

2.4 Класифікація вітрових установок, методи та засоби перетворення енергії вітру

Для використання енергії вітру застосовуються різні типи вітроенергетичного обладнання. Вітроенергетична система спочатку перетворює енергію вітру в механічну енергію, а потім, при необхідності, в електричну. Функціонально вітроустановки можуть бути розподілені таким чином:

- мережеві вітроелектричні установки;
- автономні вітроелектричні установки;
- вітроустановки для виконання механічної роботи.
- Режими функціонування вітроелектричного обладнання, що працює в комплексі з промисловою електромережею, суттєво відрізняються від режимів роботи автономних вітроелектричних установок; ці відмінності потребують спеціального технічного і технологічного забезпечення. Тому автономна вітроенергетика часто виділяється як окрема підгалузь вітроенергетики.

- Механічні вітроустановки частіше всього використовуються в сільському господарстві, вітроелектричні агрегати мають більш широке коло споживачів - різні приватні та державні господарства, установи, будинки та об'єкти. Для забезпечення потреб теплопостачання вітрову енергію перетворюють у тепло за допомогою механічних або електричних пристроїв.
- Для виробництва електроенергії застосовують вітроелектричні агрегати двох основних типів: з вертикальною та з горизонтальною віссю обертання. Найбільш поширеними є вітроагрегати з горизонтальною віссю обертання, на їх частку приходить біля 95% вітроустановок.
- Потенційний попит на вітроенергетичне обладнання, а також на пристрої енергопостачання на їх основі, може бути визначений залежно від напрямків їх використання. При цьому варто мати на увазі, що області використання визначають вимоги до конструкції як власне вітроустановок, так і до складу устаткування системи захисту, автоматики та алгоритму керування. Це в остаточному підсумку визначає вартість системи та платоспроможний попит.

Відповідно із сформованою практикою, за напрямками використання вітроустановки класифікуються наступним чином

- вітроустановки та вітростанції, що працюють у мережі (енергосистемі) загального користування (мережні ВЕУ і ВЕС);
- вітроустановки, що працюють у локальній (автономній) системі паралельно з іншими енергоустановками (дизель-генератор, мала ГЕС, сонячна батарея тощо);
- вітроустановки індивідуального або групового електропостачання;
- вітроустановки для виробництва теплової енергії;
- вітроустановки для виробництва механічної енергії.
- У вітроенергетичних установках енергія вітру перетворюється в механічну енергію їх робочих органів. Первинним і основним робочим органом вітроустановки, що безпосередньо приймає на себе енергію вітру і, як правило, перетворює її в кінетичну енергію свого обертання, є вітроколесо. Обертання вітроколеса під дією вітру обумовлюється тим, що в принципі на будь-яке тіло, що обтікає потік газу, діє сила E , яку можна розкласти на дві складові:
 - 1) сила лобового опору, що діє уздовж швидкості набігаючого потоку;
 - 2) підйомна сила, що діє у напрямку, перпендикулярному швидкості набігаючого потоку.

- Різні за розмірами і потужністю типи вітроустановок із горизонтальною віссю відповідно до європейської та американської класифікації представлені у таблиці 2.2 [16, 25].

Таблиця 2.2 Розмірна класифікація вітроустановок

Розмір	Діаметр ротора	Потужність
мала (клас А)	менше 12 м	менше 40 кВт
середня(клас В)	від 12 до 45 м	від 40 до 999 кВт
велика (клас С)	46 м і більше	1 МВт і більше

Із позицій конструктивних і технологічних особливостей, а також тенденцій розвитку, умовно розділяють ВЕУ на дві групи [16].

- 1) ВЕУ малої потужності (до 100 кВт);
- 2) ВЕУ середньої і великої потужності (100 кВт і більше).

Особливості першої групи обумовлені специфікою ринку даної категорії ВЕУ, розрахованої на індивідуальних споживачів приватного сектора і малий бізнес. Низька платоспроможність індивідуальних споживачів і неможливість (або обмежені можливості) професійного технічного обслуговування призвели до необхідності максимального спрощення і здешевлення конструкції агрегатів. При цьому показники надійності та автономності роботи повинні залишатися на найвищому рівні.

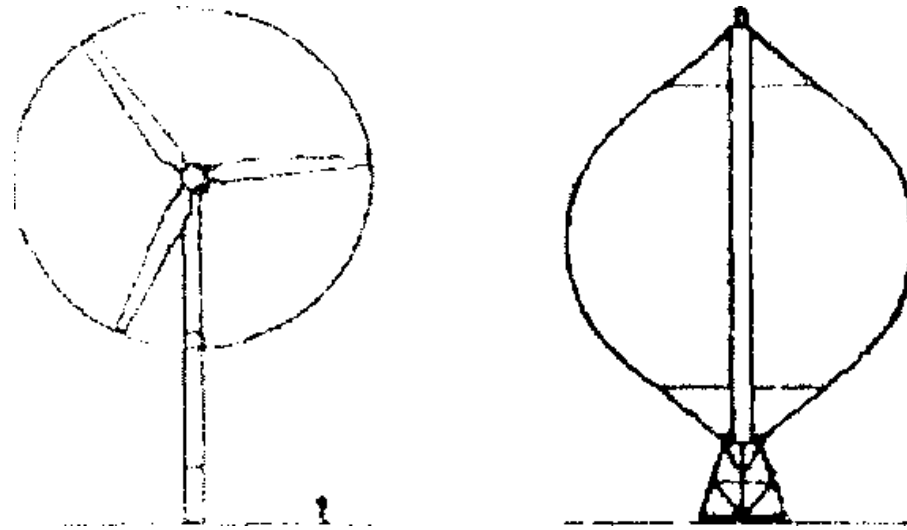
- Характерними властивостями новітніх ВЕУ до 100 кВт є:
 - - використання трилопатевої вітротурбіни з фіксованим кутом установки лопатей, перетин профілю лопаті постійний;
 - - виготовлення лопатей із армованого скляним або вуглецевим волокном пластику;
 - - орієнтація ВЕУ за допомогою найпростішого механізму - флюгерної лопаті, яка завдяки спеціальній конструкції та шарніру одночасно регулює швидкість обертання вітротурбіни шляхом повороту всієї площини обертання вітротурбіни відносно вітрового потоку;
 - - використання тихохідних трифазних синхронних генераторів на базі рідкоземельних магнітів з високою коерцитивною силою;
 - - виконання генераторної системи за схемою "синхронний генератор - випрямляч - інвертор", що дозволяє працювати при змінній частоті обертання ротора;
 - - можливість як мережної, так і автономної роботи;
 - - забезпечення повністю автономної роботи, контрольованої комп'ютером, а також роботи в різних комбінаціях системи (наприклад, координація роботи разом із дизельною електростанцією або акумулятором).
- Перепонами до широкомасштабного впровадження мережних та автономних вітроустановок малої потужності є [16, 25]:
 - - висока питома вартість агрегатів малої потужності;
 - - обмеженість у фінансах у масового приватного покупця;
 - - обмежене число площадок із прийнятними вітровими умовами;
 - - низькі показники надійності і ККД;
 - - слабка розвиненість маркетингової та сервісної системи.

- Розвиток вітроенергетики на основі вітроустановок потужністю до 100 кВт повинен бути орієнтованим на відносно низьку одиничну вартість агрегатів та їх механічну простоту, повну автономність і універсальність у роботі, застосування генераторів, що працюють зі змінною швидкістю обертання, для підвищення загального коефіцієнта використання вітроелектричної установки.
- Вітроустановки другої групи (середньої та великої потужності) характеризуються спільними технологічними рішеннями, які обумовлюються вимогами до роботи в електромережі та великими габаритами ВЕУ. При цьому висока одинична вартість агрегатів такого класу компенсується зниженням питомої вартості 1 кВт установленної потужності.

- До основних тенденцій розвитку вітроенергетики на основі середніх і великих ВЕУ відноситься [16]:
 - - пошук нових матеріалів та удосконалених композитів для виготовлення лопатей;
 - - пошук більш досконалих профілів для лопатей ;
 - - використання генераторів зі змінною швидкістю обертання ротора;
 - - збільшення встановленої потужності вітроустановок;
 - - використання високих веж для підвищення ефективності роботи за рахунок більш сильних і стабільних вітрів.
- - Застосування великих вітроустановок із діаметром вітротурбіни більше 45 м і встановленою потужністю 1 МВт і більше надає наступні переваги [3]:
 - - зниження питомих витрат на 1 кВт встановленої потужності;
 - - можливість використання більше вітрової енергії на одиницю площі у випадку наявності у межах ландшафту високих перепон, а також у випадку, коли дмуть стабільні вітри одного напрямку;
 - - забезпечення кращої аеродинаміки внаслідок більш високих чисел Рейнольдса, що спостерігаються у лопатей із більшою хордою;
 - - обмеження чутливості великих лопатей до забруднень;
 - - більш висока економія на деяких системах, наприклад, на системі керування.

- Разом із тим, виробництво та будівництво потужних вітроустановок супроводжується певними проблемами [16]:
 - - виготовлення, зберігання та транспортування великогабаритних компонентів ВЕУ;
 - - необхідність відповідних підйомних пристроїв по висоті та вантажопідйомності;
 - - залежність від аеродинамічного керування потужністю та швидкістю обертання;
 - - забезпечення безпечного доступу обслуговуючого персоналу;
 - - необхідність певного розташування групи ВЕУ для запобігання електромагнітної інтерференції;
 - - граничні вимоги до якості виготовлення різних вузлів ВЕУ.
- Характерними рисами новітніх ВЕУ середньої та великої потужності є:
 - - використання трилопатевої віротурбіни, виготовленої зі склопластику, армованого скляним або вуглецевим волокном, із регулюванням кута установки периферійної частини лопаті;
 - - застосування асинхронних двошвидкісних генераторів, що приводяться в рух через трансмісію;
 - - застосування активної системи орієнтації на вітер;
 - - використання трубчастої сталевий вежі без розтяжок;
 - у самих останніх розробках плануються більш дешеві та більш високі башти на розтяжках;
 - - повністю автоматизована система керування;
 - - можливість тільки мережної роботи.
- На рис. 2.19 показано конструкцію сучасної ВЕУ на прикладі агрегату Nordex N62/1300 потужністю 1,3 МВт.

- Конструктивно вітроустановки класифікуються за двома основними ознаками:
- 1) геометрією вітроколеса:
- 2) положенням вітроколеса відповідно до напрямку вітру.

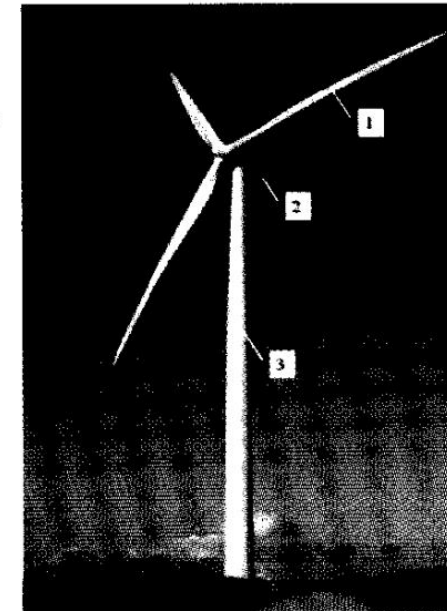


- Рис. 2.18. Віротурбіни з горизонтальною (а) і вертикальною осями (б)
- За типом віротурбіни застосовуються дві принципові схеми вітроустановок: з горизонтальною та вертикальною осями (рис. 2.18) [25].

- Якщо вісь обертання вітроколеса паралельна повітряному потоку, то установка називається горизонтально-осьовою. Установки, що використовують силу лобового тиску, як правило, обертаються з лінійною швидкістю, меншою від швидкості вітру, а установки, що використовують підйомну силу, мають лінійну швидкість кінців лопатей, істотно більшу від швидкості вітру.
- Сучасна вітроенергетика базується в основному на застосуванні вітродвигунів: горизонтально-осьових пропелерних із горизонтальною віссю обертання й вертикально-осьових (або ортогональних) із вертикальною віссю обертання. Ротори останніх виконуються у вигляді вертикально розташованих лопатей або у спеціальному виконанні - ротори типу Дар'є
- .

2.4.1 Горизонтально-осьові вітроустановки

- Вітроустановки, лопаті яких здійснюють обертання у вертикальній площині навколо горизонтальної осі, відносяться до класу горизонтально-осьових. До складу типового горизонтально-осьового вітродвигуна (рис. 2.19) входить вітроколесо з радіально встановленими лопатями, поворотна головка з трансмісією і навантаженням (гондола), а також несуча опора.
- За величиною номінального модуля швидкохідності горизонтально-осьові вітроустановки умовно поділяють на два типи:



1 – вітроколесо; 2 – гондола; 3 – башта

Рис. 2.19. Горизонтально-осьова вітроустановка

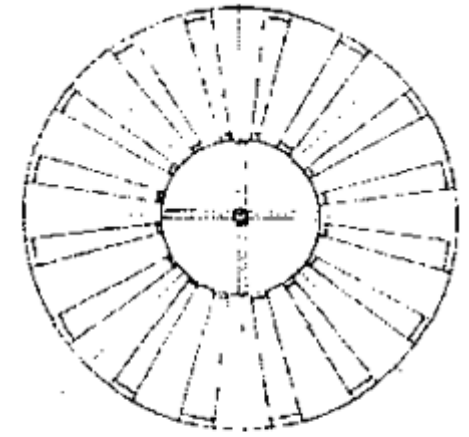
За величиною номінального модуля швидкохідності горизонтально-осьові вітроустановки умовно поділяють на два типи:

- а) $X < 2$ - тихохідні вітроустановки;
- б) $X > 2$ - швидкохідні вітроустановки.

2.4.1.1 Тихохідні горизонтально-осьові вітроустановки

- Тихохідні горизонтально-осьові вітроустановки характеризуються великим числом лопатей, що мають профіль вигнутої (або плоскої) пластини, встановленої під великим (-10°) кутом установки в. Оскільки такого роду профіль має низьку аеродинамічну якість K , вітроколесо для досягнення підвищених значень ККД
- повинне мати високий коефіцієнт заповнення поверхні обмаху σ (близько 1). Таким чином, тихохідне вітроколесо - це густонаповнений лопатями диск із високою парусністю (рис. 2.20). Тихохідні вітроустановки мають переваги в порівнянні з швидкохідними, які полягають у тому, що, володіючи підвищеним пусковим моментом, вони починають роботу при слабких швидкостях вітру (2,5-3 м/с) [20, 21, 26]. Завдяки цьому тихохідні вітроустановки можуть використовуватися в районах зі слабкими і помірними швидкостями вітру, де швидкохідні вітроустановки значну частину часу будуть простоювати (до таких районів відноситься велика частина території України).

- Тихохідні вітроустановки використовуються головним чином для водопідйому за допомогою поршневих або інерційних насосів, а також для здійснення механічної роботи на млинах, лісопильнях тощо.
- Тихохідним вітроустановкам притаманні наступні недоліки, що перешкоджають їх широкому використанню:
 - а) через високу парусність вітроколеса тихохідна вітроустановка чутлива до сильних поривів і шквальних посилень вітру - навіть у зупиненому стані тихохідна вітроустановка піддається сильним навантаженням від набігаючого повітряного потоку, внаслідок чого не має достатньої надійності;
 - б) внаслідок підвищеного лобового тиску тихохідне вітроколесо комплектується додатковими ободами і розкосами, - що ускладнюють і збільшують масу вітроколеса і вітроустановки в цілому; за рахунок збільшення матеріалоємності і наявності великого числа лопатей такі вітроустановки дуже громіздкі. Через підвищену матеріалоємність тихохідних вітроустановок (350- 500 кг/кВт) вартість генерованої ними енергії вища порівняно із швидко-хідними вітроустановками;



Тихохідний горизонтально-осьовий ротор ВУ

Рис. 2.20.

- в) через велике число лопатей (12-24), ободів і розкосів проблемним є оснащення тихохідного вітроколеса регулятором частоти його обертання - важко виконати лопаті поворотними. Тому в тихохідних вітроустановках для обмеження частоти обертання і відцентрових сил, для зниження лобового тиску на вітроколесо та скидання надмірної потужності, а також для зупинки вітроколеса використовують примусове виведення вітроколеса з-під вітру в горизонтальній або вертикальній площині за допомогою штормової лопаті або шляхом ексцентричного кріплення поворотної головки вітроустановки до несучої опори. Проте цей захід не може повністю зняти проблему надійності тихохідної вітроустановки через виникнення навантажень від гіроскопічного моменту, який виникає при одночасному повороті осі обертання вітроколеса;
- г) низьке значення величини номінальної швидкохідності ($2 < 2$) призводить до низької частоти обертання вітроколеса. Тому для агрегування тихохідної вітроустановки із швидкохідним низькомоментним навантаженням (електрогенератор, осьові і відцентрові компресори і т.д.) необхідним є додаткове оснащення редуктором, вірніше, мультиплікатором зі значним передавальним відношенням, що додатково знизить ККД вітроустановки і підвищить її питому матеріалоємність і вартість виробленої енергії;

- д) тихохідні вітроустановки мають відносно низьке значення коефіцієнта використання енергії вітру (до 0,35), тоді як у швидкохідних вітроустановок величина КВЕВ досягає 0,5.
- Недоліки, перераховані вище, призводять до того, що тихохідні вітроустановки розробляються із невеликою встановленою потужністю (до 1-2 кВт) та діаметром вітроколеса до 6 м і агрегатуються головним чином із насосами, млинами, крупорушками та іншими механізмами.
- Хоча сучасна віротехніка робить акцент на швидкохідні вітроустановки з невеликою кількістю лопатей (зазвичай 2-3), в деяких випадках доцільним є використання переваг тихохідних вітроустановок за рахунок простої технології виготовлення лопаті (аж до тканинних лопатей), здатності роботи при слабких вітрах і нових компоновок вітроколеса із запобіжними механізмами.

