

Влияние на ъгъла на развитие на винтовите лопатки на ветроколело на Савониус върху неравномерността на въртящия момент

Красимир Тужаров Генчо Попов
Климент Климентов Ивайло Николаев

The impact of the development angle of a semicilindrical, helical paddles of a Savonius rotor on the unsteadiness of the torque: In the following work on the basis of theoretical relationships (1) between the torque and the rotation angle of a Savonius rotor we derive the corresponding graphs for the rotor with a semicilindrical paddle folded with respect to the helical line by conducting theoretical investigation of the influence of the angle of development on the unsteadiness of the torque.

Key words: wind power, Savonius rotor, unsteadiness of the torque.

ВЪВЕДЕНИЕ

Влиянието на броя на степените върху неравномерността на въртящия момент на ветроколелото на Савониус е разгледано в работа [3]. При увеличаване на броя N на степените тя намалява, а с увеличаването на бързоходността Z с която работи ветроколелото се увеличава. От гледна точка на равномерността на момента ветроколелата на Савониус с прави полуцилиндрични лопатки трябва да се изработват най-малко с две степени и не по-вече от три. Постоянството на момента на въртене без да се променя броят N на степените може да се получи чрез използване на колело, чиито лопатки са огънати по винтова линия (фиг. 1а).

ИЗЛОЖЕНИЕ

Изчислителната схема на изследваното работно колело е дадена на фиг. 1б. То е съставено от дисковете 1, лопатките 2 и валът 3. Лопатката се разглежда мислено като съставена от къси лопатки с дължина $h=h_0/\varphi_0$, която съответства на сектор 1° от ъгъла φ_0 на развитие на лопатката с обща дължина h_0 . Моментът $M_0(\varphi)$ получен от един участък се определя по [1], както следва:

при $\varphi = 0..90^\circ$

$$(1) \quad M_1 = 2\rho V^2 \left(1 - \frac{e}{R} Z \sin \varphi\right) \cdot \left(D - \frac{B}{2}\right) \cdot L \cdot e \cdot \sin \varphi \left[\frac{\left(D - \frac{B}{2}\right) \cdot \sin \varphi}{(B - b)} - \frac{e}{R} \right],$$

$$(2) \quad M_2 = \rho V^2 \left(1 + \frac{e}{R} Z \sin \varphi\right)^2 \left[1 - \cos\left(\frac{\pi - \varphi}{2}\right)\right] e^2 L \sin^2 \varphi + \rho V^2 \left(1 + \frac{e}{R} \sin \varphi\right)^2 \left(1 - \cos \frac{\pi}{4}\right) e L B \sin \varphi;$$

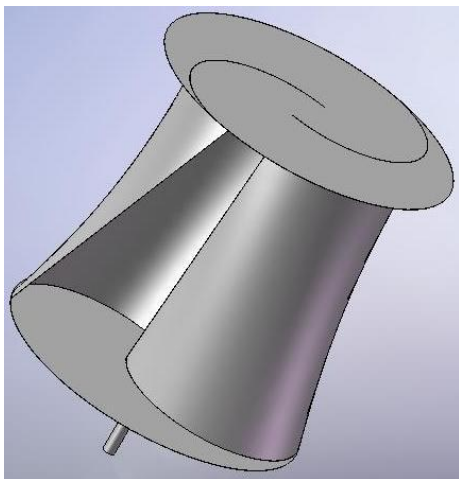
при $\varphi = 90..154^\circ$

$$(3) \quad M_1 = 2\rho V^2 \left[1 - \frac{e}{R} Z \cos\left(\varphi - \frac{\pi}{2}\right)\right] \left(D - \frac{B}{2}\right) L e \cos\left(\varphi - \frac{\pi}{2}\right) \left[\frac{\left(D - \frac{B}{2} \cos\left(\varphi - \frac{\pi}{2}\right)\right)}{(B - b)} - \frac{e}{R} \right],$$

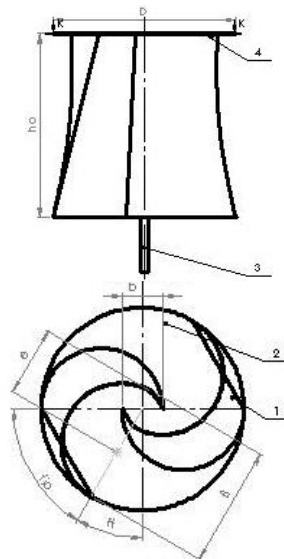
$$(4) \quad M_2 = \rho V^2 \left(1 + \frac{e}{R} Z \cos\left(\frac{\pi - \varphi}{2}\right)\right)^2 \left(1 - \cos \frac{\pi}{4}\right) e^2 L \left[\cos\left(\frac{\pi - \varphi}{2}\right)\right]^2 \rho V^2 \left(1 + e \cos\left(\frac{\pi - \varphi}{2}\right)\right)^2 \left[1 - \cos\left(\frac{\varphi}{2}\right)\right] B L e \left[\cos\left(\frac{\pi - \varphi}{2}\right)\right];$$

$$(5) \quad M_o = M_1 - M_2;$$

където D , B , b , e , $L=h_o$, φ_o са основните геометрични размери на ветроколелото (фиг. 1б); V – скоростта на въздуха; $Z = \omega R/V$ – бързоходността на ветроколелото, ω – ъгловата скорост, M_1 – активният въртящ момент на елементарния участък от работно колело; M_2 – реактивният въртящ момент на елементарния участък от работното колело; M_o – общият въртящ момент на елементарния участък от работното колело;



а



б

Фиг. 1. Основни геометрични размери на ветроколело на Савониус с винтови лопатки

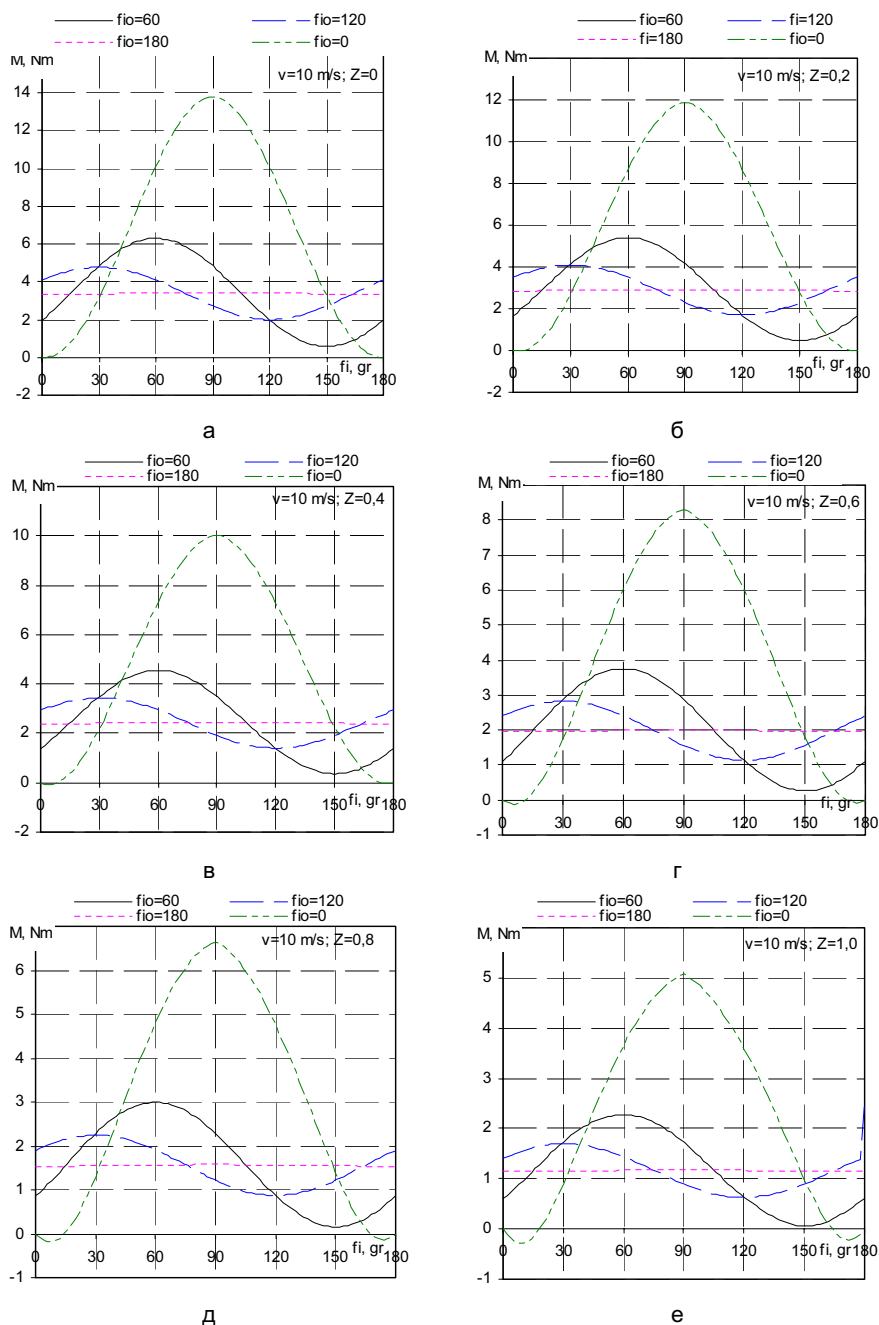
1- лопатка, 2-диск долен, 3- вал; 4-диск горен

Пълният момент M на ветроколелото се определя със зависимостта:

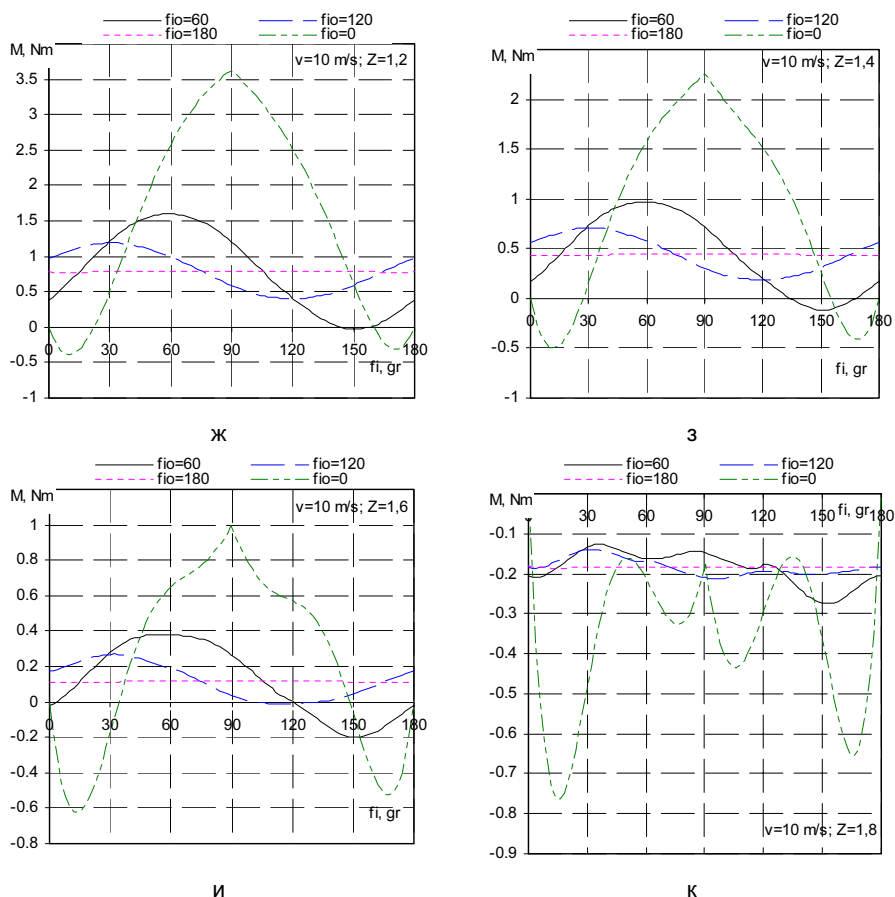
$$(5) \quad M(\varphi) = M_o(\varphi) + M_o(\varphi+1^\circ) + M_o(\varphi+2^\circ) + \dots + M_o(\varphi+\varphi_o) \\ = \sum_{i=0}^{\varphi_o} M_o(\varphi+i),$$

където φ_o е ъгълът на развитие на лопатката, i – текущият номер на елементарния участък.

Резултатите от изчислението при размери - диаметър на работното колело $D = 0,5 \text{ m}$, широчина на лопатката $B = 0,3 \text{ m}$, широчина на прохода между лопатките $b = 0,1 \text{ m}$, ексцентрицитет $e = 0,1 \text{ m}$, дължина на работното колело $h_o = L = 1 \text{ m}$, ъгъл на развитие на лопатките $\varphi_o = 0, 60, 120$ и 180 градуса са дадени графично на фиг 2 а, б, в, г, д, е, ж, з, и, к.



Фиг. 3



Фиг. 3

Скоростта на въздуха е $u = 10$ m/s, а бързоходността $Z = 0..1.8$.

Степента на неравномерност не зависи от скоростта v на вятъра и е определена по формулата:

$$(6) \quad \sigma = \frac{M_{\max} - M_{\min}}{M_{\text{avr}}},$$

където $M_{\max}$, $M_{\min}$ и M_{avr} са максималната, минималната и средната стойности на въртящия момент.

Средните стойности на момента са пресметнати с интеграла

$$(7) \quad M_{\text{avr}} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} [M(\varphi)] d\varphi,$$

където $M(\varphi)$ се определя с зависимост (5).

Резултатите са дадени на фиг. 3 под формата на графични зависимости $M = f(\varphi)$. Графиките на въртящия момент са хармонични криви, затова той се оценява с четири характеристики – средна стойност, амплитуда, фаза и честота на изменение.

Анализът е направен на две нива. Първо е разгледано влиянието на ъгъла φ_0 на развитие върху въртящия момент при постоянна бързоходност Z , а след това влиянието на бързоходността върху въртящия момент при постоянен ъгъл. База за сравнение е колело с ъгъл на развитие на лопатката $\varphi_0 = 0$ градуса.

Фазата, с която започват кривите на момента, при ъгъл на завъртане $\varphi = 0^\circ$ се определя основно от ъгълът на развитие на лопатката и се влияе слабо от промяната на Z . Увеличаването на φ_0 води до отрицателно фазовото изместване (синусоидите на момента се изместват на ляво). Влиянието на бързоходността върху фазовото изместване е най-силно при правите лопатки. При тях изместването на кривите $M(\varphi)$ е положително. Това се дължи на изкривяването им (загубват синусоидалния си характер) с увеличаването на Z (фиг. 3ж, з, и, к). Загуба на синусоидалния характер на моментните криви се наблюдава и при колелата с винтови лопатки, но само при бързоходност $Z=1,8$ (фиг. 3к).

Таблица 1

φ , gr	Z	0	0,4	0,8	1,2	1,6
0	$M_{\text{авг}}, \text{Nm}$	6,658752	4,764121	3,060752	1,548645	0,2278
60		3,405615	2,436315	1,564864	0,791262	0,11551
120		3,401817	2,434003	1,563888	0,791473	0,116757
180		3,384559	2,421542	1,555741	0,787156	0,115788

Друга особеност на характеристиките на момента е неговата *средна стойност* $M_{\text{авг}}$. При бързоходност $Z > 1,6$ средните стойности на момента стават отрицателни т.е. работното колело не работи като двигателно. По тази причина е разгледана работата на колелото при бързоходности $Z=0..1,6$. В таблица 1 са дадени изчисленията по уравнение (5) средни стойности на въртящия момент при съответния ъгъл на развитие на лопатките. Данните от таблицата показват, че $M_{\text{авг}}$ намалява при увеличаване на бързоходността Z и ъгъла φ_0 на развитие на лопатката, като по-силно е влиянието на φ_0 .

Таблица 2

φ_0 , gr	Z	0	0,4	0,8	1,2	1,6
0	σ	2,075952	2,120439	2,230231	2,585739	7,101689
60		1,67873	1,722623	1,810678	2,056141	5,012817
120		0,813812	0,834858	0,87709	0,994745	2,399308
180		0,022565	0,023048	0,024242	0,028106	0,077192

Количествената оценка на големината на *амплитудата* на момента е неговата *неравномерност*. От диаграмите на фиг. 3 и таблица 2 се вижда, че при различни постоянни стойности на Z (0, 0,4; 0,8; 1,2; 1,6) с нарастването на ъгъла на развитие на лопатката $\varphi_0 = 0..180$ градуса, стойността на неравномерността на M намалява. Например неравномерността при $Z = 0,8$ и $\varphi_0 = 0$ grad, $\sigma_m = 2,23$, а при $\varphi_0 = 180$ е $\sigma_m = 0,02$. Докато при различни постоянни стойности на φ_0 (0, 60, 120, 180 grad) с увеличаването на бързоходността Z стойността на σ слабо нараства. Например неравномерността при $\varphi_0 = 120$ grad и $Z = 0,0$ - $\sigma_m = 0,81$, а при $Z = 1,6$ grad е $\sigma_m = 2,39$. Примерите показват още, че при ъгли на развитие до 120 grad при определени стойности на ъгъла на завъртане е възможно възникване на отрицателни моменти, докато при $\varphi_0 > 120$ grad моментите са положителни. С най-голяма амплитуда се

изменят стойностите на M , при ветроколелата с $\varphi_o = 0 \text{ grad}$ - $\sigma_m = 2,07..2,58$. От гледна точка на амплитудата оптималния ъгъл на развитие φ_o на едностъпалното ветроколело на Савониус е $\varphi_o = 180$ градуса. При тази стойност на φ_o моментните стойности на M са положителни при всички ъгли φ на завъртане и имат практически нулева неравномерност.

Важна характеристика за работата на ветроколелото като двигател е и *честотата* на изменение на въртящия момент за едно пълно завъртане. Фигура 3 показва, че за една и съща бързоходност ($Z=0..1,6$) честотата на изменение на момента не се влияе от ъгъла φ_o . Ветроколелата с $\varphi_o = 180$ градуса имат нулева честота на изменение на въртящия момент.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Неравномерността на въртящия момент на едностъпално работно колело на Савониус с винтови лопатки зависи от бързоходността Z на работа и ъгъла на развитие на лопатките.

Ветроколелата на Савониус с винтови лопатки трябва да се изработват с оптимален ъгъл φ_{opt} на развитие на лопатките $\varphi_{opt} = 180$ градуса.

Винтовите лопатки увеличават работния диапазон от бързоходности на ветроколелото, тъй като то работи с положителни стойности на въртящия момент, независимо от ъгъла на завъртане φ .

ЛИТЕРАТУРА

[1] Тужаров, Кр., Г. Попов, И. Николаев, Кл. Климентов, М. Михайлов. Теоретична зависимост между безразмерния въртящ момент и бързоходността на ветроколело на Савониус. Научни трудове на РУ, том 46, серия 1, 2007.

[2] Тужаров, Кр., Г. Попов, И. Николаев, Кл. Климентов, М. Михайлов. Резултати от теоретичното пресмятане на характеристиката на ветроколело на Савониус. Научни трудове на РУ, том 46, серия 1, 2007.

[3] Тужаров Кр. Влияние на броя на секциите на ветроколело на Савониус върху неравномерността на въртящия момент. Сп. „Механика на машините“, 2009 (под печат).

За контакти:

Гл. ас. д-р инж. Красимир Тужаров, “Топлотехника, хидро и пневмотехника”, Русенски университет, Тел.: 082 / 888 -581, E-mail: tujarov@ru.acad.bg;

Доц. д-р инж. Генчо Попов, катедра “Топлотехника, хидро и пневмотехника”, Русенски университет, Тел.: 082 / 888 -580, E-mail: gspopov@ru.acad.bg;

Гл. ас. инж. Климент Климентов, “Топлотехника, хидро и пневмотехника”, Русенски университет, Тел.: 082 / 888 -581, E-mail: kklementov@ru.acad.bg.

Ст. ас. инж. Ивайло Николаев, катедра “Топлотехника, хидро и пневмотехника”, Русенски университет, Тел.: 082 / 888 -582, E-mail: nikolaev@ru.acad.bg;

Докладът е рецензиран.