



УДК 620.91

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ

Назаренко І.П., д.т.н.

Таврійський державний агротехнологічний університет

Тел. (0619) 42-11-52

Анотація – в статті запропонований спосіб підвищення ефективності вітроенергетичної установки за рахунок покращення умов обтікання повітрям лопатки вітроколеса. Наведені порівняльні аеродинамічні характеристики лопаток вітроенергетичних установок.

Ключові слова: вітроенергетична установка, вітродвигун, вітроколесо, лопатка вітроколеса, приграничний шар повітря, позадвужня щілина, повітряний потік, аеродинамічні характеристики.

Постановка проблеми. Вітроенергетична установка являє собою комплекс взаємопов'язаного обладнання і споруд та призначена для перетворення енергії вітру в інші види енергії (електричну, механічну, теплову і т. п.). Потужність вітроенергетичної установки напряму залежить від діаметра лопаток вітроколеса і швидкості вітру [1]. При зменшенні швидкості вітру потужність буде знижуватися, однак збільшення діаметра лопаток вітроколеса дозволить виробляти необхідну потужність і при зниженій швидкості вітру. Також, потужність вітроенергетичної установки залежить і від форми лопатки, яка забезпечує обтікання повітряного потоку по всій її довжині, тобто, іншими словами, форма (конструкція) лопатки дає можливість керувати приграничним шаром повітря. Але, зміна форми лопатки супроводжується великими витратами на її виготовлення, які не завжди є доцільними. Тому, пошук способів керування приграничним шаром повітря без змінення форми лопатки, який би забезпечив збільшення потужності вітроенергетичної установки, є актуальним завданням.

Аналіз останніх досліджень. Основним елементом вітродвигуна є вітроколесо. За принципом роботи, будовою і робочому положенню колеса у повітряному потоці вітродвигуни розділяють на три основних класи: крильчаті, карусельні і роторні, барабанні. Найбільш ефективними є крильчаті вітродвигуни, які отримали переважне розповсюдження [1].

Принцип роботи вітроколеса заснований на використанні підйомних аеродинамічних сил, які виникають на лопатках при набіганні повітряного потоку на їх перетин, що мають спеціальний профіль. Складання поступальної швидкості потоку і окружної швидкості перетину дає відносну швидкість, з якою потік впливає на лопатку під кутом, що називається кутом атаки для даного перетину лопатки.

Формування цілей статті. Підвищити ефективність вітроенергетичної установки за рахунок поліпшення аеродинамічних характеристик лопаток вітроколеса.

Основна частина. Для керування приграничним шаром повітря необхідно «затягнути» перехід ламінарного приграничного шару в турбулентний по профілю лопатки (зменшити опір тертю). Це можливо, якщо змінити форму лопатки так, щоб точка мінімуму тиску змістилася за напрямком до краю сходу повітря із лопатки. Іншими словами, між приграничним шаром повітря, який відірвався, і поверхнею лопатки вітроколеса утворюється область тиску, який збільшений у порівнянні з безвідривним обтіканням, тому доцільно знизити тиск в цій області з тим, щоб відновити безвідривне обтікання. Цього можливо досягти, якщо з області за місцем відриву безперервно відсмоктувати деяку кількість повітря.

У відповідності з вище викладеним було запропоновано виконати повздовжню щілину по профілю лопатки вітроколеса під кутом α до дотичної, який менше 90° (рисунк 1) [2]. Причому, сама повздовжня щілина не повинна бути направлена назустріч руху повітря.

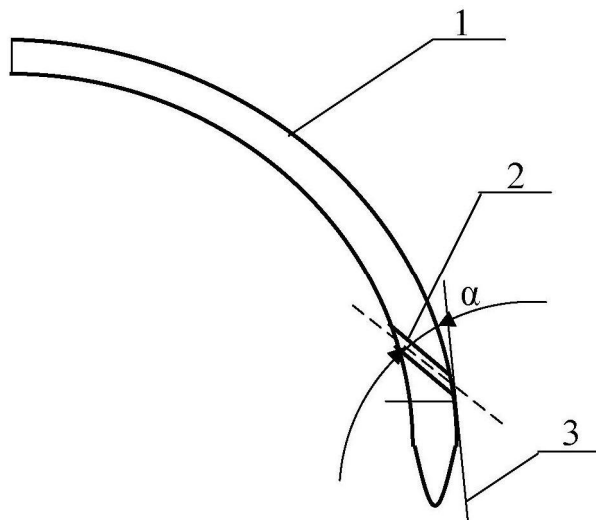


Рис. 1. Профіль лопатки: 1- поверхня лопатки; 2 – повздовжня щілина; 3 - дотична

За рахунок виконання повздовжньої щілини 2 на лопатці під дією різниці тиску на нижній та верхній поверхні лопатки вітроколеса, повітряний потік спрямовується через повздовжню щілину 2 з області

до лопатки в область після лопатки (рисунок 2). На верхній поверхні лопатки отримується додатковий повітряний потік, поле швидкостей якого накладається на поле швидкостей приграничного шару, і, в результаті, точка відриву шару повітряного потоку 3 зсувається по поверхні лопатки з відстані l_1 до відстані l_2 вздовж за потоком повітря, причому, $l_1 < l_2$, що змінює витрати енергії на турбулізацію потоку та збільшує продуктивність за рахунок чіткого формування потоку. За результатом цього збільшується коефіцієнт підйомної сили лопатки, зменшується сила тертя лопатки з повітрям та, в цілому, збільшується потужність вітроенергетичної установки при однакових швидкостях вітру.

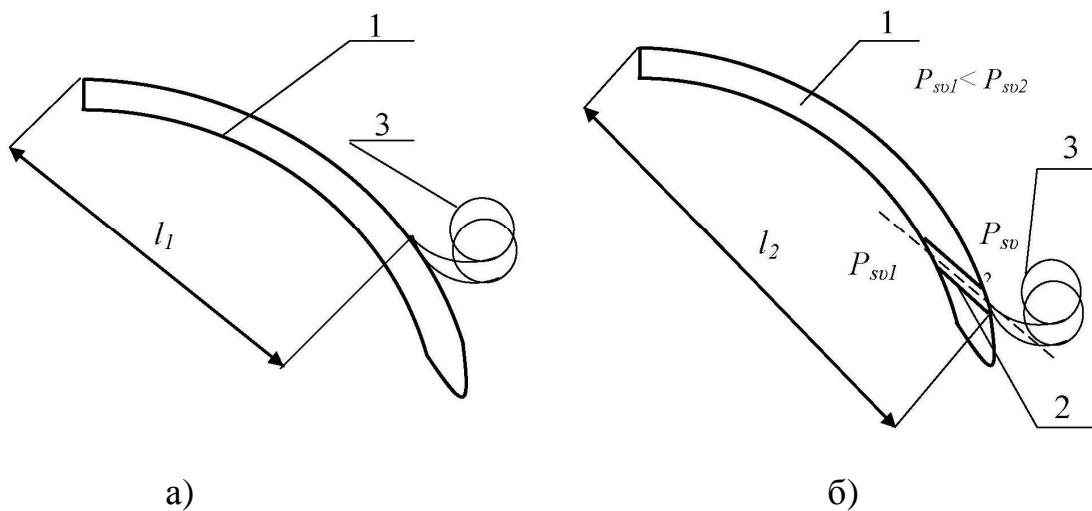


Рис. 2. Рух повітря по профілю лопатки вітроколеса: а – без повздовжньої щілини; б – з повздовжньою щілиною; 1 – лопатка вітроколеса; 2 – повздовжня щілина; 3 – шар повітряного потоку.

На практиці є деякі труднощі при перевірці аеродинамічних характеристик лопаток вітроколеса. Наприклад, перед лопатками повітряний потік турбулентний та при вимірюванні на різній висоті лопатки, швидкість повітря буде відрізнятися. Тому для перевірки наведеного, при проведенні порівняльних досліджень аеродинамічних характеристик лопаток, запропоновано вітроколесо помістити в аеродинамічну трубу. Дослідження проводилися згідно методики, викладеної у [3].

Для обробки результатів згідно [3], використовували наступні формули розрахунку.

Щільність атмосферного повітря (ρ_a), кг/м^3 при випробуванні визначають за формулою



$$\rho_a = \frac{P_a}{R_a T_a}, \quad (1)$$

де P_a – атмосферний тиск, Па;

R_a – газова постійна, Дж/(кг*К), $R_a = 287$ Дж/(кг*К);

T_a – температура навколишнього середовища, К.

Нагрів повітря перед вітроколесом (δT_1), К, визначають за формулою

$$\delta T_1 = 273,15 + (t_1 - t_a), \quad (2)$$

де t_1 – температура повітря перед вітроколесом, град С;

t_a – температура атмосферного повітря, °С.

Об'ємну витрату (Q_a), м³/с, атмосферного повітря через витратомірний пристрій визначають за формулою

$$Q_a = \alpha \varepsilon \frac{\pi d^2}{4} \left(\frac{2P_c}{\rho_a} \right)^{1/2} \varepsilon_c, \quad (3)$$

де α - коефіцієнт витрати сопла Вентурі, $\alpha = 0,985$ од;

ε - поправочний коефіцієнт на розширення атмосферного повітря у витратомірі, $\varepsilon = 1$ од;

d - діаметр мірного перетину витратомірного пристрою, м;

P_c - вимірювана різниця статичних тисків у витратомірі, Па;

ε_c - поправочний коефіцієнт на розташування витратоміра, $\varepsilon_c = 1$.

Для побудови аеродинамічної характеристики вітроколеса за [4] визначають наступні параметри:

1. Продуктивність вітроколеса (Q), м³/с рівну об'ємній витраті, яка відповідає параметрам загальмованого потоку при вході у вітроколесо, визначають за формулою

$$Q = Q_a \varepsilon_1, \quad (4)$$

де ε_1 - коефіцієнт врахування стискання.

$$\varepsilon_1 = \left(1 + \frac{\delta T_1}{T_a} \right) \left(1 - \frac{P_m - P_{d1}}{P_a} \right)^{-1}, \quad (5)$$

де P_m - різниця абсолютних статичних тисків за вітроколесом и перед ним, Па;

P_{d1} - динамічний тиск потоку перед вітроколесом без врахування стискання, який визначається за формулою



$$P_{d1} = \frac{\rho_a}{2} \left(\frac{4Q_a}{\pi D_1^2} \right)^2 \quad (6)$$

є $D_1 = D_2$ - діаметр повітроводу у вимірювальному перетині, м.

2. Повний тиск вітроколеса (P_v), Па, визначають вимірювальною різницею абсолютних повних тисків потоку за вітроколесом і перед ним у відповідності з формулою

$$P_v = P_{01} - P_{02}, \quad (7)$$

де P_{02} - абсолютний повний тиск потоку за вітроколесом, Па;

P_{01} - абсолютний повний тиск потоку перед вітроколесом, Па;

3. Повний к.к.д. вентилятора (η) визначають відношенням корисної потужності за повним тиском вітроколеса до потужності, яка споживається, згідно формули

$$\eta = \frac{N_v}{N} \quad (8)$$

де N_v - корисна потужність вітроколеса за повним тиском, Вт, яка визначається за формулою

$$N_v = P_v \cdot Q, \quad (9)$$

Проведеними дослідженнями та після обробки результатів, отримані залежності к.к.д. вітроколеса з лопатками без повздовжньої щілини та з нею (рисунок 3).

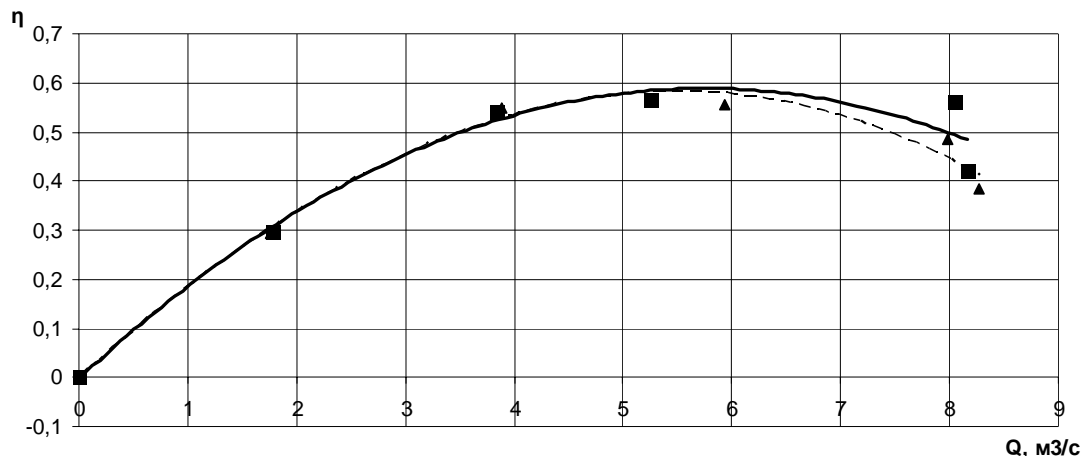


Рис. 3. Залежність повного к.к.д (η) вітроколеса від витрати повітря (Q), м³/с: — характеристика вітроколеса без повздовжньої щілини; - - характеристика вітроколеса з повздовжньою щілиною.

Висновки. Проведеними дослідженнями встановлено, що при витратах повітря понад 6 м³/с спостерігається збільшення к.к.д лопаток



вітроколеса з повздовжньою щілиною, і при $Q=8\text{м}^3/\text{с}$ це збільшення становить більше 11%.

Література

1. Дидур В.А. Гидроаеромеханика и её использование в энергетике АПК / В.А. Дидур и др. – М: Издательство Московского государственного агроинженерного университета имени В.П. Горячкина. – 2008. - 388с.
2. Патент 100287 Україна, МПК F04 D29/00. Осьовий вентилятор / В. А. Дідур, А. Б. Чебанов (Україна). – u201411866; заявл. 03.11.2014; опубл. 27.07.2015, Бюл.№14. – 2с.
3. ГОСТ 10921-90. Вентиляторы радиальные и осевые. Методы аэродинамических испытаний. – Введен 29.12.90. - М.: Изд-во стандартов, 1990. – 33 с.
4. ГОСТ 10616-90. Вентиляторы радиальные и осевые. Размеры и параметры. – Введен 27.03.90. - М.: Изд-во стандартов, 1990. – 13 с.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

И.П. Назаренко

Аннотация – в статье предложен способ повышения эффективности ветроэнергетической установки за счёт улучшения условий обтекания воздухом лопасти ветроколеса. Приведены сравнительные аэродинамические характеристики лопаток ветроэнергетических установок.

INCREASE EFFICIENCY WIND TURBINE

I. Nazarenko

Summary

The method for increasing the efficiency of the wind power plant by improving the conditions of air flow over the blades of the wind wheel is proposed. The aerodynamic characteristics of the blades of wind turbines are shown.