази, присутні в біогазі, — сірководень, азот, водень, пара та оксид вуглецю [6], [7]

Анаеробне зброджування (АЗ) — це складний мікробіологічний процес за відсутності кисню, який використовується для перетворення органічної речовини субстрату на біогаз. Популяція бактерій, які можуть виробляти метан, не може вижити за наявності кисню. Мікробіологічний процес анаеробного зброджування дуже чутливий до змін умов навколишнього середовища, як-от температура, кислотність, рівень поживних речовин тощо. Температурний діапазон, який забезпечить кращу економічну ефективність роботи біогазових електростанцій, становить близько 35 – 38°C (мезофільні) або 55 – 58°C (термофільні). Мезофільні мають час гідралічного утримання (HRT) від 25 до 35 днів, а термофільні – від 15 до 25 днів [6]

Приклади очікуваної сировини для виробництва біогазу в Україні: гній, ятрофа, рицина, кротон та споріднене

насіння. Біогазові установки можуть також використовуватися для перероблення твердих побутових відходів. Частина потенціалу біомаси може бути перетворена на біогаз.

Біогаз з біореактора транспортується до системи очищення газу для видалення сірки та вологи перед тим, як потрапити в газовий двигун для виробництва електроенергії. Надлишкове тепло від виробництва електроенергії за допомогою двигунів внутрішнього згорання

можна використовувати для опалення приміщень, підігріву води, технологічної пари для покриття парових навантажень промислових споживачів, сушіння продукції або майже для будь-яких інших потреб у тепловій енергії. Ефективність біогазової електростанції становить близько 35%, якщо вона використовується лише для виробництва електроенергії. Ефективність може зрости до 80%, якщо установка працює в режимі комбінованого виробництва тепла та електроенергії (ТЕЦ).

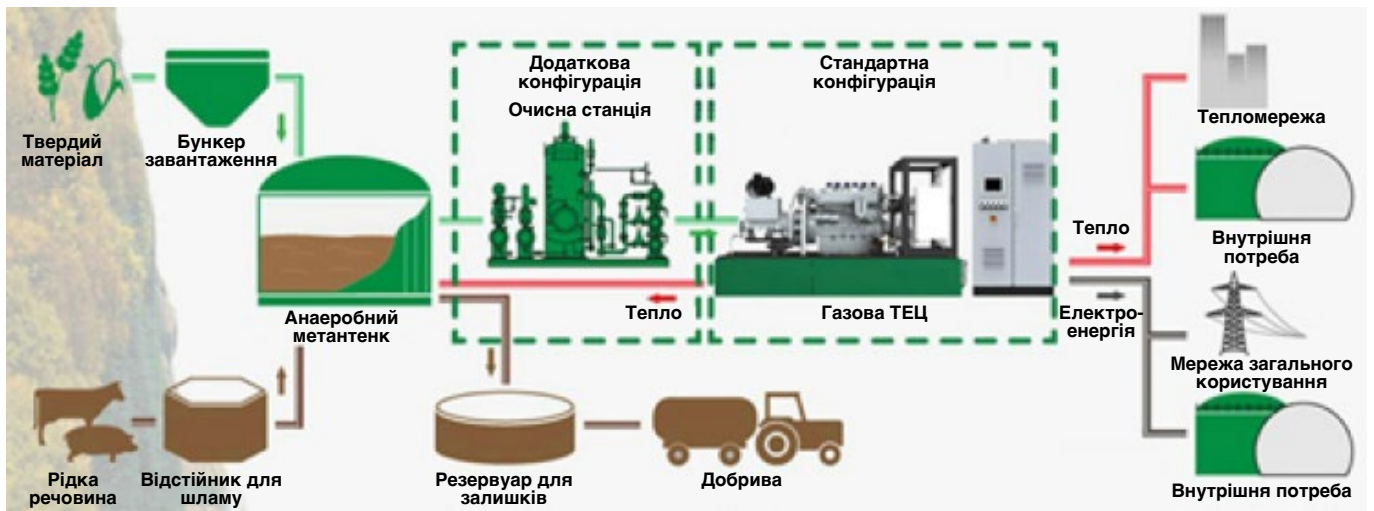


Рисунок 21: Принципова схема біогазової ТЕЦ [8]



Вугільні електростанції, продовження терміну експлуатації

Потужність у зимовий період		Загальна оцінка: 
Швидкість впровадження		
Технологічна стійкість		
Нормована вартість електроенергії		

ВУГІЛЬНІ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ, РЕМОНТ І ПРОДОВЖЕННЯ ТЕРМІНУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ (ЗАМІНА ОБЛАДНАННЯ)

Рейтинг на першій сторінці показує оцінку технології, яка отримала найвищий загальний бал серед підтехнологій, зазначених у розділі. Чим більше піктограм,

тим кращі показники¹⁶. Дві підтехнології отримують однакову кількість балів. Оцінки для всіх підтехнологій наведені в Таблиці 25.

Оцінка за критеріями	4. Модернізація вугільних електростанцій	4. Ремонт вугільних електростанцій
Вплив зимового періоду	WWW	WWW
Швидкість впровадження	QQ	QQ
Стійкість	R	R
Вартість (LCOE, термін експлуатації 2 роки в зимовий період)	CCC	CCC
Загальна оцінка (1-3)	2.3	2.3

Таблиця 25: Вугільна енергетика — загальна матриця оцінювання критеріїв

У цьому розділі розглядається можливість продовження терміну експлуатації вугільних електростанцій, а також надається розуміння частки витрат на кожну категорію компонентів, з яких складається вугільна електростанція.

електростанцій в енергосистемі України становила 18,59 ГВт. Того року виробництво електроенергії на вугільних електростанціях склало 43,51 ТВт•год, що становить 29% від загального виробництва електроенергії в Україні.

Згідно з даними платформи прозорості ENTSO-E, у 2021 році потужність вугільних

Частка витрат вказана, оскільки станом на 2021 рік значна частина енергогенеруючих

¹⁶ Детальне пояснення див. у Таблиці 2: Огляд характеристик, які впливають на критерії, і візуалізація рейтингів, чим більше піктограм, тим кращий рейтинг

потужностей в Україні складалася з вугільних електростанцій, і деякі з них можуть потребувати не повного продовження терміну експлуатації, а заміни окремих компонентів. Заміна компонентів необхідна, оскільки енергетична інфраструктура України перебуває під постійною атакою з боку Росії, а це означає, що частина вугільних електростанцій або вже зруйнована, або буде повністю чи частково зруйнована.

Стислий опис технології

Вугільна електростанція працює, отримуючи партії вугілля залізницею, баржами та/або кораблями. Зберігається вугілля на вугільному складі. Після цього вугілля зазвичай подрібнюють на порошок для ефективного спалювання та подають у камеру згоряння котла, де вода нагрівається до надзвичайно високих температур, перетворюючи її на пару під високим тиском. На деяких вугільних електростанціях вугілля подають безпосередньо в камеру згоряння без подрібнення. Пара проходить через турбіну, яка приводить у рух приводний вал, з'єднаний з генератором, що виробляє електроенергію з кожним обертом магніту всередині генератора. Пара подається до конденсатора з теплообмінником, який перетворює її назад у гарячу воду, яка знову подається в котел. Завдяки цьому нема потреби у великій зміні температури води, щоб вона перетворилася на пару. Теплообмінник передає теплову енергію воді в мережі централізованого тепlopостачання або холодній місцевій воді, яка знову виводиться в навколишнє середовище. Коли вода проходить через теплообмінник, вона не поглинає жодних забруднюючих речовин, що утворюються в процесі спалювання, а лише теплову енергію.

Коли вугільну електростанцію експлуатують протягом тривалого часу (наприклад, 25

років або більше), надійність її компонентів і систем, швидше за все, знижується, що призводить до зниження експлуатаційної готовності та/або збільшення витрат на експлуатацію та технічне обслуговування. Отже, з урахуванням досвіду, зазвичай необхідно та вигідно виконати більший комплекс робіт, який передбачає ремонт, відновлення та заміну окремих компонентів і систем залежно від їхнього фактичного стану. Часто також може знадобитися поліпшення екологічних показників, наприклад, шляхом підвищення ефективності очищення димових газів. «Продовження терміну експлуатації» (ПТЕ) здійснюється з метою відновлення станції до стану, близького до початкового, з точки зору доступності, ефективності та витрат на експлуатацію та технічне обслуговування. Точний обсяг і масштаби такої кампанії мають бути адаптовані до конкретної станції та залежати від її конструкції, попереднього досвіду експлуатації, раніше проведених великих ремонтних робіт тощо. Також враховується очікувана/бажана майбутня експлуатація станції. Отже, продовжувати термін експлуатації електростанції чи ні — це не просте рішення, воно включає складні економічні та технічні фактори.

Може бути зручно виконати всі необхідні роботи за одну кампанію, щоб скоротити загальний час простою. У цьому випадку передбачається, що всі роботи виконують за одну кампанію. Очікується, що оригінальна станція відповідає екологічному законодавству на момент продовження терміну експлуатації. Тому витрати на приведення її у відповідність до вимог до початку продовження терміну експлуатації не враховуються. Описане тут продовження терміну експлуатації не передбачає конкретних заходів для підвищення ефективності, стандартів рівня викидів або можливостей регулювання плану.

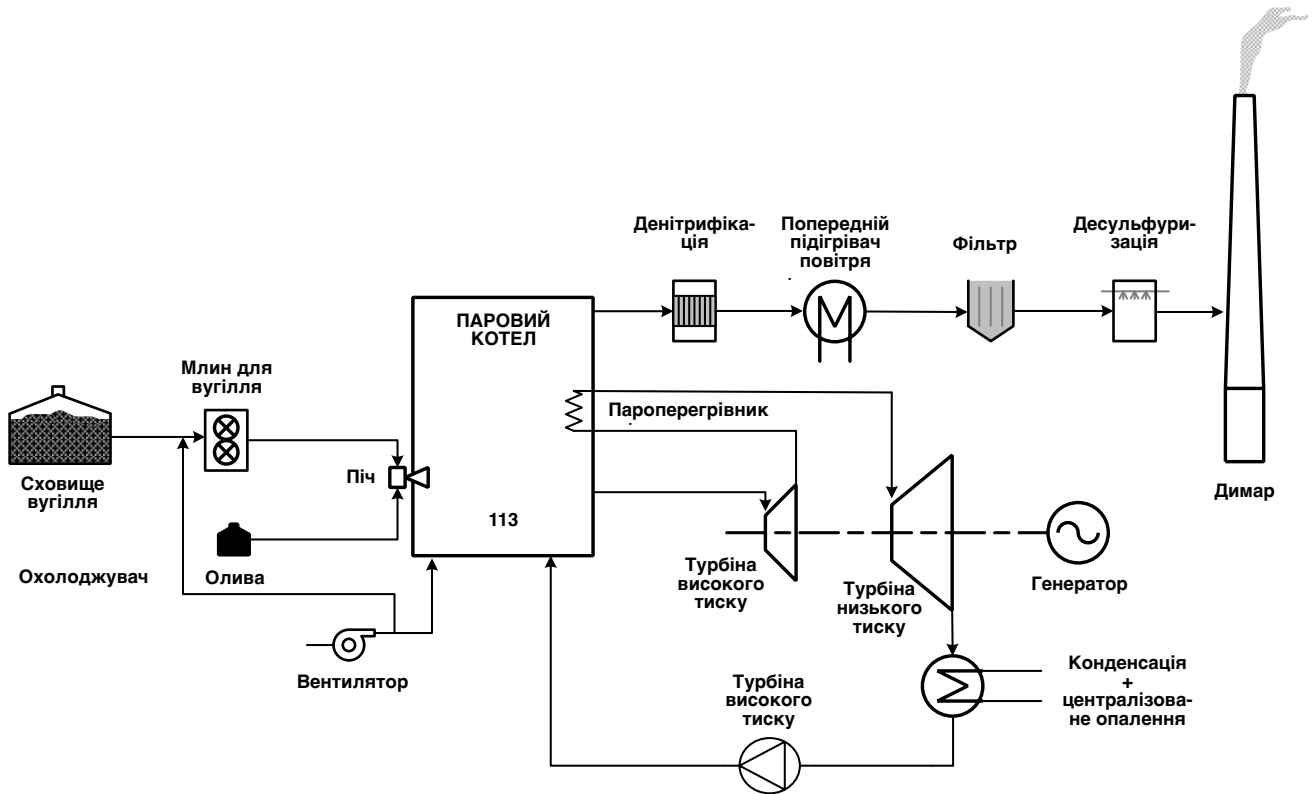


Рисунок 22: Ескіз основних елементів вугільної ТЕЦ великої потужності

У зв'язку з продовженням терміну експлуатації станція буде зупинена на певний період, як правило, на 6-9 місяців. Вартість продовження терміну експлуатації буде залежати від обсягу кампанії та конкретних категорій компонентів, що підлягають заміні. Вони наведені нижче:

- Перевірка електричних систем
- Заміна контрольно-вимірювальних приладів і систем управління
- Модернізація або заміна розпилювачів (подача та утилізація палива)
- Модернізація котла
- Модернізація турбіни (можливо, модернізація генератора)
- Системи водопостачання (теплообмінники для конденсаторів та централізованого опалення)
- Будівлі
- Очищення димових газів

станції, щоб отримати про нього уявлення. Це можна зробити за допомогою діагностичних систем і детального оцінювання залишкового ресурсу. Частка інвестиційних витрат на продовження терміну експлуатації вугільної електростанції наведена на Рисунку 23.

Частка вартості компонентів вугільних електростанцій – продовження терміну експлуатації

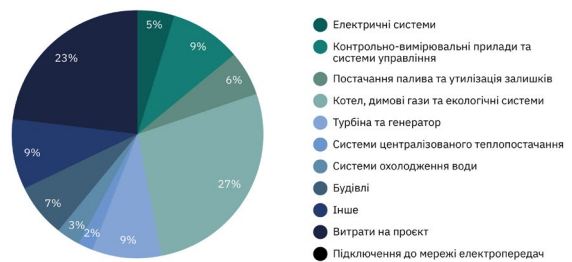


Рисунок 23: Зображення частки інвестиційних витрат при продовженні терміну експлуатації вугільної електростанції [13]

Щоб вирішити, які саме категорії компонентів необхідно модернізувати та включити в продовження терміну експлуатації, необхідно дослідити стан

Іноді цілі частини станції потребують заміни, а у випадку України частини станції, тобто категорії компонентів, які могли бути зруйновані російськими авіа чи ракетними ударами. Витрати на ремонти відрізняються від витрат на продовження терміну експлуатації станції, оскільки компоненти, ймовірно, потребують повної заміни. Тому ціна для категорій компонентів

вважається подібною до інвестиційної вартості нової вугільної електростанції. На Рисунку 24 представлено пропорції інвестиційних витрат для різних категорій компонентів нової вугільної електростанції. Це можна використовувати як індикатор того, якою може бути очікувана ціна категорії компонентів у разі ремонту вугільної електростанції.

Частка вартості компонентів вугільних електростанцій — продовження терміну експлуатації

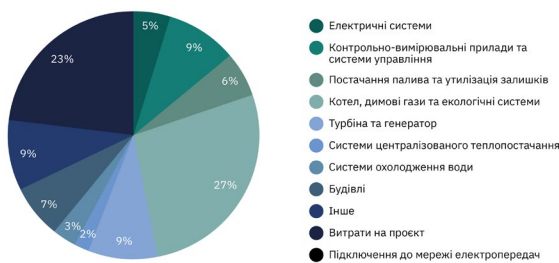


Рисунок 24: Зображення частки інвестиційних витрат при заміні певної категорії компонентів вугільної електростанції на нові компоненти. Цю частку слід помножити на вартість нової вугільної електростанції

Критерії оцінки вугільних електростанцій

Вугільні електростанції, продовження терміну експлуатації

Оцінка за критеріями	4. Модернізація вугільних електростанцій	4. Ремонт вугільних електростанцій
Вплив зимового періоду	WWW	WWW
Швидкість впровадження	QQ	QQ
Стійкість	R	R
Вартість (LCOE, термін експлуатації 2 роки в зимовий період)	CCC	CCC
Загальна оцінка (1-3)	2.3	2.3

Таблиця 26: Вугільні електростанції, продовження терміну експлуатації — матриця оцінювання критеріїв

Вплив зими, виробництво в зимовий період (W)

Продовження терміну експлуатації або ремонт наявних українських вугільних електростанцій може зробити значний внесок в роботу енергосистеми України в зимовий період.

Продовження терміну експлуатації може мати значний вплив, тому що модернізація вугільних електростанцій може призвести до збільшення виробничих потужностей, оскільки старі електростанції можуть мати нижчий рівень виробництва, ніж їхні розрахункові характеристики, а модернізація підвищує виробництво

до нормального рівня. Крім того, під час продовження терміну експлуатації можна впроваджувати новіші технологічні рішення, які можуть ще більше підвищити рівень виробництва.

Ремонт вугільної електростанції може мати значний вплив, оскільки електростанцію можна швидко повернути в енергосистему.

Вугільні електростанції можуть регулювати своє виробництво, що дозволяє їм працювати на повну потужність у зимовий період.

Швидкість впровадження (Q)

Попри те, що багато вугільних електростанцій готові для продовження терміну експлуатації або ремонту, а модернізація зазвичай займає 6-9 місяців, впровадження заходів продовження терміну експлуатації, як очікується, все одно займе близько 1,5 року. Це пов'язано з тим, що на додаток до впровадження проекту необхідно забезпечити постачання компонентів для станцій, а також здійснити процес планування та підготовки персоналу для модернізації вугільних електростанцій.

Стійкість (R)

Недостатня стійкість рішення про продовження терміну експлуатації вугільних електростанцій пояснюється великою потужністю однієї електростанції. Потужність енергетичних блоків вугільних електростанцій в Україні коливається в межах 150-325 МВт, а електростанцій – до 2300 МВт, а це означає, що значна частина виробництва електроенергії може бути виведена з ладу внаслідок одного обстрілу електростанції. Що можливо одразу після її модернізації внаслідок удару з безпілотного літального апарата, артилерії або ракети. Крім того, через розмір вугільної електростанції не можна очікувати, що всю станцію можна

розмістити в бункері, хоча деякі критичні частини можуть бути розміщені.

Більшість вугілля України, яке використовувалося для роботи ТЕС, походить з українських вугільних шахт у регіоні Донбасу. У цей час цей регіон окупований російськими військами або знаходиться в зоні активних бойових дій, а це означає, що вугільні шахти недоступні для видобутку вугілля. Тому вугілля для електростанцій доводиться купувати на міжнародному ринку. Доступність вугілля для українців значно знизилася, а це означає, що вугілля як паливо менш надійне.

Нормована вартість електроенергії (LCOE), короткострокові та протягом усього терміну експлуатації (C)

Завдяки продовженню терміну експлуатації вугільних електростанцій, низьким початковим витратам і великому потенціалу для виробництва електроенергії в зимовий період, впровадження заходів з продовження терміну експлуатації демонструє найнижчу собівартість виробництва електроенергії протягом двох зимових періодів серед усіх технологічних рішень. У випадку з LCOE за весь термін експлуатації, очікується, що продовження терміну експлуатації вугільної електростанції буде приблизно середнім у порівнянні з усіма іншими оцінюваними технологіями, а це означає, що ціна приблизно вдвічі вища, ніж у наземних вітроенергетичних турбін.

Для вугільної електростанції, яка зазнала удару безпілотного літального апарата, ракети або артилерії, може знадобитися безліч різних видів ремонтних робіт. Деякі вугільні електростанції можуть потребувати повного ремонту, тоді як інші потребують лише невеликих ремонтних робіт. Пропорції інвестиційних витрат, необхідних для заміни компонентів за категоріями, наведені на Рисунку 24. Під час розрахунку LCOE для вугільної

електростанції, яка потребує ремонту, припускається, що вартість її ремонту становить 30% від вартості нової вугільної електростанції. У цьому випадку очікується, що LCOE за два зимові періоди буде другою за величиною після заходів щодо продовження терміну експлуатації вугільної електростанції. Очікується, що LCOE відремонтованої (на 30%) вугільної електростанції протягом усього терміну експлуатації буде знаходитись у

середньому діапазоні, порівняно з LCOE інших технологій.

Оцінка характеристик вугільних електростанцій

Цей розділ присвячений оцінюванню характеристик вугільних електростанцій, які були використані як основа для оцінки критеріїв.

Характеристики	4. Модернізація вугільних електростанцій	4. Ремонт вугільних електростанцій
P1-Виробництво електроенергії в зимовий період	>75%	>75%
P2-Нормована вартість електроенергії (LCOE) протягом короткого терміну експлуатації, виробництво взимку [євро/МВт•год]	160	149
P3-Нормована вартість електроенергії (LCOE) протягом усього терміну експлуатації [євро/МВт•год]	119	117
P4-Розподілена генерація	500 МВт	500 МВт
P5-Регуляторні вимоги в процесі розробки проєкту	Середні	Середні
P6-Час постачання та наявність компонентів і матеріалів	Середній	Середній
P7-Вимоги до логістики та транспортної інфраструктури	Середні	Середні
P8-Час технічних робіт зі встановлення (після отримання дозволу)	Середньострокова перспектива	Середньострокова перспектива
P9-Вимоги до кваліфікованого персоналу на етапі будівництва	Середні	Середні
P10-Здатність до балансування мережі	Середня	Середня
P11-Вимоги до інфраструктури електромережі	Середні	Середні
P12-Потреба у кваліфікованому персоналі для експлуатації та технічного обслуговування, а також у спеціальних запчастиних частинах	Низька	Низька
P13-Можливість маскування та укриття	Низький потенціал	Низький потенціал
P14-Ризик, пов'язаний з постачанням палива	Середній ризик	Середній ризик

Таблиця 27: Вугільні електростанції, продовження терміну експлуатації — матриця оцінювання параметрів. Одиниця LCOE — [євро/МВт•год]

P1: Виробництво електроенергії в зимовий період (W)

За наявності палива вугільні електростанції можуть працювати на повну потужність у будь-яку годину доби, за винятком планових і вимушених відключень. Залежно від

конкретних електростанцій, існують різні вимоги щодо того, коли станція має бути модернізована, що означає, що існують певні тижні протягом року, коли вугільні електростанції не працюватимуть. Як правило, модернізацію планують проводити влітку, коли потреба в електростанції

значно нижча. Вимушені зупинки можуть відбуватися з різних причин, але, як правило, вони пов'язані з певною формою несправності, яка трапляється під час виробництва.

Як уже згадувалося, потреба у вугільній електростанції значно нижча влітку, оскільки велика частка електроенергії може вироблятися за допомогою технологічних рішень базового навантаження, як-от атомна, вітрова та все частіше сонячна енергетика. При цьому споживання електроенергії також нижче, оскільки, серед інших причин, попит на тепло значно зменшується. Крім того, вугільні електростанції також конкурують між собою та з електростанціями на інших видах палива, а також з теплоелектроцентралями, що означає, що частина виробництва буде зменшена.

З цих причин передбачається, що вугільна електростанція працюватиме на повну потужність протягом 5000 годин на рік, так званих годин роботи на повному навантаженні (FLH). Оскільки більша частина виробництва, ймовірно, припадає на зимовий період, передбачається, що 75% годин роботи на повному навантаженні припадатиме на зимовий період, а це означає, що вугільна електростанція працюватиме 3750 годин роботи на повному навантаженні в зимовий період (коефіцієнт потужності складає 86%). Це відповідає годинам роботи на повному навантаженні в рік вітроенергетичної турбіни, розташованої в українському регіоні з найкращим вітровим профілем, і більш ніж удвічі перевищує години роботи на повному навантаженні в рік сонячної електростанції, розташованої в українському регіоні з найкращим профілем сонячного випромінювання. Якщо електростанції в Україні не будуть поглинати одна одну через відсутність потужностей, спричинену російськими бомбардуваннями, то можна очікувати, що години роботи на повному навантаженні будуть вищими. Крім того, очікується, що вугільні електростанції вироблятимуть електроенергію в години

роботи на проміжному та базовому навантаженні, а це означає, що години роботи на повному навантаженні для вугільних електростанцій можуть бути вищими, ніж для газових двигунів і турбін.

P2: Нормована вартість електроенергії (LCOE) протягом короткого терміну експлуатації, виробництво у зимовий період (C)

У разі сценарію надзвичайної ситуації, де термін продовження експлуатації вугільної електростанції використовується лише протягом двох зимових періодів, LCOE найнижча серед усіх оцінюваних технологій. LCOE розраховують на рівні 160 євро/МВт·год. За дослідницьким сценарієм, де очікується, що ціна ремонту становитиме 30% від початкової інвестиційної вартості станції, LCOE розраховують на рівні 149 євро/МВт·год — зверніть увагу, що показник LCOE відремонтованої вугільної електростанції орієнтовний, оскільки існує багато сценаріїв щодо ремонту вугільної електростанції, що зазнала обстрілу.

Продовження терміну експлуатації та ремонт вугільної електростанції вирізняється тим, що більша частина витрат протягом терміну експлуатації пов'язана з викидами CO₂ і споживанням палива, тоді як інвестиційні витрати відносно низькі, так само як і витрати на експлуатацію та технічне обслуговування. Завдяки меншому споживанню палива та меншим викидам, а також значно коротшому періоду експлуатації, витрати на паливо та викиди пропорційно нижчі порівняно з інвестиційними витратами, що стосується LCOE.

P3: Нормована вартість електроенергії (LCOE) протягом усього терміну експлуатації (C)

Очікується, що LCOE протягом періоду продовження терміну експлуатації вугільної електростанції становитиме приблизно 120 євро/МВт·год. Це в 1,5-2,5 раза вище, ніж у сонячної та вітрової енергетики, але

нижче, ніж у нових газових двигунів і турбін. Витрати на викиди складають переважну частину витрат, і тому очевидно, що вартість виробництва електроенергії на вугільних електростанціях з подовженим терміном продовження експлуатації значно залежить від ціни на викиди CO₂. Прогнозований показник LCOE передбачає довгострокову вартість викидів CO₂ на рівні 63 євро/МВт·год. Другий показник — ціна на паливо, яка становить 29 євро/МВт·год.

P4: Розподілена генерація (R)

Як правило, потужність блоків вугільних електростанцій в Україні коливається в діапазоні 150-325 МВт, а електростанцій — до 2300 МВт, що означає, що виробництво електроенергії дуже централізоване.

P5: Регуляторні вимоги в процесі розробки проєкту (Q)

Очікується, що регуляторні вимоги щодо продовження терміну експлуатації вугільних електростанцій задовільнятимуться швидко та просто, оскільки можна припустити, що станція вже має дозвіл на експлуатацію. Але процес планування модернізації станції, як очікується, займе певний час. За оцінками, процес планування триватиме близько 26 тижнів, що оцінюється як середній термін.

P6: Час постачання / доступність компонентів і матеріалів (Q)

Очікується, що час постачання всіх компонентів і матеріалів для модернізації вугільної електростанції становитиме приблизно 26 тижнів від початкової дати закупівлі. Це пов'язано з тим, що існує постійний дефіцит в ланцюжку постачання електричних компонентів, коли постачання деяких компонентів займає від 26 до 52 тижнів, але очікується, що під час модернізації або ремонту лише деякі компоненти будуть виготовляти заново, і це залежить від конкретної вугільної електростанції. Отже, загалом очікується,

що на постачання компонентів для різних вугільних електростанцій знадобиться 26 тижнів. Це середній часовий проміжок для пошуку компонентів.

Якщо вугільна електростанція потребує ремонту через обстріли, час постачання різних компонентів, необхідних для ремонту, може значно відрізнятись. З інтерв'ю, проведених з виробниками, було важко отримати чітку оцінку того, коли вони зможуть поставити конкретні деталі, але оцінки того, коли вони зможуть поставити все технологічне рішення, були чіткішими.

Якщо трансформаторів немає в наявності, а трансформатор для конкретної вугільної електростанції був зруйнований, знадобиться приблизно 1 рік, щоб отримати новий.

P7: Вимоги до логістики та транспортної інфраструктури (Q)

Цей блок і компоненти, необхідні для будівництва, а також паливо, як правило, необхідно транспортувати за допомогою потягу або судна, що вимагає розташування вугільної електростанції поруч з портом або залізницею. Але оскільки вугільні електростанції вже побудовані та потребують лише модернізації або ремонту, припускається, що вони вже розташовані поруч із залізницею або портом. Це означає, що модернізація або ремонт вугільної електростанції має середні вимоги до логістики та транспортної інфраструктури, оскільки залізниця або порти доступні, але вони все ще залежать від транспортної інфраструктури. Але, ймовірно, немає потреби в будівництві нових портів або залізниць.

P8: Час технічних робіт зі встановлення (мінімальний час після отримання дозволу) (Q)

Коли модернізація вугільної електростанції розпочата, вона зазвичай займає

26-39 тижнів. З урахуванням того, що роботи необхідно проводити, коли станція знаходиться під загрозою повітряних атак з боку Росії, можуть знадобитися особливі запобіжні заходи, і тому максимальний термін, тобто 39 тижнів, вважається реалістичним терміном для модернізації. Якщо Росія завдала удару по вугільній електростанції, час на її ремонт значною мірою залежить від того, наскільки сильно вона була зруйнована. Деякі ремонтні роботи будуть виконані швидше, ніж за 26 тижнів, але якщо більша частина станції зруйнована, час, необхідний для ремонтних робіт, може становити час будівництва нової електростанції. 39 тижнів вважається середнім терміном.

P9: Вимоги до кваліфікованого персоналу на етапі будівництва (Q)

На етапі будівництва потрібні різноробочі, оператори важкої техніки, бетонярі, зварювальники, сантехніки, електрики, фахівці з опалення, вентиляції та кондиціонування повітря, а також спеціалісти з техніки безпеки. Ці категорії працівників легко доступні в Україні або можуть бути залучені з інших країн, залежно від політики компанії. Якщо компанії не можуть відправити своїх працівників в Україну на будівництво з міркувань безпеки, можна припустити, що деякі компанії можуть і будуть навчати різноробочих з України. Оскільки кожна вугільна електростанція відрізняється від іншої, та їхнє будівництво не базується на модульному принципі, на деяких етапах будівництва потрібні інженери для контролю якості. Крім того, інженери потрібні для коригування будівельних схем, якщо щось у будівництві працює не так, як очікувалося, або не належним чином. Це загальні проблеми для станцій, які виготовляють за індивідуальним замовленням, порівняно з модульними рішеннями, які добре протестовані. Ось чому потреба у кваліфікованому персоналі на етапі будівництва вважається середньою.

За оцінками, наданими українськими партнерами, в Україні не вистачає до 5 мільйонів робітників. Це означає, що на етапі будівництва може бути важко знайти необхідну кількість робітників для великого будівельного проекту.

P10: Здатність до балансування енергосистеми (попиту) (R)

Якщо припустити, що вугілля доступне, то вугільна електростанція, термін експлуатації якої продовжено або проведено ремонт, може виробляти електроенергію в будь-яку годину доби. Холодний запуск займає кілька годин, оскільки компоненти потрібно нагрівати поступово, щоб уникнути теплового стресу та пошкоджень. Якщо установка не повністю охолола, можна провести запуск з теплого стану, який займає менше часу, ніж холодний запуск. Якщо станцію ненадовго зупинили, вона може провести запуск з теплого стану, який займає близько 1 години. У порівнянні з газовими електростанціями, вугільні електростанції повільніше нарощують виробництво.

Вугільні електростанції часто використовуються під час роботи на базовому або проміжному навантаженні. Працюючи нижче своєї номінальної потужності, вугільні електростанції можуть забезпечувати регульовальну потужність у випадку, якщо інша електростанція раптово зупиняється. Якщо деякі вугільні електростанції навмисно вимкнено, тоді як інші працюють на повну потужність, можливості регулювання значно зменшуються, оскільки вугільні електростанції мають здійснювати холодний запуск у разі відключення електростанції, замість того, щоб кілька вугільних електростанцій нарощували свою потужність.

Оскільки вугільні електростанції — це великі блоки потужністю в кілька сотень МВт, вихід з ладу електростанції може вивести енергосистему з рівноваги, якщо доступ до швидкодіючих резервних блоків або гнучких

споживачів виявиться недостатнім.

Зважаючи на вищезазначені міркування, очікується, що вугільні електростанції забезпечуватимуть середній рівень балансування енергосистеми.

P11: Вимоги до інфраструктури електромереж (R)

Оскільки вугільні електростанції мають високу потужність виробництва електроенергії з високим мінімальним навантаженням, вимоги до інфраструктури електромережі досить високі. Вугільні електростанції мають бути підключені до мережі через трансформатор.

Оскільки продовження терміну експлуатації або ремонт вугільних електростанцій проводиться на наявних потужностях, можна припустити, що електростанції вже інтегровані в електромережу та розміщені в місцях, де електроенергія легко розподіляється. Отже, якщо інфраструктура електромережі не була зруйнована, нема потреби в подальшому вдосконаленні електромережі.

P12: Потреба у кваліфікованому персоналі для експлуатації та технічного обслуговування, а також у спеціальних запасних частинах (R)

Щоб підтримувати вугільну електростанцію в робочому стані, потрібні фахівці з експлуатації, технічного обслуговування, контрольно-вимірювальних приладів, електрики та механіки. Залежно від розміру станції, деякі з цих фахівців можуть не потребувати повної зайнятості, але можуть бути викликані, коли виникає конкретна проблема, що стосується їхньої сфери діяльності. Технічні спеціалісти з експлуатації потрібні на повну зайнятість, щоб вони могли керувати станцією з диспетчерської. Потреба у кваліфікованій робочій силі вважається низькою порівняно з іншими технологічними рішеннями.

P13: Можливість маскування та укриття (R)

Наявні вугільні електростанції, що підлягають модернізації або ремонту, неможливо замаскувати, оскільки вони великі та нерухомі. Щобільше, можна припустити, що їхнє місце розташування добре відоме російській розвідці.

Великі частини вугільних електростанцій неможливо укрити, але деякі критичні компоненти, як-от трансформатор, можна укріпити або покрити сталевим покриттям, щоб мінімізувати пошкодження від прямого удару по станції. Трансформатор відносно невеликий та його можна укрити, крім того, він критично важливий компонент, на постачання якого постачальнику знадобиться до року, щоб поставити новий. Загалом, можливість маскування та укриття вважається низькою.

P14: Ризик, пов'язаний з постачанням палива (R)

Більшість вугілля України, яке використовувалося для роботи ТЕС, походить з українських вугільних шахт у регіоні Донбасу. У цей час цей регіон окупований російськими військами або знаходиться в зоні активних бойових дій, тож вугільні шахти недоступні для видобутку вугілля. Це означає, що вугілля для електростанцій доводиться купувати на міжнародному ринку. Отже, доступність вугілля для українців значно знизилася, відповідно, вугілля як паливо менш надійне, ніж до війни.

Хоча, завдяки вантажним потягам, що курсують через Європу, вугілля можна придбати на міжнародних ринках і транспортувати на українські електростанції. Отже, ризик, пов'язаний з постачанням вугілля як палива, очікується в середньому діапазоні.



Технології когенерації з біомаси



ТЕХНОЛОГІЇ КОГЕНЕРАЦІЇ З БІОМАСИ

Рейтинг на першій сторінці показує оцінку технології, яка отримала найвищий загальний бал серед підтехнологій, зазначених у розділі. Чим більше піктограм, тим кращі показники¹⁷. Для технологій

когенерації з біомаси найкращу оцінку отримала технологія ТЕЦ на деревних палетах (парова турбіна з протитиском). Оцінки для всіх підтехнологій наведені в таблиці нижче.

Оцінка за критеріями	7.a. Деревні пелети, ТЕЦ середньої потужності	7.b. Деревні пелети, ТЕЦ малої потужності	7.c. Деревна тріска, ТЕЦ середньої потужності	7.d. Деревна тріска, ТЕЦ малої потужності	7.e. Солома, ТЕЦ середньої потужності	7.f. Солома, ТЕЦ малої потужності
Вплив зимового періоду	WWW	WWW	WWW	WWW	WWW	WWW
Швидкість впровадження	QQ	QQ	Q	QQ	Q	QQ
Стійкість	RR	RR	RR	RR	RR	RR
Вартість (LCOE, термін експлуатації 2 роки в зимовий період)	CCC	C	CCC	C	CCC	C
Загальна оцінка (1-3)	2.5	2.0	2.3	2.0	2.3	2.0

У цьому розділі розглядається можливість будівництва нових теплоелектроцентралей (ТЕЦ), які працюють на біомасі, для забезпечення України електроенергією та теплом. Існують такі типи ТЕЦ на біомасі:

- ТЕЦ, парова турбіна з протитиском, працює на деревних пелетах.
- ТЕЦ, парова турбіна з протитиском, працює на деревній трісці.
- ТЕЦ, органічний цикл Ренкіна, працює на деревній трісці.
- ТЕЦ, парова турбіна з протитиском, працює на соломі/стеблах/лушпинні.

¹⁷ Детальне пояснення див. у Таблиці 2: Огляд характеристик, які впливають на критерії, і візуалізація рейтингів, чим більше піктограм, тим кращий рейтинг

- ТЕЦ, органічний цикл Ренкіна, працює на соломі/стеблах/лушпинні.

Установки з паровою турбіною з протитиском можуть бути виготовлені в широкому діапазоні потужності — від декількох десятків мегаватів до сотень мегаватів. Установки з органічним циклом Ренкіна варіюються від декількох кіловатів до декількох мегаватів. У цьому проєкті основна увага приділяється ТЕЦ з паровою турбіною з протитиском потужністю близько 25 МВт та ТЕЦ з органічним циклом Ренкіна потужністю близько 3 МВт.

Стислий опис технології — протитиск

Цей розділ присвячений твердій біомасі для спалювання з метою комбінованого виробництва теплової та електричної енергії (ТЕЦ). Розглядаються такі види біомаси, як деревна тріска, деревні пелети та солома/стебла. Інші види біомаси, наприклад, інші відходи лісової промисловості, тирса та горіхова шкаралупа можуть бути актуальними джерелами енергії, хоча різні види палива встановлюють різні технічні вимоги до станції, ці відмінності не будуть розглядатися.

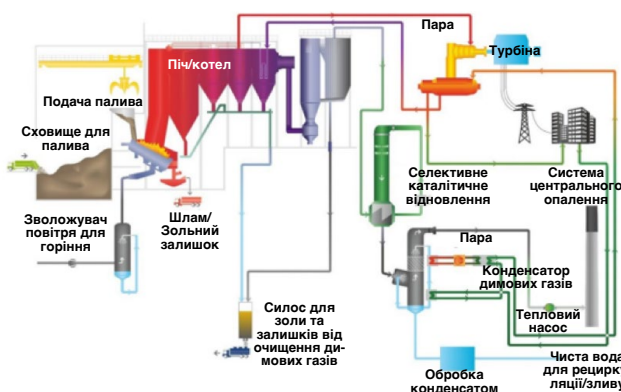


Рисунок 25: Основні системи ТЕЦ, приклад ТЕЦ на відходах [Технологічні дані — «Енергетичні установки для виробництва електроенергії та централізованого тепlopостачання», 2016 р., Данське енергетичне агентство]

Основні системи представлені на Рисунку 25. Основні компоненти ТЕЦ на біомасі з

паровою турбіною протитиску: -Зона прийому та зберігання палива, - Піч або система спалювання, включно з подачею палива - Паровий котел - Парова турбіна і генератор, -Система очищення димових газів (FGT), яка може включати систему селективного каталітичного відновлення для зменшення викидів оксидів азоту (NOx) - Системи поводження з відходами горіння та очищення димових газів - Система конденсації димових газів - Додаткова система зволоження повітря для горіння.

Енергія, що міститься в біомасі, вивільняється шляхом спалювання палива в камері згорання. Вода пропускається через середовище в камері згорання, нагріваючись до надзвичайно високих температур, перетворюючи воду в пару під високим тиском. Пара проходить через турбіну, з'єднану з генератором, для виробництва електроенергії. Потім пара конденсується назад у воду через теплообмінник, який використовує відпрацьоване тепло в мережі централізованого тепlopостачання. Виробництво теплової та електроенергії з біомаси вже багато років використовується у все більших масштабах із застосуванням різних технологій. Турбіна може бути з протитиском або з регульованим відбором пари. У турбіні з протитиском розширення закінчується в конденсаторах централізованого тепlopостачання, у турбіні з регульованим відбором пари розширення продовжується до найнижчого можливого тиску, який забезпечується конденсатором з водяним охолодженням. Екстракційні установки можуть працювати в режимі протитиску або конденсації, а також у будь-якій комбінації між ними.

Застосування конденсації димових газів для подальшого отримання енергії — звичайна практика для котлів, що працюють на біомасі та використовують сировину з високим вмістом вологи, наприклад, деревну тріску, за винятком невеликих установок потужністю менш як 1 - 2 МВт теплової енергії через додаткові витрати. Установки

без конденсації димових газів, як правило, призначені для палива з біомаси з вмістом вологи менш як 30%. Конденсація димових газів може підвищити ефективність опалення на 5-10%.

Стислий опис технології — органічний цикл Ренкіна

Альтернативний тип ТЕЦ — установка з органічним циклом Ренкіна (ORC-установки), де котел (на біомасі) використовується для нагрівання (без випаровування) палива. Це паливо передає тепло в установку з органічним циклом Ренкіна, яка працює за принципом парового циклу, але використовує холодоагент замість води як робочий носій.

Щоб мінімізувати інвестиційні витрати, установки з органічним циклом Ренкіна зазвичай постачають у вигляді стандартизованих комплектних модулів у поєднанні з «котлом», який використовується лише для нагрівання

палива. Технологія органічного циклу Ренкіна — це технологія утилізації відпрацьованого тепла, розроблена для виробництва електроенергії за низьких температур і низького тиску. Модуль органічного циклу Ренкіна — це модуль заводської збірки, що робить їх менш гнучкими, але відносно дешевими та, відповідно, більш привабливими, особливо для ТЕЦ малої потужності. Частина «органічний цикл Ренкіна» вказує на те, що це технологічне рішення, яке має схожість із системами на основі водяної пари (Ренкін). Основна відмінність полягає у використанні теплоносія, тобто холодоагенту або силіконової оливи (органічна сполука, яка може горіти, але не вибухає) з термодинамічними властивостями, що робить його більш придатним, ніж вода, для виробництва електроенергії за низьких температур.

Оцінка критеріїв — ТЕЦ на біомасі з паровою турбіною протитиску середньої потужності

Оцінка за критеріями	7.а. Деревні пелети, ТЕЦ середньої потужності	7.с. Деревна тріска, ТЕЦ середньої потужності	7.е. Солома, ТЕЦ середньої потужності
Вплив зимового періоду	WWW	WWW	WWW
Швидкість впровадження	QQ	Q	Q
Стійкість	RR	RR	RR
Вартість (LCOE, термін експлуатації 2 роки в зимовий період)	CCC	CCC	CCC
Загальна оцінка (1-3)	2.5	2.3	2.3

Таблиця 28: Матриця оцінювання критеріїв для ТЕЦ на біомасі з паровою турбіною протитиску, що використовують деревні пелети, тріску та солому як паливо

Вплив зими, виробництво в зимовий період (W)

Теплоелектроцентралі (ТЕЦ) на біомасі з паровою турбіною протитиску, мають потенціал зробити значний внесок в енергосистему України, особливо в

зимовий період. На додаток до постачання електроенергії, ці станції можуть забезпечувати тепlopостачання для міських районів. Вони здатні регулювати своє виробництво, що дозволяє їм працювати на повну потужність у холодні місяці. Однак важливо зазначити, що на

відміну від газових турбін або двигунів, ці ТЕЦ на біомасі з паровою турбіною протитиску не здатні швидко змінювати рівень своєї генерації.

Швидкість впровадження (Q)

Терміни реалізації ТЕЦ на біомасі з паровою турбіною протитиску значною мірою залежать від розміру проєкту. Очікується, що процес планування такого проєкту займе близько півроку, а час постачання після замовлення ТЕЦ на біомасі з паровою турбіною протитиску становитиме півтора року. Базуючись на попередньому досвіді, час встановлення оцінюється приблизно в один рік. З урахуванням планування та регуляторних дозволів, загального часу реалізації проєкту та часу встановлення, можна очікувати, що проєкт триватиме 3 роки, доки його не буде завершено.

Стійкість (R)

Стійкість теплоелектроцентралей (ТЕЦ) на біомасі з паровою турбіною протитиску залежить від двох ключових факторів. По-перше, ці станції, кожна з яких має потужність близько 25 МВт, можуть бути стратегічно розосереджені на великій території. Це дозволяє їм разом забезпечувати значну виробничу потужність, при цьому лише помірно впливаючи на баланс енергосистеми, якщо одна станція стане мішенню для ракет, артилерії або безпілотних літальних апаратів. По-друге, попри відносно велику площу, яку займає ТЕЦ на біомасі з паровою турбіною протитиску потужністю 25 МВт, її конструкція дозволяє розмістити значну

частину електростанції в бункері, що підвищує її стійкість до непередбачуваних ситуацій.

Нормована вартість електроенергії (LCOE), короткострокові та протягом усього терміну експлуатації (C)

З огляду на нормовану вартість електроенергії(LCOE), як короткострокову, так і протягом усього терміну експлуатації, ТЕЦ на біомасі з паровою турбіною протитиску мають конкурентну перевагу. Під час експлуатації протягом двох зимових періодів ці установки демонструють нижчий показник LCOE порівняно з кількома іншими оцінюваними технологічними рішеннями. Однак варто зазначити, що їхня LCOE припадає на верхню межу «низької» категорії, що межує з «середнім» ціновим діапазоном. Протягом усього терміну експлуатації, LCOE для цих станцій при використанні деревних пелет і тріски як палива, класифікується як «середня». Якщо як паливо використовується солома, нормована вартість електроенергії класифікується як «низька». Для всіх технологій ТЕЦ на біомасі витрати на виробництво електроенергії залежать від доходів від продажу тепла компаніям централізованого тепlopостачання.

Оцінка параметрів — ТЕЦ з паровою турбіною протитиску

Цей розділ охоплює оцінку параметрів ТЕЦ на біомасі з паровою турбіною протитиску середньої потужності, яка була використана як основа для оцінки критеріїв.

Характеристики	7.а. Деревні пелети, ТЕЦ середньої потужності	7.с. Деревна тріска, ТЕЦ середньої потужності	7.е. Солом'яне лушпиння/стебла, ТЕЦ середньої потужності
P1-Виробництво електроенергії в зимовий період	>75%	>75%	>75%
P2-Нормована вартість електроенергії (LCOE) протягом короткого терміну експлуатації, виробництво взимку [євро/МВт•год]	1153	1351	1306

Характеристики	7.а. Деревні пелети, ТЕЦ середньої потужності	7.с. Деревна тріска, ТЕЦ середньої потужності	7.е. Солом'яне лушпиння/стебла, ТЕЦ середньої потужності
P3-Нормована вартість електроенергії (LCOE) протягом усього терміну експлуатації [євро/МВт•год]	146	148	137
P4-Розподілена генерація	20-35 МВт	20-35 МВт	24-26 МВт
P5-Регуляторні вимоги в процесі розробки проекту	Середні	Середні	Середні
P6-Час постачання та наявність компонентів і матеріалів	Довго та складно	Довго та складно	Довго та складно
P7-Вимоги до логістики та транспортної інфраструктури	Середні	Середні	Середні
P8-Час технічних робіт зі встановлення (після отримання дозволу)	Довго та складно	Довго та складно	Довго та складно
P9-Вимоги до кваліфікованого персоналу на етапі будівництва	Середні	Середні	Середні
P10-Здатність до балансування мережі	Середня	Середня	Середня
P11-Вимоги до інфраструктури електромережі	Середні	Середні	Середні
P12-Потреба у кваліфікованому персоналі для експлуатації та технічного обслуговування, а також у спеціальних запасних частинах	Середня	Середня	Середня
P13-Можливість маскуванню та укриття	Низький потенціал	Низький потенціал	Низький потенціал
P14-Ризик, пов'язаний з постачанням палива	Низький ризик		Низький ризик

Таблиця 29: Матриця оцінювання параметрів ТЕЦ на біомасі з паровою турбіною протитиску середньої потужності. Одиниця LCOE – [євро/МВт•год]

P1: Виробництво електроенергії в зимовий період (W) в виробництва.

За наявності палива та достатнього попиту на централізоване тепlopостачання, ТЕЦ на біомасі з паровою турбіною протитиску можуть працювати на повну потужність у будь-яку годину доби, за винятком планових і вимушених відключень. Залежно від конкретних ТЕЦ, існують різні вимоги до часу проведення модернізації, що означає, що протягом року будуть певні тижні, коли планується, що ТЕЦ на біомасі не будуть експлуатуватися. Як правило, модернізацію планується проводити влітку, коли потреба в роботі станції менша. Вимушені зупинки можуть відбуватися з різних причин, але, як правило, вони пов'язані з певною формою несправності, яка трапляється під час

Як вже зазначалося, потреба в ТЕЦ на біомасі нижча влітку, оскільки споживання електроенергії є нижчим, ніж взимку. Крім того, вони конкурують між собою та з електростанціями на інших видах палива. Влітку виробництво електроенергії на станціях на біомасі з паровою турбіною протитиску може бути обмеженим через низький попит на тепло. Екстракційні установки забезпечують вищий ступінь адаптивності, оскільки вони можуть працювати в режимі конденсації, коли попит на тепло недостатній.

З цих причин передбачається, що ТЕЦ на біомасі буде працювати на повну потужність протягом 5000 годин на рік, так званих годин

роботи на повному навантаженні (FLH). Оскільки більша частина виробництва, ймовірно, припадає на зимовий період, передбачається, що 75% годин роботи на повному навантаженні припадає на зимовий період, а це означає, що ТЕЦ на біомасі буде працювати протягом 3750 годин роботи на повному навантаженні в зимовий період (КВВП — 86%). Це відповідає годинам роботи на повному навантаженні в рік вітроенергетичної турбіни, розташованої в українському регіоні з найкращим вітровим профілем, і більш ніж удвічі перевищує години роботи на повному навантаженні в рік сонячної електростанції, розташованої в українському регіоні з найкращим профілем сонячного випромінювання. Крім того, очікується, що ТЕЦ на біомасі з паровою турбіною протитиску вироблятимуть електроенергію в години роботи на проміжному та базовому навантаженні, а це означає, що години роботи на повному навантаженні для ТЕЦ на біомасі з паровою турбіною протитиску можуть бути вищими, ніж для газових двигунів і турбін.

P2: Нормована вартість електроенергії (LCOE) протягом короткого терміну експлуатації, виробництво у зимовий період (C)

У разі сценарію надзвичайної ситуації, коли ТЕЦ на біомасі з паровою турбіною протитиску використовуються лише протягом двох зимових періодів, нормована вартість електроенергії відповідає найвищій вартості в нижчій категорії. Нормовану вартість електроенергії розраховують на рівні 1150 євро/МВт•год для станції на деревних пелетах, 1350 євро/МВт•год для станції на деревній трісці, та 1300 євро/МВт•год для станції на соломі.

Більшість цих витрат пов'язані з капітальними та фінансовими витратами, оскільки станції не зможуть виробляти електроенергію протягом повного терміну експлуатації.

P3: Нормована вартість електроенергії (LCOE) протягом усього терміну експлуатації (C)

Очікується, що LCOE протягом терміну експлуатації ТЕЦ на деревних пелетах з паровою турбіною протитиску становитиме приблизно 146 євро/МВт•год. LCOE для ТЕЦ на деревній трісці з паровою турбіною протитиску становить 148 євро/МВт•год, а для ТЕЦ на соломі — 137 євро/МВт•год. Для ТЕЦ на деревних пелетах і трісці цей показник LCOE знаходиться в середньому ціновому діапазоні, а для ТЕЦ на соломі — у нижньому ціновому діапазоні. Ці ціни у 2,5-3,5 раза вищі, ніж для наземної вітроенергетики, і в 1,5-2,5 раза вищі, ніж для сонячної енергетики, але еквівалентні для нових газових двигунів і турбін.

Витрати на виробництво електроенергії на ТЕЦ на біомасі з паровою турбіною протитиску приблизно порівну розподіляються між операційними витратами (OpEx), витратами на паливо та капітальними витратами (CapEx).

P4: Розподілена генерація (R)

Прогнозується, що теплоелектроцентрالی (ТЕЦ) на біомасі з паровою турбіною протитиску матимуть потужність виробництва електроенергії приблизно 25 МВт. Ця потужність дещо централізована у порівнянні з вітроенергетичними турбінами та газовими двигунами, але децентралізована у порівнянні з вугільними або атомними електростанціями. Як наслідок, розподільча здатність цих середніх за потужністю ТЕЦ на біомасі з паровою турбіною протитиску, вважається помірною.

У світлі поточної ситуації в Україні існує декілька аргументів на користь розподілених установок. Ці установки, стратегічно розташовані поблизу центрів попиту, мають перевагу в тому, що вони зменшують залежність від мережі електропередач. Це

зменшує ризики, пов'язані з потенційними втратами виробничих потужностей. Крім того, локальне виробництво електроенергії поблизу кінцевого споживача зменшує потребу в передачі електроенергії на значні відстані, тим самим підвищуючи енергетичну безпеку.

P5: Регуляторні вимоги в процесі розробки проєкту (Q)

Очікується, що ТЕЦ на біомасі з паровою турбіною протитиску потужністю близько 25 МВт, не матимуть значного впливу на навколишнє середовище. Це свідчить про те, що процес екологічного погодження може бути спрощеним порівняно з більшими об'єктами. Їх відносно невелика потужність також означає, що процес затвердження підключення до мережі може бути менш складним, ніж для електростанцій більшої потужності.

Попри свої переваги, ТЕЦ на біомасі з паровою турбіною протитиску займають значну площу, що вимагає часу на придбання відповідної земельної ділянки. Зважаючи на ці фактори, процес планування та регулювання для ТЕЦ на біомасі з паровою турбіною протитиску за оцінками триватиме приблизно 26 тижнів. Ця тривалість ставить процес планування та отримання дозволів від регуляторних органів в середній діапазон.

P6: Час постачання / доступність компонентів і матеріалів (Q)

Очікується, що термін постачання всіх компонентів і матеріалів для будівництва нової ТЕЦ на деревній трісці та соломі з паровою турбіною протитиску становитиме приблизно 91 тиждень від початкової дати закупівлі. Для ТЕЦ на деревних пелетах з паровою турбіною протитиску очікується, що цей термін складе 78 тижнів. Це пов'язано з постійним дефіцитом електричних компонентів і сировини в ланцюжку постачання. Оцінки часу ґрунтуються

на попередньому досвіді виробників, які будували станції подібної потужності. Вважається, що терміни отримання всіх компонентів для ТЕЦ на деревних пелетах з паровою турбіною протитиску будуть коротшими, оскільки процес роботи з деревними пелетами простіший, а отже, потрібно менше обладнання.

В Україні працює промисловість з виробництва котлів, яка виробляє одні з найсучасніших котлів для спалювання біомаси потужністю до 10 МВт. Крім того, в Україні також виготовляють більші котли потужністю 200-300 МВт, які призначені як для спалювання біомаси, так і для виробництва енергії з вугілля.

P7: Вимоги до логістики та транспортної інфраструктури (Q)

Установка, будівельні компоненти та паливо зазвичай необхідно транспортувати за допомогою тягача з напівприцепом, потяга або судна. Це означає, що місце розташування ТЕЦ на біомасі з паровою турбіною протитиску в ідеалі має знаходитись поруч з дорогою, портом або залізницею. Отже, вимоги до логістики та транспортної інфраструктури відносяться до категорії «середніх».

P8: Час технічних робіт зі встановлення (мінімальний час після отримання дозволу) (Q)

Очікуваний час встановлення ТЕЦ на деревних пелетах з паровою турбіною протитиску становить 52 тижні. На противагу цьому, час встановлення збільшується до 65 тижнів для ТЕЦ на деревній трісці з паровою турбіною протитиску та до 78 тижнів для ТЕЦ на соломі з паровою турбіною протитиску. Така різниця у тривалості встановлення в першу чергу пов'язана зі складнощами, пов'язаними з транспортуванням різних видів палива та їх подачею в камеру згоряння станції. Наприклад, подача

деревних пелет в камеру згоряння простіша порівняно із соломою. Солому необхідно транспортувати за допомогою стрічкового транспортера або кранового підйомника та подавати в камеру згоряння через люк, тоді як деревні пелети можна подавати за допомогою гвинтового насоса.

P9: Вимоги до кваліфікованого персоналу на етапі будівництва (Q)

На етапі будівництва ТЕЦ на біомасі з паровою турбіною протитиску необхідна різноманітна робоча сила, включно з різноробочими, операторами важкого обладнання, бетонниками, зварювальниками, сантехніками, електриками, техніками з опалення, вентиляції та кондиціонування, а також спеціалістами з техніки безпеки. Ці працівники можуть бути як місцевими в Україні, так і приїжджими з інших країн, залежно від політики компанії. Якщо з міркувань безпеки компанії не можуть відправити своїх працівників в Україну, цілком ймовірно, що вони можуть вирішити навчати місцевих робітників. Кожна ТЕЦ на біомасі з паровою турбіною протитиску середньої потужності унікальна та не базується на модульному принципі, що вимагає залучення інженерів на певних етапах будівництва для забезпечення контролю якості. Інженери також мають вносити зміни в будівельні схеми, якщо якийсь аспект будівництва йде не так, як заплановано. Це звичайна проблема для заводів, побудованих за індивідуальним проектом, на відміну від модульних будівельних рішень, які добре протестовані. Отже, потреба у кваліфікованому персоналі на етапі будівництва оцінюється як «середня».

Згідно з інформацією, наданою українськими партнерами, Україна стикається зі значним дефіцитом робочої сили, за оцінками, до 5 мільйонів працівників у всіх секторах через наслідки війни та міграції. Цей дефіцит особливо відчутний у таких спеціалізованих галузях, як біогазові та біометанові

установки, де бракує кваліфікованих фахівців. Отже, може бути важко знайти необхідну кількість робітників для великого будівельного проекту.

P10: Здатність до балансування енергосистеми (попиту) (R)

За умови, що біомаса легкодоступна, а попит на тепло достатній, ТЕЦ на біомасі з паровою турбіною протитиску може виробляти електроенергію в будь-який час доби. Холодний запуск, який передбачає поступове нагрівання компонентів для запобігання тепловому стресу та пошкодженню, може зайняти кілька годин. Якщо станція не повністю охолола, можна провести запуск з теплого стану, який відбувається швидше і, як правило, займає близько 15 хвилин. У порівнянні з газовими електростанціями, ТЕЦ на біомасі з паровою турбіною протитиску потребують більше часу для нарощування виробництва. ТЕЦ на біомасі з паровою турбіною протитиску можуть впливати на баланс енергосистеми, якщо їх роботу буде порушено, і це призведе до різкого припинення їх виробництва. З урахуванням цих факторів, очікується, що ТЕЦ на біомасі з паровою турбіною протитиску матимуть середній рівень можливості балансування енергосистеми.

Зважаючи на вищевикладені міркування, очікується, що ТЕЦ на біомасі з паровою турбіною протитиску забезпечуватимуть середній рівень балансування енергосистеми.

P11: Вимоги до інфраструктури електромереж (R)

Оскільки ТЕЦ на біомасі з паровою турбіною протитиску мають помірну потужність виробництва електроенергії, вимоги до інфраструктури електромереж середні, оскільки ці установки можуть бути підключені до мережі електропередачі або мережі середньої напруги.

P12: Потреба у кваліфікованому персоналі для експлуатації та технічного обслуговування, а також у спеціальних запасних частинах (R)

Для підтримки роботи ТЕЦ на біомасі з паровою турбіною протитиску необхідна команда технічного персоналу, що спеціалізується на експлуатації, технічному обслуговуванні, контрольно-вимірювальних приладах, електротехнічних та механічних роботах. Потреба в повній зайнятості цих техніків може варіюватися в залежності від розміру станції, причому деякі з них потрібні лише для розв'язання конкретних питань, пов'язаних зі сферою їхньої компетенції. Однак, технічні спеціалісти з експлуатації необхідні для роботи на повну ставку, оскільки вони керують станцією з диспетчерської. Порівняно з іншими технологічними рішеннями, попит на кваліфіковану робочу силу в цьому контексті вважається низьким.

P13: Можливість маскування та укріття (R)

Маскування ТЕЦ на біомасі з паровою турбіною протитиску неможливе через їхні великі розміри та видимість на супутникових знімках. Хоча більша частина станції не може

бути укрита, певні критичні компоненти, як-от трансформатор, можуть бути укріплені або захищені сталевією обшивкою, щоб зменшити пошкодження від прямих влучань. З урахуванням його відносно невеликих розмірів, трансформатор можна ефективно захистити. Крім того, варто зазначити, що цей компонент критично важливий, і на його заміну може знадобитися до року і більше, якщо купувати новий у постачальника. У цілому, перспективи маскування та укріття вважаються обмеженими.

P14: Ризик, пов'язаний з постачанням палива (R)

Очікується, що більша частина біомаси для ТЕЦ з паровою турбіною протитиску надходитиме з України, яка має потужний сільськогосподарський сектор, здатний виробляти значні обсяги соломи після збору врожаю. Крім того, деревина, необхідна для виробництва пелет і тріски, може бути отримана з власних лісів України або шляхом вибіркової заготівлі, або шляхом утилізації відходів деревини.

Оцінка критеріїв — ТЕЦ з органічним циклом Ренкіна на біомасі

Оцінка за критеріями	7.b. Деревні пелети, ТЕЦ малої потужності	7.d. Деревна тріска, ТЕЦ малої потужності	7.f. Солома, ТЕЦ малої потужності
Вплив зимового періоду	WWW	WWW	WWW
Швидкість впровадження	QQ	QQ	QQ
Стійкість	RR	RR	RR
Вартість (LCOE, термін експлуатації 2 роки в зимовий період)	C	C	C
Загальна оцінка (1-3)	2.0	2.0	2.0

Таблиця 30: Матриця оцінки критеріїв для установок з органічним циклом Ренкіна, що використовують деревні пелети, тріску та соломку як паливо

Вплив зими, виробництво в зимовий період (W)

ТЕЦ з органічним циклом Ренкіна можуть зробити свій внесок в енергосистему

України в зимовий період. Крім того, вони можуть забезпечувати теплом місцеві міські райони. ТЕЦ з органічним циклом Ренкіна можуть регулювати своє виробництво, що дозволяє їм працювати на повну потужність

у зимовий період. Хоча, ТЕЦ з органічним циклом Ренкіна не можуть масштабувати своє виробництво так швидко, як газові турбіни або двигуни.

Швидкість впровадження (Q)

Терміни впровадження проєкту будівництва ТЕЦ з органічним циклом Ренкіна на біомасі значною мірою залежать від розміру проєкту. Очікується, що процес планування такої станції займе близько 20 тижнів, а час постачання після замовлення обладнання для ТЕЦ з органічним циклом Ренкіна на біомасі становить 65 тижнів. Виходячи з попереднього досвіду, час встановлення ТЕЦ з органічним циклом Ренкіна на деревних пелетах, трісці та соломі, відповідно, становить близько 39 тижнів, 52 тижнів та 65 тижнів для ТЕЦ з органічним циклом Ренкіна на деревних пелетах, трісці та соломі. З урахуванням планування та регуляторні дозволи, загальний час реалізації проєкту та час встановлення, можна очікувати, що проєкт займе відповідно 124 тижні для ТЕЦ з органічним циклом Ренкіна на деревних пелетах, 137 тижнів для ТЕЦ з органічним циклом Ренкіна на деревній трісці та 150 тижнів для ТЕЦ з органічним циклом Ренкіна на соломі. Вважається, що ці часові рамки знаходяться в межах середніх часових рамок.

Стійкість (R)

Стійкість ТЕЦ з органічним циклом Ренкіна на біомасі пов’язана з двома факторами. По-перше, за потужності близько 3 МВт, станції можуть бути розосереджені на

великій території, забезпечуючи значну сукупну виробничу потужність, при цьому маючи середній вплив на балансування енергосистеми у випадку, якщо одна зі станцій буде уражена ракетами, артилерією або безпілотними літальними апаратами. По-друге, площа забудови ТЕЦ з органічним циклом Ренкіна на біомасі потужністю 3 МВт досить велика порівняно з її виробничою потужністю, але значну частину електростанції можна розмістити в бункері.

Нормована вартість електроенергії (LCOE), короткострокові та протягом усього терміну експлуатації (C)

У порівнянні з деякими іншими оціненими технологічними рішеннями, LCOE ТЕЦ з органічним циклом Ренкіна на біомасі дуже висока, коли виробництво доступне лише протягом двох зимових періодів. Крім того, LCOE протягом терміну експлуатації ТЕЦ з органічним циклом Ренкіна на біомасі також дуже висока. Це пов’язано з електричною ефективністю технології, оскільки вона споживає більше палива на одиницю виробленої електроенергії, тим самим значно збільшуючи витрати на паливо, порівняно з ТЕЦ на біомасі з паровою турбіною протитиску.

Оцінка характеристик — станції з органічним циклом Ренкіна

Цей розділ охоплює оцінку характеристик ТЕЦ з органічним циклом Ренкіна на біомасі, яка використовується як основа для оцінювання критеріїв.

Характеристики	7.b. Деревні пелети, ТЕЦ малої потужності	7.d. Деревна тріска, ТЕЦ малої потужності	7.f. Солома, ТЕЦ малої потужності
P1-Виробництво електроенергії в зимовий період	>75%	>75%	>75%
P2-Нормована вартість електроенергії (LCOE) протягом короткого терміну експлуатації, виробництво взимку [євро/МВт•год]	2277	2380	2491

Характеристики	7.b. Деревні пелети, ТЕЦ малої потужності	7.d. Деревна тріска, ТЕЦ малої потужності	7.f. Солома, ТЕЦ малої потужності
P3-Нормована вартість електроенергії (LCOE) протягом усього терміну експлуатації [євро/МВт•год]	250	242	246
P4-Розподілена генерація	3-3,15 МВт	2,85-3 МВт	2,95-3,10 МВт
P5-Регуляторні вимоги в процесі розробки проєкту	Середні	Середні	Середні
P6-Час постачання та наявність компонентів і матеріалів	Довго та складно	Довго та складно	Довго та складно
P7-Вимоги до логістики та транспортної інфраструктури	Середні	Середні	Середні
P8-Час технічних робіт зі встановлення (після отримання дозволу)	Середньострокова перспектива	Довго та складно	Довго та складно
P9-Вимоги до кваліфікованого персоналу на етапі будівництва	Середні	Середні	Середні
P10-Здатність до балансування мережі	Середня	Середня	Середня
P11-Вимоги до інфраструктури електромережі	Легко	Легко	Легко
P12-Потреба у кваліфікованому персоналі для експлуатації та технічного обслуговування, а також у спеціальних запасних частинах	Середня	Середня	Середня
P13-Можливість маскування та укриття	Середній потенціал	Середній потенціал	Середній потенціал
P14-Ризик, пов'язаний з постачанням палива	Низький ризик	Низький ризик	Низький ризик

Таблиця 31: Матриця оцінювання характеристик ТЕЦ з органічним циклом Ренкіна на біомасі. Одиниця LCOE — [євро/МВт•год]

P1: Виробництво електроенергії в зимовий період (W)

За наявності палива, ТЕЦ з органічним циклом Ренкіна на біомасі можуть працювати на повну потужність у будь-яку годину доби, за винятком планових і вимушених відключень. Залежно від конкретних ТЕЦ, існують різні вимоги до часу проведення модернізації, що означає, що протягом року будуть певні тижні, коли планується, що ТЕЦ на біомасі не будуть експлуатуватися. Як правило, модернізацію планують проводити влітку, коли потреба в електростанції значно нижча. Вимушені зупинки можуть відбуватися з різних причин, але, як правило, вони пов'язані з певною формою несправності, яка трапляється під час виробництва.

Як вже зазначалося, потреба в ТЕЦ на

біомасі значно нижча влітку, оскільки велика частка електроенергії може вироблятися за допомогою технологій базового навантаження, як-от атомна, вітрова та дедалі частіше сонячна енергетика. При цьому споживання електроенергії також нижче, оскільки, серед інших причин, попит на тепло значно зменшується. Крім того, ТЕЦ на біомасі також конкурують між собою та з електростанціями на інших видах палива, а також з теплоелектроцентралями, що означає, що частина виробництва буде поглинена.

З цих причин передбачається, що ТЕЦ з органічним циклом Ренкіна на біомасі, буде працювати на повну потужність протягом 5000 годин на рік, так званих годин роботи на повному навантаженні (FLH). Оскільки більша частина виробництва,

ймовірно, припадає на зимовий період, передбачається, що 75% годин роботи на повному навантаженні припадає на зимовий період, а це означає, що ТЕЦ на біомасі буде працювати протягом 3750 годин роботи на повному навантаженні в зимовий період (КВВП — 86%). Це відповідає годинам роботи на повному навантаженні в рік вітроенергетичної турбіни, розташованої в українському регіоні з найкращим вітровим профілем, і більш ніж удвічі перевищує години роботи на повному навантаженні в рік сонячної електростанції, розташованої в українському регіоні з найкращим профілем сонячного випромінювання. Якщо електростанції в Україні не будуть поглинати одна одну через відсутність потужностей, спричинену російськими бомбардуваннями, то можна очікувати, що години роботи на повному навантаженні будуть вищими. Крім того, очікується, що ТЕЦ з органічним циклом Ренкіна на біомасі вироблятимуть електроенергію в години роботи на проміжному та базовому навантаженні, а це означає, що години роботи на повному навантаженні для ТЕЦ з органічним циклом Ренкіна на біомасі можуть бути вищими, ніж для газових двигунів і турбін.

P2: Нормована вартість електроенергії (LCOE) протягом короткого терміну експлуатації, виробництво у зимовий період (C)

У разі сценарію надзвичайної ситуації, коли ТЕЦ з органічним циклом Ренкіна на біомасі використовуються лише протягом двох зимових періодів, LCOE — одна з найвищих. LCOE розраховують на рівні 2280 євро/МВт•год для станції на деревних пелетах, 2380 євро/МВт•год для станції на деревній трісці, та 2490 євро/МВт•год для станції на соломі.

Більшість цих витрат пов'язані з капітальними та фінансовими витратами, оскільки станції не зможуть виробляти електроенергію протягом повного терміну експлуатації.

P3: Нормована вартість електроенергії (LCOE) протягом усього терміну експлуатації (C)

Очікується, що LCOE протягом терміну експлуатації ТЕЦ з органічним циклом Ренкіна на деревних пелетах становитиме приблизно 250 євро/МВт•год. LCOE для ТЕЦ з органічним циклом Ренкіна на деревній трісці розраховують на рівні 240 євро/МВт•год, а для ТЕЦ з органічним циклом Ренкіна на соломі/лушпинні/стеблах — на рівні 245 євро/МВт•год. Для ТЕЦ на деревних пелетах і трісці цей показник LCOE вважається таким, що знаходиться у високому ціновому діапазоні. Ці ціни в 5,5-6 разів вищі, ніж у наземних вітрових електростанцій, у 4-4,5 раза вищі, ніж у сонячних електростанцій, і майже вдвічі вищі за ціни на нові газові двигуни та турбіни.

Розподіл витрат на ТЕЦ з органічним циклом Ренкіна на біомасі справедливо розподіляється між експлуатаційними витратами, витратами на паливо, капітальними витратами та фінансовими витратами. Але витрати на паливо, через електричну неефективність технологічного рішення з органічним циклом Ренкіна, додають значну націнку до ціни для цих станцій.

P4: Розподілена генерація (R)

Очікується, що потужність виробництва електроенергії на ТЕЦ з органічним циклом Ренкіна на біомасі становитиме близько 3 МВт, а це означає, що ТЕЦ з органічним циклом Ренкіна на біомасі пропонують вибір децентралізованого виробництва енергії. Отже, потенціал розподіленості ТЕЦ з органічним циклом Ренкіна на біомасі оцінюється як великий.

З урахуванням поточної ситуації в Україні, існує кілька переконливих причин на користь розподілених установок. Ці установки, розташовані поблизу центрів попиту, пропонують перевагу зменшення

залежності від мережі передачі, тим самим зменшуючи ризики, пов'язані з потенційною втратою виробничих потужностей. Крім того, локальне виробництво електроенергії поблизу кінцевого споживача зменшує необхідність у передачі електроенергії на довгі відстані, а отже, зміцнює енергетичну безпеку.

P5: Регуляторні вимоги в процесі розробки проекту (Q)

Оскільки потужність електростанцій становить близько 3 МВт, очікується, що вони не матимуть значного впливу на навколишнє середовище, а отже, можна припустити, що процес отримання екологічних дозволів буде простішим. Крім того, через їх відносно низьку потужність можна очікувати, що процес отримання дозволу на підключення до мережі також буде простішим, ніж для електростанцій більших потужностей. Зрештою, ТЕЦ з органічним циклом Ренкіна на біомасі мають модульну конструкцію, яка добре відома та може бути заздалегідь сертифікована для експлуатації.

З огляду на ці міркування, очікується, що процес планування та регулювання для ТЕЦ з органічним циклом Ренкіна на біомасі займе близько 20 тижнів. Ці витрати часу на процес планування та отримання дозволів від регуляторних органів знаходяться в середньому діапазоні.

P6: Час постачання / доступність компонентів і матеріалів (Q)

Очікується, що термін постачання всіх компонентів і матеріалів для будівництва нової ТЕЦ з органічним циклом Ренкіна на біомасі складе приблизно 65 тижнів від початкової дати закупівлі. Це пов'язано з постійним дефіцитом електричних компонентів і сировини в ланцюжку постачання. Оцінки часу ґрунтуються на попередньому досвіді виробників, які будували станції подібної потужності.

Зважаючи на потужність ТЕЦ з органічним циклом Ренкіна на біомасі, очікується, що тип палива не матиме впливу на очікуваний час постачання.

P7: Вимоги до логістики та транспортної інфраструктури (Q)

Цей блок і компоненти, необхідні для будівництва, а також паливо, як правило, необхідно транспортувати за допомогою тягача з напівпричепом, потяга або судна, що вимагає, щоб ТЕЦ з органічним циклом Ренкіна на біомасі розташовувалися поруч з дорогою, портом або залізницею. Це означає, що вимоги до логістичної та транспортної інфраструктури знаходяться в середньому діапазоні.

P8: Час технічних робіт зі встановлення (мінімальний час після отримання дозволу) (Q)

Очікується, що час встановлення ТЕЦ з органічним циклом Ренкіна на деревних пелетах складе 39 тижнів. Для ТЕЦ з органічним циклом Ренкіна на деревній трісці очікується 52 тижні, а для ТЕЦ з органічним циклом Ренкіна на соломі — 65 тижнів. 39 тижнів класифікується як середній термін будівництва, тоді як 52 тижні та вище вважаються тривалими та складними.

Ці терміни встановлення знаходяться в межах параметрів, наведених у Данському каталозі технологій. Але різниця в термінах встановлення пояснюється складністю конструкції обладнання, що працює на різних видах палива, а також обладнання, що подає паливо в камеру згоряння установки. Наприклад, подача деревних пелет в камеру згоряння простіша порівняно із соломю. Солому необхідно транспортувати за допомогою стрічкового транспортера або кранового підйомника та подавати в камеру згоряння через люк, тоді як деревні пелети можна подавати за допомогою гвинтового насоса.

Р9: Вимоги до кваліфікованого персоналу на етапі будівництва (Q)

На етапі будівництва потрібні різноробочі, оператори важкої техніки, бетонярі, зварювальники, сантехніки, електрики, фахівці з опалення, вентиляції та кондиціонування повітря, а також спеціалісти з техніки безпеки. Ці категорії працівників легко доступні в Україні або можуть бути залучені з інших країн, залежно від політики компанії. Якщо компанії не можуть відправити своїх працівників в Україну на будівництво з міркувань безпеки, можна припустити, що деякі компанії можуть і будуть навчати різноробочих з України. Оскільки кожна ТЕЦ з органічним циклом Ренкіна на біомасі має елемент, який відрізняється від інших ТЕЦ з органічним циклом Ренкіна, на деяких етапах будівництва потрібні інженери для нагляду за контролем якості. Крім того, інженери потрібні для коригування будівельних схем, якщо щось у будівництві працює не так, як очікувалося, або не належним чином. Це загальні проблеми для станцій, які виготовляють за індивідуальним замовленням, порівняно з модульними рішеннями, які добре протестовані. Ось чому потреба у кваліфікованому персоналі на етапі будівництва вважається середньою.

За оцінками, наданими українськими партнерами, в Україні не вистачає до 5 мільйонів робітників. Це означає, що на етапі будівництва може бути важко знайти необхідну кількість робітників для великого будівельного проекту.

Р10: Здатність до балансування енергосистеми (попиту) (R)

Припускаючи, що біомаса доступна, установка з органічним циклом Ренкіна на біомасі може виробляти електроенергію в будь-яку годину дня. Холодний запуск займає кілька годин, оскільки компоненти потрібно нагрівати поступово, щоб уникнути теплового стресу та пошкоджень.

Якщо установка не повністю охолола, можна провести запуск з теплового стану, який займає менше часу (приблизно 15 хвилин), ніж холодний запуск. У порівнянні з газовими електростанціями, ТЕЦ з органічним циклом Ренкіна на біомасі нарощують своє виробництво повільніше. Виробнича потужність ТЕЦ з органічним циклом Ренкіна на біомасі занадто низька, щоб мати помітний вплив на балансування енергосистеми, якщо вони зазнають бомбардувань і їх виробництво раптово зупиняється.

Зважаючи на вищезазначені міркування, очікується, що ТЕЦ з органічним циклом Ренкіна на біомасі матимуть середній рівень здатності до балансування енергосистеми.

Р11: Вимоги до інфраструктури електромереж (R)

Оскільки ТЕЦ на біомасі з паровою турбіною протитиску мають помірну потужність виробництва електроенергії, вимоги до інфраструктури електромереж середні, оскільки ці установки можуть бути підключені до мережі електропередачі або мережі середньої напруги.

Р12: Потреба у кваліфікованому персоналі для експлуатації та технічного обслуговування, а також у спеціальних запасних частинах (R)

Щоб підтримувати ТЕЦ на біомасі з паровою турбіною протитиску в робочому стані потрібні фахівці з експлуатації, технічного обслуговування, контрольно-вимірювальних приладів, електрики та механіки. Залежно від розміру станції, деякі з цих фахівців можуть не потребувати повної зайнятості, але можуть бути викликані, коли виникає конкретна проблема, що стосується їхньої сфери діяльності. Технічні спеціалісти з експлуатації потрібні на повну зайнятість, щоб вони могли керувати станцією з диспетчерської. Потреба у кваліфікованій

робочій силі вважається низькою порівняно з іншими технологічними рішеннями.

P13: Можливість маскуванню та укриття (R)

Можливість маскуванню ТЕЦ на біомасі з паровою турбіною протитиску відсутня, оскільки вони мають великі розміри та легко помітні за допомогою супутників.

Великі частини ТЕЦ на біомасі з паровою турбіною протитиску неможливо укрити, але деякі критичні компоненти, як-от трансформатор, можна укріпити або покрити сталевим покриттям, щоб мінімізувати пошкодження від прямого удару по станції. Трансформатор відносно невеликий та його можна укрити, крім того, він критично важливий компонент, на постачання якого постачальнику знадобиться до року, щоб поставити його новим.

Загалом, можливість маскуванню та укриття вважається низькою.

P14: Ризик, пов'язаний з постачанням палива (R)

Очікується, що більша частина біомаси для ТЕЦ на біомасі з паровою турбіною протитиску надходитиме з України. В Україні розвинене сільське господарство, яке може постачати велику кількість соломи після кожного збору врожаю. Крім того, деревина для виробництва деревних пелет та тріски може бути отримана з власних лісів України або шляхом вибіркової заготівлі, або шляхом використання відходів деревини.

Паспортні дані

У Додатку F наведені технічні паспорти для:

- ТЕЦ на біомасі з паровою турбіною протитиску, середньої потужності
- деревна тріска;
- деревні пелети;
- солома/стебла/лушпиння,
- ТЕЦ з органічним циклом Ренкіна на біомасі, малої потужності
- деревна тріска;
- деревні пелети;
- солома/стебла/лушпиння



Гідроелектростанція на річці



ГІДРОЕЛЕКТРОСТАНЦІЯ

Рейтинг на першій сторінці показує оцінку технології, яка отримала найвищий загальний бал серед підтехнологій, зазначених у розділі. Чим більше піктограм, тим кращі показники¹⁸. Для гідроенергетики найкращу оцінку отримали мікрогідроелектростанції

на річці. Слід зазначити, що для технології “Модернізація ГЕС з греблями, включаючи ГАЕС” розрахунок LCOE відсутній, тому не виключено, що ця технологія могла б отримати найвищий бал. Оцінки для всіх підтехнологій наведені в Таблиці 32.

Оцінка за критеріями	8.a. Гідроелектростанція, на річці, малої потужності	8.b. Мікрогідроелектростанція, на річці	8.c. Модернізація ГЕС з греблями, включно з ГАЕС
Вплив зимового періоду	WW	WW	WWW
Швидкість впровадження	Q	QQ	Q
Стійкість	RR	RR	RR
Вартість (LCOE, термін експлуатації 2 роки в зимовий період)	CCC	CCC	n.a.
Загальна оцінка (1-3)	2.0	2.3	n.a.

Таблиця 32: Гідроенергетика — загальна матриця критеріїв для гідроенергетичних технологій

Цей розділ охоплює гідрогенератори малої потужності, які можуть бути більш розподіленими для забезпечення України електроенергією у випадку, якщо великі гідроелектростанції будуть атаковані агресором. У цьому розділі розглядаються такі типи гідрогенераторів:

- Генератори з мікропотужністю від кількох кіловатів до 1 МВт.
- Генератори малої потужності від 1 МВт до 25 МВт.
- Модернізація наявних ГЕС з дамбами та гідроакумуляючими електростанціями.

Стислий опис технології

Гідроенергетика залишається надійним і перевіреним методом виробництва електроенергії вже понад сто років. Застосування гідроенергетики для забезпечення енергією різних видів людської діяльності спостерігається вже кілька тисяч років.

Концепція гідроенергетики використовує різницю напору між двома водосховищами, природними або штучно створеними за допомогою гребель і дамб. На гідроелектростанції потенційна енергія

¹⁸ Детальне пояснення див. у Таблиці 2: Огляд характеристик, які впливають на критерії, і візуалізація рейтингів, чим більше піктограм, тим кращий рейтинг

перетворюється на кінетичну енергію обертання, яка обертає лопаті турбіни, з'єднаної з генератором. Загалом гідроенергетика забезпечує приблизно 10% від загальної встановленої генеруючої потужності.

Гідроелектростанції можна класифікувати за різними ознаками, наприклад, за наявністю напору, розміром станції та режимом роботи. З точки зору режиму роботи, широко прийнятою вважається така класифікація (посилання 1):

Гідроелектростанції на річці (RoR).

Об'єкт, який спрямовує проточну воду з річки через канал або водозбірник для обертання турбіни. Як правило, на проектах гідроелектростанції на річці мала кількість або повна відсутність водосховищ. Вони, як правило, невеликі та застосовуються також в автономному режимі.

Схема гідроелектростанції на річці наведена на Рисунку 26 нижче.

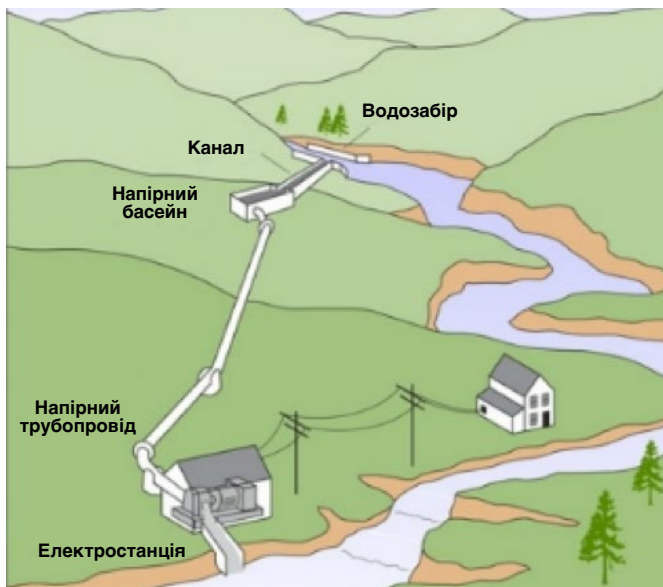


Рисунок 26: Схеми гідроелектростанцій на річці (посилання 2, 3)

Гідроелектростанції з водосховищами. Греблю використовують для накопичення води у водосховищі (накопичення води). Електроенергія виробляється шляхом

скидання води з водосховища через турбіну, яка активує генератор. Вони можуть мати широкий діапазон потужностей, залежно від гідравлічного напору та розміру водосховища.

Схема гідроелектростанції з греблею наведена на Рисунку 27.

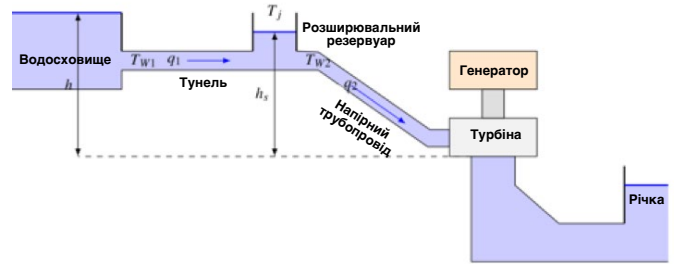


Рисунок 27: Схема водосховища гідроелектростанції (посилання 2, 3)

У каскадних річкових системах можуть бути об'єднані як гідроелектростанції на річці, так і гідроелектростанції з водосховищами, а гідроакумлюючі електростанції можуть використовувати воду, що зберігається в одному або декількох водосховищах. За принципом каскадної системи (Рисунок 28), виробництво енергії на гідроелектростанції на річці може регулюватися гідроелектростанцією з водосховищем, розташованою вище за течією річки. Велике водосховище у верхньому водозборі, як правило, регулює стік для декількох гідроелектростанцій на річці або менших гідроелектростанцій з водосховищем, розташованих нижче за течією. Це, ймовірно, збільшує річний енергетичний потенціал об'єктів нижче за течією і підвищує цінність функції накопичення верхнього водосховища. Однашованих нижче за течією, від роботи станцій, розташованих вище за течією. Прогнозування виробітку електроенергії на різних каскадних ГЕС може бути точним, оскільки вимірювання витрати води на першій ГЕС можуть бути застосовані для калібрування алгоритму прогнозування для всіх каскадних електростанцій. Оскільки воду не можна стиснути, і певна її частина випаровується або відводиться, графік

роботи каскадних електростанцій можна спрогнозувати з достатньою точністю. В Україні існує дві різні каскадні системи, а саме: Дніпровський каскад (загальною потужністю 9900 МВт) і Дністровський каскад (загальною потужністю 730 МВт).

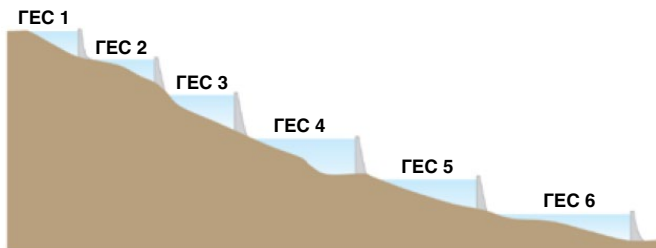


Рисунок 28: Принцип роботи каскадної системи (посилання 4)

Гідроакумулюючі електростанції.

Забезпечують постачання електроенергії під час пікових навантажень, використовуючи воду, яка циркулює між нижнім і верхнім водосховищами за допомогою насосів, що споживають надлишкову енергію з електроенергетичної системи в періоди низького попиту та низьких витрат. У той час як у світі існує та будують багато гідроакумулюючих електростанцій, в Україні таких об'єктів небагато. Київська гідроакумулююча електростанція (235 МВт), Дністровська гідроакумулююча електростанція (972 МВт) і Ташлицька гідроакумулююча електростанція (302 МВт) загальною потужністю 1509 МВт.

Схема гідроакумулюючих електростанцій наведена на Рисунок 29.

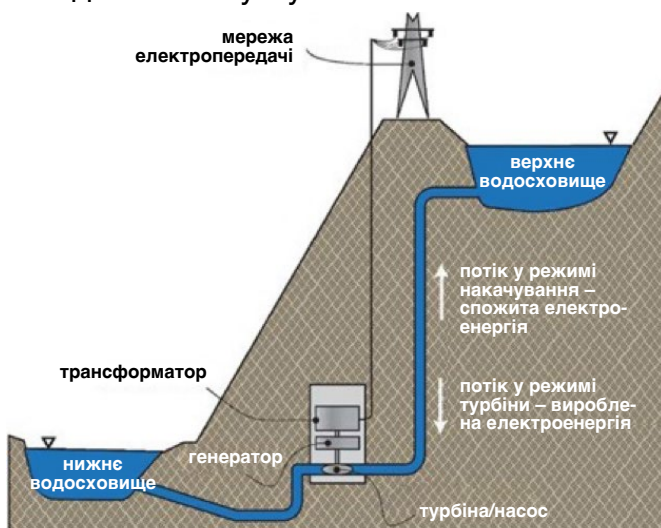


Рисунок 29: Гідроакумулююча електростанція

Гідроакумулююча станція (ГАЕС) — один з ключових засобів балансування для адаптації переривчастих відновлюваних джерел енергії, як-от енергія сонця, вітру та води, а також для збереження динамічної стабільності енергосистеми в умовах низького попиту, наприклад, у нічний час, та/або роботи енергосистеми в умовах навмисного секціювання з метою підвищення стійкості до атак.

Гідроелектростанції мають потужність від кіловата до сотень мегават. Класифікація, що базується на потужності гідроелектростанцій, представлена в Таблиці 33 (посилання 1).

Тип	Потужність (міжнародна класифікація)
Гідроелектростанція великої потужності	> 100 МВт
Гідроелектростанція середньої потужності	25 – 100 МВт
Гідроелектростанція малої потужності	1- 25 МВт
Гідроелектростанція міні-/макропотужності	< 1 МВт

Таблиця 33: Класифікація гідроелектростанцій за потужністю

Гідроелектростанції великої потужності часто мають потужність у сотні або навіть тисячі мегаватів і використовують енергію води, що падає з водосховища для виробництва електроенергії за допомогою різних типів турбін (наприклад, Пелтона, Френсіса, Каплана) залежно від характеристик річки, гідравлічного напору та потужності установки. Гідроелектростанції малої/мікропотужності — це гідроелектростанції на річці. Ці типи гідроелектростанцій використовують турбіни поперечного потоку, турбіни Пелтона або Каплана.

Турбіни Пелтона використовуються у випадку високого напору і невеликої течії, коли вода проходить через сопла та потрапляє

у вигнуті ковші, розташовані на периферії колеса. Менш ефективний варіант — турбіна поперечного потоку. Це активні турбіни, що працюють тільки на кінетичній енергії течії.

У випадку низького напору і великої течії переважають турбіни Каплана — водяні турбіни пропелерного типу з регульованими лопатями. Турбіни Каплана і Френсіса, як і інші турбіни пропелерного типу, уловлюють кінетичну енергію та різницю тисків рідини

між входом і виходом з турбіни. Турбіни Френсіса — найпоширеніший тип, оскільки вони працюють в широкому діапазоні напорів (від 20 м до 700 м), від малої до дуже великої течії, мають широку пропускну здатність і відмінний гідравлічний ККД.

Вибір типу турбіни залежить від напору нетто, визначеного на Рисунку 30, та швидкості течії річки.

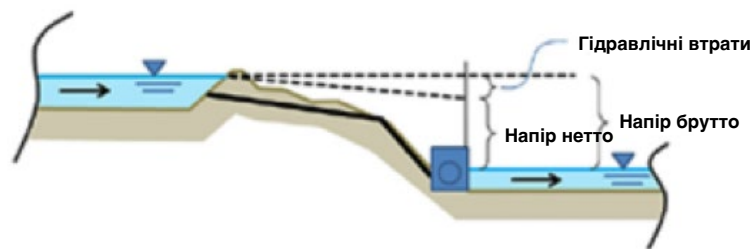


Рисунок 30: Гідроенергетика — визначення напору нетто та брутто (посилання 5)

Схема застосування гідроенергетичних турбін, пов’язана з напором нетто та швидкістю течії річки, зображена на Рисунку 31.

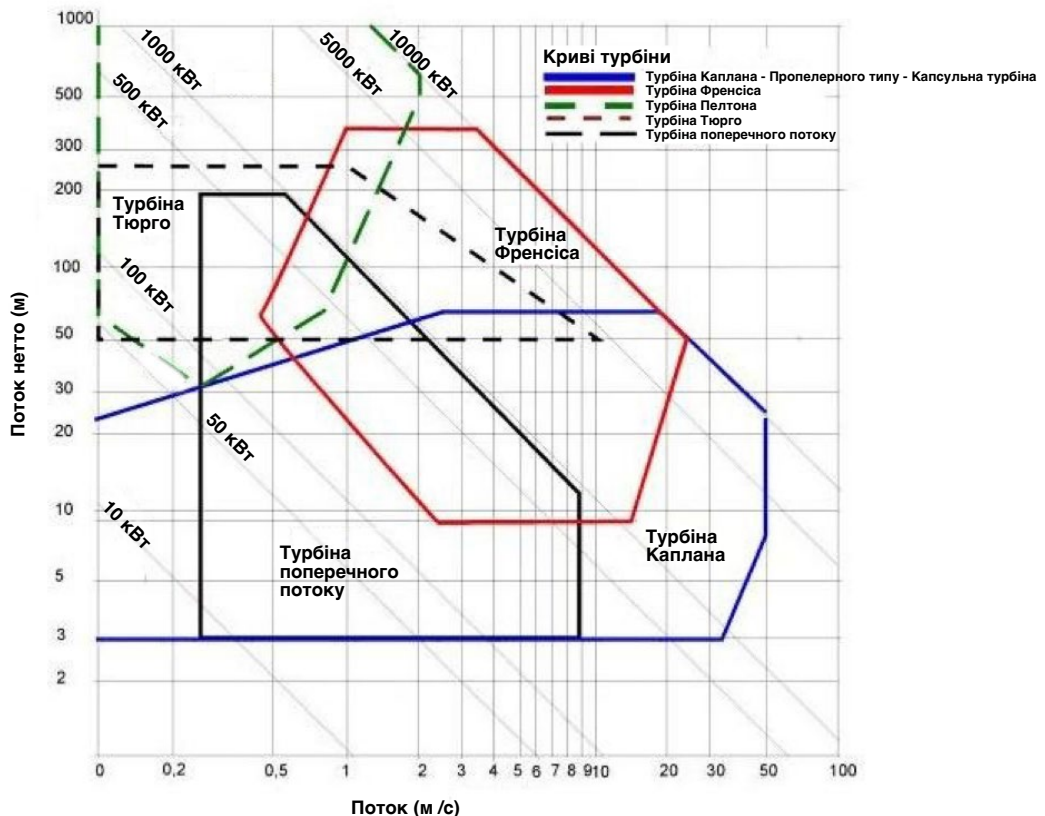


Рисунок 31: Діаграма використання гідроенергетичних турбін (посилання 5)

Коефіцієнт потужності, досягнутий гідроенергетичними проєктами, потрібно розглядати дещо інакше, ніж для інших проєктів з виробництва електроенергії. Він залежить від наявності води та призначення станцій — для задоволення пікового та/або базового попиту.

Середній коефіцієнт потужності гідроелектростанцій встановився на рівні 48% у 2010-2019 роках (світові показники) зі значним стандартним відхиленням у різних географічних регіонах. Сині області на рисунку представляють стандартне відхилення від середнього показника (Рисунок 32).

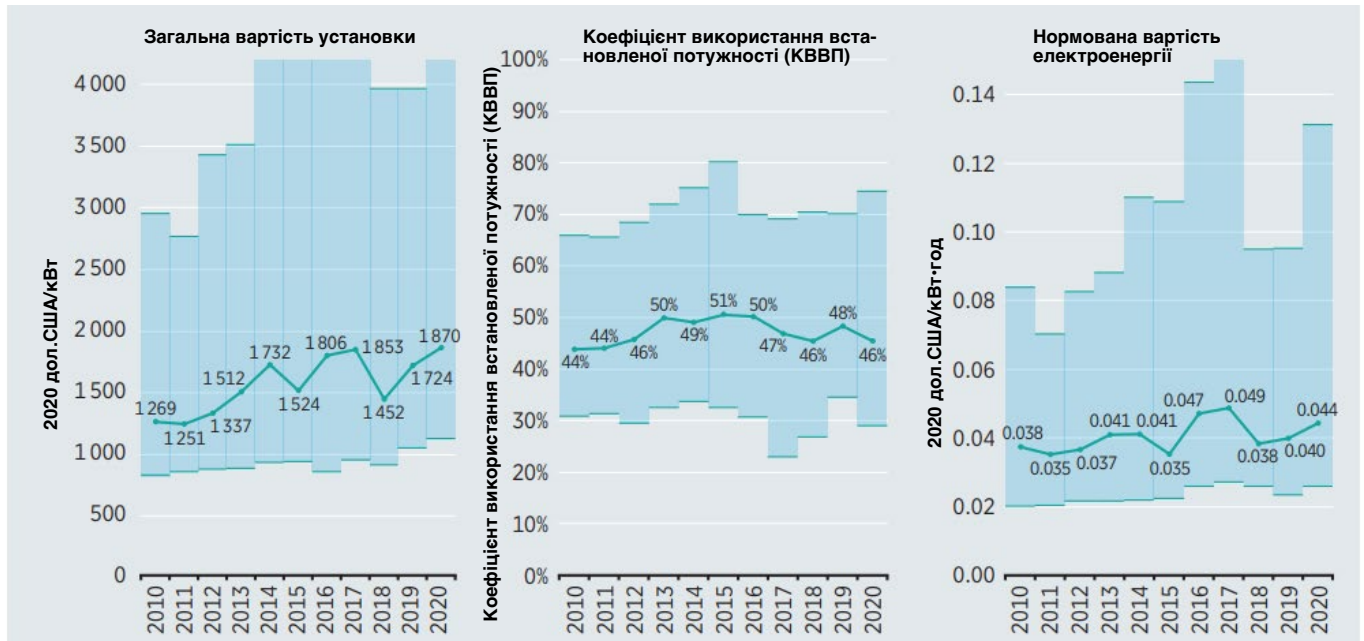


Рисунок 32: Загальні інвестиційні витрати, КВВП, LCOE для гідроенергетики (світовий показник) (посилання 6)

За даними «Укргідроенерго», в Україні наразі експлуатують такі гідроелектростанції, див. Таблиця 34. Як примітка, вказана технологія турбіни.

Назва	Місцезнаходження	Технологія	Потужність (МВт)	Рік побудови	Примітка
Дніпровська гідроелектростанція	Запоріжжя	ГЕС	1,548	1927–1939; 1969—1980	Турбіна Френсіса
Дністровська гідроелектростанція	Новодністровськ	ГЕС	702	1973—1981	Турбіна Каплана
Дністровська гідроакумлююча електростанція		ГАЕС	972	1983—2015	Турбіна Френсіса
Київська гідроелектростанція	Вишгород	ГЕС	388.8	1964	Капсульна турбіна
Київська ГАЕС		ГАЕС	235	1970	Турбіна Френсіса
Канівська гідроелектростанція	Канів	ГЕС	444	1972	
Канівська гідроакумлююча електростанція	Бучак, Канів	ГАЕС	1,000	1986–1991; 2019–? (на стадії будівництва)	

Назва	Місцезнаходження	Технологія	Потужність (МВт)	Рік побудови	Примітка
Кременчуцька гідроелектростанція	Світловодськ	ГЕС	625	1959	Турбіна пропелерного типу
Каховська гідроелектростанція	Нова Каховка	ГЕС	351	1950-1956	Турбіна пропелерного типу (зруйнована 6 червня 2023 року)
Середньодніпровська гідроелектростанція	Кам'янське	ГЕС	352	1963	Турбіна пропелерного типу
Ташлицька гідроакумулююча електростанція	Южноукраїнськ	ГАЕС	302	1981-2007	Турбіна Френсіса

Таблиця 34: Перелік гідроелектростанцій в Україні — ГЕС: гідроелектростанція з греблею; ГАЕС: гідроакумулююча електростанція; RoR: ГЕС на річці (без греблі) — зі змінною потужністю, як вітрова та сонячна енергія

Модернізація ГЕС з греблями та гідроакумулюючими електростанціями

Модернізація та/або переобладнання наявних гідроенергетичних об'єктів має багато очевидних переваг, а також можливостей отримати швидкий результат.

Серед інших можна згадати такі очевидні переваги:

- Об'єкти вже підключені до електромережі
- Об'єкти вже введені в експлуатацію та працюють
- Об'єкти вже укомплектовані персоналом

- Впроваджено всі операційні процедури та процедури безпеки
- Аспекти обміну інформацією та передачі даних вже налагоджені

Модернізація наявних об'єктів може бути дуже вигідною з точки зору часу реалізації, а також обмежених витрат.

Оцінка критеріїв — гідроенергетика

Цей розділ охоплює окремі критерії оцінювання гідроенергетики, які призначені для використання як рекомендації для вибору найбільш відповідної технології виробництва електроенергії в реальній ситуації.

Оцінка за критеріями	8.a. Гідроелектростанція, на річці, малої потужності	8.b. Мікрогідроелектростанція, на річці	8.c. Модернізація ГЕС з греблями, включно з ГАЕС
Вплив зимового періоду	WW	WW	WWW
Швидкість впровадження	Q	QQ	Q
Стійкість	RR	RRR	RR
Вартість (LCOE, термін експлуатації 2 роки в зимовий період)	CCC	CCC	CCC
Загальна оцінка (1-3)	2.0	2.5	2.3

Таблиця 35: Матриця оцінювання критеріїв для гідроелектростанцій

Оцінка критеріїв базується на оцінюванні параметрів у розділі нижче.

Вплив зими (виробництво в зимовий період) Гідроелектростанції можуть зробити свій внесок в енергосистему України в зимовий період за умови наявності мінімально необхідної течії води.

ГЕС можуть регулювати своє виробництво, що дозволяє їм працювати на повну потужність у зимовий період і додавати необхідні послуги зі стабільності, а також інерційності системи, що притаманна технології синхронних генераторів.

Більшість гідрогенераторів мікропотужності засновані на несинхронній технології та, як такі, не мають можливості надавати деякі балансуєчі послуги, а також покращувати інерційність системи.

Практично всі гідроелектростанції з номінальною потужністю понад 1 МВт працюють за синхронною технологією і, відповідно, мають вбудовану можливість надавати мінімально необхідні послуги з балансування, а також вносити свій внесок у забезпечення інерційності системи.

Для забезпечення необхідних послуг з регулювання частоти може знадобитися модернізація наявних гідроенергетичних об'єктів.

Швидкість впровадження

Терміни реалізації проєкту гідроелектростанції значно залежать від потужності об'єкта. ГЕС малої та мікропотужності реалізують швидше, ніж об'єкти середньої або великої потужності, оскільки компоненти можуть бути готовими до використання.

Модернізація наявних об'єктів порівнянна з реалізацією об'єктів малої та середньої потужності, якщо не швидша, залежно від компонентів для модернізації. Під час

оцінювання характеристик групи 8.a та 8.c мають однаковий розрахунковий час впровадження проєкту — 136 тижнів. Орієнтовна тривалість проєкту для гідроелектростанції мікропотужності становить 104 тижні. Варіативність розрахункової тривалості впровадження проєкту може бути дуже великою, оскільки місцеві проблеми та проблеми з ланцюжком постачання можуть змінюватися в залежності від регіону та часу.

Стійкість

Стійкість гідроелектростанцій пов'язана з місцевими особливостями топології течії води та ландшафту. Якщо гідрогенератори можуть бути розосереджені на менші блоки та сховані вздовж потоку води, а також матимуть можливість забезпечувати комбіновану значну виробничу потужність, це підвищить стійкість всього об'єкта в цілому.

Якщо ландшафт забезпечує природне укриття великих частин гідроелектростанції, стійкість також буде підвищена.

Використання підземної кабельної проводки для передачі електроенергії з об'єкта замість повітряних ліній також підвищить стійкість до агресивних нападів і саботажу.

Нормована вартість електроенергії (LCOE), короткострокові та протягом усього терміну експлуатації

У порівнянні з іншими оцінюваними технологіями, LCOE гідроелектростанцій загалом нижча для ГЕС мікро- та малої потужностей, якщо їх виробництво можливе лише протягом двох зимових періодів. Крім того, LCOE ГЕС дуже низька порівняно з іншими технологіями, оскільки паливо безкоштовне, а термін експлуатації об'єктів ГЕС зазвичай довгий. Глобальна динаміка LCOE ГЕС у 2010 – 2020 роках наведена на Рисунку 32.

Оцінка характеристик — гідроенергетика

Цей розділ охоплює оцінку характеристик гідроенергетики, які використовуються як основа для оцінки критеріїв.

Характеристики	8.a. Гідроелектростанція, на річці, малої потужності	8.b. Мікрогідроелектростанція, на річці	8.c. Модернізація ГЕС з греблями, включно з ГАЕС
P1-Виробництво електроенергії в зимовий період	50%	50%	>75%
P2-Нормована вартість електроенергії (LCOE) протягом короткого терміну експлуатації, виробництво взимку [євро/МВт•год]	1008	1350	н/д
P3-Нормована вартість електроенергії (LCOE) протягом усього терміну експлуатації [євро/МВт•год]	64	74	н/д
P4-Розподілена генерація	10-100 МВт	0-10 МВт	100 МВт
P5-Регуляторні вимоги в процесі розробки проекту	Довго	Проміжний	Довго
P6-Час постачання та наявність компонентів і матеріалів	Середній	Середній	Середній
P7-Вимоги до логістики та транспортної інфраструктури	Середні	Низькі	Середні
P8-Час технічних робіт зі встановлення (після отримання дозволу)	Середньострокова перспектива	Середньострокова перспектива	Середньострокова перспектива
P9-Вимоги до кваліфікованого персоналу на етапі будівництва	Середні	Середні	Середні
P10-Здатність до балансування мережі	Задовільна	Низька	Низька
P11-Вимоги до інфраструктури електромережі	Середні	Середні	Низькі
P12-Потреба у кваліфікованому персоналі для експлуатації та технічного обслуговування, а також у спеціальних запасних частинах	Низька	Низькі	Низька
P13-Можливість маскування та укриття	Високий потенціал	Високий потенціал	Середній потенціал
P14-Ризик, пов'язаний з постачанням палива	Низький ризик	Низький ризик	Низький ризик

Таблиця 36: Матриця оцінювання характеристик гідроелектростанцій. Одиниця LCOE — [євро/МВт•год]

P1: Виробництво електроенергії в зимовий період (W)

Гідроелектростанції можуть зробити свій внесок в енергосистему України в зимовий період за умови наявності мінімально необхідної течії води. Отже, за оцінками, гідроелектростанції на річці здатні забезпечити щонайменше 50% потужності в зимовий період. У той час як

ГЕС можуть регулювати своє виробництво, що дозволяє їм працювати на повну потужність у зимовий період і додавати необхідні послуги зі стабілізації, а також підтримувати інерційність системи, притаманну технології синхронних генераторів.

Більшість гідрогенераторів мікропотужності засновані на несинхронній технології та, як

такі, не мають можливості надавати деякі стабілізуючі послуги, а також покращувати інерційність системи.

Практично всі гідроелектростанції з номінальною потужністю понад 1 МВт працюють за синхронною технологією і, відповідно, мають вбудовану можливість надавати мінімально необхідні послуги зі стабілізації, а також вносити свій внесок у забезпечення інерційності системи.

Гідроенергетичні об'єкти з сучасними можливостями управління зазвичай здатні надавати послуги резерву підтримки частоти (FCR), а також послуги резерву відновлення частоти (FRR) і резерву заміщення (RR). Для забезпечення необхідних послуг з регулювання частоти може знадобитися модернізація наявних гідроенергетичних об'єктів.

P2: Нормована вартість електроенергії (LCOE) протягом короткого терміну експлуатації, виробництво у зимовий період (C)

У порівнянні з іншими оцінюваними технологічними рішеннями, LCOE за 2 роки виробництва електроенергії в зимовий період для гідроелектростанції на річці нижча за 80% від середнього показника для інших оцінюваних технологій. Це частково пов'язано з тим, що паливо зараз коштує дорожче, а інвестиційні витрати помірні. Жодних розрахунків LCOE для модернізації гідроелектростанції з греблями та ГАЕС не проводилось через брак даних.

P3: Нормована вартість електроенергії (LCOE) протягом усього терміну експлуатації (C)

У порівнянні з іншими оцінюваними технологіями, LCOE для виробництва електроенергії протягом терміну експлуатації для гідроелектростанції на річці становить менш як 80% від середнього

показника для інших оцінюваних технологій. Це частково пов'язано з тим, що паливо зараз коштує дорого, інвестиційні витрати помірні, а термін експлуатації об'єктів ГЕС довгий. Жодних розрахунків LCOE для модернізації гідроелектростанції з греблями та ГАЕС не проводилось через брак даних. Однак приклади розрахунків динаміки LCOE за період 2010-2020 рр. для ГЕС наведені на Рисунку 32.

P4: Розподілена генерація (R)

Мікро-ГЕС на річці отримують найкращу оцінку щодо можливості розподіленого виробництва. Тоді як ГЕС малої потужності на річці, ГЕС з греблями та ГАЕС оцінюють як середні за параметром «розподілене виробництво».

Загалом, менші розподілені об'єкти стійкіші, ніж великі централізовані об'єкти. Можна навести кілька прикладів високого ризику, пов'язаного з великими централізованими системами, наприклад, захоплення енергоблока Запорізької АЕС та диверсія на Каховській ГЕС у 2023 році. У глобальному масштабі можна навести довгий перелік високих ризиків, пов'язаних з великими об'єктами генерації. Саме тому в Україні рекомендовано застосовувати більш розподілений підхід, що сприятиме підвищенню стійкості.

P5: Регуляторні вимоги в процесі розробки проєкту (Q)

До проєкту має бути застосовано положення про оцінку впливу на навколишнє середовище.

Стосовно підключення до мережі, до всіх нових об'єктів має застосовуватися впровадження в Україні мережевого кодексу ЄС щодо підключення до мережі для всіх генераторів відповідно до Регламенту ЄС 631/2016.

Стосовно експлуатації об'єкта, до всіх

нових об'єктів має застосовуватися впровадження в Україні положень Регламенту ЄС про експлуатацію системи передачі Регламенту Комісії (ЄС) 2017/1485 та Кодексу мережі ЄС 631/2016 для аварійних ситуацій та відновлення.

Стосовно роботи на ринку, до всіх нових установок застосовується впровадження в Україні РЕГЛАМЕНТУ КОМІСІЇ (ЄС) 1222/2015 від 24 липня 2015 року, що встановлює настанови щодо розподілу потужностей та управління доступом до них, а до Управління з фінансового регулювання і нагляду Великої Британії – впровадження в Україні Регламенту Комісії (ЄС) 2016/1719 від 26 вересня 2016 року, що встановлює настанови щодо розподілу перспективних потужностей, а до настанов щодо балансування електроенергії – впровадження в Україні Регламенту Комісії (ЄС) 2017/2195 від 23 листопада 2017 року, що встановлює настанови щодо балансування електроенергії.

З цього випливає, що період отримання дозволів становить 48, 26 та 52 тижні відповідно для гідроелектростанцій малої та мікропотужності на річці, а також гідроелектростанцій з греблями та ГАЕС.

6: Час постачання / доступність компонентів і матеріалів (Q)

Очікується, що час постачання всіх компонентів і матеріалів для модернізації гідроелектростанції становитиме приблизно 36 тижнів від початкової дати закупівлі. Це пов'язано з тим, що існує постійний дефіцит в ланцюжку постачання електричних компонентів, коли постачання деяких компонентів займає від 26 до 52 тижнів, але очікується, що під час модернізації або ремонту лише деякі компоненти будуть виготовляти заново, і це залежить від конкретної станції. Отже, загалом очікується, що на постачання компонентів для різних станцій знадобиться 36 тижнів.

P7: Вимоги до логістики та транспортної інфраструктури (Q)

Транспортування компонентів для ГЕС певною мірою вимагає перевезення потягом, суднами або спеціальними транспортними засобами, обладнанням або маршрутами. Логістична та транспортна інфраструктура в Україні може створювати певні проблеми через поганий стан доріг у деяких районах, пошкодження залізниць, портів і кранів, а також ризику для безпеки в зонах бойових дій.

Залізниці та порти зазнали значних пошкоджень, і перевезення, які раніше здійснювалися через Чорне море, стали майже неможливими.

Це означає, що модернізація або ремонт ГЕС та ГЕС малої потужності на річці мають середню оцінку щодо потреби в логістичній та транспортній інфраструктурі. А мікро-ГЕС на річці отримують найкращі оцінки потреби в логістичній та транспортній інфраструктурі.

Забезпечення доступу до належної транспортної інфраструктури може бути критично важливим параметром у процесі визначення місць для ГЕС, особливо для ГЕС малої потужності.

P8: Час технічних робіт зі встановлення (мінімальний час після отримання дозволу) (Q)

Очікується, що час встановлення ГЕС становитиме 36, 26 та 48 тижнів відповідно для ГЕС малої та мікропотужності на річці, а також ГЕС з греблями та ГАЕС.

P9: Вимоги до кваліфікованого персоналу на етапі будівництва (Q)

Спеціальних вимог до персоналу гідроенергетичного об'єкта немає, окрім наявності всіх необхідних навичок для

будівництва відповідно до чинного законодавства України.

P10: Здатність до балансування енергосистеми (R)

Усі мінімальні вимоги до підключення до мережі щодо функціональності та діапазонів параметрів викладені у впровадженому в Україні мережевому кодексі ЄС щодо підключення до мережі для всіх генераторів відповідно до Регламенту Комісії (ЄС) 2016/631 від 14 квітня 2016 року, що встановлює мережевий кодекс щодо вимог до підключення генераторів до енергосистеми.

ГЕС з греблями та ГАЕС можуть регулювати своє виробництво і, відповідно, додавати необхідні послуги з балансування, а також інерційності системи, що притаманна технології синхронних генераторів.

Більшість гідрогенераторів мікропотужності засновані на несинхронній технології та, як такі, не мають можливості надавати деякі балансуєчі послуги, а також покращувати інерційність системи.

Практично всі гідроелектростанції з номінальною потужністю понад 1 МВт працюють за синхронною технологією і, відповідно, мають вбудовану можливість надавати мінімально необхідні послуги з балансування, а також вносити свій внесок у забезпечення інерційності системи.

Гідроенергетичні об'єкти з сучасними можливостями управління зазвичай здатні надавати послуги резерву підтримки частоти (FCR), а також послуги резерву відновлення частоти (FRR) і резерву заміщення (RR). Для забезпечення необхідних послуг з регулювання частоти може знадобитися модернізація наявних гідроенергетичних об'єктів.

P11: Вимоги до інфраструктури електромереж (R)

Оскільки гідроелектростанції мікро- та малої потужностей мають помірну потужність виробництва електроенергії, вимоги до інфраструктури електромереж низькі або середні, оскільки ці станції можуть бути підключені до системи розподільчих мереж на середньому рівні напруги. Рівні напруги неважливі для стабільності мережі, тому якщо лінія електропередачі проходить повз об'єкт гідроенергетики, він може бути підключений до системи передачі, якщо він відповідає мінімальним вимогам до підключення в рамках впровадження в Україні мережевого кодексу ЄС щодо підключення до електромережі для всіх генераторів відповідно до Регламенту ЄС 631/2016.

P12: Потреба у кваліфікованому персоналі для експлуатації та технічного обслуговування, а також у спеціальних запасних частинах (R)

Спеціальних вимог до персоналу гідроелектростанції немає, окрім розуміння концепції експлуатації та необхідної кваліфікації відповідно до впровадження в Україні положень Регламенту ЄС з експлуатації системи передачі Регламенту Комісії (ЄС) 2017/1485 та Кодексу мережі для аварійних ситуацій та відновлення.

P13: Можливість маскування та укриття (R)

Стійкість гідроелектростанцій пов'язана з місцевими особливостями топології течії води та ландшафту. Якщо гідрогенератори можуть бути розосереджені на менші блоки та сховані вздовж потоку води, а також матимуть можливість забезпечувати комбіновану значну виробничу потужність, це підвищить стійкість всього об'єкта в цілому.

Якщо ландшафт забезпечує природне укриття великих частин гідроелектростанції, стійкість також буде підвищена.

Використання підземної кабельної проводки для передачі електроенергії з об'єкта замість повітряних ліній також підвищить стійкість до агресивних нападів і саботажу.

Р14: Ризик, пов'язаний з постачанням палива (R)

Оскільки річкова система Дніпра та Дністра в Україні формується з різноманітних територій з великими топографічними відмінностями, рівень води, доступний для різних ГЕС, оцінюється як такий, що не має

великої різноманітності, тому цей ризик низький. Крім того, вимогами до прив'язки сільськогосподарського зрошення можна нехтувати або їх взагалі не існує. Отже, на закінчення, пропозиція палива для гідроенергетики дійсна протягом усього року.

Приклад багатих водних ресурсів Дністровського гідроенергетичного комплексу, де понад 15 річок забезпечують водою генеруючі об'єкти, зображено на Рисунку 33.

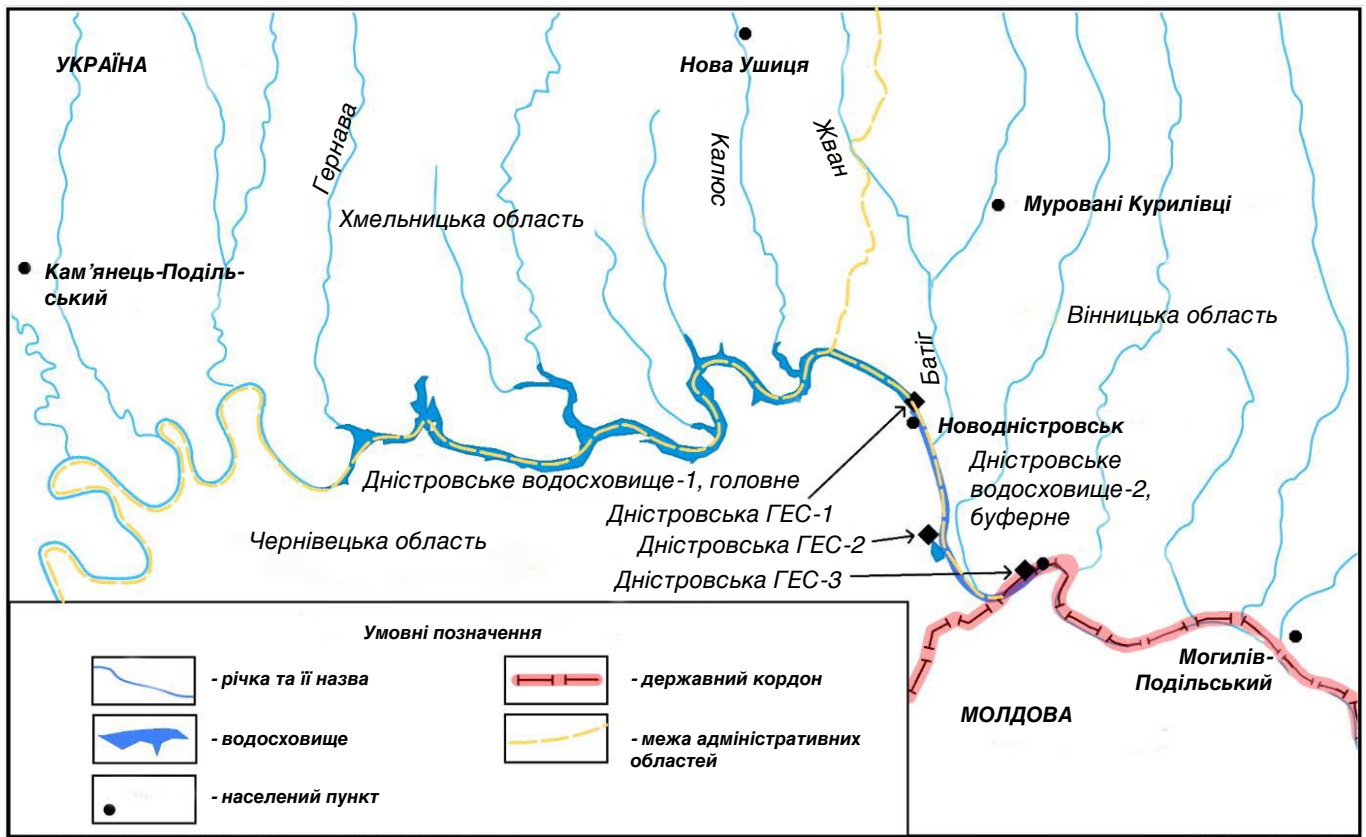


Рисунок 33: Дністровський гідроенергетичний комплекс, за матеріалами [21]

Інший приклад дуже багатих водних ресурсів — річкова система Дніпра.

Понад 89 річок забезпечують водою басейн Дніпра та Дніпровський каскад, до якого входять 6 ГЕС. Дамби та каскад Дніпровських ГЕС зображено на Рисунку 34.



Рисунок 34: Греблі та каскад Дніпра за матеріалами [21]

Паспортні дані наведені у Додатку F.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- [1] “Nag, ‘Power plant engineering’, 2009 - Google Scholar.” Доступний: Oct. 16, 2023. [Онлайн]. Доступний за посиланням: https://scholar.google.com/scholar?hl=en&as_sdt=0%2C5&q=Nag%2C+%E2%80%9CPower+plant+engineering%E2%80%9D%2C+2009&btnG=
- [2] G. Fitzgerald, J. Mandel, J. Morris, and H. Touati, “The Economics of Battery Energy Storage - How Multi-use, Customer-sited Batteries Deliver the Most Services and Value to Customers and the Grid,” 2015.
- [3] K. Takei et al., “Cycle life estimation of lithium secondary battery by extrapolation method and accelerated aging test,” in *Journal of Power Sources*, 2001. doi: 10.1016/S0378-7753(01)00646-2.
- [4] Y. Nishi, “Lithium ion secondary batteries; Past 10 years and the future,” *J Power Sources*, vol. 100, no. 1–2, 2001, doi: 10.1016/S0378-7753(01)00887-4.
- [5] H. C. Hesse, M. Schimpe, D. Kucevic, and A. Jossen, “Lithium-ion battery storage for the grid - A review of stationary battery storage system design tailored for applications in modern power grids,” *Energies*, vol. 10, no. 12. 2017. doi: 10.3390/en10122107.
- [6] “Biogas Technology and Biomass, Renewables Academy,” Berlin, Germany.
- [7] “Jorgensen, 2009. Biogas – green energy, Faculty... - Google Scholar.” Доступний: Oct. 16, 2023. [Онлайн]. Доступний за посиланням: https://scholar.google.com/scholar?hl=en&as_sdt=0%2C5&q=1.%09Jorgensen%2C+2009.+Biogas+%E2%80%93+green+energy%2C+Faculty+of+Agricultural+Sciences%2C+Aarhus+University%2C+2nd+edition%2C+Denmark&btnG=
- [8] “Danish Climate Strategy,” Copenhagen, Denmark, 2003.
- [9] DECC, “Electricity Generation Costs (December 2013),” 2013.
- [10] R. M. Ambrosini, “Life extension of coal-fired power plants.,” 2005.
- [11] Veringa, H. and P. Alderliesten. Veringa, “Advanced techniques for generation of energy from biomass and waste,” 2004.
- [12] G. Simbolotti, “Biomass for power generation and CHP,” 2007.
- [13] Danish Energy Agency, “Technology data Generation of Electricity and District heating, 2023.
- [14] International Finance Corporation, *Hydroelectric power*, 201
- [15] Department of Energy, USA, www.energy.gov/eere/water/types-hydropower-plants Accessed: 20th July 2017
- [16] Gil-González, W. et al., Passivity-based control and stability analysis for hydro-turbine governing systems, *Applied Mathematical Modelling*, 68 (2019), pp. 471-486.
- [17] IEA, 2012. *Technology Roadmap Hydropower*, International Energy Agency, Paris, France
- [18] Sangal Saurabh et al., Review of optimal selection of turbines for hydroelectric projects, *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 2013.
- [19] IRENA. (2021). *Renewable power generation costs in 2020*. www.irena.org
- [20] *Hydropower on the Mississippi River*, July 2017, Conference: Raising the Grade on the Upper Mississippi River - Hydro Potential on the Mississippi River, At: Moline, IL
- [21] Large and small reservoirs of Ukraine Valentyn Khilchevskyi, Vasyl Grebin, Sergiy Dubniak, Myroslava Zabokrytska, Hanna Bolbot

ДОДАТОК А: МЕТОДОЛОГІЯ

Опис нових 14 параметрів і способи їх оцінки

У наступних підрозділах будуть розглянуті основні причини розгляду кожної характеристики в цьому каталозі технологій і того, як вони впливають на реалізацію проєктів з енергогенерації в нинішніх українських реаліях. Після цього ми розглянемо трирівневу шкалу оцінювання, характерну для кожної з цих характеристик.

P1: Виробництво електроенергії в зимовий період

Виробництво електроенергії в зимовий період визначається як виробництво в період з жовтня по березень, включно з жовтнем і березнем (загалом 4368 годин).

Цей каталог технологій значною мірою стосується можливості виробництва електроенергії в зимовий період. Україна має вищий попит на електроенергію в зимовий період, і вона потрібна для виконання важливіших функцій порівняно з літнім, а отже, покриття попиту в зимовий період складніше та, до певної міри, важливіше, ніж у літній.

Технології, які не роблять значного внеску

у виробництво електроенергії в зимовий період (наприклад, сонячна енергетика), вимагатимуть від системи наявності альтернативних генеруючих потужностей для покриття нестачі електроенергії. Технології, які зменшують виробництво електроенергії в зимовий період через дефіцит палива або через те, що вони мають переривчастий характер з меншою кількістю природних ресурсів у зимовий період (наприклад, сонячна енергетика), додадуть тягар збільшення сталої потужності енергосистеми для забезпечення надійності постачання в зимовий період.

Ця якісна характеристика буде оцінюватися за трирівневою шкалою, оцінюючи потенціал кожного технологічного рішення для виробництва електроенергії в зимовий період як такий, що має:

- **Добре:** високий потенціал, здатність забезпечувати понад 75 % річного коефіцієнта потужності в зимовий період; переважає
- **Задовільно:** помірний потенціал, здатність забезпечувати понад 40% і менш ніж 75% річного коефіцієнта потужності в зимовий період.
- **Погано:** низький потенціал, здатність

виробляти менш як 40% річного коефіцієнта використання встановленої потужності (КВВП) в зимовий період.

P2: Нормована вартість електроенергії (LCOE) для виробництва електроенергії протягом короткого часу та в зимовий період, та P3: нормована вартість електроенергії протягом терміну експлуатації та загального виробництва

LCOE використовується для оцінювання вартості технології, щоб мати змогу оцінити економічну ефективність встановлення технології.

Для кожного підтипу технології розраховують два різних показники LCOE:

1. LCOE для виробництва протягом короткого періоду часу та у зимовий період. LCOE розраховують для виробництва протягом усього терміну експлуатації та тільки для виробництва в зимовий період. Вартість викидів CO₂ не включають у ці розрахунки.
2. Загальну LCOE розраховують для всього терміну експлуатації та для виробництва протягом всього терміну експлуатації.

Через поточну ситуацію в Україні дуже важливо знати економічну ефективність і в критичній ситуації. У такому випадку вирішальне значення має виробництво електроенергії в зимовий період, тому технологію встановлюють, знаючи, що вона, ймовірно, буде експлуатуватися лише протягом двох років. Існує також ймовірність того, що технологія буде експлуатуватися протягом усього терміну експлуатації, тому також цікаво проаналізувати LCOE протягом усього терміну експлуатації.

Нормована вартість електроенергії (LCOE) використовується для оцінювання та порівняння питомих витрат (євро/кВт·год) на виробництво електроенергії з використанням різних технологій. Розрахунок LCOE базується на еквівалентності теперішньої вартості суми дисконтованих доходів і

теперішньої вартості суми дисконтованих витрат. LCOE враховує всі витрати, пов'язані з будівництвом, експлуатацією та технічним обслуговуванням електростанції протягом її очікуваного терміну експлуатації або іншого визначеного періоду часу. Детальний опис розрахунків LCOE наведено в додатку В.

LCOE — це якісний показник, який використовується для оцінювання технологій за трирівневою шкалою, порогові показники будуть визначатися відповідно до розподілу включених установок, і, звичайно, будуть відрізнятися між короткостроковими показниками LCOE у зимовий період і LCOE протягом усього терміну експлуатації:

- Добре: технології з низькою LCOE, більш ніж на 25% нижчою за середній рівень; переважає
- Задовільно: технології з середньою LCOE, менш ніж на 25% нижчою та більш ніж на 25% вищою за середню
- Погано: технології з високою LCOE, більш ніж на 25% вищою за середню;

У розрахунках LCOE враховується вартість CO₂ у 80 євро/т, що відповідає поточній (жовтень 2023 року) ціні на квоти на викиди CO₂ у схемі торгівлі викидами Європейського Союзу.

P4: Розподілена генерація

Оцінюється здатність виробляти електроенергію в розподіленому масштабі. Оскільки за поточної ситуації в Україні ця здатність може пом'якшити ризики втрати значних потужностей з виробництва електроенергії, вона розглядається як більш сприятливий варіант.

Значна кількість великих електростанцій, підстанцій та мереж стали об'єктами авіаударів, що призвело до втрати електроенергії для багатьох споживачів.

Причини вважати, що надійність постачання електроенергії в поточній ситуації в Україні для розподілених технологічних рішень

вища, ніж в інших країнах, такі:

- можуть бути розташовані поблизу центрів попиту, зменшуючи залежність від мережі електропередач;
- припускається, що зацікавленість у руйнуванні станції залежить від того, скільки потужностей може бути виведено з експлуатації внаслідок удару.

Цю характеристику — «придатність для розподіленого режиму роботи» — оцінюють за трирівневою шкалою, оцінюючи типовий розмір кожного технологічного рішення для використання як розподіленого генератора, як технології з типовими потужностями:

- Добре: технології потужністю до 5 МВт. У рамках цього каталогу технологій перевага надається технологічним рішенням з типовою потужністю до 5 МВт.
- Задовільно: технологічні рішення потужністю від 5 до 20 МВт
- Погано: технологічні рішення потужністю від 20 до 60 МВт

P5: Регуляторні вимоги в процесі розробки проєкту

Перед тим, як розпочати фактичне будівництво технології для виробництва електроенергії, у багатьох випадках необхідно отримати дозволи, провести комплексні екологічні дослідження та виконати різні оцінювання, як-от аналіз ґрунту, оцінювання сонячного випромінювання та дослідження стану вітрів. Після цього необхідно укласти угоди про фінансування. Загалом, це може призвести до значних витрат часу. Крім того, в цілому, в Україні необхідно дотримуватися вимог ЄС для всіх технологій генерації.

Ці послідовні завдання мають значущий вплив на загальний часовий графік від концепції проєкту до введення в експлуатацію. Тому важливо розробити комплексний графік, який визначає очікувану тривалість цих процесів.

Цю характеристику оцінюють за трирівневою шкалою, оцінюючи швидкість і простоту проходження процесу:

- Добре: швидкий і простий процес, менш як три місяці; переважає
- Задовільно: проміжний процес, від трьох місяців до 9 місяців
- Погано: тривалий і складний процес, понад 9 місяців.

P6: Час постачання / доступність компонентів і матеріалів

Час постачання та наявність компонентів електростанції мають вирішальне значення для швидкого встановлення. Тому дуже важливо враховувати наявність необхідних технологічних рішень, компонентів і матеріалів (наприклад, сталі та цементу) під час визначення термінів будівництва електростанції.

Основні матеріали, як-от сталь і цемент, можуть бути у дефіциті та конкурувати з оборонними цілями за їхнє використання у встановленні енергогенеруючих технологій. Час виготовлення компонента або всієї установки технологічного рішення впливає на час постачання, але можливості виробництва установок і компонентів для України можуть бути обмежені високим попитом у цілому.

Деякі системи та компоненти для систем виробляють лише на замовлення, і вони відсутні на складі. Але час постачання може бути значно скорочений, якщо існують склади вже вироблених компонентів або установок (як, наприклад, у випадку з фотоелектричними модулями), або у разі наявності установок, що були у використанні. Так само можна значно скоротити час постачання компонентів, наприклад, трансформаторів та інверторів, у разі можливості отримати деякі з них, що були вироблені для інших цілей. Тому ці можливості також розглядаються під час опитування.

Цю характеристику оцінюють за трирівневою шкалою, з урахуванням часу постачання та наявності необхідних компонентів і матеріалів. У цьому каталозі технологій

перевага надається технологіям з меншим терміном постачання.

- Добре: постачання протягом менш ніж 13 тижнів (для експлуатації взимку 2023/2024 рр.); переважає
- Задовільно: термін постачання понад 13 і менш як 65 тижнів (для експлуатації взимку 2024/2025 рр.)
- Погано: термін постачання протягом 65 тижнів або більше для експлуатації більше ніж через два роки.

P7: Вимоги до логістики та транспортної інфраструктури

Умови війни значною мірою впливають на транспортну інфраструктуру, тому технології з меншими вимогами до транспортної інфраструктури дуже цінні.

Для транспортування будівельних матеріалів і компонентів проєкту необхідна внутрішня транспортна інфраструктура, яка може включати автомобільні дороги, залізницю, кораблі тощо. Ця інфраструктура необхідна для переміщення як імпортованих, так і вітчизняних матеріалів і компонентів на об'єкти енергетичних проєктів.

Цю якісну характеристику оцінюють за трирівневою шкалою, оцінюючи залежність від транспортної інфраструктури як:

- Добре: низький рівень вимог: розмір і вага модулів/компонентів технологічного рішення дозволяють транспортувати їх звичайним вантажним автомобілем; переважає
- Задовільно: середній рівень вимог: розмір і вага модулів/компонентів технології мають розмір і вагу, що зумовлюють необхідність транспортування деяких компонентів спеціальним транспортом;
- Погано: високий рівень вимог: розмір і вага модулів/компонентів технології мають розмір і вагу, які роблять необхідним транспортування деяких компонентів спеціальним транспортом та/або потребують посилення доріг або будівництва нових доріг

P8: Час технічних робіт зі встановлення

Час технічних робіт зі встановлення має вирішальне значення, оскільки потужність необхідно швидко поставити, щоб задовольнити високий попит взимку.

Час технічних робіт зі встановлення включає процес підготовки будівельного майданчика, будівництво установки та всі процеси до моменту введення технології в експлуатацію.

Цю якісну характеристику оцінюють за трирівневою шкалою, оцінюючи часові рамки встановлення технології:

- Добре: встановлення може відбутися в короткі терміни, тобто менш як 3 місяці; переважає
- Задовільно: встановлення може відбутися в середній термін, який становить від 3 до 9 місяців
- Погано: встановлення може відбутися в довгостроковий термін, тобто понад 9 місяців

P9: Вимоги до кваліфікованого персоналу на етапі будівництва та встановлення

Успішне впровадження енергетичних проєктів залежить від наявності персоналу з необхідними навичками та досвідом.

Кваліфікована робоча сила, як-от досвідчені та кваліфіковані будівельники, інженери, менеджери проєктів, фахівці з охорони навколишнього середовища, геологи та спеціалісти з техніки безпеки, може бути важливішою для одних технологічних рішень, ніж для інших, коли мова йде про реалізацію енергетичних проєктів. Оцінювання визначатиме важливість робочої сили для кожного технологічного рішення.

Цю якісну характеристику оцінюють за трирівневою шкалою, оцінюючи вимоги до кваліфікованого персоналу на етапі будівництва:

- Добре: потреба у персоналі нижчої кваліфікації на етапі будівництва

- (низька); переважає
- Задовільно: потребав персонал середньої кваліфікації на етапі будівництва
- Погано: потреба в персоналі з високою кваліфікацією (висока)

P10: Здатність до балансування мережі

Ефективне балансування мережі має вирішальне значення для надійності постачання електроенергії. Тому цю якість аналізують під час оцінювання.

Стабільність мережі залежить від раптових збоїв у роботі системи, спричинених атаками на лінії електропередач та електростанції. Здатність до балансування енергосистеми — це здатність енергосистеми регулювати та стабілізувати частоту, напругу та реактивну потужність електроенергії в межах прийнятних діапазонів. Крім того, вона має бути здатна забезпечити відповідність пропозиції електроенергії попиту на неї в будь-який момент часу. Такі якості, як виконання холодних пусків та забезпечення інерційності, також беруть до уваги в оцінюванні.

Якісну характеристику розглядають за трирівневою шкалою, оцінюючи здатність технологічних рішень балансувати енергосистему.

- Добре: висока здатність балансувати систему, наприклад, газотурбінні електростанції відкритого циклу (OCGT), вітрові електростанції (BEC), гідроелектростанції (ГЕС), акумуляторні батареї (BESS); переважає
- Задовільно: середня здатність балансувати систему, наприклад, ТЕС з високим динамічним діапазоном, газові турбіни із замкнутим циклом (CCGT)
- Погано: низька здатність надавати основні послуги з балансування енергосистеми, наприклад, ТЕС з низькою гнучкістю та вся інверторна генерація, як-от сонячні електростанції, акумуляторні батареї, вітроенергетичні турбіни. Більшість асинхронної генерації

не сприяє інерційності системи.

P11: Вимоги до інфраструктури електромереж

Оцінюють вимоги до інфраструктури електромережі, які мають критичне значення для забезпечення роботи технології. За цією характеристикою оцінюють рівень критичних вимог, пов'язаних зі здатністю експлуатації технологічного рішення. Під час оцінювання враховуються мережеві послуги, які технологічне рішення може надавати самостійно.

Якісну характеристику оцінюють за трирівневою шкалою, яка оцінює технологічні вимоги до підключення до інфраструктури електромережі.

- Добре: легке підключення, переважає
- Задовільно: Помірне
- Погано: Складне

P12: Потреба у кваліфікованому персоналі для експлуатації та технічного обслуговування, а також у спеціальних запасних частинах

Під час війни пошук кваліфікованого персоналу та спеціальних запасних частин для експлуатації та технічного обслуговування енергетичних установок може бути складним завданням. Крім того, може бути проблемою покладатися на іноземну робочу силу.

Технічні фахівці вузького профілю та запчастини можуть мати вирішальне значення для поточного технічного обслуговування деяких енергетичних систем. Вони проводять перевірки, виконують ремонтні роботи та забезпечують надійність системи. Чим більше спеціалізованих вимог до технічного обслуговування та ремонту, тим вищий ризик вимушених зупинок і довших періодів відсутності виробництва.

Цю якісну характеристику оцінюють за трирівневою шкалою, оцінюючи вимоги до

кваліфікованого персоналу для експлуатації та технічного обслуговування як:

- **Добре:** немає потреби в персонал із низькою кваліфікацією під час експлуатації та технічного обслуговування, а також у спеціалізованих запасних частинах (низький рівень); переважає
- **Задовільно:** потреба в персоналі з середньою та високою кваліфікацією під час експлуатації та технічного обслуговування, а також у спеціалізованих запасних частинах, але кваліфікований персонал та запасні частини можна знайти в Україні
- **Погано:** потреба у висококваліфікованому персоналі (висока) під час експлуатації та технічного обслуговування, а також у спеціалізованих запасних частинах, але кваліфікований персонал та запасні частини не можна знайти в Україні

P13: Можливість маскування та укриття

Оцінювання здатності до маскування та укриття — це один зі способів оцінити, наскільки складно захистити технологічні рішення від обстрілу та наскільки легко противнику визначити місцезнаходження технологічних рішень. Тому це важлива властивість для стійкості роботи в Україні в поточній ситуації. Перевага надається технологіям, які мають високий потенціал для маскування та укриття.

У ході оцінювання лише з'ясовують, наскільки легко захистити технологію шляхом маскування або укриття, наприклад, накривши її ковпаком з бетону або захистивши сіткою від безпілотних літальних апаратів¹⁹. Тому оцінка базується на фізичній конфігурації²⁰ технологічного рішення. Отже, оцінювання того, яким типам атак можуть протистояти різні укриття, не проводиться.

Оцінка характеристики надається виключно на основі оцінки площі поверхні та висоти над землею технологічного рішення, що розглядається в контексті атак. Наприклад, вітроенергетичні установки важко захистити від атак безпілотних літальних апаратів на висоті 100 м, тоді як технологічні рішення, що знаходяться на рівні землі (або, можливо, навіть можуть бути встановлені нижче рівня землі), захистити легше. Тому до уваги беруть як висоту, так і розмір площі поверхні технологічних рішень і супутніх компонентів, наприклад, місць зберігання палива. Отже, наприклад, установки на біомасі та вугіллі, а також біогазові двигуни, що працюють на газі з біогазової установки, отримують нижчу оцінку, ніж газові турбіни та газові двигуни, що працюють на природному газі з енергосистеми.

Димарі в цьому контексті схожі на вітрогенератори, але їх дешевше замінити та вони менш привабливі для атак. Тому наявність димаря не обов'язково означає погану оцінку.

Хоча розміщення розподіленої генерації енергії під землею у воєнний час має низку переваг, воно також тягне за собою певні виклики, зокрема вартість будівництва, технічного обслуговування та необхідність залучення спеціалізованих фахівців.

Цю якісну характеристику оцінюють за трирівневою шкалою, оцінюючи потенціал маскування та укриття конкретного технологічного рішення:

- **Добре:** легко укрити або замаскувати найбільш важливі частини або частину, наприклад, має незначну площу поверхні, яку не потрібно відкривати або встановлювати над рівнем поверхні, а потреба у відведенні відпрацьованих газів обмежена; переважає

¹⁹ Сітки проти безпілотних літальних апаратів — це пристрої, які використовуються для уловлювання та виведення з ладу безпілотників, що літають у заборонених або небажаних зонах. Зазвичай їх пускають з гармат, пускових установок або інших безпілотних літальних апаратів, і вони мають вантажі або гаки, які можуть обплутати гвинти безпілотника-мішені.

²⁰ Фізичні конфігурації означають площу поверхні та висоту технологічного рішення над землею.

- **Задовільно:** можливість укриття або маскування найбільш важливих частин і відсутність частин, які мають значну площу поверхні, але не виводяться з ладу на 100% у разі ураження лише невеликої частини (наприклад, ТЕЦ на біомасі).
- **Погано:** неможливо укрити або замаскувати найбільш важливі частини (наприклад, вітрові та сонячні електростанції) або частини, які мають значну площу поверхні та виходять з ладу, якщо уражається лише невелика частина (наприклад, біогазові установки).

Р14: Ризик, пов'язаний з постачанням палива

Важливе значення має ризик, пов'язаний з постачанням палива, а потенційно і запасних частин, через складну ситуацію з постачанням. Тому перевага надається технологіям, які

потребують мінімальних поточних постачань після встановлення, наприклад, відновлювані джерела енергії (вітер, сонце, вода), які не залежать від постачання палива.

Цю характеристику оцінюють за трирівневою шкалою, оцінюючи ризики, пов'язані з постачанням палива та запасних частин:

- **Добре:** низький ризик, що визначається як відсутність потреби в паливі (наприклад, гідроенергетика, сонячна енергетика та вітроенергетика); переважає
- **Задовільно:** середній рівень ризику, що визначається як потреба в паливі місцевого виробництва (наприклад, біомаса та біогаз);
- **Поганий:** високий рівень ризику, що визначається як потреба в паливі, яке не виробляється на місцевому рівні, наприклад, природний газ та нафта.

ДОДАТОК В: РОЗРАХУНКИ НОРМОВАНОЇ ВАРТОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

Розрахунок нормованої вартості електроенергії (LCOE) було здійснено шляхом поділу витрат на такі категорії: капітальні витрати, операційні витрати, фінансові витрати, витрати на паливо та витрати на викиди CO₂.

У кожній категорії вказані витрати на одиницю номінальної потужності. Потім ці витрати ділять на передбачуваний обсяг виробництва, який буде забезпечений цією одиницею номінальної потужності, щоб отримати LCOE.

Капітальні витрати на МВт потужності були отримані з Данського каталогу технологій. Зокрема, для акумуляторної батареї передбачається, що вона має забезпечувати 1 МВт протягом 4 годин, коли батарея повністю заряджена.

Операційні витрати були отримані в результаті врахування постійних та змінних витрат на експлуатацію та технічне обслуговування протягом усього терміну експлуатації технології. Загальна сума фіксованих витрат на експлуатацію та технічне обслуговування була отримана шляхом множення річних фіксованих витрат на експлуатацію та технічне обслуговування на розрахунковий термін експлуатації технології. Обидва показники були отримані з Данського каталогу технологій. Змінні витрати на експлуатацію та технічне обслуговування були розраховані на основі вартості одиниці виробленої електроенергії, яка була отримана з Данського каталогу технологій, і помножена на прогнозоване виробництво електроенергії.

Орієнтовне виробництво електроенергії для вітроенергетичних і сонячних електростанцій описано в розділах, в яких наведено карти виробництва електроенергії на сонячних і вітрових електростанціях для кожного регіону України. Для електростанцій, що працюють на паливі, очікувана кількість годин роботи на повному навантаженні становить 3750 у холодний період і 5000 протягом усього року. Очікується, що акумуляторна батарея буде заряджатися 4 години в години низького споживання та розряджатися 4 години в години високого споживання.

Витрати на паливо були розраховані діленням передбачуваного виробництва електроенергії на ефективність, вказану в паспортних даних кожного технологічного рішення, яке працює на паливі, а потім множенням на ціну на паливо.

Ефективність технологій вказана в паспортних даних, а ціни на паливо взяті з Соціально-економічних припущень для розрахунку, наданих Данським енергетичним агентством. Стосовно акумуляторної батареї, очікується, що

вона заряджатиметься електроенергією, виробленою на вугільних електростанціях, оскільки для базового навантаження використовуватимуться дешевші електростанції, із заряджання акумуляторних батарей від джерел енергії під час пікових навантажень не передбачається. Отже, очікується, що ціна на електроенергію від акумуляторної батареї буде такою ж, як і гранична ціна на вугілля.

Витрати на викиди еквівалента CO₂T розраховано шляхом множення викидів на МВт·год спожитого палива на тип палива, споживання палива та ціну за викид. Викиди на МВт·год спожитого палива взяті з Соціально-економічних припущень для розрахунків, наданих Данським енергетичним агентством, а вартість викидів еквівалента CO₂ встановлена на рівні 80 євро за тону.

Фінансові витрати еквівалентні вартості фінансування інвестиційних витрат коштом кредиту з відсотковою ставкою 10% на 20 років або на весь термін експлуатації, якщо повний термін експлуатації коротший за 20 років.

ДОДАТОК С: НАСКРІЗНІ ПИТАННЯ

Питання, пов'язані зі стабільністю мережі Операційні виклики в енергосистемі України

Поточні операційні виклики в енергосистемі України характеризуються частими повітряними тривогами або навіть надзвичайними ситуаціями в декількох областях. Коли система працює в режимі ізолюваної роботи, вона стає більш стійкою до збоїв в інфраструктурі. Такі збої включають:

- Ракетні/безпілотні атаки на мережеві підстанції, лінії електропередач та розподільчі лінії
- Виведення з ладу великих об'єктів генерації та споживання
- Відсутність можливості обміну інформацією в деяких областях
- Обмежені або тимчасові можливості контролю та моніторингу енергосистеми.

Рекомендовані технології виробництва електроенергії повинні мати здатність функціонувати в сценаріях роботи

енергосистеми з навмисним секціюванням, працюючи в більш розподіленому та автономному режимі, додаючи кращу динамічну стабільність окремим частинам енергосистеми. Це важливо через потенційні перебої в комунікації та можливостях моніторингу, включно з відключенням та тривалими періодами відсутності з'єднання з мережею або агресивними діями хакерів, що переривають передачу даних. Тому вимоги до надійності інформаційної безпеки мають бути одним з найвищих пріоритетів для нових енергогенеруючих систем, щоб забезпечити надійність електропостачання навіть в ситуаціях ізольованої роботи енергосистеми.

Виклики, пов'язані з інтеграцією технологічних рішень відновлюваної енергетики.

Щоб повною мірою використовувати можливості технологій переривчастих відновлюваних джерел енергії, необхідно, щоб операційні стратегії оператора системи передачі були спеціально розроблені для управління змінами в портфелі джерел генерації, а також динамікою портфеля попиту, що змінювалася протягом багатьох років.

З урахуванням вищезазначеної інформації, було проведено інтерв'ю з оператором системи передачі «Укренерго», завдяки якому було отримано цінну інформацію про поточну операційну практику компанії. Згідно з результатами опитування, поточна практика не сприяє впровадженню відновлюваної енергетики. Нижче наведено опис.

Сучасним процедурам оперативного планування та диспетчеризації не вистачає гнучкості, необхідної для адаптації до змін в роботі переривчастих відновлюваних джерел енергії (VRE). Для забезпечення оптимальної інтеграції переривчастих відновлюваних джерел енергії, як-от вітрова енергія, сонячна енергія, акумуляторні

батареї/системи накопичення енергії та гідроелектростанції на річці, важливо, щоб система працювала з максимальною гнучкістю, якомога наближеною до часу виробництва електроенергії.

Коригування часового вікна балансування має бути переглянуто з метою створення простору для більш оптимальної інтеграції переривчастих відновлюваних джерел енергії. У той час як звичайні портфелі джерел генерації зазвичай працюють з вікном оперативного планування в кілька днів або навіть тижнів, портфелі зі значним обсягом переривчастих відновлюваних джерел енергії часто працюють з вікном планування менш як годину, а іноді навіть 5 або 15 хвилин.

Розглядаючи необхідність гнучкості, варто зазначити, що в Україні вже встановлено велику кількість гідроелектростанцій (ГЕС) з греблями та гідроаккумуляційних станцій (ГАЕС). ГЕС і ГАЕС додають значної гнучкості енергетичній системі України. ГЕС і ГАЕС уже використовуються як системи накопичування для балансування та інтеграції переривчастих відновлюваних джерел енергії в деяких частинах енергосистем Північної та Центральної Європи.

Іншим питанням, порушеним в опитуванні, стала практика обмеження роботи сонячної генерації у вересні 2022 року, що свідчить про те, що оптимальна диспетчеризація, заснована на найменших витратах (економічна диспетчеризація), наразі може не застосовуватися.

Перехід до гнучкішого портфеля генеруючих потужностей (більше переривчастих відновлюваних джерел енергії) вимагатиме модернізації операційної практики, наприклад, кращого прогнозування переривчастих відновлюваних джерел енергії для забезпечення ефективної економічної експлуатації енергетичних технологій.

Стандартизований та захищений обмін інформацією

Щоб впоратися з поточними та майбутніми ситуаціями зі все більш інтенсивними збоями через кібератаки, рекомендується дотримуватися міжнародного стандартизованого цифрового підходу (на основі стандартів IEC 61850, IEC 61400-25 (вітрові та сонячні електростанції), IEC 62351) під час модернізації, розширення або ремонту пошкоджених систем передачі даних, що застосовуються в електроенергетичному секторі. На основі майбутнього Мережевого кодексу ЄС з кібербезпеки (NCCS) рекомендується якнайшвидше здійснити низку узгоджених заходів з обміну інформацією.

Мережевий кодекс кібербезпеки має на меті встановити європейський стандарт кібербезпеки міждержавних потоків електроенергії. Він включає правила оцінки кіберризиків, загальні мінімальні вимоги, сертифікацію продуктів і послуг з кібербезпеки, моніторинг, звітність та управління кризовими ситуаціями. Кодекс дає чітке визначення ролей та обов'язків різних зацікавлених сторін за кожним видом діяльності.

З огляду на новий Мережевий кодекс, вимоги до надійності інформаційної безпеки мають бути одним з найвищих пріоритетів у впровадженні нових енергогенеруючих систем, щоб забезпечити надійність постачання в усіх станах системи та підтримати потужний міждержавний обмін електроенергією з Україною та всіма європейськими взаємопов'язаними країнами.

Фінансові питання

За нинішньої ситуації можливі певні особливі вимоги до фінансування. В опитуванні деякі зацікавлені сторони згадували, що отримати фінансування проектів в Україні може бути складно

й дорого, оскільки прийнятний період погашення короткий, а відсоткові ставки високі. Щобільше, іноземні інвестори, як-от МБРР (Міжнародний банк реконструкції та розвитку) і МФК (Міжнародна фінансова корпорація), заявили, що вони готові інвестувати під час війни, однак вони будуть інвестувати та надавати кредити виключно іноземним компаніям, оскільки з іноземними компаніями легше застрахувати будь-які ризики. Крім того, вони очікують підтримки від уряду України у створенні так званого Майстер-плану або Генерального плану та у розробці проектів, а також створення страхового фонду, який би покривав військові ризики.

Трансформатори

Трансформатори відіграють важливу роль у передачі та розподілі електроенергії. Трансформатор здійснює зміну напруги змінного струму в електромережі. В електростанціях, як-от газові турбіни, дизельні генератори та вітроенергетичні турбіни, зміна напруги необхідна для того, щоб отримати таку ж напругу, як і в мережі, до якої підключені ці установки. Рівні напруги в мережі залежать від конкретних конструкцій, але, як правило, чим далі передається енергія, тим вищі рівні напруги.

Крім того, трансформатори також використовують для зниження рівня потужності, до ступеня, який відповідає рівню потужності споживача.

Оскільки трансформатори необхідні для підключення електростанцій до певної електромережі, трансформатори можуть стати обмежувальним фактором для різних технологій виробництва електроенергії.

Трансформатори бувають різної складності та потужності. Їх можуть постачати у вигляді модульних конструкцій або виготовляти на замовлення для визначеної електростанції. Загальні категорії наведені нижче.

Категорія	Явна номінальна потужність	Вага	Опис
Трансформатори малої потужності	<500 кВА	1 кг – 2 тонни	Трансформатори, що використовуються в житлових кварталах
Трансформатори середньої потужності – Розподільні мережі	500 кВА – 10 МВА	1-15 тонн	Трансформатори, що використовуються на підстанціях – Зниження
Трансформатори середньої потужності – Станції	1 МВА – 50 МВА	1-15 тонн	Використовуються для станцій меншої потужності – Збільшення
Трансформатори великої потужності	50 МВА <	70-400 тонн	Використовуються для підстанцій та електростанцій великої потужності – Збільшення

Таблиця 37 : Категорії трансформаторів та їх ключові характеристики

Вага, форма та розмір можуть бути обмеженнями до можливості використання різних трансформаторів в Україні. Деякі з них не можна перевозити через мости через їхню вагу, а деякі можуть мати невідповідний розмір для транспортування. Вага, форма та розмір залежать від типу трансформатора — сухий або масляний, причому масляний трансформатор, як очікується, найбільш доречний у цьому контексті.

Час постачання трансформатора може стати перешкодою для завершення проекту, навіть якщо газові турбіни, дизельні генератори, вітроенергетичні турбіни тощо наявні, їх підключення до мережі може виявитися неможливим, тому час постачання трансформаторів необхідно враховувати. Час постачання

трансформаторів великої потужності оцінюють у 1-2 роки, тоді як трансформатори малої потужності можуть бути поставлені протягом декількох тижнів.

Категорія	Орієнтовний час постачання
Трансформатори малої потужності	2 тижні
Трансформатори середньої потужності – Розподільні мережі	40 тижнів
Трансформатори середньої потужності – Станції	20-28 тижнів
Трансформатори великої потужності	1-2 роки

Таблиця 38: Орієнтовний час постачання за категоріями трансформаторів

ДОДАТОК D: МЕТОДОЛОГІЯ ВИЗНАЧЕННЯ РЕСУРСНОГО ПОТЕНЦІАЛУ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ В УКРАЇНІ

Методи розрахунку та припущення для графіків

Цей розділ посилається на Рисунок 11, на якому наведено очікуване річне виробництво електроенергії на сонячних електростанціях (МВт•год на МВт встановленої потужності) у різних регіонах України. Карти побудовані на основі розрахунку узагальненого виробництва електроенергії на сонячних електростанціях у різних регіонах України, для чого була використана растрова карта, що охоплює всю територію України, з Глобального сонячного атласу. Растрова карта України містить середньорічне потенційне виробництво [кВт•год/кВт•пік], що охоплює період з 1994 по 2018 рік, задане в пікселі, що містить середній показник. Кожен растровий піксель має роздільну здатність, що відповідає вимірюванню на відстані приблизно 650 м. Середній показник потенційного виробництва базується на середньому теоретичному виробництві, яке базується на сонячному випромінюванні, виміряному геостаціонарними супутниками, і теоретичному виробництві електроенергії окремо розташованої сонячної електростанції зі стаціонарними модулями, встановленими під оптимальним нахилом з метою досягнення модулями місячного максимуму виробництва електроенергії на конкретній ділянці.

За допомогою Географічної інформаційної системи «Quantum» (QGIS) значення растрового шару були агреговані як середні для кожного регіону України, так що середній річний потенціал виробництва сонячної енергії [кВт•год/

кВт•пік] наведено для кожного регіону України.

Цей розділ посилається на Рисунок 10, на якому наведено очікуване виробництво сонячної енергії в зимовий час (МВт•год на МВт встановленої потужності) у різних регіонах України. Щоб розрахувати середній потенціал виробництва сонячної енергії в зимовий період з жовтня по березень, було використано декілька растрових карт з Глобального сонячного атласу. Ці растрові карти містили середньодобові показники потенційного виробництва з 1994 по 2018 рік для кожного з відповідних місяців. Це означає, що добові показники були середньою сумою днів у відповідному місяці. Отже, добові показники для кожного місяця були розраховані для кожної області України, а середньодобові показники для кожної області України були помножені на кількість днів у відповідному місяці та підсумовані з потенційним виробництвом інших місяців холодного періоду, де місячні показники були отримані в такий самий спосіб.

Цей розрахунок також був зроблений для всієї України, і середнє виробництво електроенергії сонячними електростанціями по всій Україні за рік і в холодний період було використано в якості розрахункового споживання електроенергії у розрахунку LCOE.

Оскільки сонячні електростанції великої потужності можуть бути легкою мішенню для артилерії та балістичних ракет малої дальності (БРМД), була застосована буферна зона в 100 км і 280 км до

підконтрольних Росії територій і Білорусі, що відповідає найбільшому радіусу дії російської артилерії та балістичних ракет малої дальності. Розглянуто ці два засоби

нападу, оскільки системі протиракетної оборони України може бути важче перехопити снаряди.

ДОДАТОК Е: МЕТОДОЛОГІЯ ВИЗНАЧЕННЯ ПОТЕНЦІАЛУ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ РЕСУРСІВ В УКРАЇНІ

Для розрахунку узагальненої потужності вітроенергетичних турбін в різних регіонах України було використано растрову карту, що охоплює всю територію України. Растрова карта взята з Глобального вітрового атласу. Растрова карта містить річний коефіцієнт використання встановленої потужності (КВВП) вітроенергетичних турбін ІЕС класу 2²¹. Цей коефіцієнт використання встановленої потужності (КВВП) був отриманий шляхом розрахунку кривих потужності класів ІЕС2 в залежності від швидкості вітру, які були змодельовані за допомогою GWA версії 3, що використовує набори даних ERA5, надані Європейським центром середньострокових прогнозів погоди. Набори даних ERA5 отримані за допомогою супутникових вимірювань, які були підтверджені радіолокаційними вимірюваннями. Коефіцієнт використання встановленої потужності (КВВП) базується на середній сумі швидкостей вітру між 2008-2017 роками. Коефіцієнт використання встановленої потужності (КВВП) подається

у вигляді пікселя, що містить показник з роздільною здатністю, яка відповідає приблизній відстані 200-250 метрів між кожним вимірюванням.

За допомогою QGIS показники растрового шару були агреговані як середні для кожного регіону України, отже, річний коефіцієнт використання встановленої потужності (КВВП) турбін класу ІЕС2 був наведений для кожного регіону України. За допомогою коефіцієнту використання встановленої потужності (КВВП) було розраховано години роботи на повному навантаженні вітроенергетичних турбін, використовуючи турбіну, наведену в каталозі технологій, як еталонну. Генеруюча потужність цієї вітроенергетичної турбіни становить 4,2 МВт з висотою вісі 85 м і діаметром ротора 130 м. Було використано растрову карту, що містить коефіцієнт використання встановленої потужності (КВВП) вітроенергетичних турбін класу ІЕС2, оскільки турбіна в каталозі технологій — це енергетична установка

²¹ Вітроенергетичні турбіни ІЕС класу 1, як правило, призначені для швидкості вітру понад 8 м/с. Ці турбіни проходять випробування для вищих екстремальних швидкостей вітру та сильнішої турбулентності.

Вітроенергетичні турбіни ІЕС класу 2 розраховані на середню швидкість вітру від 7,5 м/с до 8,5 м/с.

Вітроенергетичні турбіни ІЕС класу 3 розраховані на швидкість вітру менш як 7,5 м/с. Ці вітроенергетичні турбіни потребують більшого ротора, щоб уловлювати таку ж кількість енергії, як і аналогічна турбіна на об'єкті класу ІІ. Джерело: <https://www.lmwindpower.com/en/stories-and-press/stories/learn-about-wind/what-is-a-wind-class>

класу IEC2, а це означає, що вітрові профілі підходять.

Щоб розрахувати години роботи на повному навантаженні вітроенергетичних турбін у кожному регіоні України в холодний період, з жовтня по березень, було оцінено погодинний профіль вітру за 2019 рік від Renewables Ninja. Зроблено висновок, що 51% годин повного навантаження припадає на холодний період. Цей відсоток був використаний для розрахунку годин роботи на повному навантаженні для кожного регіону України в холодний період шляхом множення часу для кожного регіону.

Цей розрахунок також був зроблений для всієї України, і середнє виробництво

електроенергії вітроенергетичних турбін у всій Україні за рік і в холодний період було використано в якості розрахункового споживання електроенергії у розрахунку нормованої вартості електроенергії.

Оскільки вітроенергетичні турбіни можуть бути легкою мішенню для артилерії та балістичних ракет малої дальності, була застосована буферна зона в 100 км і 280 км до підконтрольних Росії територій і Білорусі, що становить найбільшу дальність дії російської артилерії та балістичних ракет малої дальності. Розглянуто ці два засоби нападу, оскільки снаряди може бути важче перехопити системі протиракетної оборони України.

ДОДАТОК F: ПАСПОРТНІ ДАНІ

Паспортні дані додаються у файлі Excel.

ДОДАТОК G: РОЗГЛЯД НА МІСЦЕВОМУ РІВНІ

Розгляд на місцевому рівні для сонячних електростанцій, що встановлюють на дахах житлових будинків в Україні

В Україні споживачі можуть встановлювати електростанції для власного споживання без отримання дозволу, якщо вони не постачають надлишкову енергію в загальну мережу або інші мережі. Вони також можуть використовувати системи накопичення енергії без отримання дозволу, за умови, що вони не продають накопичену енергію

в Оптовий ринок електроенергії або інші мережі. Домогосподарства, з якими укладено договір про встановлення «зеленого тарифу», можуть продавати свою електроенергію постачальнику універсальних послуг, тоді як інші споживачі, у тому числі енергетичні кооперативи, можуть продавати її оптовому покупцю (тобто Гарантованому покупцю).

У червні 2023 року Україна прийняла Закон²² №3220, який запровадив поняття активного

²² <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3220-20#Text> : Закон України щодо відновлення та «зеленої» трансформації енергетичної системи України.

споживача (виробник і споживач в одній особі) і надав йому право на участь у схемі підтримки чистого прибутку від продажу. Статус активного споживача досягається шляхом підписання договорів купівлі-продажу електроенергії за механізмом самогенерації, договорів з гарантованим покупцем або постачальником універсальних послуг про продаж електроенергії за «зеленим тарифом», або шляхом встановлення системи накопичення енергії для участі в допоміжних послугах та купівлі/продажу накопиченої електроенергії. За механізмом чистого прибутку від продажу, якщо домогосподарство використовує систему накопичення енергії, продаж електроенергії відбувається за ринковою ціною (наприклад, 0,071 євро/кВт·год у червні 2023 року).

Закон №3220 спрямований на заохочення приватних домогосподарств до встановлення об'єктів відновлюваної енергетики через механізми самогенерації. Щоб досягти цього, була запланована державна цільова економічна програма, але станом на жовтень 2023 року Кабінет Міністрів не прийняв її. Програма мала б мотивувати приватні домогосподарства встановлювати генеруючі установки потужністю до 10 кВт разом із системами накопичення енергії у співвідношенні 1 кВт потужності до щонайменше 0,5 кВт·год ємності накопичувача. Заходи стимулювання для домогосподарств можуть мати дві форми: «зелений тариф» і система чистого прибутку від продажу (net-billing).

Розгляд на місцевому рівні дахових сонячних електростанцій для комерційних, промислових і громадських будівель в Україні

В Україні встановлення на даху нежитлових будівель сонячних електростанцій з акумуляторними батареями, особливо для непромислових цілей, розглядається як захід з енергетичної безпеки. На національному рівні було прийнято Закон 3220, який

фокусується на чистому прибутку від продажу та пов'язаних з ними питаннях. Очікується, що в комерційному та державному секторах цей закон заохочуватиме встановлення сонячних панелей, дозволяючи вводити та виводити надлишкову електроенергію за потреби, що потенційно сприятиме розвитку сонячної енергетики.

Після того, як Закон 3220 набуде чинності, процес подачі надлишкової електроенергії з сонячних електростанцій, що встановлюють на дахах житлових будинків, в мережу потребуватиме узгодження. Незвичайні сценарії, як-от кілька ліній електропередач для нежитлових об'єктів, зокрема лікарняних комплексів, де кілька будівель під'єднані до окремих ліній, пов'язаних з підстанцією оператора системи розподілу, можуть створювати проблеми. У таких випадках передача електроенергії між будівлями без участі оператора системи розподілу може бути неможливою, що вимагатиме прокладання окремої кабельної лінії. Наприклад, якщо сонячні панелі встановлені на одній будівлі, а надлишкова потужність доступна для живлення сусідніх будівель, може знадобитися технічне узгодження з оператором системи розподілу. З практичної точки зору, такі об'єкти, як лікарні та громадські будівлі, які можуть задовольнити лише частину своїх потреб в електроенергії за допомогою сонячних панелей, можуть не вважати вигідним використання «зеленого тарифу». Хоча використання акумуляторних батарей для накопичення енергії бажане, відсутність економічних стимулів наразі стримує їх встановлення.

На тлі впливу війни на енергетичну інфраструктуру України ЄС запустив проєкт «Промінь надії», у рамках якого планує передати країні 5700 сонячних панелей. Ці панелі будуть встановлені в першу чергу на об'єктах критичної інфраструктури, як-от лікарні, пожежні частини та школи. Встановлена потужність кожного об'єкта не перевищуватиме 2 МВт, що сприятиме енергетичній стійкості та підтримці життєво

важливих послуг у ці складні часи.

Розгляд сонячної енергетики для комунальних підприємств на місцевому рівні в Україні

Прагнення уряду стимулювати участь на ринку сьогодні нашоується на опір з боку деяких компаній через ринкову невизначеність, військові дії, що тривають, і цінові обмеження. Ці фактори створюють значущі бар'єри для інвестицій у сектор відновлюваної енергетики.

Щоб дійсно створити стійку інфраструктуру відновлюваної енергетики та безперешкодно інтегрувати її в енергосистему, необхідне комплексне планування, чітко визначені механізми, довгострокові інвестиційні гарантії та надійні механізми підтримки. Широко визнано, що основний ризик сьогодні — це війна, що триває, і це ще раз підкреслює важливість комплексних страхових рішень. Подолання цього ризику вимагає спільних зусиль держави та бізнесу.

За даними опитаних місцевих експертів, в Україні налічується близько 650 ліцензіатів на будівництво сонячних електростанцій великої потужності, а також близько 40 професійних компаній, що працюють у цій галузі.

В Україні будівництво сонячних електростанцій для комунальних підприємств можна здійснити відносно швидко. Час будівництва станції потужністю 1 МВт «під ключ» становить приблизно три місяці, тоді як будівництво більшої станції потужністю 10-15 МВт зазвичай займає близько п'яти місяців. Наприклад, «ДТЕК Покровська сонячна електростанція», яка включає 240 інверторів і 320 панелей, була успішно побудована всього за дев'ять місяців. Будівельні бригади працювали на об'єкті, іноді використовуючи роботизовану допомогу, навіть у нічний час, причому в проєкті брали участь три різні підрядники. Цей досвід дозволив українцям розвинути

як швидкість, так і якість будівництва сонячних електростанцій, оскільки вони навчилися на попередніх помилках і постійно вдосконалювали свою практику.

Сонячні електростанції великої потужності мають значну перевагу з точки зору фізичного захисту під час воєнних дій. Ці станції розподілені на великих територіях, що робить їхнє знищення шляхом прямих атак вкрай непрактичним і дорогим. У разі прямих влучень можуть потребувати заміни лише окремі модулі, наприклад, панелі потужністю 100 кВт, а станція в цілому може продовжувати функціонувати. Потенційні проблеми можуть виникнути на підстанціях, які зараз часто перевозять в контейнерах і можуть бути легко встановлені та підключені. Сонячні електростанції, як технологічне рішення, стійкі до воєнних дій, і розгортання систем протиповітряної оборони для захисту сонячних електростанцій, як правило, є нерозумним і економічно недоцільним.

Випадки пошкодження сонячних електростанцій переважно траплялися на окупованих територіях або в районах, де відбувалися прямі військові дії, як-от пересування танків або ракетні удари, або в районах, де були підозри на приховану активність. Сонячна енергетика продемонструвала свою стійкість попри всі негаразди. Сонячна електростанція потужністю 3,9 МВт, розташована в Харківській області України, найбільша сонячна електростанція комунального масштабу у цьому регіоні, була частково пошкоджена під час російської ракетної атаки 28 травня 2022 року. Попри пошкодження 416 сонячних панелей та чотирьох інверторів, станція змогла частково відновити роботу. Персоналу вдалося від'єднати пошкоджені компоненти, що дозволило станції зробити свій внесок у виробництво 1,8 МВт екологічно чистої електроенергії в енергосистему. Ця сонячна електростанція розташована за 30 км на південь від Харкова і забезпечує електроенергією місто Мерефа, слугуючи прикладом розподіленої генерації,

спрямованої на енергозабезпечення невеликого міста. Станція обладнана фотоелектричними модулями Talesun потужністю 325 Вт та інверторами Fronius ECO 27.0-3-S потужністю 27 кВт, що демонструє її здатність до стійкості, попри типові пошкодження, спричинені влученням ракет або снарядів у цьому регіоні. Унікальний фундамент сонячної електростанції на болотистій місцевості з використанням геосурупів дозволив їй витримати локальні пошкодження опорних конструкцій після ракетного обстрілу.



Рисунок 35: Мерешинська сонячна електростанція у Харківській області, частково пошкоджена російськими атаками. Фото: Solar Generation

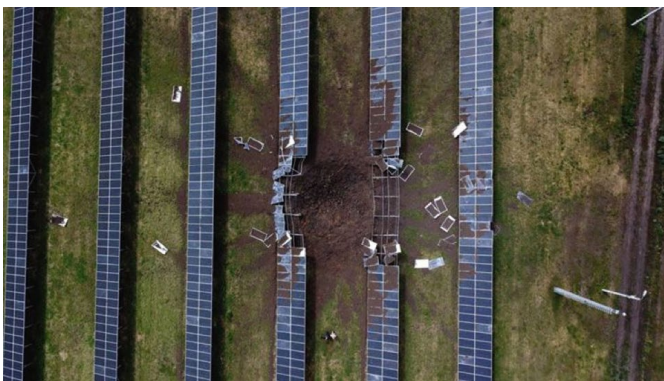


Рисунок 36: Сонячна електростанція у Харкові, частково пошкоджена російськими атаками. Фото: Асоціація сонячної енергетики України

За словами місцевих експертів, на постачання обладнання в Україну для

сонячних електростанцій війна, схоже, не вплинула. Обладнання імпортується і перевозиться вантажівками, навіть для установок великої потужності (до 7 МВт). Крім того, імпорт через Румунію з використанням румунських портів здійснювався без значних проблем. Проекти сонячної енергетики змогли отримати необхідне обладнання з цих джерел та успішно побудувати та підключити свої установки.

За словами місцевих експертів, будівництво сонячної станції в Україні зазвичай займає в середньому 3-4 місяці. Для установки більшої потужності, наприклад, 5 МВт, це може зайняти до шести місяців. З точки зору швидкості розробки проектів, Україна ефективніша за Європу, хоча є певні нюанси, які потребують вирішення. Однак через війну, що триває, і минулі проблеми з виконанням державних зобов'язань компанії можуть натрапляти на труднощі у доступі до фінансових ресурсів.

Каталог критично важливих технологій для енергетичного сектору України

Версія: Січень 2024 р.

Цей каталог технологій створено за участю багатьох українських експертів, а також експертів з таких міжнародних і данських організацій:

- MAN Energy Solutions
- RWE Scandinavia
- TOWII Renewables
- Better Energy
- Hybrid Greentech Energy Intelligence
- ABB – Hitachi
- Schneider Electric
- SGB Smit
- Siemens Energy
- BWSC

ПЕРЕЛІК АБРЕВІАТУР

Абревіатури	Визначення
€	Євро
AC	Змінний струм
BOS	Баланс системи
LCOE	Нормована вартість електроенергії
CAPEX	Капітальні витрати
БРМД	Балістична ракета малої дальності
CCGT	Газовий генератор замкнутого типу
ТЕЦ	Теплоелектроцентраль
CO ₂	Вуглекислий газ
DC	Постійний струм
ОВНС	Оцінка впливу на навколишнє середовище
ESCO	Енергосервісні компанії
ESS	Системи накопичення енергії
EUR	Євро
FGT	Очищення димових газів
FLH	Години роботи на повному навантаженні
ГВт	Гігават
ГЕС	Гідроелектростанція
ГЕС	Гідроенергетична станція
ГЕС - ГАЕС	Гідроелектростанція - Гідроакумуюча електростанція
ГЕС - на річці	Гідроелектростанція - на річці
HVAC	Опалення, вентиляція та кондиціонування
МБРР	Міжнародний банк реконструкції та розвитку
МЕК	Міжнародна електротехнічна комісія
МЕС	Міжнародний електротехнічний словник (стандарт IEC)
IFC	Міжнародна фінансова корпорація

Абревіатури	Визначення
кг	Кілограм
кВт	Кіловат
кВте	Кіловат електричної потужності
кВт•год	Кіловат година
LiB	Літій-іонні акумуляторні батареї
ПТЕ	Продовження терміну експлуатації
м	Метр
м ²	Квадратний метр
Міненерго	Міністерство енергетики
МВт	Мегават
МВт _e	Мегават електричної потужності
МВт•год	Мегават година
МВт•пік	Мегават•пік
МВтт	МВт теплової енергії
НКРЕКП	Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг (НКРЕКП)
ПГ	Природний газ
NO _x	Оксиди азоту
O&M	Експлуатація та технічне обслуговування
ОРЕХ	Операційні витрати
ORC	Органічний цикл Ренкіна
OSGT	Газовий генератор відкритого типу
P1, P2 тощо	Параметр 1, Параметр 2 тощо
ПКД	Проектно-кошторисна документація
ГАЕС	Гідроакумулююча електростанція
ПДж	Петаджоуль
PPA	Договір купівлі-продажу електричної енергії
PV	Сонячні електростанції (фотовольтаїчні)
Q	Швидкість реалізації (як швидко це можна зробити)
R	Стійкість вибраних технологій
RoR	На річці - Гідроелектростанція
с	Секунда
SCR	Селективне каталітичне відновлення
ТЕО	Техніко-економічне обґрунтування
TMS	Система терморегуляції
ТЕС	Теплоелектростанція
ТЕС - газова	Теплоелектростанція - газова
ТЕС - вугільна	Теплоелектростанція - вугільна
ОСП	Оператор системи передачі
UA	Україна, український
УДПЕП	Українсько-данська програма енергетичного партнерства
ПРООН	Програма розвитку Організації Об'єднаних Націй
ДБЖ	Джерело безперебійного живлення
VRE	Переривчасті відновлювані джерела енергії

Абревіатури	Визначення
Вт	Ват
W	Вплив зимового періоду
Вт·год	Ват година
WtE	Вироблення енергії зі сміття
ВТГ	Віротурбогенератор
WTGS	Система генерування електричної енергії вітрової установки (визначення з МЕС)

