2.4.2. Вітрова енергія

За кордоном вітрова енергетика стала одним з напрямків використання нетрадиційних відновлюваних джерел енергії (НВДЕ), які найбільш динамічно розвиваються в Данії, Англії, США, Австралії, Новій Зеландії, Франції, Німеччині. Там експлуатується понад 1 млн. вітроустановок одиничною потужністю 5-200 кВт **[8]**.

Причиною виникнення вітрів є поглинання земною атмосферою сонячного випромінювання, що призводить до розширення повітря і появи конвекційних течій. В глобальному масштабі на ці термічні явища накладається ефект обертання Землі, що спричиняє появу напрямків вітру.

Енергія вітру в механічних установках (млини, водяні насоси) використовується вже декілька століть. З 1930 р. інтенсивно розробляються різні конструкції вітроенергетичних установок (ВЕУ). Однією з основних умов при проектуванні вітрових установок є забезпечення їх захисту від руйнування дуже сильними поривами вітру **[6]**.

Перший вітровий електрогенератор був розроблений невідомим російським вченим в 1890 р. Потужність сучасних вітроелектростанцій коливається від десятків до декількох тисяч кіловат. Застосовують їх для різних цілей – освітлення, перемелювання зерна, зрошування полів, осушення боліт, роботи лісопилок та інших машин. Виробництво вітрових двигунів потребує порівняно невеликих витрат. Інтенсивність їх роботи залежить від швидкості вітру. Середньорічна швидкість вітру в різних районах Землі різна. Для багатьох районів вона становить 5 м/с, що достатньо для функціонування вітрових електрогенераторів. Механічні вітрові генератори здатні працювати з середньою швидкістю вітру приблизно 3 м/с.

Велику роботу виконує інститут по розвитку сільських районів "Лас Гавиотас" в Колумбії, який фінансується ООН та урядом Колумбії. Конструктори розробили недорогий вітряний насос вентиляторного типу, здатний працювати при невеликій силі вітру і забезпечувати водою невеликі господарства та зрошувати їх поля **[5]**.

Енергію вітру використовують в зонах пасатів та західних вітрів. Більше 80% підприємств галузі дислоковані в районах, багатих на вітроенергетичні ресурси, де середньорічна швидкість вітру досягає 5-10 м/с протягом 270-320 діб/рік – Прибалтика, Азово-Чорноморська зона, Приморський край, Поволжя, Північний Казахстан, узбережжя північних та Каспійського морів. У цих регіонах перспективне спорудження ВЕУ потужністю 100-1000 кВт і більше **[8]**.

Для характеристики ефективності вітрової енергії в Україні можна навести дані (табл. 2.4.3).

Таблиця **2.4.3.** Середня швидкість вітру по регіонах

Зона	Середньорічна швидкість вітру, м/с
Причорномор'я	5,6
Степ	4,5
Донбас	5,0
Лісостеп	4,0
Полісся	3,0-4,0

У січні, наприклад, максимум часу можливого використання енергії вітру спостерігається в приморській зоні, південному Степу, в Донбасі, гірських районах Криму та Карпат. Найменша вітрова ефективність припадає на середню течію Дніпра та північно-західну частину України. У співвідношенні до середніх швидкостей вітру розподіляється і кількість енергії, яку можна отримати за допомогою вітродвигунів. Так, в районі Донбасу і Причорноморської низини запаси вітрової енергії дорівнюють 2000-2500 кВт·год на 1 м2 площі, яка обдувається, в Поліссі та на Волино-Подільському плато – 1000-1200 кВт·год.

В Україні будуються та вже діють декілька крупних ВЕС. П'ять станцій знаходяться в Криму, де особливо гостро стоїть проблема енергопостачання. Найбільшою є Донузлавська ВЕС (53 вітрових агрегати, у 1997 р. вироблено 2,3 млн. кВт·год електроенергії); до експериментальних належать Акташська (14 вітрогенераторів), Чорноморська (4), Сакська (23) та Євпаторійська (1 вітроагрегат потужністю 420 кВт). У Миколаївській області вже виробляє енергію Ажжигільська ВЕС (3), на Львівщині – Трускавецька (7), на Херсонщині – Асканійська (3) та Новоатовська (12). У 1999 році введена в дію найпотужніша в Україні Маріупольська ВЕС. Усі вітрові станції виробили у 1997 р. близько 4 млн. кВт·год електроенергії, що становить 0,0025% від загального вироблення її в Україні.

- Для порівняння: найбільша у світі частка вироблення електроенергії вітровими станціями у Данії становить 4%.

В Росії проблемою вітроенергетики займається науково-виробниче об'єднання "Вітроен" (місто Істра), співробітники якого розробляють проекти і виробляють невеликі партії вітродвигунів потужністю 2-5 кВт. Ця продукція використовується в районах, віддалених від місць централізованого електропостачання, зі складними природно-кліматичними умовами.

В Україні деякий вклад у вирішення цих питань вносить науково-дослідна база Київського політехнічного інституту.

Дуже ефективне використання вітрових турбін для підігріву води з метою опалення (теплові мішалки). Досліди показали, що в районах з інтенсивним вітром подібні пристрої дешевші за електроопалення. Вигідно використовувати їх у Канаді та Північній Європі.

Існує декілька причин, котрі обумовлюють перспективність "вітрових ферм" (комплекси, котрі складаються з 50 чи більше потужних вітряних турбін). Малогабаритні вітряні турбіни інколи дуже ефективні, проте пагорби, дерева знижують їх ефективність. Але міста могли б одержувати електроенергію за допомогою комплексу великих вітряних турбін десь по верхівці пагорба, де сила вітру досить велика.

Великогабаритний вітряний двигун являє собою установку потужністю 100 кВт і більше. Зараз в Росії, США і Канаді розробляються декілька варіантів багатомегаватних двигунів. Вітряний двигун потужністю 1 МВт здатний забезпечити електроенергією 10000 мешканців.

Встановлення турбін в морі є оптимальним варіантом для узбережних країн. Технічна здійсненість цього проекту вивчалася в Англії. Район Північного моря має мілководний континентальний шельф. Середня швидкість вітру тут досягає 9 м/с. Треба поставити платформи та прокласти підводний силовий кабель до релейної підстанції на березі **[3]**.

При виборі будь-якої височини для розміщення ВЕУ її висота не є єдиним критерієм, котрий визначає доцільність будівництва. До додаткових вимог відносяться:

- відкритість місцевості. Для запобігання гальмуванню вітрового потоку височини повинні знаходитися на відстані не менш як 2-3 км;
- височини повинні бути в розрізі колоноподібної, конусоподібної форми;
- схили повинні бути пологими, з нахилом не більше 20°.

Дослідження показали, що при створенні ефективних вітроелектричних станцій недоцільно використовувати велику кількість ВЕУ, котрі розкидані по площі на обмеженій ділянці місцевості навіть з високою аеродинамічною якістю підстилаючої поверхні, бо це значно підвищує параметр шорсткості і зменшує економічний ефект використання ВЕУ. Тому треба використовувати одиничні ВЕУ середньої чи великої потужності **[14]**.

Бельгійська фірма "Turbowinds" випускає ВЕУ вертикально-осьового типу (потужність 13 кВт). Ця установка використовується для електрозабезпечення іригаційних систем у важкодоступних районах. Швидкість вітру розрахункова за потужністю – 12 м/с, пускова – 3,5 м/с, штормова – 50 м/с.

Фірма з Данії "Danish Wind Technology" розробила та випускає ВЕУ Windare, яку застосовують для вироблення змінного струму в автономному режимі роботи в суворих кліматичних умовах, включаючи сильні вітри (70 м/с). Максимальна потужність – 20 кВт. Початкова швидкість вітру – 4,5 м/с, розрахункова вихідна потужність – 14 м/с.

Фірма "IEC Energy" (США) випускає ВЕУ WP-1 та WP-4 потужністю 1 та 4 кВт, що забезпечують електропостачання житлових приміщень, ферм, шкіл, нафтових промислів, майстерень, промислових підприємств, лабораторій (табл. 2.4.4).

Таблиця **2.4.4.** Зарубіжні ВЕУ середньої потужності

Вітроелектрична установка	Діаметр колеса вітроелектрична, м	Швидкість обертання, об/хв	Висота опори, м	Потужність генератора, кВт
Bonus 55 kW	16,45	44,82	18,24	55/11
Smedemol 80 kW	18,7	40,06	24	80/18
Nordtank 65 kW	16	46,5	18,22	65/11
Micon 55 kW	16	45,22	22	55/11
Danwin 90 kW	19,6	40	24	90/25
Folkecenter 75 kW	17	50	23	75/15
Smedemester 22 kW	9,9	70,9	12,18	22
T-103	7	97	18	4
Windane 40	40	34	45	750

WP-1 – щорічний виробіток електроенергії 1000-2500 кВт·год.

WP-4 – щорічний виробіток електроенергії 4080-10000 кВт·год.

Італійська фірма "Riva Calzoni" розробила ВЕУ М7 (потужність 5,2 кВт) для роботи на автономного споживача, яка може бути використана для систем водопостачання та іригації, електрифікації населених пунктів у сільській місцевості та електрозабезпечення невеликих промислових виробництв. Швидкість вітру розрахункова за потужністю – 10 м/с, робоча – 3,9-20 м/с, штормова – 50 м/с.

Модернізований вітроелектричний агрегат типу ВЕ-4 для електрозабезпечення автономних споживачів (потужність 4 кВт). Розрахункова за потужністю швидкість вітру – 10 м/с.

Вітроелектричний агрегат ВЕ-16 для електрозабезпечення децентралізованих споживачів (потужність 16 кВт). Розрахункова швидкість вітру – 10 м/с.

Вітроелектричний агрегат типу ВЕ-30 є модифікацією агрегату ВЕ-16 (потужність 30 кВт).

НВО "Азимут" розробив та випускає ВЕУ малої потужності для енергозабезпечення автономних споживачів (потужність 40 Вт). Розрахункова швидкість вітру – 8-9 м/с та інші **[4]** (табл. 2.4.5, 2.4.6).

Таблиця **2.4.5.** ВЕУ середньої потужності колишнього СРСР

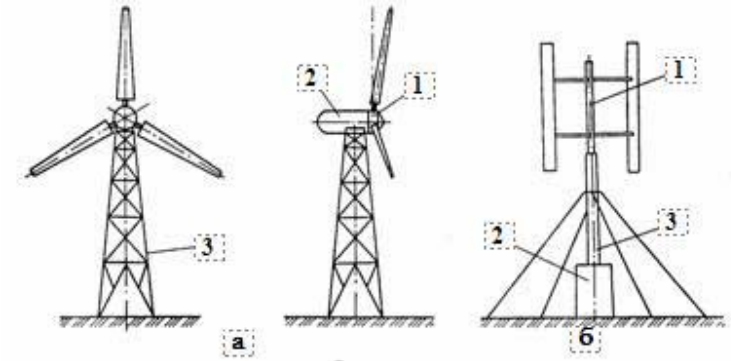
Вітроелектрична установка	АВЕ-100
Діаметр колеса вітродвигуна, м	36
Висота опори, м	25
Розрахункова швидкість вітру, м/с	9
Номінальна потужність, кВт	100
Економія палива, т	84
Діапазон робочої швидкості, м/с	5-25
Швидкість вітру в районах використання, м/с	6,5
Кількість лопастей, шт.	2

Таблиця **2.4.6.** ВЕУ великої потужності колишнього СРСР

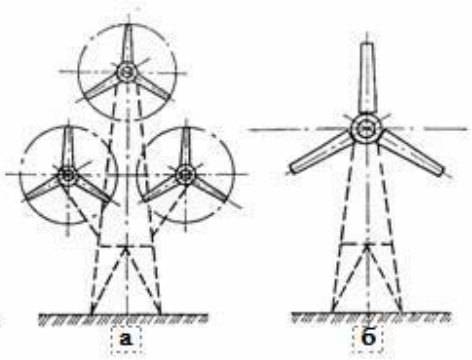
Вітроелектрична установка	АВЕ-250
Діаметр колеса вітродвигуна, м	25
Висота опори, м	24
Номінальна потужність, кВт	250
Річна економія палива, т/рік	128
Річний виробіток електроенергії при швидкості вітру 7 м/с, кВт·год	468580
Кількість лопастей, шт.	3

В Уфимському державному авіаційному технічному університеті розроблена ВЕУ потужністю 100 кВт. На острові Кріт заплановано встановлення вітроферми з 300 ВЕУ з потужністю 100 кВт кожна. При середньорічній швидкості вітру 8,7 м/с вітрокомплекс буде покривати 14% потрібної електроенергії **[7]**.

Досвід використання ВЕУ (мал. 2.4.11) показав, що конструктивно вона повинна складатися з вітродвигуна (ВД) 1, машинного відділення 2, опори 3.



Мал. 2.4.11. ВЕУ середньої потужності



Мал. 2.4.12. ВЕУ великої потужності

ВД перетворює енергію вітрового потоку в механічну, що в подальшому використовується для приводу машин, або трансформується в електричну чи тепло. ВД, що використовуються як привід електричного генератора ВЕУ, поділяються на 2 види: роторного (ВДР) і пропелерного (ВДП) типу.

При роботі площина обертання ВДП повинна встановлюватися перпендикулярно напрямку вітру, причому можливі 2 варіанти робочого положення – підвітряне (за опорою) та навітряне (перед опорою).

Конструктивно ВЕУ великої потужності можуть бути моновітродвигунними (мал. 2.4.12-а) та полівітродвигунними (мал. 2.4.12-б).

Найбільш доцільно розташовувати машинне відділення для ВЕУ з ВДП будь-якої потужності на верхівці опори. Для оберігання його від впливу атмосферних стихій воно повинно мати циліндричну оболонку (з металу чи склопластику).

Машинне відділення ВЕУ повинно включати: електричний генератор; обгінну муфту, що від'єднує вал ВД від вхідного вала мультиплікатора для запобігання вентиляторного режиму; електричне, механічне чи гідравлічне гальмо; мультиплікатор зі змінним чи постійним передаточним відношенням для великої частоти обертання ВД до рівня, визначеного характеристиками електричного генератора; муфта зчеплення, що зв'язує вихідний вал мультиплікатора і вал електричного генератора; електромеханічний чи гідравлічний привід кута встановлення лопасті і кута конусності; інформаційні і контрольні блоки системи автоматичного регулювання; електромеханічний чи гідравлічний привід кута орієнтування на напрямок вітрового потоку для ВЕУ з ВДП; необхідне допоміжне обладнання **[14]**.

Традиційно ВЕУ мають три лопасті, але можуть бути 2, 4, 6 тощо для даного діаметра вітрового колеса, при збільшенні числа лопастей коефіцієнт використання вітру зростає. Збільшення цього коефіцієнта при переході від 1 до 2-х лопастей складає 10% , а при переході від 2 до 3-х лопастей – 5%. Зі збільшенням числа лопастей зростає їх вартість та ускладнюється будова втулки.

Основними характеристиками конструкції лопастей є профіль розрізу і форма, матеріал і метод виготовлення. Звичайно застосовуються секції лопастей з профілем крила для досягнення високого відношення підйомної сили до лобового опору, і значить, високого коефіцієнта використання

енергії вітру. Матеріали лопасті різні – дерево, алюміній, сталь, склопластик тощо. Дерево – ялина, бук. Дерев'яні лопасті часто посилюють використанням алюмінію, сталі, міді.

Кут встановлення лопастей для невеликих ВЕУ змінний. Кут встановлення лопастей забезпечує захист від перевищення максимальної частоти обертання та регулювання потужності. Для невеликих ВЕУ використовуються лопасті з фіксованим кутом в тих випадках, коли підвищення максимальної частоти обертання може бути попереджено іншими засобами.

ВЕУ горизонтально-пропелерного типу потребують механізму орієнтації для напрямлення ротора вітрової турбіни за змінами в напрямку вітру. Найбільш проста система, коли вітрова труба обертається за вежею.

Недоліки цієї системи:

- лопасті проходять крізь вітровий потік за баштою, що призводить до збільшення циклічних навантажень на лопасть;
- під дією маси труби та напору вітру створюється вигинаючий момент, що діє на верхівку опорної конструкції. У випадку встановлення ротора перед баштою необхідні засоби орієнтації на вітер – хвостова лопата та віндроза (при бурі) **[4]**.

ВЕУ повинна мати 2 генератори для більш ефективного перетворення енергії вітрового потоку (для низьких і великих швидкостей ВП).

ВД повинен мати 2 гальма – механічне, що приводиться в дію системою управління, і аеродинамічне. ВЕУ повинна мати дистанційне керування розподілом і передачею електроенергії. При проектуванні ВЕУ важливе значення має розрахунок конструкції опори, оскільки її висота може досягати 100 м – сталева решітка, сталева з тросовими розтяжками, сталева трубчата, залізобетонна опори.

- **Недолік ВЕУ** – нерівномірність вітрового потоку.
- **Перевага** – вітрова енергетика найбільш чиста.

Крім загальних чи синоптичних закономірностей, багато чого в цих процесах визначається місцевими особливостями, що обумовлені географічними чи екологічними факторами. Швидкість вітрів збільшується з висотою, а їх горизонтальна складова значно більша за вертикальну. Ця обставина є основною причиною виникнення різких поривів вітру. Сумарна кінетична енергія вітрів оцінюється величиною порядку 0,7·1021 Дж.

В усіх країнах є метеослужби, що займаються реєстрацією та розповсюдженням метеозведень. Робота національних метеослужб координується в Женеві всесвітньою метеорологічною організацією.

Швидкість вітру класифікується за шкалою Бофорта. Швидкість вітру при стандартних метеорологічних замірах визначається осередненням за 10-хвилинний проміжок часу показань анемометра, що знаходиться на висоті 10 м.

Напрямок вітру визначається стороною світу, звідки дує вітер. Метеодані про напрямок вітру подаються у вигляді рози вітрів, що показує середню швидкість вітру в різних напрямках. Інформація про напрямок вітру дуже важлива, коли ВЕУ розташовують в гірській місцевості, поблизу будівель чи інших ВЕУ, а саме в тих випадках, коли можливе їх перекриття при деяких напрямках вітру **[6].**

Енергія вітрового потоку залежить від швидкості вітру і густини повітря, що визначається фізичним станом і складом повітря – температурою, тиском, вмістом у ньому вологи.

Для кожного вітродвигуна є свої межі робочих швидкостей вітру: а – слабкий вітер, колесо не обертається; б – робоча швидкість вітру, при досягненні верхньої межі якої двигун може вийти з ладу; в – дуже сильний вітер, двигун вимикають. Склавши карти розподілу ефективних швидкостей вітру, можна визначити, в яких районах найбільш вигідно встановлювати вітродвигуни того чи іншого виду.

У січні в Україні максимум часу можливого використання енергії вітру спостерігається в приморській зоні, південному Степу і в Донбасі (600 годин на місяць), а також в Карпатах і Криму. Мінімум вітрової ефективності припадає на середню течію Дніпра і північно-західну частину України (500 годин). У квітні-липні в Причорномор'ї можливо не менше 550 годин за місяць, стільки ж на Полтавщині. В жовтні інтенсивність циркуляції атмосфери збільшується, і енергетична ефективність вітру приблизно дорівнює січневій.

Співвідносно до середніх швидкостей вітру розподіляється і кількість енергії. В районі Донбасу і Причорноморської низовини запаси вітрової енергії дорівнюють 2-2,5 тис. кВт·год на 1 м2 площі, яка обдувається. В Поліссі й на Во-лино-Подільському плато – 1-1,2 тис. кВт·год **[5]**.

Використання енергії вітру потребує спорудження величезної кількості баштових установок, що можуть змінити пейзаж, викликати ускладнення для повітряного транспорту. Відмічається, що вітродвигун потужністю 0,1 МВт може викликати викривлення сигналів телебачення на відстані до 0,5 км. При використанні енергії вітру для виробництва електроенергії необхідне її акумулювання, бо цей вид енергії, як і сонячний, характеризується сезонною і добовою нерівномірністю, тобто необхідний екологічний аналіз цього боку їх застосування. Спорудження вітрових і сонячних установок в пустельних місцевостях, використання їх енергії для водозабезпечення цих місць може дати додатковий ефект в господарському освоєнні та інтенсифікації використання цих земель, відновленні та створенні рослинних ландшафтів **[18]**.