

## РЕГУЛЮВАННЯ ПОТУЖНОСТІ ТА ЕФЕКТИВНОСТІ ВІТРОВОГО ГЕНЕРАТОРА ЗА ДОПОМОГОЮ СИСТЕМИ ЗМІНИ КУТА

Контроль вітрової турбіни необхідний для забезпечення низьких витрат на обслуговування та ефективної роботи. Система керування також гарантує безпечну роботу, оптимізує вихідну потужність і забезпечує тривалий термін служби конструкції. Швидкість обертання турбіни та швидкість генератора є двома ключовими областями, які потрібно контролювати для обмеження та оптимізації потужності.

Вітрова турбіна - це обертова машина, яка перетворює кінетичну енергію вітру в механічну. Потім ця механічна енергія перетворюється в електричну, яка надсилається в електромережу. Компонентами турбіни, відповідальними за ці перетворення енергії, є ротор - це частина турбіни, яка складається з втулки та лопатей. Обертання від нього в кінцевому підсумку надсилається генератору для механічного перетворення в електричне.

Площа поверхні, доступна для вітру, є ключовою для збільшення аеродинамічних сил на лопатях ротора. Кут, під яким регулюється лезо лопаті, називається кутом атаки,  $\alpha$ . Існує також критичний кут атаки,  $\alpha_{cr}$ , коли повітря більше не плавно обтікає верхню поверхню леза. На рис. 1 показаний критичний кут атаки по відношенню до лопаті.

Баланс між швидкістю обертання та швидкістю вітру, який називається співвідношенням швидкості на кінці, розраховується за допомогою рівняння 1.

$$\lambda = \frac{2\pi fr}{v_1}; \quad (1)$$

де  $f$  - частота обертання лопатей, Гц;  $r$  - довжина леза, (м).

На рисунку можна бачити, що крива потужності розділена на три окремі області. Діапазон I складається з низьких швидкостей вітру, нижчих за номінальну потужність турбіни, турбіна працює з максимальною ефективністю, щоб отримати всю потужність. Іншими словами, турбіна керує з оптимізацією. З іншого боку, діапазон III складається з високих швидкостей вітру та має номінальну потужність турбіни. Тоді турбіна керує з урахуванням обмеження генерованої потужності під час роботи в цьому діапазоні. Діапазон II є перехідним, головним чином пов'язаним із збереженням крутного моменту ротора та низького рівня шуму.

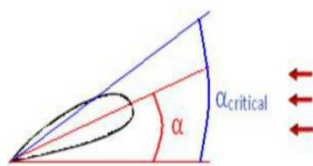


Рис.1 Кут атаки лопаті



Рис.2 Ідеальна крива ПВТ

ККД вітрової турбіни називається коефіцієнтом потужності  $C_p$ . Теоретично коефіцієнт потужності розраховується як відношення фактичної видобутої потужності до ідеальної, рівнянні 2. Крім того, можна налаштувати  $C_p$ , керуючи кутом атаки,  $\alpha$  і коефіцієнтом швидкості наконечника,  $\lambda$ . Розрахунок для цього випадку показано у рівнянні 2. У рівнянні 3  $c_1$ - $c_6$  і  $x$  - це коефіцієнти, які має надати виробник вітряної турбіни. Максимальний коефіцієнт потужності, якого можна досягти з будь-якою турбіною, становить 0,59, так звана межа Беца, тобто, коефіцієнт потужності розраховується як відношення фактичної потужності до ідеальної видобутої потужності:

$$C_p = \frac{P_{факт}}{P_{ид}} = \frac{25\rho A(v_1^2 - v_2^2)(v_1 + v_2)}{5\rho A v_2^3} \quad (2)$$

Можна також регулювати потужність, керуючи кутом атаки  $\alpha$  і коефіцієнтом швидкості наконечника (3):

$$\frac{1}{\Lambda} = \frac{1}{\lambda + 0,8\alpha} - \frac{0,35}{1 + \alpha^3} \quad (3)$$

Розраховуючи корисну потужність (4) вітру за допомогою наступного рівняння можна побачити, що основним фактором корисної потужності є довжина лопаті та швидкість вітру:

$$P = \frac{C_p(\alpha, \lambda)\rho\pi r^2 v_1^3}{2} \quad (4)$$

де  $\rho$  - густина повітря, (1,2929 кг<sup>3</sup>).

### Список використаних літературних джерел

1. Основи вітроенергетики: підручник / Г. Півняк, Ф. Шкрабець, Нойбергер, Д. Ципленков ; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. - Д.: НГУ, 2015. - 335 с.
2. Maschinenfabrik Reinhausen GmbH. URL: <https://www.reinhausen.com/impulses/standard-compliant-grid-integration-of-wind-and-solar-power/are-wind-farms-the-new-power-plants> (дата звернення 20.03.23).