

Рожкова Л.Г., к.т.н., доцент (Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна)

Децентралізація енергопостачання і експлуатаційні характеристики автономних вітроустановок

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 вітроустановок нового типу з лопатями оригінальної форми, які мають достатньо високий коефіцієнт використання енергії вітру і можуть мати меншу вартість у порівнянні зі світовими зразками. Застосування даних вітроустановок в АПК України може бути дуже доцільним. Наводяться експлуатаційні характеристики вітроустановок, що пропонуються.

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

В статье рассматриваются целесообразность децентрализации энергоснабжения, состояние этого вопроса в Украине, состояние производства автономных ветроустановок малой мощности в мире и Украине. В качестве автономных ветроустановок малой мощности предлагается применение вертикально – осевых ветроустановок нового типа с лопастями оригинальной формы, которые имеют достаточно высокий коэффициент использования энергии ветра и могут иметь меньшую стоимость по сравнению с мировыми образцами. Применение данных ветроустановок в АПК Украины может быть весьма целесообразным. Приводятся эксплуатационные характеристики ветроустановок, которые предлагаются.

Ключевые слова: Ветроустановка, ветроколесо, ротор, лопасть, характеристика мощности, ветровой потенциал, коэффициент быстроходности, коэффициент использования энергии ветра, тянущая сила, эксплуатационные характеристики, вращающий момент.

The article discusses the feasibility of decentralization of energy supply, the state of this issue in Ukraine, the state of production of autonomous low-power wind turbines in the world and Ukraine. As autonomous low-power wind turbines, it is proposed to use a vertically-axial wind turbines of a new type with blades of an original shape, which have a sufficiently high coefficient of utilization of wind energy and can have a lower cost in comparison with world standards. The use of these wind turbines in the agricultural sector of Ukraine can be very appropriate. The operational characteristics of the wind turbines that are offered.

Key words. Wind turbine, wind wheel, rotor, blade, power characteristic, wind potential, speed coefficient, wind energy utilization factor, pulling force, operational characteristics, torque.

Постановка проблеми. Важливе місце у розвитку та впровадженні енергозберігаючих технологій віддається поновлюваним та нетрадиційним джерелам енергії, між якими вітроенергетика є досить перспективним напрямом енергетики, що використовує поновлювані джерела енергії. Так, Європейська індустріальна група WindEurope в 2018 році опублікувала звіт, головною ідеєю якого є те, що вітрова енергія відіграє важливу роль не тільки у зменшенні негативного впливу на екологію, а й має вагомий складову у розвитку економіки. Наприклад, в ВВП Євросоюзу в 2016 році частка вітрової енергетики дорівнювала € 36 млрд. Крім того, за даними Clean Technica, вітрова енергетика забезпечила в Євросоюзі 236 тисяч робочих місць і експорт пов'язаних з вітроенергетикою продуктів на € 8 млрд. Тому за висновком звіту вітер – це розумний вибір джерела енергії для економіки.

Світовий досвід показує, що оптимальне співвідношення централізованих і децентралізованих електрогенеруючих потужностей в будь-якій країні приблизно дорівнює (в відсотках) 51:49 з невеликою перевагою централізованої енергетики. Задача децентралізації вирішується і за допомогою вітроустановок (далі ВУ) малої потужності, тому у багатьох країнах спостерігається динамічний зріст обсягів виробництва даних ВУ. В Україні співвідношення централізованих і децентралізованих електрогенеруючих потужностей становить у відсотках 93:7, де тільки 7% децентралізоване, що обумовлює великі втрати в енергетичному комплексі [1]. Задачу децентралізації енергопостачання в Україні також може вирішити застосування автономних енергоустановок, зо-

крема вітроустановок. Особливо актуально вирішення проблем енергозабезпечення, енергозбереження та децентралізації енергетики в Україні шляхом впровадження автономних вітроустановок малої потужності в АПК і харчової галузі. При виборі 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 характеристиками.

Аналіз досліджень і публікацій. Сумарна світова установка потужність вітроустановок малої потужності досягла до теперішнього часу межі вище 440МВт. Нижче наведена інформація по деяким найбільш поширеним в світі конструкціям вертикально-осьових ВУ малої потужності, рис.1-4 [2]. 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 потрібні пристрої для запуску і виводу вітроколеса на робочий режим, що дуже часто вирішується використанням комбінації лопатей Савоніуса та крилових. Але у цьому випадку треба узгоджувати характеристики тихохідних і швидкохідних лопатей, що підвищує вартість розробки. Показники ефективності використання енергії вітру сучасних вертикально-осьових ВУ здебільшого знаходяться в межах $C_p \leq 0,3$ при високій вартості 1 кВт встановленої потужності (до ~6000 EUR).

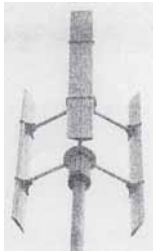


Рис. 1. Вертикально-осьова вітроустановка потужністю 500 Вт виробництва КНР (фірма Aerowind Systems), вітроколесо - трьохлопатеве Н-ротор Дар'є. Коефіцієнт використання енергії вітру $C_p=0,23$.

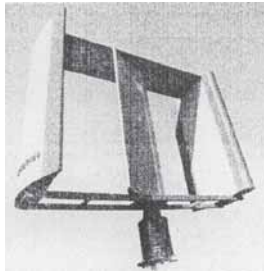


Рис. 3. Вертикально-осьова вітроустановка потужністю 2 кВт виробництва Німеччини (фірма Ахерт), вітроколесо - комбінація двухлопатевого Н-ротора Дар'є і ротора Савоніуса. Коефіцієнт використання енергії вітру $C_p=0,3$. Вартість ВУ 13720 EUR.

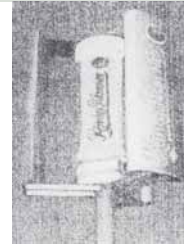


Рис. 2. Вертикально-осьова вітроустановка потужністю 750 Вт виробництва Італії (фірма Ropates), вітроколесо - комбінація трьохлопатевого ротора Дар'є і ротора Савоніуса. Коефіцієнт використання енергії вітру $C_p=0,2$. Вартість ВУ 3700 EUR.

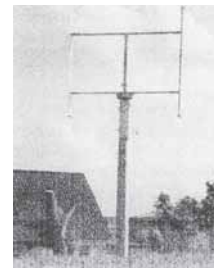


Рис. 4. Вертикально-осьова вітроустановка потужністю 5 кВт виробництва Німеччини (фірма TASSA), вітроколесо - двухлопатево Н-ротор Дар'є. Коефіцієнт використання енергії вітру $C_p=0,29$.

Крім того, треба враховувати, що середньорічні швидкості вітру в Україні не перебільшують 5 м/с за винятком узбережжя. Невисока середньорічна швидкість та часта зміна напрямку вітру в материковій Україні обумовлюють застосування ефективних вертикально-осьових вітроустановок, що можуть працювати і при низьких швидкостях вітру і при будь-якому його напрямі. 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 [3]. Дослідження показали, що дані ВУ відповідають вітровим умовам України і екологічним вимогам. Аналіз інформаційних даних з впровадження ВУ малої потужності в світі показує, що розроблені в Україні вертикально-осьові вітроколеса нового типу є найбільш перспективними в умовах України, особливо для застосування в якості автономних в АПК і харчовій галузі України. Але за відсутності фінансування новий тип вертикально-осьових ВУ не доведено до впровадження.

Формулювання мети статті. Мета даної статті – показати доцільність децентралізації енергопостачання і застосування вертикально-осьових ВУ нового типу в якості автономних для одержання енергії в АПК, харчовій галузі та інших.

Викладання основного матеріалу. Вітроколеса вертикально-осьових ВУ, що пропонуються, мають достатньо високий коефіцієнт використання енергії вітру за рахунок оригінальних лопатей, які мають досить просту конструкцію, і це здешевлює їх виробництво. Модельні дослідження показали, що ротори з даними лопатями мають самозапуск, досить високий коефіцієнт використання енергії вітру (до 0,3) 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 тієї або іншій мірі негативно впли-

вають 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 небезпечний резонанс зовнішніх силових впливів і власних коливань компонентів ВУ, що виникають при дисбалансі ротора і можуть привести до руйнування установки. Крім того, ці вібрації, передаючись через навколишнє середовище, впливають на прилеглі будівлі і споруди, знижують їх міцність і стійкість і 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 втрат при передачі енергії. Разом з тим, у зв'язку зі збільшенням дефіциту електроенергії і зростанням цін на енергоносії існує велика ймовірність, що кількість запитів на розміщення ВУ поблизу житлових, офісних і виробничих будівель буде зростати.

Вітроколесо ВУ з лопатями, що пропонуються, має значення оптимальної швидкості $\theta \sim 1,2$, тому лопаті мають невисоку колову швидкість, вплив дисбалансу ротора не може бути суттєвим, тому вібраційні коливання будуть низькими. Як наслідок, ВУ мають малий шум при роботі, відсутність звукових хвиль низької частоти, які мають негативну дію на людину. Колова швидкість лопаті не досягає так званої «порогової швидкості», при якій птахи можуть попадати в вітроколесо. Тобто при застосуванні ВУ середньої швидкості в значній мірі виконуються вимоги екології і тому розташування ВУ, що пропонуються, можливе дуже близько від зони проживання або безпосередньо в ній. Але є і інші переваги застосування вертикально-осьових ВУ середньої швидкості:

- не потрібні зміни орієнтації вітроколеса при зміні напрямку вітру;

- пристрої, що призначаються для перетворення енергії обертання валу ВУ (генератор, накоплювач 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. Характеристика потужності ВУ, що пропонується, наведена на рис.5.

Треба вказати, що характеристика потужності реальної вітроустановки може відрізнитися від характеристики потужності моделі у залежності від масштабного ефекту, причому у бік збільшення коефіцієнта використання енергії вітру C_p і швидкості θ .

Відомо, що загальна формула потужності виглядає таким чином:

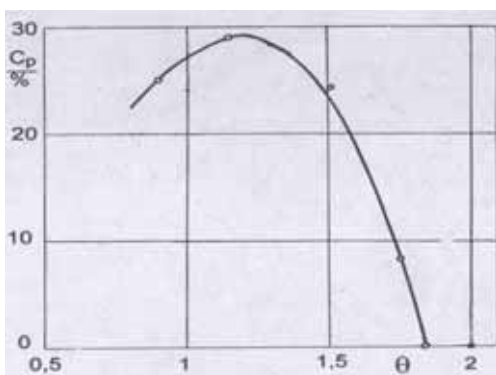


Рис. 5. Характеристика потужності $C_p=f(\theta)$ моделі ротора с лопатями КН-6.

$$P = M_{об} \cdot \omega,$$

де $M_{об}$ – обертаючий момент на валу, ω – кутова швидкість валу. Тому в правій частині характеристики потужності ВУ переважний обертаючий момент, а в лівій - кутова швидкість.

На рис. 6. наведено залежність інтегрального коефіцієнта тягнучої сили C_T лопаті КН-6 від швидкості θ .

Коефіцієнт тягнучої сили лопаті C_T визначається за формулою $C_T = M_{вр} / q \cdot S_l \cdot R \cdot i$, де $q = \rho U_{\infty}^2 / 2$ - динамічний тиск набігаючого потоку; S_l - 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:

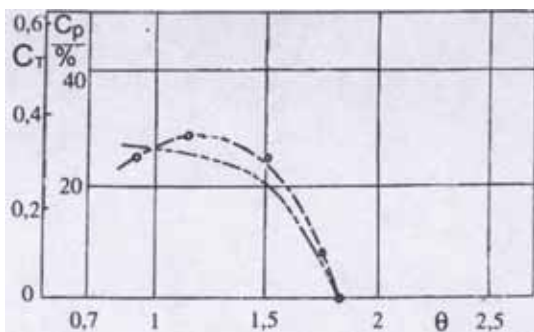


Рис. 6. Коефіцієнт тягнучої сили лопаті і характеристика потужності моделі ротора з лопатями КН-6: $C_p=f(\theta)$ - - -; $C_T=f(\theta)$ - - - -.

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

де $U_{кол.}$ – колова швидкість лопаті;

U_{∞} - швидкість набігаючого потоку.

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

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

де t_n – сума часу (число годин) повторюємості кожної швидкості вітру;

ρ - густина повітря;

S - площа, що омітається ротором ВУ;

U_{∞} - швидкість вітру на нескінченності;

C_p - коефіцієнт використання енергії вітру;

η - коефіцієнт корисної дії систем ВУ.

Для ефективної роботи будь-якого пристрою при безпосередньому з'єднанні валів ВУ та пристрою необхідно узгодження робочих характеристик пристрою і ВУ. Узгодження полягає в тому, щоб підібрати таке відношення обертів вітрогенератора й пристрою, при якому агрегат мав би можливість працювати найбільш тривалий час із максимальними коефіцієнтами використання енергії вітру. За рекомендаціями найбільш просто це можна отримати, якщо характеристика пристрою при накладенні на характеристику ВУ буде проходити через вершину характеристики пристрою. (треба визначати не точку, а область на вершині характеристики ВУ)[4].

Але з урахуванням нестабільності вітрового енергетичного потенціалу, найбільш доцільним може бути застосування накопичувальних енергетичних пристроїв.

Висновки.

1. Низька ступінь децентралізації енергопостачання в Україні обумовлює великі втрати енергії, тому застосування автономних джерел енергії має перспективу.

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

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

4. Наведені універсальні експлуатаційні характеристики моделі ротора дозволяють отримати експлуатаційні характеристики для будь-якого типорозміру вітроколеса даного типу ВУ.

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

6. Розташування виробництва ВУ в Україні забезпечить створення робочих місць, а впровадження ВУ – енергонезалежність та енергобезпеку країни.

Список використаних джерел:

1. Онупко О.В., Вітроенергетика та енергетична стратегія / Б. Коробко, В. Миханюк. - К: Фенікс, 2008 - 163с.
2. Дзедзерский 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 швидкості» Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. - 2005р.
4. Фатеев Е.М. Ветрогенераторы и ветроустановки. - Москва: ОГИЗ - Сельхозгиз, 1948. - 544с.