

УДК 620.92

ВИЗНАЧЕННЯ ВЕРХНЬОЇ МЕЖІ КОЕФІЦІЄНТУ ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГІЇ ВІТРУ ТИХОХІДНОГО ВІТРОКОЛЕСА

Жарков В.Я. , к.т.н.

Таврійський державний агротехнологічний університет

Тел (0619)-42-31-59

Жоров В.І. к.т.н.,

Жоров С.В., інженер

Національний науковий центр "Інститут механізації та електрифікації сільського господарства"

Тел (04472)-3-11-00

Анотація – встановлено, що в режимі номінального навантаження залишкова швидкість вітру перед тихохідним вітроколесом становить **0,9** від швидкості живого вітру, що відповідає верхній межі коефіцієнту використання енергії живого вітру **0,432**.

Ключові слова – тихохідне вітроколесо, швидкість живого вітру, коефіцієнт використання енергії живого вітру.

Постановка проблеми. З літератури відомо, що найвищі значення коефіцієнту використання енергії вітру, отримані на будь-коли випробуваних вітроколесах, знаходяться в межах 0,42...0,45. В зв'язку з цим виникає питання про верхню межу цього показника, яка могла б слугувати орієнтиром під час розробки нових вітродвигунів.

Спроби використання в якості такого орієнтира критерію Жуковського-Бетца (0,593) виглядають непереконаливими, оскільки даний критерій стосується ідеального вітроколеса (ВК) і має занадто великий відрив від коефіцієнтів використання реальних вітродвигунів. Такий орієнтир міг би бути знайденим шляхом приведення ідеального коефіцієнта до реальних умов, але на сьогодні не існує необхідних для цього коефіцієнтів перерахунку.

Аналіз останніх досліджень. В теорії ідеального ВК [1,2,3] приймаються два головних припущення, які корінним чином відрізняють його від реального. Першим є відома усім відсутність втрат енергії, а другим – ніким не афішована відсутність втрат швидкості вітру перед ВК. За цих припущень аналітичним шляхом визначається ідеальний коефіцієнт використання (0,593), який отримується як частка від енер-

гії потоку перед вітроколесом, а значить, в силу другого припущення, і як така ж за величиною частка від енергії живого вітру. В дійсності, частина живого вітру перед реальним вітряком розсіюється [2,3]. Причому, втрата швидкості вітру тим вища, чим вище навантаження на ВК і, відповідно вищий його аеродинамічний опір. Для реального вітряка ідеальний коефіцієнт використання є проміжною характеристикою, яка показує верхню межу потужності ВК в частках від енергії вхідного повітря. Отже, щоб знайти цю ж межу потужності в частках від енергії живого вітру, необхідно знати характеристику втрати швидкості вітру перед ВК.

Формулювання цілей статті. Експериментальним шляхом знайти втрату швидкості вітру перед ВК та на цій основі визначити верхню межу коефіцієнту використання енергії вітру тихохідного ВК.

Основна частина. Нехай в результаті взаємодії вітру з лопатями ВК швидкість вітру змінюється від u_1 перед ВК до u_2 – за ВК. Тоді рушійна сила, яка діє на ВК з боку вітру, визначиться як різниця тисків перед та за ВК [3]

$$F = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot (u_1^2 - u_2^2) , \quad (1)$$

де ρ – густина повітря; за температури $+10^\circ\text{C}$ та нормального атмосферного тиску, $\rho = 1,25 \text{ кг/м}^3$;

S – площа сліду лопатей в площині обертання, м^2 .

Під час рівноуповільненого руху повітря в площині обертання середня швидкість потоку через ВК визначається у відповідності з відомим виразом

$$u = \frac{1}{2}(u_1 + u_2) \quad (2)$$

Якщо втрати відсутні, механічна потужність ВК дорівнює

$$N = F \cdot u = \frac{1}{4} \cdot \rho \cdot S \cdot (u_1^2 - u_2^2) \cdot (u_1 + u_2) \quad (3)$$

Визначимо швидкість потоку за ВК, яка відповідає його найбільшій потужності. Для цього візьмемо першу похідну від потужності за швидкістю u_2 та прирівняємо її до нуля. Корені отриманого рівняння знаходяться з теореми Вієта. В результаті маємо

$$u_2 = \frac{1}{3}u_1 , \quad (4)$$

тобто, як і за [1,2,3], потужність ВК досягає максимальної величини за умови, коли швидкість потоку за ВК втричі нижча ніж перед ВК.

Підставимо у вираз (3) швидкість за ВК із (4) і отримаємо наступну формулу для максимальної потужності ВК

$$N_{max} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot u_1^3 \cdot \frac{16}{27} = P_1 \cdot \xi_{io}, \quad (5)$$

де P_1 – енергія вітру перед ВК, Вт;

$$\xi_{io} = \frac{16}{27} = 0,593 – \text{ідеальний коефіцієнт використання.}$$

Для реального вітродвигуна швидкість потоку u_1 перед ВК завжди нижча від швидкості живого вітру u_0

$$u_1 < u_0. \quad (6)$$

Відносне зниження швидкості потоку перед ВК назвемо коефіцієнтом залишкової швидкості та позначимо ν . За цим визначенням

$$\nu = \frac{u_1}{u_0}, \quad (7)$$

звідки

$$u_1 = \nu \cdot u_0 \quad (8)$$

Підставимо у вираз (5) швидкість потоку перед ВК із (8). Отримаємо максимальну потужність ВК у вигляді

$$N_{max} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot u_0^3 \cdot \frac{16}{27} \cdot \nu^3 = P_0 \cdot \xi_{io} \cdot \nu^3, \text{ або } N_{max} = P_0 \cdot \xi^*, \quad (9)$$

де P_0 – енергія живого вітру, Вт;

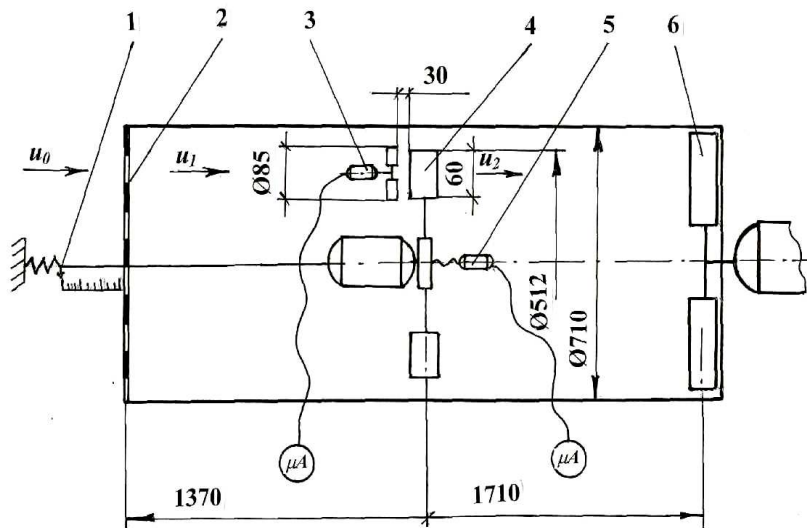
$$\xi^* = \xi_{io} \cdot \nu^3 – \text{ідеальний коефіцієнт використання реального ВК.}$$

Тобто, верхня межа коефіцієнту використання реального вітряка дорівнює коефіцієнту використання ідеального ВК, помноженому на підведений до третього ступеню коефіцієнт залишкової швидкості вітру перед ВК.

Залишкова швидкість вітру вимірювалась за допомогою тахогенератора 3 з крильчаткою та мікроамперметра з шунтом. Крильчатка розміщувалась в аеродинамічній трубці так, що її площа обертання лежала на відстані 30 мм від площини обертання ВК 4. Останнє сиділо на валу електрогальма, яке підвішувалось у трубці як маятник. До гальма приєднано тягу показника 1 відхилення підвіски від положення рівноваги. Навантаження на ВК створювалось електрогальмом, конструкція якого розглянута в [4]. Частота обертання ВК вимірювалась тахогенератором 5 та іншим мікроамперметром з шунтом. Повітряний потік у трубці створювався вентилятором 6, а його поле швидкостей вирівнювалось решіткою 2 (рис.1).

Під час проведення дослідів занотовувались швидкість повітряного потоку перед вітроколесом u_1 , відхилення підвіски від положення рівноваги x , частота обертання вітроколеса n та тангенціальна сила F_T .

На основі отриманих даних розраховувались швидкохідність ВК z та коефіцієнти використання ξ залишкової швидкості вітру ν та осьового тиску на вітроколесо f_0 .



Швидкохідність визначалась за формулою

$$z = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{u_0}, \quad (10)$$

де D – зовнішній діаметр ВК, $D=0,512$ м;

u_0 – середньозважена швидкість вітру перед ВК в режимі синхронного ходу, $u_0 = 7,35$ м/с.

Осьовий тиск потоку на ВК визначався наступним чином

$$F_0 = F_{\text{пруж}} + F_{\text{пов}} - F_{\text{гал}}, \quad (11)$$

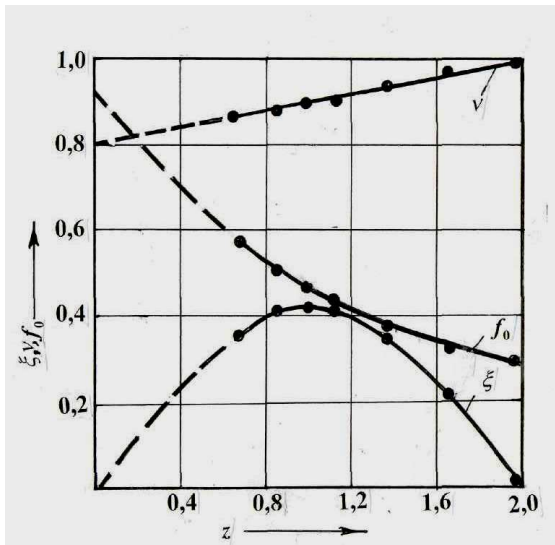
а коефіцієнт осьового тиску – за формулою

$$f_0 = \frac{F_0}{\rho \cdot S \cdot u_0^2} \quad (12)$$

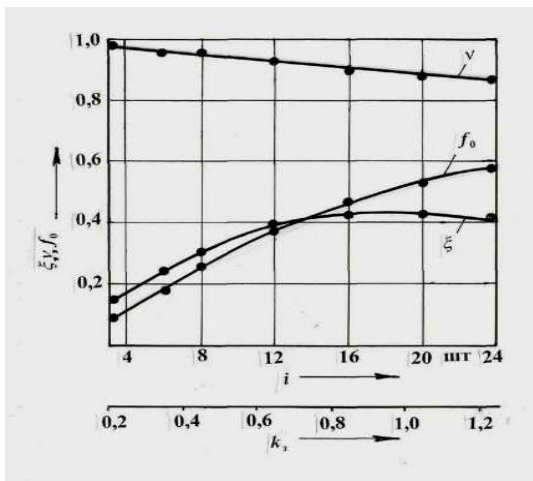
де $F_{\text{пруж}}$, $F_{\text{пов}}$ та $F_{\text{гал}}$ – сила, відповідно, натягу пружини показника відхилення, повернення підвіски у положення рівноваги та обумовлена парусністю гальма, Н;

$\rho \cdot S \cdot u_0^2$ – напір живого вітру, 5,73 Н.

Досліди проводились на ВК з плоскими лопатями розміром 60x110 мм, заклиніними під кутом 20° до площини обертання, за різної кількості лопатей i . Під час дослідів поступово збільшувалось навантаження на ВК в межах від нуля до найбільшого значення. За цього швидкохідність ВК з 16 лопатями знижувалась від 2,0 до 1,0 (рис. 2). Коефіцієнт осьового тиску зростав від 0,28 до 0,46, а коефіцієнт залишкової швидкості вітру перед ВК знижувався від 1,0 до 0,9.



Із зменшенням кількості лопатей від 16 до 3 штук, коефіцієнт залишкової швидкості вітру на вході ВК за номінального його навантаження зростає від 0,9 до 0,98, а осьовий тиск на ВК та коефіцієнт використання знижувались (рис. 3).



Найвищому коефіцієнту використання енергії вітру відповідає коефіцієнт залишкової швидкості вітру 0,9. Отже, верхня межа коефіцієнту використання енергії вітру тихохідного ВК визначається наступним чином

$$\xi^* = \xi_{\text{ід}} \cdot v^3 = 0,593 \cdot 0,9^3 = 0,432.$$

Таким міг би бути коефіцієнт використання тихохідного ВК, якби втрати енергії на ньому дорівнювали нулю.

Висновки. Основною причиною значного розриву між ідеальним та реальним коефіцієнтами використання енергії вітру тихохідного ВК є втрата швидкості вітру перед ВК. У режимі номінального навантаження залишкова швидкість вітру перед тихохідним ВК становить 0,9

від швидкості живого вітру, що відповідає верхній межі коефіцієнту використання - 0,432.

Література

1. *Жуковський Н.Е.* Ветряная мельница типа НЕЖ. ПСС, т.6. Винты. Ветряки. Вентиляторы. Аэродинамическая труба. Под ред. *А.П. Котельникова и В.П. Ветчинкина.* –М.–Л.: ОНТИ НКТП СССР, 1937. – С. 405–420.
2. *Бетц А.* Энергия ветра и ее использование посредством ветряных двигателей. Пер. с нем. и ред. *Д.М. Беленького.* – Харьков: Госнаучтехиздат Украины, 1933. – 76 с.
3. *Тепфер К.* Розрахунок вітрорушіїв і досвід їхньої роботи. Пер. з нім. *Д.М. Беленького.* – Харків: Енерговидав, 1933. – 23 с.
4. *Жоров В.І.* Дослідження зв'язку між потужністю вітродвигуна та кількістю його лопаток./ *В.І. Жоров, С.В. Жоров* Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. Вип. 73, т. 1. – Харків: ХНТУСГ, 2008. – С. 38–40.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕРХНЕГО ПРЕДЕЛА КОЭФФИЦИЕНТА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ ВЕТРА ТИХОХОДНОГО ВЕТРОКОЛЕСА

Жарков В.Я., Жоров В.И., Жоров С.В.

Аннотация - установлено, что в режиме номинальной нагрузки остаточная скорость ветра перед тихоходным ветроколесом составляет 0,9 от скорости живого ветра, что отвечает верхнему пределу коэффициента использования энергии живого ветра 0,432.

DETERMINATION OF TOP LIMIT OF THE COEFFICIENT USE OF ENERGY OF WIND OF SLOW WIND WHEEL

V. Zharkov, V. Zhorov, S. Zhorov

Summary

It is set, that in the mode of the nominal loading remaining speed of wind before slow wind wheel makes 0,9 from speed of living wind, that answers the top limit of coefficient of the use of energy of the living wind 0,432.