

Тема 7. Розвиток відновлювальних джерел енергії в Україні та світі

Відновлювальні джерела енергії (ВДЕ) - джерела, що відновлюються природним шляхом у коротких часових масштабах: сонячна, вітрова, гідро-, біоенергетика, геотермальна енергія тощо. Їхня ключова відмінність - низькі (або нульові на етапі генерації) викиди CO₂ та менша залежність від викопного палива.

На рівні глобальної кліматичної політики країни задекларували намір **потроїти встановлену потужність ВДЕ до 2030 року** (COP28), а IEA вказує на швидке зростання частки ВДЕ в електроенергетиці та прогнозує подальше підвищення частки ВДЕ до 2030 р.

За статистикою IRENA, у **2023 році** додано **473 ГВт** ВДЕ (рекордні темпи, ~86% усіх нових потужностей у світі), домінують сонце та вітер.

IRENA також повідомляє, що у **2024 році** світ додав **585 ГВт** нових потужностей ВДЕ (ще один рекорд).

Міністерство енергетики України декларує курс на **наближення до кліматичної нейтральності до 2050 року**, що прямо підсилює роль ВДЕ та модернізації мереж.

Публічні матеріали Уряду щодо декарбонізації/NECP згадують очікування **27% ВДЕ у кінцевому енергоспоживанні до 2030 року** (показник саме *final energy consumption*).

Оцінки частки ВДЕ в електрогенерації в Україні відрізняються залежно від методики (включення/невключення великої гідроенергетики тощо). Наприклад, UkraineInvest наводить **22% у 2023 році (включно з великою гідро)**.

Сонячна фотоелектрична генерація (PV — Photovoltaics) базується на перетворенні сонячної радіації в електричну енергію за рахунок фотоелектричного ефекту в напівпровідникових структурах (p–n перехід).

При попаданні фотонів на напівпровідник відбувається генерація електрон-діркових пар. ФотоЕРС елемента:

$$I = I_{ph} - I_0 \left(e^{\frac{qV}{nkT}} - 1 \right)$$

де

I_{ph} — фотострум,

I_0 — зворотний струм насичення,

q — заряд електрона,

k — стала Больцмана,

T — температура.

Максимальна потужність модуля:

$$P_{max} = U_{mpp} \cdot I_{mpp}$$

2. PV-модулі та стрінги

2.1. Типи сонячних модулів

- Монокристалічні (високий ККД 20–23%)
- Полікристалічні (17–20%)
- Тонкоплівкові (10–15%)

Номінальні параметри модуля:

- P_{nom} — 400–600 Вт
- U_{oc} — напруга холостого ходу
- I_{sc} — струм короткого замикання
- U_{mpp}

2.2. Формування стрінгів

Модулі з'єднуються:

- послідовно → підвищення напруги
- паралельно → підвищення струму

Інвертори та MPPT

4.1. Типи інверторів

- Мережеві (Grid-tied)
- Гібридні (з BESS)
- Централізовані
- Стрінгові
- Мікроінвертори

4.2. MPPT (Maximum Power Point Tracking)

Завдання MPPT — підтримувати робочу точку на максимумі потужності.

Для інженера ключовими є:

- правильний вибір інверторів та трансформаторів,
- розрахунок режимів,
- інтеграція в мережу,
- забезпечення якості електроенергії,
- автоматизація та SCADA.

ВІТРОЕНЕРГЕТИКА базується на перетворенні кінетичної енергії повітряного потоку в механічну енергію обертання ротора, а далі — в електричну енергію генератором.

Принцип роботи: Потік повітря обертає лопаті турбіни, що приводить у дію генератор, який виробляє електроенергію.

Світові тренди: Галузь швидко розвивається, забезпечуючи значну частину світової потреби в електроенергії, з постійним зростанням потужностей вітряків.

Вітроенергетика в Україні:

Україна має потенціал для розвитку, але значна частина потужностей (близько 71% або 1317 МВт) перебувала на тимчасово окупованих територіях станом на кінець 2023 року.

Попри війну, в Україні будуються нові потужності та впроваджуються системи накопичення енергії (СНЕ) для створення стабільної, стійкої енергосистеми.

Фізичні основи роботи вітротурбіни

Потужність повітряного потоку:

$$P_{wind} = \frac{1}{2} \rho A v^3$$

де

ρ — густина повітря (~1,225 кг/м³),

$A = \pi R^2$ — площа ометання ротора,

v — швидкість вітру.

Реальна потужність турбіни:

$$P_{turbine} = C_p \cdot \frac{1}{2} \rho A v^3$$

де

C_p — коефіцієнт використання енергії вітру.

Обмеження Беца:

$$C_{p,max} = 0.593$$

Максимум 59,3% енергії потоку можна перетворити.

Основні елементи вітротурбіни



[<https://www.led.paytex.com.ua/post/vitrogenerator-vse-pro-energiyu-vitru>]

Робочі режими

Швидкість вітру	Режим
< 3 м/с	Турбіна не працює
3–12 м/с	Набір потужності
12–15 м/с	Номінальна потужність
> 25 м/с	Аварійне відключення

Приєднання до мережі

Етапи:

1. Генерація 0,69 кВ
2. Підвищення до 10–35 кВ
3. Передача на підстанцію 110 кВ

Проблеми експлуатації

- Турбулентність
- Обмерзання лопатей
- Зношення редуктора
- Вібрації
- Кібератаки

БІОЕНЕРГЕТИКА — це напрям відновлюваної енергетики, що базується на використанні органічної сировини (біомаси) або продуктів її анаеробного розкладу (біогазу) для виробництва теплової та електричної енергії.

Для України біоенергетика має стратегічне значення через значний аграрний потенціал та наявність відходів сільського господарства.

Спалювання біомаси

Біомаса → Котел → Пара → Турбіна → Генератор

ККД паротурбінної установки:

$$\eta = \frac{P_{\text{ел}}}{P_{\text{тепл}}}$$

Загальний ККД у когенерації:

$$\eta_{\text{total}} = 80\text{--}90\%$$

Біогаз

Отримується в результаті анаеробного бродіння:

- гною
- силосу
- органічних відходів
- стічних вод

Склад біогазу:

- 50–70% метану (CH_4)
- 30–45% CO_2
- домішки H_2S

Анаеробне зброджування (біогаз)

Сировина → Реактор → Біогаз → Газопоршнева установка → Генератор

Система очищення газу

Біогаз містить H_2S , який викликає корозію.

Методи очищення:

- фільтрація
- адсорбція
- хімічна нейтралізація

Приєднання до мережі

Напруга генератора:

0,4–6 кВ

Підвищення:

10–35 кВ