

УДК 533.6621548

ВИБІР ТИПА ВІТРОУСТАНОВОК ДЛЯ УМОВ УКРАЇНИ

Рожкова Л.Г., к.т.н.

Сумський національний аграрний університет

Анотація – стаття присвячена вибору типу вертикально-вісьових вітроустановок, які можуть бути найбільш ефективними в умовах України.

Ключові слова – вітроустановка, енергія вітру, вітроколесо, потужність, швидкість вітру, коефіцієнт використання енергії вітру.

Постановка проблеми. У даний час все більше країн світу використовують альтернативні джерела енергії, причому одним з найбільш перспективних вважають енергію вітру. В Україні також зросло використання вітроенергетики, в основному, за рахунок розроблених зарубіжними фірмами ліцензійних вітроустановок великої потужності зі швидкохідними вітроколесами і горизонтальним розташуванням осі обертання, які встановлюються у південних областях, де середньорічне значення швидкості вітру більше (~6...7м/с), ніж в інших регіонах України. Тим не менш, це значення швидкості нижче прийнятого для розрахунку номінальної потужності ВУ в ЄС і США (11,5-14м/с). Отже, реальна потужність ВУ, встановлених на територіях України, може бути істотно нижче заявленої. З урахуванням того, що в північних і центральних областях України середньорічна швидкість вітру дорівнює або менше 5м/с [1], цей факт тим більше повинен враховуватися. Таким чином, для вибору типу вітроустановки (далі ВУ) основним критерієм, поряд з ефективністю, є величина середньорічної швидкості вітру в регіоні її планованого розміщення.

Що до ефективності, то ВУ у вітрових умовах України в першу чергу повинні мати працездатність і при низьких швидкостях вітру. Крім того, мають значення і такі якості, як здатність самозапуску вітроколеса, малий шум при роботі, недосягнення лінійною швидкістю лопатей так званої «порогової швидкості», при якій птахи можуть потрапляти у вітроколесо, і відсутність звукових хвиль, які мають негативний вплив на людину. З урахуванням вищесказаного, вибір типу ВУ для застосування в тому чи іншому регіоні України є досить серйозним завданням.

Аналіз досліджень та публікацій. Як відомо, ВУ поділяються за розташуванням осі обертання вітроколеса по відношенню до вітрового потоку, в основному, на два типи. Перший тип - установки, що мають вітроколеса з горизонтальним розташуванням осі обертання. До другого типу відносяться вертикально-вісьові ВУ. Крім того, прийнято поділ вітроколес за так званим коефіцієнтом швидкохідності θ : тихохідні вітроколеса з $\theta < 1$ і швидкохідні - з $\theta \geq 3$ [2,3,4,5].

Основною перевагою ВУ з горизонтальною віссю обертання є відносна стабільність параметрів процесу обтікання лопатей (в першу чергу, кута атаки набігання потоку α) при чіткому орієнтуванні вітроколеса на вітер і відповідної фіксації. Це обумовлює досить високий коефіцієнт використання енергії вітру (далі C_p).

До недоліків вітроколес з горизонтальним розташуванням осі обертання відносяться: 1) необхідність їх переорієнтації на вітер при зміні його напрямку; 2) виготовлення лопатей швидкохідних горизонтальних вітроколес, що мають крилові профілі, досить складно й дорого, оскільки потрібна висока точність, а для збереження оптимального кута атаки α набігання потоку лопатей за усім розмахом повинна піддаватися крутні; 3) пристрій перетворення механічної енергії обертання осі в електричну (генератор) розташовується на висоті осі обертання, що ускладнює обслуговування, здорожує монтаж і знижує надійність горизонтально - вісьових ВУ. Крім того, швидкохідні вітроколеса з лопатями, що мають крилові профілі, запускаються при швидкостях більш 4м/с з досвіду експлуатації у Дніпропетровській області [6].

Вертикально-вісьові ВУ мають певні переваги перед горизонтально-осьовими: 1) вони не вимагають пристроїв орієнтації на вітер, оскільки знаходяться у робочому положенні при будь-якому напрямку вітру; 2) спрощується і здешевлюється конструкція лопаті (не треба крутні); 3) пристрій перетворення енергії, що виробляється вітроколесом, у будь-яку іншу може бути розміщений зручніше для монтажу та технічного обслуговування під час експлуатації. Недоліки вертикально-вісьових ВУ наступні: 1) зміна величини тягнучої сили лопаті при русі круговою траєкторією внаслідок особливостей процесу її обтікання потоком, що набігає; 2) малий момент рушання для вітроколес з криловими лопатями, що веде до необхідності застосування для запуску допоміжних пристроїв з обов'язковим погодженням їх характеристик. Але для місцевостей, де часто змінюється напрям вітру, зокрема, для внутрішніх областей України вертикально-вісьові вітроустановки мають хороші перспективи застосування.

Основним критерієм ефективності для горизонтально-вісьових і вертикально-вісьових ВУ є коефіцієнт використання енергії вітру (КВЕВ або C_p), верхня межа якого дорівнює 0,593 [2]. За даними [3] C_p вітроколес, що використовують силу опору, не може бути більше 0,192. Вітроколеса, що використовують підйомну силу, мають C_p , в основному, 0,3-0,4.

Одним з напрямків підвищення C_p швидкохідних вертикально-вісьових ВУ є досягнення ще більш високих робочих коефіцієнтів швидкохідності θ . Однак збільшення θ може призводити до надмірного звуження робочого діапазону кутів атаки (α) набігання вітрового потоку на лопать, що обумовить інтегральне значення підйомної сили менше того, яке може бути досягнуто для даного конкретного типу лопатей, і, тим самим, знизить їх ефективність. Крім того, швидкохідні лопаті з високою аеродинамічною якістю пред'являють жорсткі вимоги до точності геометрії профілю і якості поверхні, а також і до міцності, що робить їх виготовлення складним і дорогим, тобто на перший план може вийти питання економічної доцільності їх застосування.

У даний час у світі розроблені і виготовляються ВУ різних типів і конструкцій з потужністю від 0,2 кВт до мегаватної, у тому числі, і вертикально-вісьові ВУ, останні переважно малої потужності [4]. У даній статті зупинимося на розгляді типів і характеристик вертикально - вісьових ВУ малої потужності, так як потреба в них в Україні може бути велика [1]. Нижче наведена інформація за деякими типами і характеристиками вертикально - вісьових ВУ за даними [4]. (рис. 1-6).

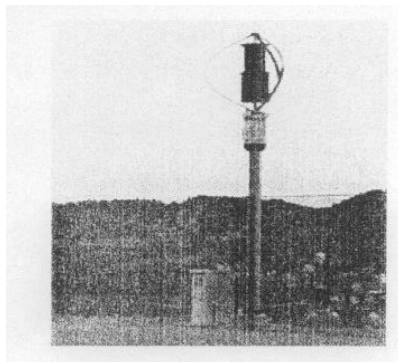


Рис.1. Вертикально- вісьова вітроустановка потужністю 500 Вт виробництва Японії (фірма Ecology end Energy), вітроколесо - комбінація трилопатевого ротора Дар'є и ротора Савоніуса. Коефіцієнт використання енергії вітру $C_p = 0,15$.

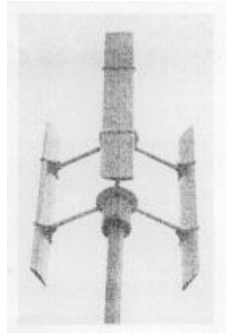


Рис.2. Вертикально- вісьова вітроустановка потужністю 500 Вт виробництва КНР (фірма Aerowind Systems), вітроколесо - трилопатевий ротор Дарье . Коефіцієнт використання енергії вітру $C_p = 0,23$.

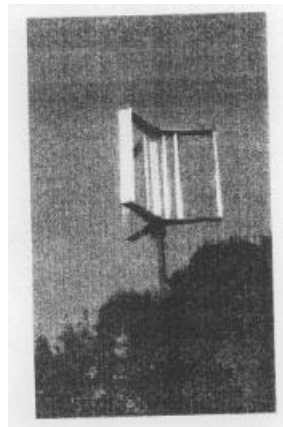


Рис.3. Вертикально- вісьова вітроустановка потужністю 500 Вт виробництва Німеччини (фірма Sirena), вітроколесо - комбінація трилопатевого ротора Дарье и ротора Савониуса. Коефіцієнт використання енергії вітру $C_p = 0,1$. Вартість ВУ 2189 EUR.



Рис.4. Вертикально- вісьова вітроустановка потужністю 750 Вт виробництва Італії (фірма Rorates), вітроколесо - комбінація трилопатевого ротора Дарье и ротора Савониуса. Коефіцієнт використання енергії вітру $C_p = 0,2$. Вартість ВУ 3700 EUR.

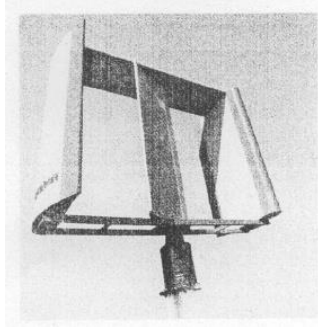


Рис.5. Вертикально- вісьова вітроустановка потужністю 2 кВт виробництва Німеччині (фірма Sirena), вітроколесо - комбінація дволопатевого ротора Дар'є и ротора Савониуса. Коефіцієнт використання енергії вітру $C_p=0,3$. Вартість ВУ 13720 EUR.

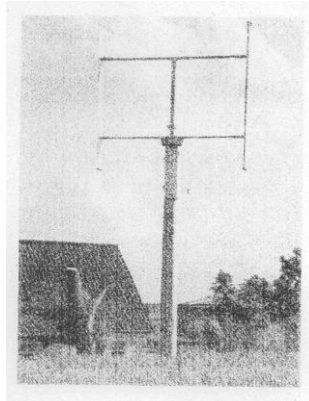


Рис.6. Вертикально- вісьова вітроустановка потужністю 5 кВт виробництва Німеччині (фірма TASSA), вітроколесо - дволопатекий ротор Дар'є. Коефіцієнт використання енергії вітру $C_p=0,29$.

Аналіз пропонованих на ринку типів вертикально - вісьових ВУ малої потужності показав, що більшою частиною у вітроколесах використовуються ротори Савониуса, крилові лопаті, а також комбінація ротора Савониуса і крилових лопатей. Показники ефективності використання енергії вітру знаходяться у межах $C_p \leq 0,3$. Винятком можуть бути вітроколеса з концентратором вітру. Вартість 1 кВт встановленої потужності ВУ за наявними даними коливається у межах від 4000 до 7000 EUR.

Формулювання цілей статті. Мета статті - обґрунтування вибору типів вітроколес вертикально-вісьових вітроустановок, які можуть бути найбільш переважними в умовах України на базі результатів аналізу інформації за вже існуючими ВУ і досліджень автора.

Виклад основного матеріалу. Різноманіття існуючих типів вітроколес як горизонтально-вісьових, так і вертикально-вісьових вітроустановок диктується вітровими і економічними умовами, технологічними можливостями, а також видом перетворюючих

енергетичних пристроїв (генератори, акумулятори, теплогенератори тощо). В Україні, як вже говорилося вище, прибережні і південні території мають більш високу середньорічну швидкість вітру, тому в цих зонах достатньо ефективними можуть бути як горизонтально-вісьові, так і вертикально-вісьові ВУ. Крім того, напрямок вітру може змінюватися не так часто, порівняно з внутрішніми областями, і застосування швидкохідних горизонтально-вісьових ВУ має хороші перспективи. Що стосується внутрішньої території України, то невисока середньорічна швидкість і часта зміна напрямку вітру обумовлюють застосування досить ефективних у цих умовах і порівняно недорогих ВУ. Мова може йти про ВУ з лопатями, що використовують силу лобового опору, а також про вертикально-вісьові ВУ з прямими лопатями, які мають криловий профіль. Але перші мають низький C_p , а другим необхідні пристрої для запуску і виведення вітроколеса на робочий режим. Для цього найчастіше використовують у вітроколесі комбінації лопатей Савониуса і крилових. Але в цьому випадку виникає проблема узгодження характеристик за θ .

У даний час розроблені і досліджені модельні і дослідні зразки роторів вертикально-осьових ВУ з лопатями, що мають профілі оригінальної форми, названі КН (крилові незамкнуті) [7,8]. Оригінальні лопаті при рушанні і розкручуванні вітроколеса використовують і силу лобового опору, і підйомну силу, а при виході на робочий режим - тільки підйомну силу, в силу цього забезпечуючи самозапуск і вихід на робочий режим вітроколеса і досить високий C_p . Крім того, їх особливістю є робота в області так званої середньої швидкохідності: $1 < \theta < 3$, що обумовлює величину відцентрової сили істотно нижче в порівнянні з швидкохідними вітроколесами. Розглянемо в якості ілюстрації до вищесказаного залежність коефіцієнта питомої відцентрової сили лопаті (при одиничній масі та одиничному радіусі обертання центра мас лопаті) від коефіцієнта швидкохідності θ .

Безрозмірним коефіцієнтом відцентрової сили лопаті C_Q будемо вважати її відношення до динамічного напору потоку вітру q_∞ і площі поздовжнього перерізу лопаті по хорді S_l .

$$C_Q = \frac{Q}{q_\infty S_l} = \frac{m U_l^2}{R_m \frac{\rho_\infty}{2} U_\infty^2 S_l} = K \theta^2$$

де m – маса лопаті;

U_l - лінійна швидкість лопаті;

R_m - радіус траєкторії лопаті;

ρ_l - густина повітря;

U_∞ - швидкість вітрового потоку на нескінченність;

$S_{л}$ - площа поздовжнього перерізу лопаті по хорді;

K – коефіцієнт, що залежить від геометричних та масових параметрів ротора ВУ, який дорівнює:

$$K = \frac{2m}{R_m \rho_e S_{л}}$$

Отримана залежність є параболою з вершиною у центрі системи координат $\theta - C_Q$. Збільшення коефіцієнта швидкохідності з θ_1 і θ_2 підвищує питому відцентрову силу в $(\theta_2 / \theta_1)^2$. При порівнянні величини питомої відцентрової сили для тихохідних вертикально-вісьових ВУ ($\theta = 0,8$) і швидкохідних ($\theta = 6$) видно, що величина C_Q зростає більш ніж у 56 разів. Крім того, збільшення швидкохідності вітроколеса ВУ підвищує рівень вібрацій, знижуючи надійність і термін служби ВУ, а також рівень шуму, погіршуючи тим самим екологічні характеристики ВУ.

Порівняння потужних характеристик вітроколес вертикально-вісьових ВУ показує, що вітроколесо з лопатями КН має досить високий коефіцієнт використання енергії вітру (C_p) при швидкохідності $\theta = 1,3$ (рис. 7).

Таким чином, конструкція та характеристики потужності вітроколес з даними лопатями забезпечують самозапуск ротора, роботу і при невисоких швидкостях вітру і досить високий коефіцієнт використання енергії вітру при середній швидкохідності.

Лопать типу КН проста за конструкцією, що зумовить зниження вартості ВУ. Крім того, зменшення вартості може бути досягнуто за рахунок роботи ВУ в області середньої швидкохідності, що тягне за собою зниження вимог до міцності конструкції ВУ і, отже, її здешевлення.

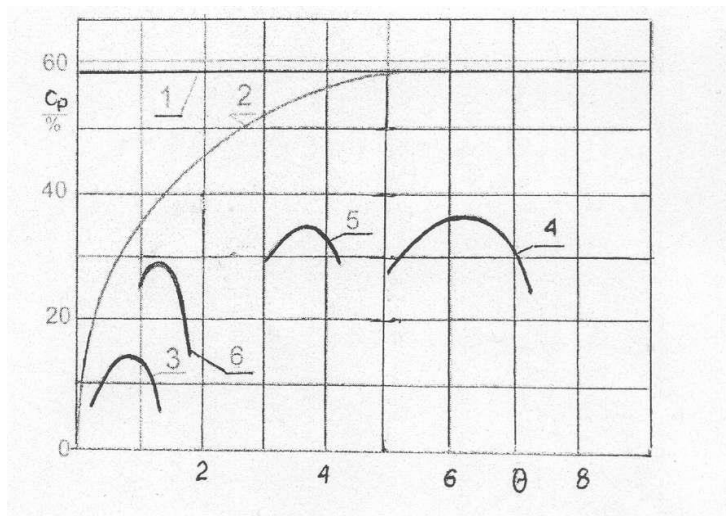


Рис.7. Розташування характеристик потужності вертикально – вісьових ВУ за швидкохідністю (θ) відносно критеріїв Жуковського –

Бетца(1) і Глаурта (2): 3 – ротор Савоніуса; 4 – ротор Дар'є; 5 – ротор з прямими криловими лопатями ; 6 – ротор з лопатями КН-6.

З урахуванням вищевикладеного, вертикально-вісьові ВУ середньої швидкохідності можуть бути цілком конкурентоспроможні в умовах сучасного ринку. На жаль, виготовлення вертикально - вісьових ВУ з лопатями типу КН до цього часу не реалізовано в силу економічних причин.

Висновки. Для вибору типу вітроустановки основним критерієм, поряд з її ефективністю, є величина середньорічної швидкості вітру в регіоні її планованого розміщення. В Україні середньорічне значення швидкості невисоке: на більшій частині території не перевищує 5м/с, а в південних областях може досягати 7м/с.

Аналіз пропонованих на ринку типів вертикально - вісьових ВУ малої потужності показав, що показники ефективності використання енергії вітру здебільшого знаходяться у межах $C_p \leq 0,3$ при високій вартості 1 кВт встановленої потужності.

У даний час в Україні розроблені і досліджені на модельних і дослідних зразках вертикально-вісьові вітроколеса з лопатями, що мають профілі оригінальної форми, названі КН (крилові незамкнуті). Конструкція і характеристики потужності вітроколес з лопатями КН забезпечують самозапуск ротора, роботу і при невисоких швидкостях вітру, і досить високий коефіцієнт використання енергії вітру.

Лопать типу КН проста за конструкцією, що зумовить зниження вартості ВУ. Крім того, зменшення вартості може бути досягнуто за рахунок роботи ВУ в області середньої швидкохідності, що тягне за собою зниження вимог до міцності конструкції ВУ і, отже, її здешевлення.

Запропоновані ВУ середньої швидкохідності з лопатями типу КН можуть бути застосовані у всіх регіонах України і цілком конкурентоспроможні в умовах сучасного ринку.

Література

1. *Онiпко О.Ф., Коробко Б.П., Миханюк В.М.* Вітроенергетика та енергетична стратегія. – Київ. «Фенікс», 2008.-168с.

2. *Ветроэнергетика / Под. ред. Д. де Рензо: Пер. с англ. // Под ред. Шефтера –М.: Энергоатомиздат, 1982. – 272 с.*

3. *Твайделл Дж, Уэйр А.* Возобновляемые источники энергии: Пер. с англ. –М.: Энергоатомиздат, 1990. – 392 с.

4. *В.А. Дзендзерский, С.В. Тарасов, И.Ю. Костюков.* Ветроустановки малой мощности. – Киев. «Наукова думка», 2011. – 591с.

5. *Денисенко О.Г., Козловский Г.А., Федосенко Л.П., Осадчий А.И.* Преобразование и использование ветровой энергии. – Киев.: «Тэхника», 1992. – 176с.

6. *Арышев Ю.А., Борщ В.Л.* Оценка эффективности использования быстроходных ветроагрегатов в условиях ветрового режима Днепропетровской области. // Тези доп. УІ наук. практ. конф. з пит. розв. й впров. техніки і технологій викор. нетрад. і відновл. джерел енергії.– АР Крим.– 1-6 вересня 1997. –АР Крим, 1997. – С.6.

7. *Коваленко В.М., Рожкова Л.Г.* Вертикально-осевые ветроустановки средней быстроходности. // Сб. праць ІІ Української науково-технічної конференції „Гідромеханіка в інженерній практиці”. –Київ-Черкаси, 1997 – С.202-204.

8. *Рожкова Л.Г.* «Нові форми профілів лопатей вертикально-вісьових вітроустановок середньої швидкохідності». Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. – 2005р.

ВЫБОР ТИПА ВЕТРОУСТАНОВОК ДЛЯ УСЛОВИЙ УКРАИНЫ.

Рожкова Л.Г.

Аннотация – данная статья посвящена выбору типа вертикально-осевых ветроустановок, которые могут быть наиболее эффективными в ветровых условиях Украины.

THE CHOICE OF THE TYPE OF WIND TURBINE FOR CONDITIONS OF UKRAINIAN

Rozhkova L.

Summary

This article is dedicated to the problem of selection of a peak-axial wind turbine that can be most effective in the wind conditions of Ukraine.