

**МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ВНУТРІШНІХ СПРАВ  
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ ЛЬОТНИЙ КОЛЕДЖ**

**Циклова комісія авіаційного і радіоелектронного обладнання**

**ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ**

з навчальної дисципліни «Альтернативні джерела енергії»  
обов'язкових компонент  
освітньо-професійної програми першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

***141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка  
(Електромеханіка)***

**За темою № 4 – Вітроенергетика**

**Кременчук 2023**

**ЗАТВЕРДЖЕНО**

Науково-методичною радою  
Харківського національного  
університету внутрішніх справ  
Протокол від 30.08.2023 № 7

**СХВАЛЕНО**

Методичною радою  
Кременчуцького льотного  
коледжу  
Протокол від 28.08.2023 № 1

**ПОГОДЖЕНО**

Секцією науково-методичної ради  
ХНУВС з технічних дисциплін  
Протокол від 29.08.2023 № 7

Розглянуто на засіданні циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання КЛК ХНУВС, протокол від 28.08.2023 № 1

**Розробник:** викладач циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання, к.т.н., професор, спеціаліст вищої категорії Гаврилюк Ю.М.

**Рецензенти:**

1. Доцент кафедри електричних станцій Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», к.т.н. Шокарьов Д.А.
2. Викладач-методист циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання, к.т.н., спеціаліст вищої категорії Волканін Є.Є.

**План лекції:**

1. Вітроенергетика: загальні відомості, основні поняття, визначення.
2. Класифікація вітроколів.
3. Класифікація вітроустановок.
4. Принцип роботи вітроустановок.
5. Особливості розташування вітроелектростанцій.
6. Екологічні наслідки розвитку вітроенергетики.

**Література:**Основна:

1. Сінчук І.О. Відновлювані та альтернативні джерела енергії. Навчальний посібник / І.О. Сінчук, С.М. Бойко, О.Є. Мельник; під ред. доктора технічних наук, професора О.М. Сінчука. – Кременчук, 2015. – 270с.
2. Варламов Г.Б., Любчик Г.М., Маляренко В.А. Теплоенергетичні установки та екологічні аспекти виробництва енергії / Підручник. – К.: “Політехніка”, 2003. – 228 с.
3. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних та нетрадиційних джерел енергії України / Кудря С.О., Яценко Л.В., Душина Г.П. та інш. – НАН України, державний комітет України з енергозбереження. – К.: 2001. – 41 с.

Допоміжна:

4. Реєстр альтернативних видів палива Державного агентства з енергоефективності та енергозбереження України (Держенергоефективності). – Київ, 2011. – 42 с.
5. Агроекологічний атлас Полтавщини / В.М. Писаренко, Ю.С. Голік, П.В. Писаренко [та ін.]. – Полтава: Оріяна, 2009. – 70 с.

Інформаційні ресурси:

6. Нормативні акти України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [www.nau.kiev.ua](http://www.nau.kiev.ua).

## **1. Вітроенергетика: загальні відомості, основні поняття, визначення**



Рисунок 1 – Вертикальні вітряні електростанції

Сьогодні, енергію вітру використовують для отримання електричного струму. Галузь, що займається перетворенням енергії вітру в електричний струм, називається вітроенергетика.

Найбільш популярним на сьогоднішній день є застосування вітрогенераторів. Вітрогенератори широко застосовуються як у великих масштабах, це величезні електростанції, так і в малих, для приватного користування.

Державні програми по підтримці розвитку нетрадиційних джерел енергії привели до того, що у наш час на всій планеті 2% від всієї електричної енергії виробляється за допомогою вітру і цей відсоток продовжує збільшуватися з року в рік, завдяки зменшенню вартості даної технології.

До країн, які найінтенсивніше розвивають технології і ринки НВДЕ, слід віднести: США, країни ЄС (в першу чергу, Швецію, Австрію, Фінляндію, Німеччину, Португалію, Іспанію), Японію, Китай. Останнім часом активізувалися в цьому напрямі Бразилія і Індія. Роста вартість акцій компаній, які займаються НВДЕ. Все це дасть можливість прискорити розвиток технологій і їх впровадження в промислове виробництво.

У вітроенергетичному секторі на даний час працюють близько 70 країн світу. Серед країн з найбільшими потужностями вітроенергетики - Німеччина, США, Іспанія, Індія, Китай, Данія. Роста загальна потужність таких установок (річний приріст в 2007 році - 26,6 %), так і одинична потужність, яка досягнула 1 ГВт, розвивається вітроенергетичне

машинобудування. У країнах ЄС до 2020 року планується довести виробництво вітрової електроенергії до 12 % від загального об'єму електрогенерації.

У США до 2020 року планується досягти 15 % виробництва електроенергії за рахунок вітру, удосконалюються турбіни, розширюється діапазон швидкостей вітру, які можуть бути використані вітроустановками.

На сьогоднішній день Європа стоїть на першому місці по використанню енергії вітру. Особливий розвиток і використання вітроенергетики є в Німеччині, Данії і Іспанії. У Данії 20% використовуваної енергії виробляється за допомогою вітру.

Цікаво, що перша в світі вітроелектростанція потужністю 100 кВт була побудована в Радянському Союзі в 1932 р. в Криму.

Сумарна потужність вітрових електричних установок (ВЕУ) сьогодні в Україні наближається до 30 МВт. За даними, сумарна потужність у кінці 1999 року дорівнювала 11,4 МВт, а в кінці 2000 року вже 24,15 МВт. Таким чином, приріст склав більше 100 %. Україна залишається єдиною країною колишнього Радянського Союзу, в якій активно розвивається вітроенергетика. Тут налагоджено серійне виробництво вітроагрегатів. Поки це ліцензійні ВЕУ USW56-100 потужністю 107,5 кВт.

Як відомо, вітер існує скрізь – як на суші, так і на морі. Незважаючи на факт, того, що переміщення повітряних мас пов'язано з нерівномірною зміною температури в атмосфері і обертанням Землі, застосування енергії вітру не відразу знайшло своє технічне і практичне застосування.

Пасати і західний вітер відносять до глобальних вітрів. У результаті нагрівання екваторіальної частини Землі утворюються пасати. При нагріванні, нагріте повітря піднімається вгору, забираючи при цьому з собою північні і південні повітряні маси. В результаті цього явища, з'являється пануючий впродовж року з постійною силою в північній півкулі північно-східний пасат і в південній півкулі – південно-східний пасат. Пасати існують в області при екваторі, яка розташована між 25 і 30° північної і південної широти відповідно. Пасати охоплюють близько 11% поверхні океанів в північній півкулі і близько 20% в південній. Зазвичай сила пасатного вітру не перевищує 2–3 балів.

Уздовж дрейфуючих крижин Антарктиди, приблизно в смузі від 40° до 60° південної широти, із заходу на схід, впродовж року існує західний вітер. Такий вітер є одним із самих сильних постійних вітрів. Його сила може досягати 8-10 балів і практично не буває нижче 5 балів. В глибині материка немає постійного напрямку вітру. Можна впевнено говорити тільки про

сезонні напрямки вітру, тому що різні ділянки суші в різний час року нагріваються по-різному. Крім того, вітер поводить себе по-різному в залежності від висоти, а для висот 50 метрів панують характерні повітряні потоки.

Ми можемо обчислити потенціал атмосфери, знаючи її масу і швидкість розсіювання енергії. Наприклад, для приземного шару товщиною близько 500 метрів, енергія вітру, перетворюється в тепло, що складає приблизно 82000000000000 кВт · год на рік. Зрозуміло, ми не зможемо використати її повністю, хоча б тому, що щільно поставлені вітряки будуть заважати один одному, затемнюючи інших.

Зазвичай, середньорічні швидкості повітряних потоків на стометровій висоті перевищують 7 м/с. При виході на висоту 100 метрів, можна використовувати ефективний вітроагрегат скрізь, використовуючи відповідну природну височину.

Одними з перших вітрів, які були використані нашими предками для мореплавання, були місцеві вітри, тобто бризи. Бризи – це різновид легких вітрів, які обдимають береги материків і великих островів, зумовлюються добовим коливанням температури. Різниця температури на суші і в морі вдень і вночі обумовлює періодичність бризів. Вдень суша нагрівається швидше, ніж море. Внаслідок цього, тепле повітря піднімається над берегом, а його місце прагне зайняти прохолодне повітря з моря. А вночі, як відомо, берег швидше і сильніше охолоджується, ніж море. Тому вночі відбувається зворотна картина: тепле повітря піднімається над морем, а його замінює холодне повітря з суші – береговий бриз. Іншими постійними вітрами є мусони. Такі вітри існують в Індійському океані і перш за все пов'язані з різними змінами температури материка і океану. Влітку суша під впливом сонячних променів, нагрівається сильніше. Внаслідок цього вітер спрямований з моря на сушу. А взимку мусон дме з берега на море. Але в результаті обертання Землі навколо своєї вісі з'являється, так звана, сила Коріоліса, яка впливає на мусони і відхиляє їх праворуч. Ось чому влітку існують південно-західні мусони, а зимою північно-східний. Мусони можуть досягати дуже великої сили і викликати в Індійському океані поверхневі течії, які відповідають місцевим вітрам.

Однією з перших машин для отримання і використання енергії вітру було вітрило. У вітродвигуна і вітрила один і той же принцип роботи, також як і одне джерело енергії. Ю.С. Крючков, досліджуючи вітрило, показав, що його можна представити як вітродвигун з нескінченним діаметром колеса. Вітрило – свого роду найбільш досконала лопатева машина, з найвищим

коефіцієнтом корисної дії, яка використовує енергію вітру безпосередньо для руху.

У вітроенергетиці використовуються вітроколеса і вітрокаруселі. Подібні комерційні установки вже побудовані і успішно експлуатуються в США. Частина фінансування подібних проектів надходить з бюджету держави, а інша частина інвестується майбутніми споживачами екологічно чистої енергії.

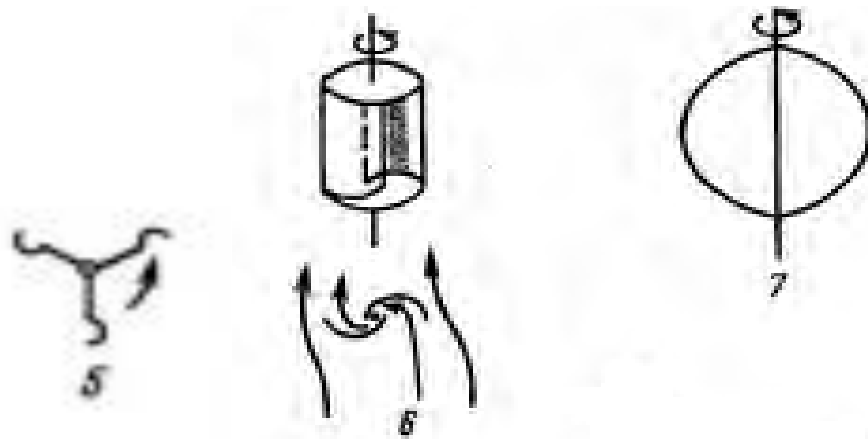
На початку XX століття, на хвилі загальної ідеї використовувати вітер скрізь, де це можливо, інтерес до повітряних гвинтів та вітроколеса не був відокремлений від загальних тенденцій часу. Найперше поширення вітроустановки одержали в сільському господарстві. Повітряний гвинт широко використовувався в якості приводу судових механізмів. Вітроустановка також була встановлена на дослідному судні "Фрам", на якому відомий мандрівник Ф. Нансен досліджував Арктику. Вітроустановка на цьому судні обертала динамо машину. На вітрильниках вітряки теж відігравали велику роль: вони приводили в рух насоси і якірні механізми.

Одним з головним недоліків вітряної енергії залишається її мінливість в часі, проте і це можна компенсувати за рахунок розташування вітроустановок. Якщо об'єднати кілька десятків великих вітроагрегатів, то їх середня потужність буде залишатися постійною. Також існує можливість доповнення вітрогенератором існуючих джерел енергії. Але найголовніше, що саме від вітродвигуна можна отримувати безпосередньо механічну енергію.

## 2. Класифікація вітроколіс

На рисунку 2 приведена класифікація вітроколіс.





б)

Рисунок 2 – Класифікація вітроколiс: з горизонтальною віссю (а); з вертикальною віссю (б); 1 – однолопатеве колесо; 2 – дволопатеве; 3 – трилопатеві; 4 – багатолопатеве; 5 – чашковий анемометр; 6 – ротор Савоніуса; 7 – ротор Дар'є

У першому випадку вісь обертання вітроколеса паралельна повітряному потоку, установка буде горизонтально-осьовою, у другому – зазвичай вертикальноосьовою.

Установки, що використовують силу опору (драг-машини), як правило, обертаються з лінійною швидкістю, меншою швидкості вітру, а установки, що використовують підйомну силу (ліфт-машини), мають лінійну швидкість кінців лопатей, суттєво більшу швидкості вітру.

Для більшості установок геометричне заповнення визначається числом лопатей. ВЕУ з великим геометричним заповненням вітроколеса розвивають значну потужність при відносно слабкому вітрі і максимум потужності досягається при невеликих оборотах колеса. ВЕУ з малим заповненням досягають максимальної потужності при великих оборотах і довше виходять на цей режим. Тому перші установки використовуються, наприклад, в якості водяних насосів і навіть при слабкому вітрі зберігають працездатність, другі – як електрогенератори, де потрібна висока частота обертання.

Установки для безпосереднього виконання механічної роботи часто називають вітряком чи турбіною, установки для виробництва електроенергії, тобто сукупність турбіни і електрогенератора, називають вітроелектрогенераторами, аерогенераторами, а також установками з перетворення енергії.

У аерогенераторів, підключених безпосередньо до потужної енергосистеми, частота обертання постійна внаслідок ефекту автосинхронізації, але такі установки менш ефективно використовують енергію вітру, ніж установки зі змінною частоти обертання.



Наявність буфера зменшує наслідки флуктуації частоти обертання вітроколеса, дозволяє більш ефективно використовувати енергію вітру і потужність електрогенератора. Таким чином, нежорстке з'єднання поряд з інерцією вітроколеса зменшують вплив флуктуації швидкості вітру на вихідні параметри електричної енергії. Зменшити цей вплив дозволяє також пружне з'єднання лопатей з віссю вітроколеса, наприклад за допомогою підпружинених шарнірів.

### **3. Класифікація вітроустановок**

Вітрогенератори використовуються як засоби альтернативної енергетики. Їх застосування можна рекомендувати в районах, що не мають традиційного енергопостачання, а також в місцях, де спостерігаються часті перебої з подачею електроенергії (рис. 3).

ВЕУ умовно можна розділити на чотири групи:

- ВЕУ з потужністю до 1 кВт
- ВЕУ з потужністю до 10 кВт
- ВЕУ з потужністю до 30 кВт
- ВЕУ з потужністю до 100 кВт і вище.

ВЕУ першої групи володіють невеликими розмірами і вагою. Їх можна рекомендувати для використання в геологорозвідувальних групах, для туристів в походах і подорожах, для живлення радіостанцій і заряджання акумуляторів автомобіля або яхти, а також для безпосереднього живлення електричних приладів. Крім того, ці ВЕУ відрізняє відносно невисока ціна.

Наступні групи можна віднести до стаціонарних ВЕУ. Ці вітроелектростанції можуть повністю забезпечувати електроживленням житловий будинок або виробничий об'єкт, постійно накопичувати в акумуляторних батареях великий ресурс електроенергії для використання в безвітряні періоди.

Стаціонарні вітроелектрогенератори використовуються також для живлення автономно функціонуючих систем: опалювальні і освітлювальні комплекси, насосні станції, метеостанції, охоронні і моніторингові системи.



Рисунок 3 – Найбільша вітроенергетична установка потужністю 1,5 МВт, с. Грабник

Група ВЕУ з потужністю до 10 кВт можна використовувати як систему автономного енергопостачання для невеликих господарств, приватних будинків, котеджів. Ці ВЕУ володіють великою вагою і великими розмірами. Для їх установки потрібний спеціально підготовлений майданчик (залівка фундаменту). У комплект входить генератор і ротор. Генератор, як правило, виробляє постійну напругу 12В, 24В або 48В.

Слід зазначити, що в цій групі на ринку представлені вітчизняні, українські ВЕУ. Вартість таких генераторів нижча, ніж аналогічних імпорتنих.

Треба мати на увазі, що для можливості використання ВЕУ з будь-яким побутовим або промисловим устаткуванням, необхідно використовувати інвертори. Ці пристрої перетворюють постійну напругу генератора в змінну напругу 220В або 380 В. Для накопичення електроенергії, в періоди відсутності вітру, рекомендуються акумуляторні батареї.

Третю групу складають ВЕУ потужністю до 30 кВт. Їх призначення схоже з призначенням ВЕУ другої групи. Відмінність складають більша вага – до 500 кг і великі розміри. Відрізняються вони і більшою ціною.

Четверту групу ВЕУ можна віднести до професійного промислового устаткування. Цей тип можна порекомендувати для установки на промислових підприємствах і для створення вітроенергетичних електростанцій. Для їх монтажу також потрібна заливка фундаменту. Вартість таких ВЕУ починається від 150 000 євро.

Крім того, з метою економії засобів, споживачеві можуть бути запропоновані вітрогенератори, що були в експлуатації. Всі вони пройшли технічне обслуговування і готові до роботи.

ВЕУ потужністю 2...3 МВт потребує ділянки 20х20 м. Оскільки такі ВЕУ не потребують об'єднання в систему, то ділянку можна підібрати будь-де. Розміщення ВЕУ наближує джерело електроенергії до споживача.

ВЕУ класифікують за такими ознаками:

- за видом виробленої енергії;
- за потужністю;
- за сферами застосування;
- за призначенням;
- за ознакою роботи з постійною або змінною частотою обертання вітроколеса (ВК);
- за способами керування;
- за структурою системи генерації енергії.

ВЕУ, залежно від виду виробленої енергії, поділяють на дві групи: механічні та електричні. Електричні ВЕУ, у свою чергу, поділяють на ВЕУ постійного і змінного струму.

Залежно від сфери застосування механічні ВЕУ підрозділяють на дві підгрупи: вітронасосні та вітросилові згідно рисунку 4.

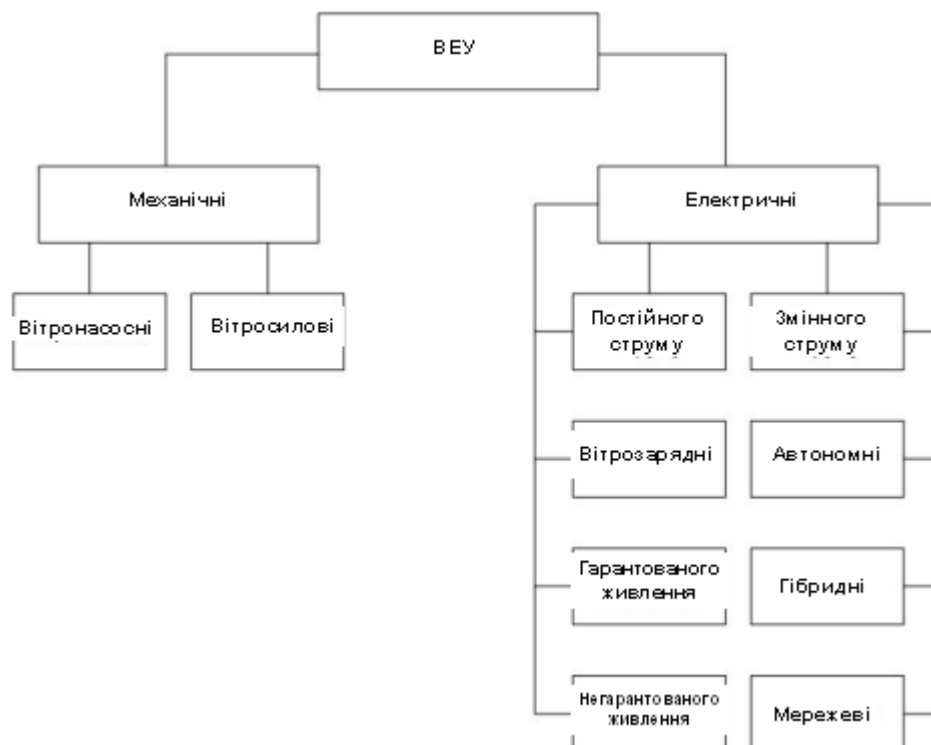


Рисунок 4 – Загальна класифікація ВЕУ

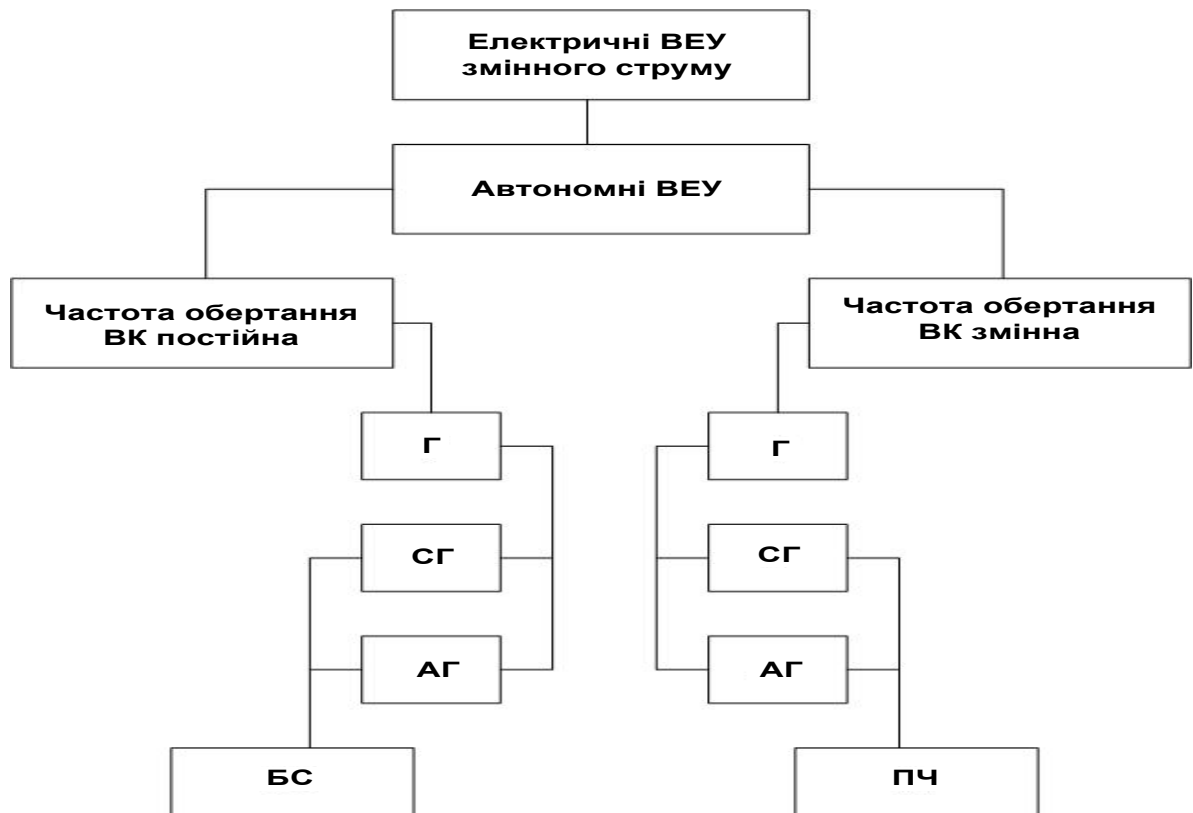


Рисунок 5 – Структурна схема автономних ВЕУ: Г – генератор; АГ – асинхронний генератор; БО – баластний опір; ПЧ – перетворювач частоти

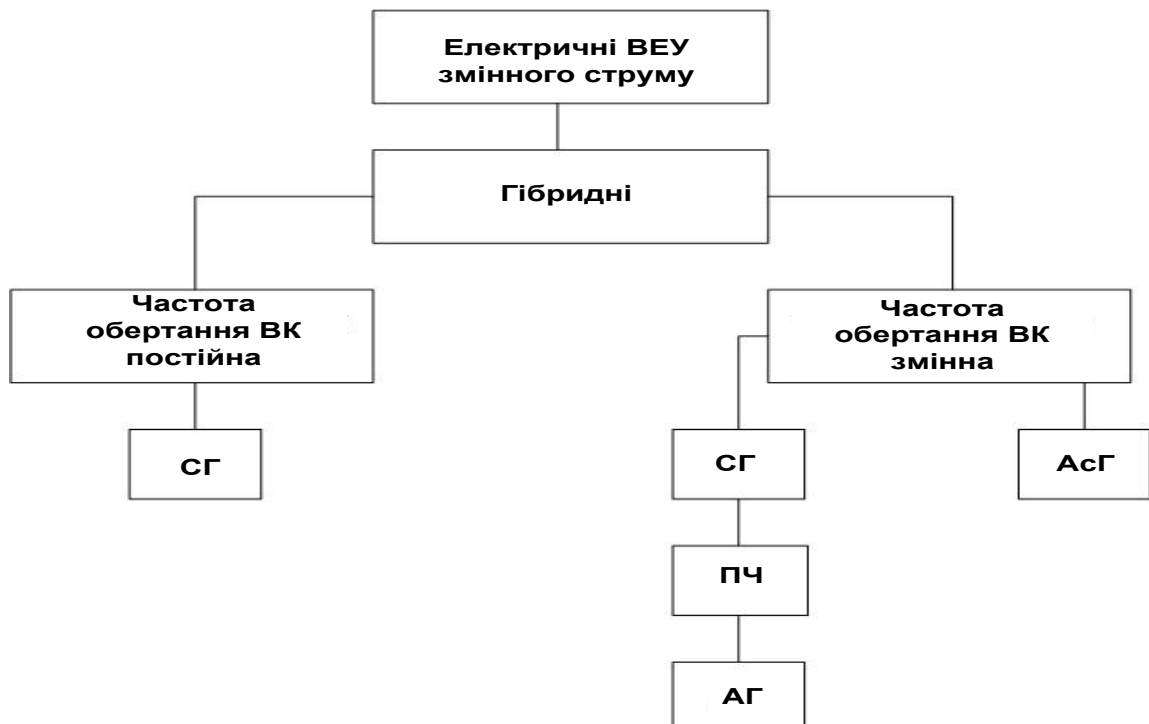


Рисунок 6 – Структурна схема гібридних ВЕУ: СГ – синхронний генератор, АСГ – асинхронізований синхронний генератор; ПЧ – перетворювач частоти

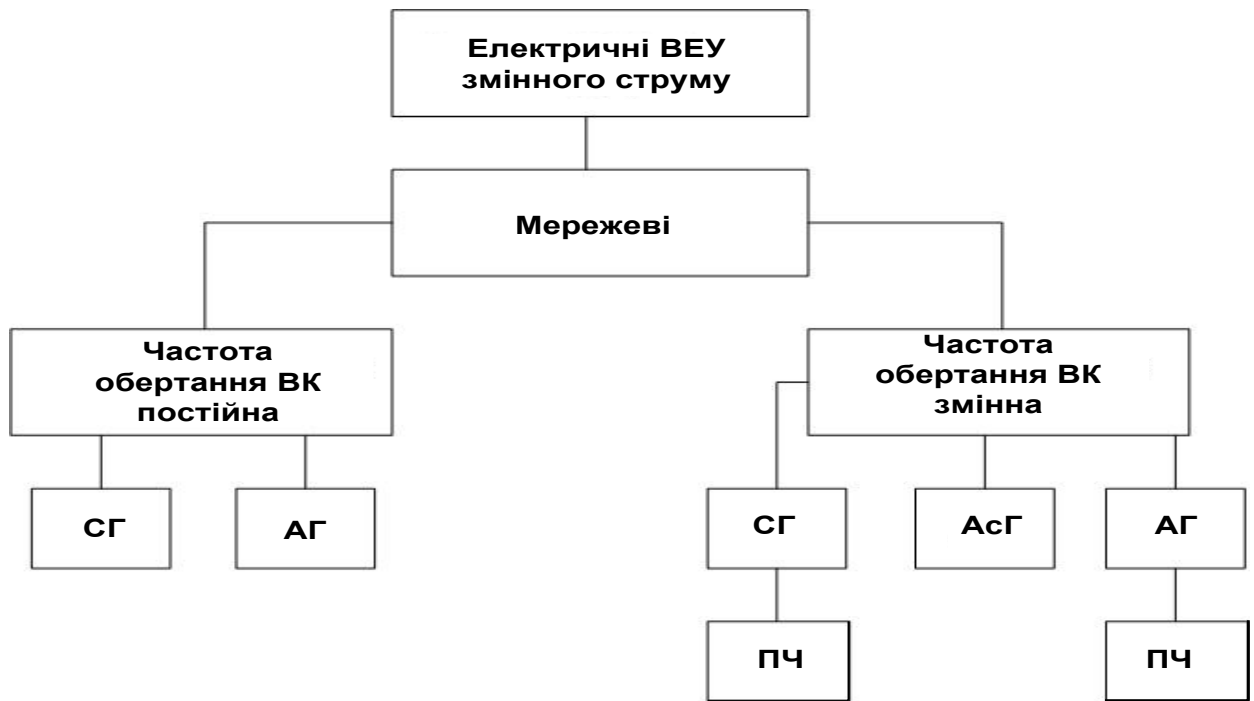


Рисунок 4.7 – Структурна схема мережевих ВЕУ: СГ – синхронний генератор; АГ – асинхронний генератор; АСГ – асинхронізований синхронний генератор; ПЧ – перетворювач частоти

#### 4. Принцип роботи вітроустановок

##### *Схема роботи вітроустановки*

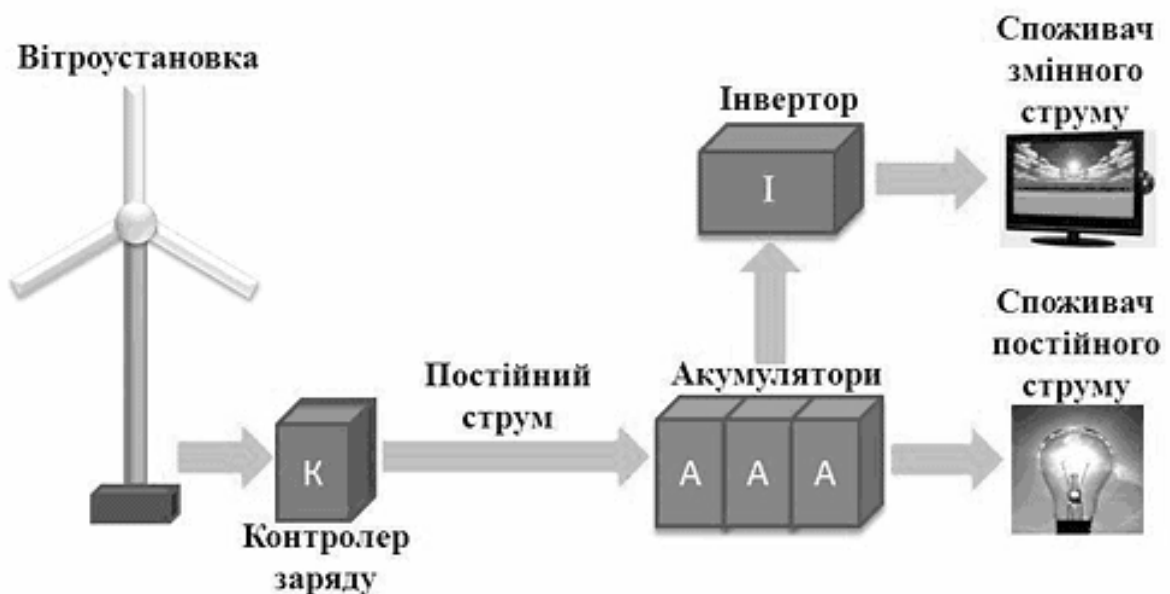


Рисунок 8 – Схема роботи вітроустановки

Вітроустановки при роботі використовують ефект виникнення підйомної сили, що діє на лопаті вітротурбіни, яка в свою чергу обертає генератор, що виробляє електроенергію. Через змінний характер вітру, частота і напруга на виході генератора також нестабільна, тому неможливо організувати живлення споживачів безпосередньо від ВЕУ.

У аеродинаміці широко застосовується ефект виникнення підйомної сили при дії потоку повітря на жорсткий профіль довільного перерізу. Цей ефект використовують вітроустановки і вітроенергетичні системи. За рахунок спеціальної форми перерізу лопатей і вибору оптимального кута атаки, досягається коефіцієнт використання вітру до 0,48.

У малих ВЕУ, на відміну від великих, не використовується система зміни кута атаки лопатей, тому їх ефективність змінюється в залежності від швидкості вітру.

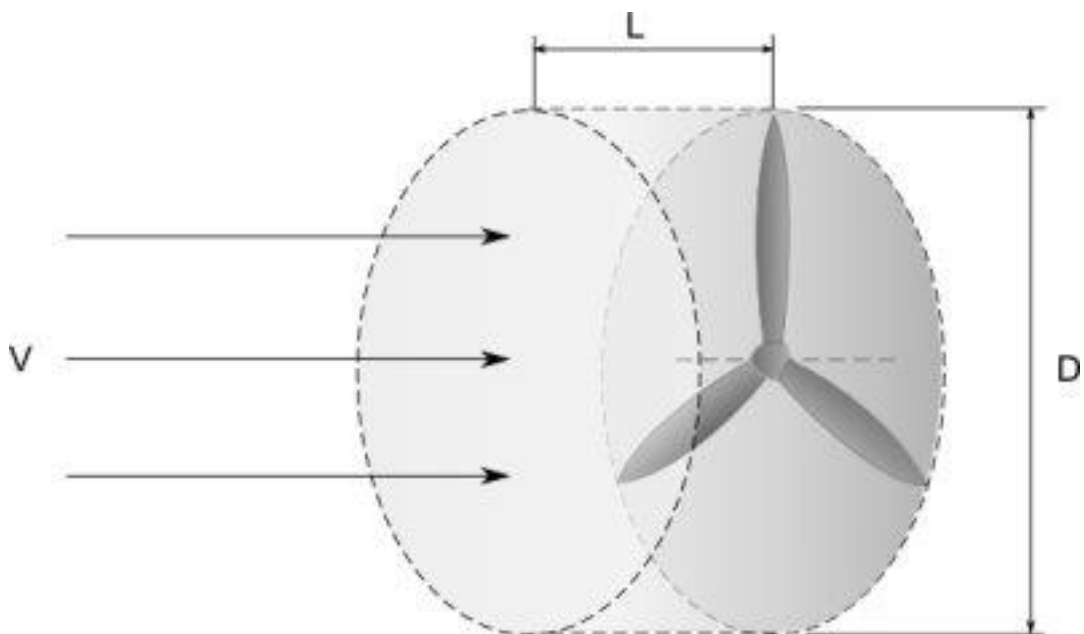


Рисунок 9 – Основні параметри вітроколеса

Основними параметрами, які впливають на потужність вітрового потоку є швидкість вітру (в 3-му степені) і діаметр вітроколеса (в квадраті). Тобто, потужність вітрового потоку збільшується в 8 разів при зростанні швидкості вітру в 2 рази. Швидкість вітру розподілена нерівномірно по висоті потоку. Як правило дані про швидкість вітру наведені на висоті флюгера (3 м), а вітроустановки розташовують на вежах висотою 10...12 м. Розподіл швидкостей вітру по висоті визначається співвідношенням:  $(h_1/h_2)^m = (V_1/V_2)$ , де  $m \approx 0.2$  - коефіцієнт зростання швидкості вітру в приземному шарі.

Конструкція вітроустановки:

- 1) вітроколесо;
- 2) лопаті;
- 3) гондола з генератором;
- 4) ротор;
- 5) вежа;
- 6) троси.

## **5. Особливості розташування вітроелектростанцій**



Рисунок 10 – Вітроелектростанція у Аламонт Пасс, США.

Відомо, що потужність вітрового потоку зростає пропорційно кубу швидкості. Тому вибір майданчика з точки зору максимальної швидкості вітру має критичне значення для подальшої ефективної роботи ВЕС. Відомо також, що в Україні найбільш придатні для вітроенергетики Кримський регіон, берегова лінія і мілководні ділянки Азовського і Чорного морів, а також окремі ділянки в Карпатах та інших регіонах.

Однак і в цих, в цілому сприятливих для розвитку вітроенергетики районах, швидкість вітру залежить від різних факторів – навколишнього рельєфу, дрібномасштабної структури поверхні Землі і наявності на поверхні природних і антропогенних об'єктів.

Існують сучасні засоби обліку цього впливу. Це, наприклад, англійська програма WindFarm, розроблена компанією ReSoft і вже згадуваний пакет програмного забезпечення WASP датської лабораторії. І та, і інша програма дозволяють розрахувати параметри вітрового потоку і ефективність роботи ВЕС для конкретного місця на земній поверхні, скориставшись інформацією про швидкість і напрям вітру в регіоні і даними про місцевий рельєф.

Однак програма WASP в процесі виконання проекту так і не була освоєна з ряду причин, починаючи з відсутності фінансування на вивчення програми і підготовки фахівців, закінчуючи відсутністю необхідних метеоданих і сучасної інформації про рельєф місцевості.

Перші українські ВЕС проектувалися різними організаціями, що мали досвід роботи тільки в традиційній енергетиці. Вибір місця для всіх існуючих в даний момент ВЕС диктувався наявністю загальних, часто недостатніх, метеоданих для регіонів і, в більшості випадків, практичними обставинами.

Величина ВЕС впливає на її економічні показники. Частка інфраструктури в загальній вартості ВЕС, а також складова експлуатаційних витрат у вартості електроенергії зменшуються зі збільшенням розміру ВЕС. Економічний аналіз, проведений міжгалузевою координаційною радою показав, що будівництво ВЕС, встановлена потужність яких не перевищує 20...30 МВт, недоцільно. Практично всі плановані й проектовані ВЕС мають потужність понад 50 МВт

Однак складність освоєння таких програм, як WindFarm і WASP не є єдиною проблемою. Достовірність результатів роботи програм залежить від повноти та достовірності вхідних даних. Для коректної роботи програм потрібні цифрові великомасштабні карти місцевості, які зараз доводиться готувати практично вручну.



Крім того, для ефективного використання програм WindFarm і WASP необхідна інформація про швидкість і напрям вітрового потоку, зібрана протягом декількох років (бажано не менше п'яти)

Досвід показав, що дані про середньорічну швидкість вітру, отримані метеостанціями України, непридатні для прогнозу виробництва електроенергії за допомогою ВЕС через те, що їх похибка часто складає 40...70%.

## **6. Екологічні наслідки розвитку вітроенергетики**

Розглянемо деякі з екологічних наслідків.

Під потужні промислові ВЕС необхідна площа з розрахунку від 5 до 15 МВт/км<sup>2</sup> в залежності від рози вітрів та місцевого рельєфу району. Для ВЕС потужністю 1000 МВт потрібно площа від 70 до 200 км<sup>2</sup>. Виділення таких площ у промислових регіонах пов'язане з великими труднощами, незважаючи на те, що частково ці землі можуть використовуватися і під господарські потреби. Наприклад, в Каліфорнії в 50 км від м. Сан-Франциско на перевалі Алтамонт-Пасс земля, відведена під парк потужної ВЕС, одночасно служить для сільськогосподарських цілей.

Проблема використання території спрощується при розміщенні ВЕС на акваторіях. Наприклад, пропозиції по створенню потужних ВЕС на дрібно-водних акваторіях Фінської затоки і Ладозького озера, не пов'язані з вилученням великих територій з господарського користування. З відведеної площі акваторії для ВЕС безпосередньо під спорудження для ВЕУ предається лише близько 2%. У Данії дамба, на якій встановлено парк ВЕУ, одночасно є пірсом для риболовних суден. Використання території, зайнятої вітровим парком, під інші цілі залежить від шумових ефектів і ступеня ризику при поломці ВЕУ. У великих ВЕУ лопать при відриві може бути відкинута на 400-800 м.

Найбільш важливий фактор впливу ВЕС на навколишнє середовище – це акустичний вплив. У зарубіжній практиці виконано достатньо досліджень і замірів рівня і частоти шуму для різних ВЕУ з вітроколесами, несхожими за конструкцією, матеріалами, заввишки над землею, і для різних природних умов (швидкість і напрям вітру, підстилаюча поверхня і т. д.).

Шумові ефекти від ВЕУ мають різну природу і підрозділяються на механічні (шум від редукторів, підшипників і генераторів) і аеродинамічні

дії. Останні, в свою чергу, можуть бути низькочастотними (менше 16...20 Гц) і високочастотними (від 20 Гц до декількох кГц). Вони викликані обертанням робочого колеса і визначаються наступними явищами: простором розрідження повітря за ротором або вітроколом, з напрямком потоків повітря в деяку точку збігу турбулентних потоків; пульсаціями підйомної сили на профілі лопаті; взаємодією турбулентного пограничного шару з задньою кромкою лопаті.

Віддалення ВЕС від населених пунктів і місць відпочинку вирішує проблему шумового ефекту для людей. Однак шум може вплинути на фауну, в тому числі на морську фауну в районі екваторіальних ВЕС. За закордонними даними, ймовірність травмування птахів вітровими турбінами оцінюється в 10%, якщо шляхи міграції проходять через вітровий парк. Розміщення вітрових парків вплине на шляхи міграції птахів і риб для екваторіальних ВЕС. Висловлюються припущення, що екрануюча дія ВЕС на шляху природних повітряних потоків буде незначною і її можна не брати до уваги. Це пояснюється тим, що ВЕУ використовують невеликий приземний шар повітряних мас (близько 100...150 м) і при цьому не більше 50% їхньої кінетичної енергії. Однак потужні ВЕС можуть вплинути на навколишнє середовище: наприклад, зменшити вентиляцію повітря в районі розміщення вітрового парку. Екрануюча дія вітрового парку може виявитися еквівалентною дії повітряних потоків при розміщенні такої ж площі на висоті близько 100...150 м.

Перешкоди, викликані відбиттям електромагнітних хвиль лопатями вітрових турбін, можуть позначатися на якості телевізійних і мікрохвильових радіопередач, а також різних навігаційних систем у районі розміщення вітрового парку ВЕС на відстані декількох кілометрів. Найбільш радикальний спосіб зменшення перешкод – видалення вітрового парку на відповідну відстань від комунікацій. У ряді випадків перешкод можна уникнути, встановивши ретранслятори. Це питання не відноситься до категорії важкорозв'язних, і в кожному конкретному випадку може бути знайдено конкретне, позитивне вирішення проблем, пов'язаних із розміщенням парку ВЕС.

## Висновки

1. Вітроенергетика вже сьогодні могла б вийти на значний рівень вироблення електроенергії в країні при умові достатнього її фінансування та

відповідної державної політики. Для активації цього напрямку необхідно провести технологічне оновлення ВЕС за рахунок більш потужних вітроенергетичних установок (до 1МВт) та вирішити організаційні питання, зокрема, розділення управління розробкою і виробництвом вітчизняних ВЕУ та виробленням і реалізацією електроенергії одержаної шляхом застосування ВЕС.

2. Розвиток вітроенергетики в Україні зумовлений наявністю великого, технічно доступного потенціалу енергії вітру. Для розміщення ВЕУ можуть використовуватися площі, які не були задіяні в народному господарстві, пасовиська та безлісні ділянки гір, мілководні акваторії штучних та природних водоймищ, озер, лиманів, заток і морів. Наприклад, у затоці Азовського моря, Сиваші, що має площу акваторії близько 2700 км<sup>2</sup>, є потенційна можливість розмістити до 135 тис. МВт загальної потужності вітроенергетичних станцій (ВЕС). Для спорудження ВЕС може бути використано, практично всю площу Азовського моря, а в Чорному морі лише на Одеській затоці є можливість розмістити ВЕС із визначеною потужністю до 20 тис. МВт.