

2.2 Основні характеристики енергії вітру

Вітер фактично є однією з форм сонячної енергії: частина енергії Сонця перетворюється в кінетичну енергію потоку повітряних мас, яка виникає внаслідок нерівномірного нагрівання Сонцем поверхні Землі. Вітрові потоки різної потужності є майже в будь-якому місці земної кулі. Одним із основних факторів, який визначає доцільність впровадження вітроенергетичного обладнання в певній місцевості, є рівень питомої потужності вітрового потоку (це потужність, віднесена до 1 м^2 площі, перпендикулярної напрямку вітру) [1].

$$N = 1/2\rho V^3, \text{ Вт/м}^2, \quad (2.1)$$

де ρ — густина набігаючого повітряного потоку, кг/м^3 ;

V — швидкість набігаючого повітряного потоку, м/с .

Середня густина набігаючого вітрового потоку визначається як добуток масової густини повітря - $0,125 \text{ кг}\cdot\text{с}^2/\text{м}^4$ та прискорення сили тяжіння - $9,8 \text{ м/с}^2$ і становить $1,225 \text{ кг/м}^3$ при температурі 15°C і атмосферному тиску $0,0981 \text{ МПа}$ (760 мм рт. ст.), ця величина дещо змінюється при зміні кліматометеорологічних умов .

Таким чином, **питома потужність вітрового потоку, що діє на 1 м² площі вітроколеса, визначається як 0,613 V³.** Як видно, самою важливою складовою, яка визначає потужність вітрової енергії, є швидкість вітру, на яку в першу чергу і орієнтуються при виборі та впровадженні вітроенергетичного обладнання.

Вітер на різних висотах в атмосфері Землі для кожної точки її поверхні характеризується швидкістю, яка є випадковою змінною в просторі й часі, що залежить від багатьох факторів: особливостей місцевості, сезону року, погодних умов. Відповідно всі процеси, прямо пов'язані з використанням поточного значення швидкості вітру, зокрема генерація електроенергії у вітроелектричних установках, мають складний випадковий характер, їх характеристики мають статистичні розбіжності і невизначеність середніх очікуваних значень. Тому на сучасному рівні досліджень завдання оцінки цих процесів формулюється як створення імовірнісного опису випадкового процесу за допомогою розбивки всього процесу на окремі часові інтервали, у межах кожного з яких можна використовувати наближення стаціонарності, тобто незалежності всіх обумовлених параметрів від часу. Як період стаціонарності можуть бути прийняті різні тимчасові інтервали з відповідною точністю опису залежно від реальних умов випадкового процесу. Зокрема, у деякому наближенні можна вважати процес стаціонарним у всьому розглянутому часі, наприклад, протягом року.

Для систематизації характеристик вітрової енергії в конкретному регіоні з метою визначення доцільності та ефективного її використання в певній місцевості розробляється вітровий кадастр, що представляє собою сукупність аерологічних і енергетичних характеристик вітру, визначених за результатами багаторічних спостережень. Це дозволяє визначити доцільність застосування вітроенергетичного обладнання, а також доцільні параметри та режими роботи ВЕУ.

Основними характеристиками вітрового кадастру є:

- середньорічні, середньомісячні та середньодобові швидкості вітру;
- максимальна швидкість вітру;
- залежність швидкості вітру від висоти;
- повторюваність швидкості вітру та його напрямків протягом року, сезону, місяця;
- дані про пориви, про періоди і терміни відсутності вітру;
- питома потужність і питома енергія вітру.

Основною характеристикою вітру, що визначає його інтенсивність і ефективність використання вітрової енергії, є його середня швидкість за певний період часу, наприклад за добу, місяць, рік або кілька років. Середня швидкість вітру представляється як середноарифметичне значення, отримане з ряду вимірів швидкості, проведених через рівні інтервали часу протягом заданого періоду. Загальна формула для визначення всіх шуканих середніх значень швидкості вітру V має вигляд

$$\langle v \rangle = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i,$$

де n – повне число всіх вимірів;

i – порядковий номер виміру ($i = 1, 2, \dots, n$);

V_i – відповідне випадкове значення швидкості вітру.

- Для одержання достовірних даних про середні швидкості вітру, що визначають його енергетичну здатність, виникає питання про репрезентативність вибірки випадкових значень швидкості, тобто про необхідний обсяг і тривалість вимірів. У загальному випадку зі збільшенням обсягу одержуваних даних точність і вірогідність середніх значень, що обчислюються, підвищується. Для чисельної оцінки використовується коефіцієнт варіації середніх швидкостей, що зазвичай зменшується при збільшенні періоду усереднення, тобто, наприклад, середня багаторічна швидкість має менший розкид, ніж багаторічна середньомісячна швидкість.

- При використанні даних метеостережень про середні швидкості вітру необхідно враховувати, що вони відповідають конкретним рельєфним і ландшафтним умовам у районі метеостанції і певній висоті над поверхнею Землі (висоті флюгера). Для різних станцій ці умови можуть значно відрізнятися. Тому прийнято приведення середньої багаторічної швидкості вітру до порівняних умов щодо відкритості та рівності місцевості. Для врахування умов місцевості розроблено різні класифікації відкритості місцевості; при всіх розбіжностях, вони мають одну загальну властивість - лінійну залежність наведеної середньорічної швидкості V_n від номера (коефіцієнта) класу K_o , відн. од.

$$V_n = A \cdot K_o ,$$

- де A - постійна, що має розмірність швидкості, яка визначає вітрову обстановку на місцевості і відрізняє одну класифікацію від іншої; це дозволяє встановити їх приблизну відповідність одна одній.

- Важливе значення для оцінки вітроенергетичного потенціалу певної місцевості та ефективності його використання за рахунок врахування ступеня погодженості графіка надходження вітрової енергії з графіком енергетичного навантаження споживачів мають характеристики зміни середньої швидкості вітру впродовж певного періоду. Добовий хід середньої швидкості вітру - це зміна швидкості вітру протягом доби, усереднена на протязі всієї доби у певному місяці і за багаторічними спостереженнями. Річний хід середньої швидкості вітру - це зміна протягом року багаторічної середньомісячної швидкості вітру.
- При визначенні енергетичного потенціалу вітру обов'язково необхідно враховувати висоту дії вітрового потоку. Відомо, що швидкість вітру зростає з висотою по ступеневому закону :

$$\frac{V}{V_{\phi}} = \left(\frac{h}{h_{\phi}} \right)^{\alpha},$$

де V та V_{ϕ} - швидкість вітру на розрахунковій висоті h та на стандартній висоті флюгера h_{ϕ} показник степеня α залежить від швидкості вітру, зменшуючись зі збільшенням останньої. Залежність значення показника α від швидкості вітру показана в таблиці 2.1

Таблиця 2.1.

$V, \text{ м/с}$	0 ÷ 3	3,5 ÷ 4	4,5 ÷ 5	5,5	6 ÷ 11,5	12 ÷ 12,5	13 ÷ 14	14,5
α	0,20	0,180	0,160	0,150	0,140	0,135	0,130	0,125

Тому енергетичний потенціал вітру в одній місцевості може суттєво відрізнитись на різних висотах приземного шару повітря, причому значне збільшення енергетичного потенціалу вітру спостерігається на висоті 60-100 метрів, потім інтенсивність його росту сповільнюється і на висоті декількох сотень метрів практично припиняється.

Перетворення енергоресурсів повітряного потоку (вітру) здійснюється за допомогою вітроенергетичних установок, що перетворюють кінетичну енергію повітряного потоку в механічну енергію.

Потужність вітроенергетичної установки (N_{BEU}) визначається за формулою:

$$N_{BEU} = \xi N, \text{ Вт},$$

де ξ – коефіцієнт використання енергії вітру;
 N – потужність повітряного потоку, Вт.

Величина коефіцієнта ξ у найбільш розповсюджених вітроустановок може досягати 0,45, тоді як теоретична межа за різними літературними джерелами дорівнює 0,593 [20] та 0,687 [21].

Потужність повітряного потоку N визначається за формулою:

$$N = \rho V^3 F / 2, \text{ Вт}, \quad (2.6)$$

де ρ – густина повітря (при нормальних умовах = 1,293 кг/м³);

V – швидкість незбуреного повітряного потоку, м/с;

F – площа обмаху поверхні вітроустановки, м².

Величина швидкості вітру V для визначення номінальної потужності вітроустановки вибирається рівною $1,6 V_{\text{ср.р}}$ [21], де $V_{\text{ср.р}}$ - середньорічна швидкість вітру в районі розташування вітроустановки. Потужність вітрового потоку пропорційна кубу швидкості вітру V , тому надзвичайно важливим є вибір місця розташування вітроустановки з тим, щоб величина $V_{\text{ср.р}}$ була якомога більша. Для визначення найбільш сприятливих районів для установки вітрових агрегатів проводять анемометричну розвідку і складають вітрові кадастри.

2.3 Принципи перетворення енергії вітру

- Вітроенергетична установка - комплекс технічних пристроїв для перетворення кінетичної енергії вітрового потоку в будь-який інший вид енергії. До складових вітроенергетичної установки входить власне вітроагрегат (вітродвигун у комплекті з однією або кількома робочими машинами), акумулюючий або резервуючий пристрій та системи автоматичного управління й регулювання режимами роботи. У деяких випадках застосовується дублюючий невітровий двигун.
- Вітродвигун - двигун, що використовує кінетичну енергію вітру для виробництва механічної енергії. У якості робочого органу вітродвигуна, що сприймає енергії вітрового потоку і перетворює її в механічну енергію обертання валу, застосовують ротор, вітроколесо, барабан тощо. Залежно від типу робочого органу та положення його відносно вітрового потоку розрізняють карусельні (або роторні) вітродвигуни, барабанного типу і крильчаті.

У якості акумулюючого пристрою часто застосовують наповнену водою ємність або батареї електрохімічних акумуляторів; для короткочасного запасу енергії та вирівнювання споживаної потужності при незначних змінах швидкості вітру можуть бути використані інерційні акумулятори. Дублюючий невітровий двигун (як правило, двигун внутрішнього згоряння) використовують у періоди відсутності потоку вітрової енергії і в тих випадках, коли через зниження швидкості вітру потужність, що розвивається вітродвигуном, стає нижчою від номінальної або недостатня для живлення електроенергією всього приєданого навантаження.

Системи автоматичного управління та регулювання служать для вмикання й вимикання вітрового двигуна (залежно від режимів вітру та навантаження, ступеня заповнення резервуючої ємності водою, заряду акумулятора і т.д.), для контролю за роботою головних елементів вітрової установки, узгодження режимів спільної або паралельної роботи вітрового та теплового двигунів і т.ін.

- Розрізняють вітроустановки спеціального призначення - насосні або водопідйомні, електричні зарядні, млинові, опріснювальні тощо) та комплексного використання (вітросилові та вітроелектричні). У силових вітроустановках від механічної трансмісії вітродвигуна приводяться в дію виконуючі машини; в електричних вітроустановках генерована електроенергія передається на електродвигун виконуючих машин. Залежно від типу і характеристик вітродвигунів та робочих машин вітроустановки можуть бути тихохідними, середньої швидкості і швидкохідними. Встановлена (розрахункова) потужність вітроустановки залежить головним чином від діаметра вітроколеса і показника швидкості вітру. Вітроустановки працюють зі змінюваною у широких межах частотою обертів вітроколеса і, відповідно, потужністю.
- Перетворення кінетичної енергії повітряного потоку при застосуванні вітроенергетичного обладнання здійснюється шляхом його взаємодії з робочими органами вітроустановками, які можуть бути виконані у наступному вигляді:
 - а) лопатей (плоских, увігнутих або з аеродинамічним профілем);
 - б) циліндрів А.Флетнера;
 - в) осцилюючих предметів, наприклад, тросів;
 - г) системи з електродними сітками електрогідравлічного динамічного генератора.

- Найбільш розповсюдженими робочими органами вітроустановок є лопаті з аеродинамічним профілем. Вітроустановки з робочими органами у вигляді осцилюючих предметів і електрогідравлічного динамічного генератора знаходяться в стадії експериментів. Результати досліджень [22, 23] свідчать, що такого роду вітровим установам властиві низький коефіцієнт використання енергії вітру і складності агрегування з навантаженням. Тому нижче розглянуто вітрові установки з робочими органами, виконаними у вигляді лопатей.