

УДК 533.6621548

ДЕЦЕНТРАЛІЗАЦІЯ ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ І ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ АВТОНОМНИХ ВІТРОУСТАНОВОК

Рожкова Людмила Георгіївна
кандидат технічних наук, доцент
Сумський національний аграрний університет
ORCID: 0000-0002-1068-8959
email rozhkova_lg@ukr.net

В статті розглядаються доцільність децентралізації енергопостачання, стан цього питання в Україні, стан виробництва автономних вітроустановок малої потужності в світі і Україні. В якості автономних вітроустановок малої потужності пропонується застосування вертикально – осьових ветроустановок нового типу з лопатями оригінальної форми, які мають достатньо високий коефіцієнт використання енергії вітру і можуть мати меншу вартість у порівнянні зі світовими зразками. До того ж вони мають самозапуск вітроколеса і можуть робити і при малих швидкостях вітра. Наводяться експлуатаційні характеристики вітроустановок, що пропонуються.

Ключові слова. Вітроустановка, вітроколесо, ротор, лопать, характеристика потужності, вітровий потенціал, коефіцієнт швидкодійності, коефіцієнт використання енергії вітру, тягуча сила, експлуатаційні характеристики, момент обертання.

DOI: <https://doi.org/10.32845/msnau.2019.4.7>

Постановка проблеми. Вітроенергетика використовує поновлюване, екологічно чисте джерело енергії і в теперішній час є досить перспективним напрямом світової енергетики. В світі визнається, що вітрова енергія має великий вплив не тільки на екологію, а й на економіку (Звіт Європейської індустріальної групи WindEurope за 2018 р.). Наприклад, в ВВП Євросоюзу в 2016 році на частку вітрової енергетики довелось € 36 млрд., а за даними Clean Technica, в Євросоюзі вітрова енергетика забезпечила 236 тисяч робочих місць і забезпечила до експорту пов'язаних з вітроенергетикою продуктів на € 8 млрд. Таким чином, аналіз показує, що вітер – це весьма розумний вибір джерела енергії і для екології, і для економіки.

Світовий досвід показує, що в сучасному періоді збільшується значення автономізації джерел енергії оптимальне співвідношення централізованих і децентралізованих електрогенеруючих потужностей в будь-якій розвиненій країні світу приблизно дорівнює (в відсотках) 51:49 з невеликою перевагою централізованої енергетики. Задача автономізації вирішується і за допомогою вітроустановок (далі ВУ), в основному, малої потужності, тому у багатьох країнах спостерігається динамічний зріст обсягів виробництва даних ВУ. В Україні співвідношення централізованих і автономних електрогенеруючих потужностей становить у відсотках 93:7, де автономних тільки 7% [1]. Зрозуміло, що це обумовлює великі втрати в енергетичному комплексі. Особливо актуально вирішення проблем енергозабезпечення, енергозбереження та автономної енергетики в АПК і харчової галузі України. Дана проблема також може бути вирішена шляхом впровадження автономних вітроустановок середньої та малої потужності. При виборі типу ВУ треба враховувати особливості вітрових умов в Україні, а саме, порівняно невисоку середню швидкість і часту зміну напрямку вітру, особливо на материковій частині території, тому у якості автономних перевагу можуть мати вертикально-осьові ВУ з відповідними якостями.

Аналіз досліджень і публікацій. Загальна світова установлена потужність вітроустановок (далі ВУ) за даними [2] досягла до теперішнього часу межі вище 539 ГВт, у тому числі 440 МВт ВУ малої потужності. Найбільш поширені в світі конструкції ВУ малої потужності наведені в [3]. Деякі з них показані на рис.1-4.

Аналіз наведених типів вертикально-осьових ВУ малої потужності показує, що здебільшого в вітроколесах використовуються ротори Савоніуса, крилові лопаті, а також комбінація ротора Савоніуса і крилових лопатей. Перші мають низький коефіцієнт використання енергії вітру C_p , а другим, оскільки відсутня спроможність самозапуску, потрібні пристрої для запуску і виводу вітроколеса на робочий режим, що дуже часто вирішується використанням комбінації лопатей Савоніуса та крилових. Безумовно, такий варіант конструкції вітроколеса більш складний і його вартість підвищується у порівнянні з вітроколесом, що має лопаті одного типу. Крім того, у випадку, коли у вітроколесі задіяні декілька типів лопатей, треба узгоджувати характеристики тихохідних і швидкохідних лопатей. Це може бути виконано тільки шляхом експериментальних досліджень, що також значно підвищує вартість розробки.

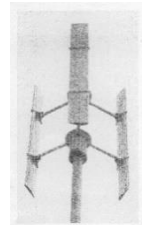


Рис.1 Вертикально-осьова вітроустановка потужністю 500 Вт виробництва КНР (фірма Aerowind Systems), вітроколесо - трьохлопатеве Н-ротор Дар'є.
Коефіцієнт використання енергії вітру $C_p = 0,23$.

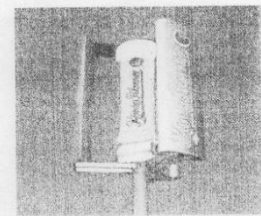


Рис.2. Вертикально-осьова вітроустановка потужністю 750 Вт виробництва Італії (фірма Rorates), вітроколесо - комбінація трьохлопатевого ротора Дар'є і ротора Савоніуса.
Коефіцієнт використання енергії вітру $C_p = 0,2$.
Вартість ВУ 3700 EUR.

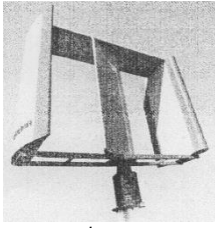


Рис.3. Вертикально- осьова вітроустановка потужністю 2 кВт виробництва Німеччини (фірма Ахерт), вітроколесо - комбінація двохлопатевого Н-ротора Дар'є і ротора Савоніуса. Коефіцієнт використання енергії вітру $C_p = 0,3$. Вартість ВУ 13720 EUR.

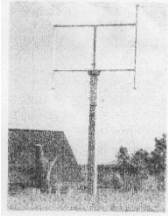


Рис.4. Вертикально- осьова вітроустановка потужністю 5 кВт виробництва Німеччини (фірма TASSA), вітроколесо - двохлопатевого Н-ротора Дар'є. Коефіцієнт використання енергії вітру $C_p = 0,29$.

Показники ефективності використання ВУ енергії вітру здебільшого знаходяться в межах $C_p \leq 0,3$ при високій вартості 1 кВт встановленої потужності (до ~6000 EUR) [3]. Крім того, середньорічні швидкості вітру в Україні не перебільшують 5м/с за винятком узбережжя. Невисока середньорічна швидкість та часта зміна напрямку вітру в материковій частині України обумовлюють застосування ефективних вертикально - осьових вітроустановок, що можуть працювати і при низьких швидкостях вітру. Зрозуміло, що має велике значення і вартість ВУ.

В Україні на теперішній час розроблені та досліджені модельні зразки роторів вертикально-осьових ВУ з лопатями, що мають профілі оригінальної форми [4]. Дослідження довели, що дані ВУ відповідають вітровим умовам України. Аналіз інформаційних даних з впровадження ВУ малої потужності в світі показує, що розроблені в Україні вертикально-осьові ротори ВУ нового типу є найбільш перспективними в умовах України, особливо для застосування в якості автономних в АПК України. Але за відсутністю фінансування вертикально-осьові ВУ з розробленими лопатями не доведено до впровадження.

Формулювання мети статті. Мета даної статті – порівняння характеристик вертикально-осьових ВУ та обґрунтування перспективності впровадження вертикально-осьових ВУ нового типу з оригінальними лопатями для одержання енергії в АПК, харчової галузі та інших.

Викладання основного матеріалу. Вертикально-осьові ВУ, що пропонуються, мають достатньо високий коефіцієнт використання енергії вітру за рахунок оригінальних лопатей: КН (крилові незамкнені) та двохелементні [4]. Модельні дослідження показали, що ротори з даними лопатями мають самозапуск, досить високий коефіцієнт використання енергії вітру (КН-6 до 0,3 ; двохелементні до 0,38) та працюють і при низьких швидкостях вітру, і при будь-якому його напрямі. До того ж вони працюють в області середньої швидкості $1 < \theta < 3$, тобто між тихохідними і швидкохідними ВУ, що обумовлює суттєве зниження в вітроколесі відцентрової

сили по зрівнянню зі швидкохідними, і, як наслідок, зниження вимог до міцності конструкції ВУ і, отже, її здешевлення.

Відомо, що ВУ в тому чи іншому ступені негативно впливають на навколишнє середовище. Однією з основних складових цього впливу є вібраційні коливання, що генеруються компонентами вітроенергетичної установки в процесі роботи під дією аеродинамічних і інерційних сил і моментів. Особливо небезпечні резонанси зовнішніх силових впливів і власних коливань компонентів ВУ, що виникають при дисбалансі ротора і призводять до руйнування установки. Ці вібрації, передаючись через навколишнє середовище, впливають на прилегли будівлі і споруди, знижують їх міцність і стійкість, можуть стати причиною руйнування трубопроводів, підземних комунікацій та інших навколишніх інженерних споруд. Під дією вібрації відбувається ерозія ґрунту, переселення тварин і птахів, спостерігається погіршення самопочуття людей, які проживають навіть на відстані від місця розташування вітроустановки. У зв'язку з даними особливостями санітарними нормами пропонується розташовувати ВУ на значній відстані від житлових об'єктів, що призводить до підвищення настановних і експлуатаційних витрат, а також до збільшення витрат при передачі енергії. Разом з тим, у зв'язку зі збільшенням дефіциту електроенергії і зростання цін на енергоносії кількість запитів на розміщення ВУ поблизу житлових, офісних і виробничих будівель буде неухильно зростати.

Вітроколеса ВУ з лопатями, що пропонуються, мають малі значення оптимальної швидкохідності (КН-6: $\theta \sim 1.2$, двохелементні $\theta \sim 1.7$) тому лопаті мають невисоку колову швидкість і вплив дисбалансу ротора не може бути суттєвим, вібраційні коливання знижуються. Як наслідок, ВУ мають малі шум при роботі, відсутність звукових хвиль низької частоти, які мають негативну дію на людину. Колова швидкість лопаті недосягає так званої «порогової швидкості», при якій птиці можуть попадати в вітроколесо, . Тобто при застосуванні ВУ середньої швидкохідності в певній мірі виконуються вимоги екології і тому розташування ВУ, що пропонуються, можливе дуже близько від зони проживання або безпосередньо в неї.

Але є і інші переваги застосування вертикально-осьових ВУ середньої швидкохідності:

- не потрібні зміни орієнтації вітроколеса у відповідності до зміни напрямку вітру;
- пристрої, що призначаються для перетворення енергії обертання валу ВУ (генератор, накопичувачі енергії та інші), можуть бути розташовані безпосередньо на землі, що спрощує їх обслуговування;
- є можливість приєднання валу ВУ безпосередньо до валу будь-якого силового механічного пристрою. Зокрема , такими пристроями є, наприклад, млини, насоси і т.д.

Для компетентного вибору вітроустановки необхідно знати її експлуатаційні характеристики. Найбільш важливими з них є характеристика потужності, величина обертаючого моменту, кількість обертів і кількість енергії, що виробляється за рік.

Характеристики потужності ВУ з лопатями, що пропонуються, наведені на рис.5 сумісно з аналогічними характеристиками вертикально – осьових ВУ, що мають вітроколеса з лопатями Савоніуса , криловими лопатями і граничними критеріями можливості використання енергії вітру.(критерії

Бетца (1) и Глауэрта (2), Графіки критеріїв Бетца і Глауэрта наведені в [5].

Особливо важливим, на наш погляд, є той факт, що оптимальна величина C_p ротора з двохелементними лопатями (№ 7, рис. 5) близька до граничного значення (критерій Глауэрта) для даної області θ . Це доводить, що двохелементні лопаті мають вдалу форму профілю. Але двохелементні лопаті мають більш складну конструкцію, тому вартість їх виготовлення вище, ніж лопатей КН.

Залежність коефіцієнта використання енергії вітру і інтегрального коефіцієнта тягучої сили C_T від швидкохідності θ лопатей КН-6 [7] і двохелементних [8] наведено на рис. 6.

Ці залежності дуже важливі, тому що дозволяють визначити момент обертання і кількість обертів вітроколеса. Крім того, є можливість оцінити структуру потужності ВУ з точки зору величин моменту і швидкості обертання.

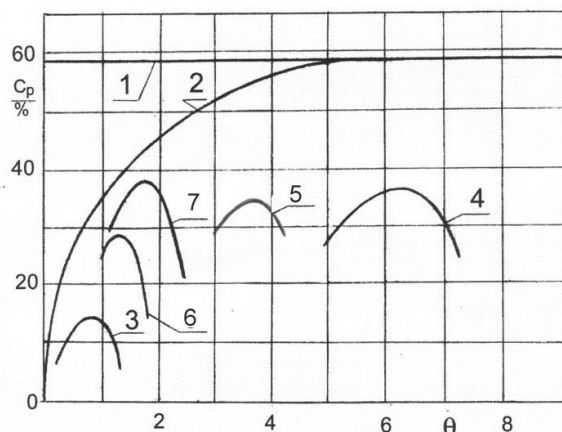


Рис. 5. Розташування характеристик потужності вертикально-осевих ВУ за швидкохідністю (θ) відносно критеріїв Бетца (1) та Глауэрта (2): 3 – ротор Савоніуса; 4 – ротор Дар'є; 5 – ротор с прямими криловими лопатями NACA0018 за даними [6]; 6 – ротор с лопатями КН-6 [7]; 7 – ротор с двохелементними лопатями [8].

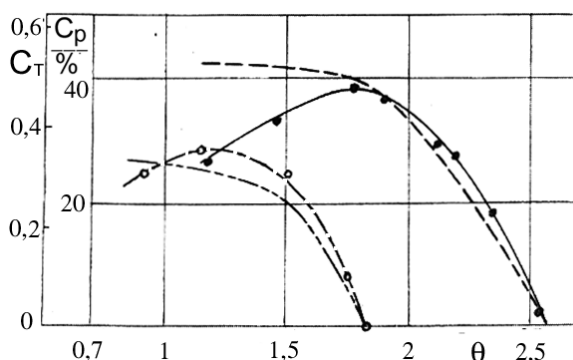


Рис. 6. Коефіцієнт тягучої сили лопатей і характеристика потужності моделей роторів з лопатями КН-6 $C_p=f(\theta)$ о---; $C_T=f(\theta)$ -----; двохелементної $\sigma=0,44$; $C_p=f(\theta)$ —; $C_T=f(\theta)$ - - -

Коефіцієнт тягучої сили лопаті C_T визначається за формулою $C_T = M_{ep} / q \cdot S_n \cdot R \cdot i$, де $q = \rho U_\infty^2 / 2$ - динамічний тиск набігаючого потоку; S_n - несуча площа лопаті. Якщо відома залежність $C_T = f(\theta)$ для лопаті, легко визначити момент обертання для ВУ з лопатями даного типу.

Число обертів також легко розрахувати з співвідношень:

$$\theta = \frac{U_{кол.}}{U_\infty}; U_{кол.} = \theta \cdot U_\infty; U_{кол.} = \omega R = 2\pi R n,$$

де $U_{кол.}$ - колова швидкість лопаті; U_∞ - швидкість набігаючого потоку.

Кількість енергії, що ВУ може виробити за рік визначається за формулою:

$$\sum P_{год.} = C_p \frac{\rho}{2} S \eta \sum_{i=1}^n U_{\infty i}^3 t_{ni} 3600$$

де t_n - сума часу (число годин) повторюємість кожної швидкості вітру;

ρ - густина повітря;

S - площа, що омітається ротором ВУ;

U_∞ - швидкість вітра на нескінченності;

C_p - коефіцієнт використання енергії вітру;

η - коефіцієнт корисної дії систем ВУ.

Для ефективної роботи будь-якого пристрою при безпосередньому з'єднанні валов ВУ та пристрою необхідно узгодження робочих характеристик пристрою і ВУ. Узгодження полягає в тому, щоб підібрати таке відношення обертів вітроколеса й пристрою, при якому агрегат мав би можливість працювати найбільш тривалий час із максимальними коефіцієнтами використання енергії вітру. Найбільш просто це можна

отримати якщо характеристика пристрою при накладенні на характеристику ВУ буде проходити через вершину характеристики пристрою. (треба визначити не точку, а область на вершині характеристики ВУ)[4].

Але з урахуванням нестабільності ветрового енергетического потенціала, найбільш доцільним може бути застосування накопичувальних енергетичних пристроїв.

Висновки.

1. Впровадження нового типу вертикально-осьових вітроустановок середньої швидкохідності, особливо у якості автономних вітроустановок малої потужності багатоцільового призначення з урахуванням їх переваг, доцільне для України.

2. ВУ, що пропонуються, мають дуже низькі екологічні ризики, що дозволяє їх розташування дуже близько від зони проживання або безпосередньо в ній.

3. Наведені універсальні експлуатаційні характеристики ВУ дозволяють отримати експлуатаційні характеристики для будь-якого типорозміру даної ВУ.

4. Для більш повної утилізації енергії, що отримується від ВУ, доцільне застосування накопичувачей енергії.

5. Розташування виробництва ВУ в Україні забезпечить створення робочих місць, а впровадження ВУ – енерго-незалежність та енергобезпеку країни.

Список використаної літератури:

1. Оніпко О.В., Вітроенергетика та енергетична стратегія / Б. Коробко, В. Миханюк. – К: Фенікс, 2008 – 163с.
2. Дзендзерский В.А. Ветроустановки малой мощности / С. Тарасов, И. Костюков. – К: «Наукова думка», 2011. – 591с.
3. Рожкова Л.Г. «Нові форми профілів лопатей вертикально-осьових вітроустановок середньої швидкохідності» Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. – 2005р.
4. Фатеев Е.М. Ветродвижатели и ветроустановки. – Москва: ОГИЗ – Сельхозгиз, 1948. – 544с.

Rozhkova L., Sumy National Agrar University (Ukraine)

CHARACTERISTICS OF MEDIUM-SPEED VERTICAL AXIS WIND TURBINE WIND WHEELS.

The article deals with the state of autonomy of energy supply in the world, the state of this issue in Ukraine, the state of production of autonomous low-power wind turbines in the world and Ukraine. Autonomous low power wind turbines offer the use of new vertical type axial wind turbines with blades of the original shape, which have a sufficiently high wind energy utilization rate and may have less value compared to world models. They have self-starting wind wheels, can do even at low wind speeds and do not need to orient the wind wheels to the wind, like wind wheels with a horizontal axis. Particularly appropriate is the latter property in conditions where the wind direction changes constantly and unpredictably.

The experimentally obtained characteristics of the power of vertical axial wind wheels of a new type are given. Methods for determining the performance of the wind farms offered are shown.

Keywords: Wind turbine, wind wheel, rotor, blade, power characteristic, wind potential, speed factor, wind energy utilization factor, pulling power, performance, torque.

Дата надходження до редакції: 11.10.2019