

ОПИТНО ИЗСЛЕДВАНЕ НА РАБОТНИ КОЛЕЛА ЗА ВЯТЪРЕН ДВИГАТЕЛ

Валентин ОБРЕТЕНОВ, Цветан ЦАЛОВ
v_obretenov@tu-sofia.bg tsalov@tu-sofia.bg

Технически Университет – София, бул. "Кл. Охридски" 8, 1797 София, БЪЛГАРИЯ

Резюме

Представени са резултати от опитни изследвания на вятърен двигател с хоризонтална ос. Изследвано е влиянието на броя и ъгъла на поставяне на работните лопатки върху енергийните характеристики на ветроагрегата. Оптималните стойности на двата параметъра са определени чрез пълен факторен експеримент. Изследванията са проведени на стенд №7 в лабораторията по хидроенергетика и хидравлични турбомашини на ТУ – София.

Ключови думи: вятърен двигател, стенд, опитни изследвания, коефициент на мощност.

Въведение

През последните години у нас се наблюдава тенденция за ускорено усвояване на ветроенергийния потенциал. Общата инсталирана мощност на ветроагрегатите непрекъснато нараства при очевидно подобряване на качеството на оборудването. Това налага провеждането на системни изследвания за създаване на нови високоефективни модели на вятърни турбини, а също така и за подобряване на техните характеристики. Спецификата на този вид двигатели предполага наред с численото моделиране на лопатъчните им системи да се провеждат и моделни изследвания в лабораторни условия. За тази цел в лабораторията по хидроенергетика и хидравлични турбомашини (ХЕХТ) на Техническия университет в София беше проектиран и през 2008г. пуснат в експлоатация стенд за изпитване на вятърни двигатели - стенд №7 [Обретенов 2009].

В тази работа са представени резултати от опитно изследване на работни колела на ветроагрегат с хоризонтална ос. Целта на тези изследвания е определяне на оптималния брой на работните лопатки и положението им в решетката на работното колело.

Постановка на изследванията

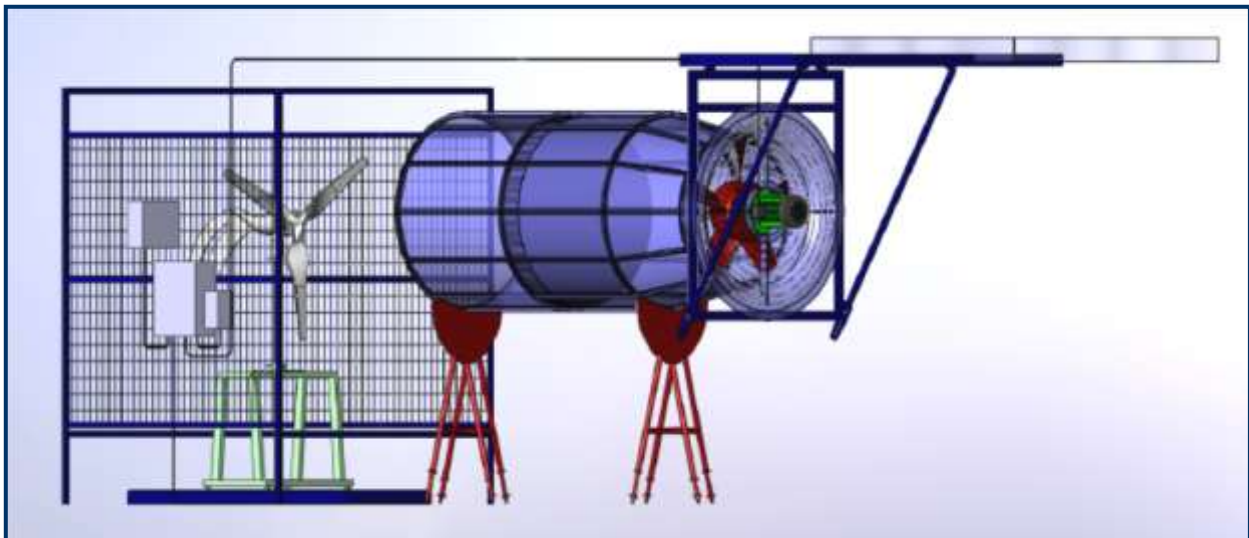
Изследванията са направени на стенд №7 в лаборатория ХЕХТ на ТУ – София. На фиг.1 е показан компютърен модел на стенда.

Въздушното течение се генерира от осов вентилатор с диаметър на работното колело $D_f=1000mm$. Вентилаторът е монтиран върху платформа, която може да се фиксира в различни положения, което дава възможност за промяна посоката на вятъра. Честотата на въртене на вентилатора се регулира в широки граници чрез честотен инвертор. По този начин може да се променя скоростта на въздушното течение (до 15 m/s).

Към изхода на вентилатора е присъединена аеродинамична тръба, която е с диаметър $D_p=1270mm$. Опорите на тази тръба позволяват да се изменя положението ѝ в зависимост от положението на вентилатора. В тръбата е монтирана изправяща решетка, а към изхода ѝ се присъединява дифузор, чийто изходен диаметър трябва да отговаря на диаметъра на изпитвания вятърен двигател. Скоростта на въздушното течение се измерва с анемометър.

Изследваният вятърен двигател с хоризонтална ос е на платформата на серийния AEOLUS 300. Диаметърът на работното му колело е $D_e=1.25 m$. Двигателят е монтиран върху вертикална мачта и може да се измества по височина чрез специално устройство. Честотата на въртене се измерва с индуктивен оборотомер. Разстоянието между вентилатора и двигателя може да се изменя, тъй като последният е

монтиран върху подвижната платформа, снабдена с ходови колела.



Фиг.1. Стенд за изпитване на вятърни двигатели

Платформата се движи върху релсов път и може да се фиксира в произволно положение.

Към вала на двигателя е присъединен постоянен ток генератор с номинално напрежение 12V. Разработено е устройство, което дава възможност за ефективно пускане на ветрогенератора в действие, за изменение на натоварването му, а също така за измерване мощността на генератора.



Фиг.2. Ъгъл на поставяне

За провеждането на експериментите бяха проектирани работни колела с подвижни лопатки (аналогично на Каплановите водни турбини), които позволяват провеждането на изследвания с брой на лопатките $z = 2 \div 10$ и промяна на ъгъла на поставянето им в решетката в границите $\varphi = 50 \div 90^\circ$ (фиг.2). Методите и устройствата за измерване на

скоростта на вятъра, мощността и честотата на въртене на ветроагрегата са описани в [Обретенов 2009]. Мярка за ефективността на

енергопреобразуване в агрегата е т.нар. коефициент на мощност c_p (по същество к.п.д. на ветроагрегата), който представлява отношение на мощностите на клемите на генератора и на въздушното течение [Duquette et al. 2003]:

$$c_p = \frac{P_g}{P_w}, \quad (1)$$

където, P_g , P_w – мощност на генератора и на въздушното течение:

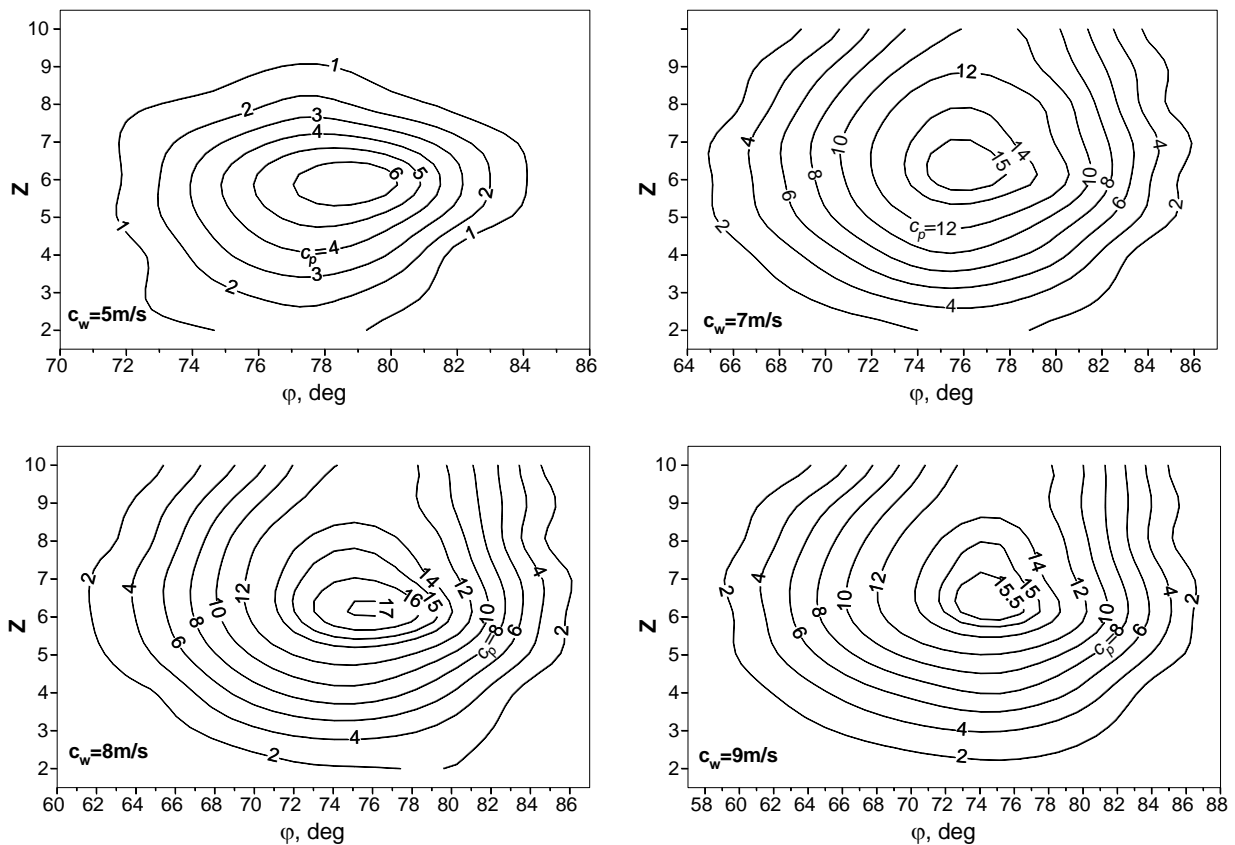
$$P_g = U.I;$$

U , I – напрежение и сила на генераторния ток;

$$P_w = \rho S \frac{c_w^3}{2}, \quad (2)$$

където ρ – плътност на въздуха; S – напречна площ на работното колело; c_w – скорост на въздушното течение;

Опитните изследвания са направени за няколко стойности на скоростта на вятъра. Проведен е пълен факторен експеримент, тъй като опитите да бъдат направени експерименти с дробни реплики показаха неадекватност на моделите.



Фиг.3. Обобщени характеристики $c_p=f(z, \varphi)$; $c_w=const$

Резултати от опитните изследвания

Основните резултати от опитните изследвания са показани в графичен вид на фиг.3.

Представени са обобщени (универсални) характеристики $c_p = f(z, \varphi)$ за стойности на средната скорост на вятъра съответно 5, 7, 8 и 9m/s.

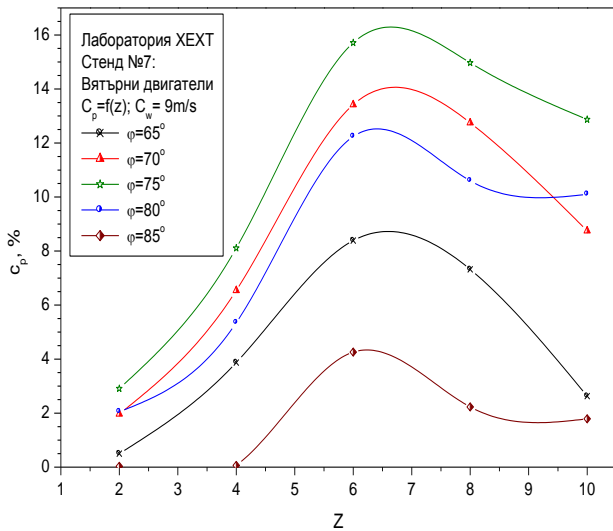
Анализ на резултатите

Резултатите от измерванията показват, че оптималната стойност на ъгъла на поставяне на работните лопатки е $\varphi = 75^\circ$. Очевидно е, че този извод е в сила за всички изследвания с различни стойности на броя на лопатките и скорости на вятъра. Освен от фиг.3, това се

вижда например на фиг.4, на която е показано изменението на коефициента на мощност c_p за различни стойности на ъгъла φ при параметър брой на лопатките за скорост на вятъра $c_w=9m/s$.

Фиг.4. Влияние на ъгъла φ

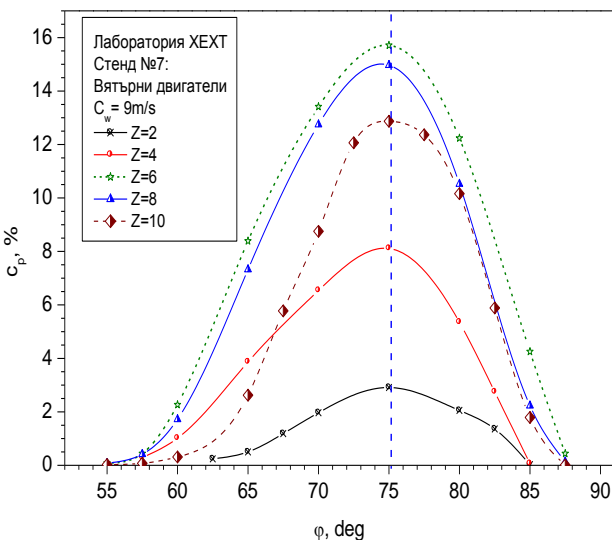
Анализът на данните показва също, че оптималният брой на лопатките е $z=6$. Този извод е илюстриран на фиг.5, на която е показано изменението на параметъра c_p в зависимост от броя на лопатките за различни стойности на ъгъла на завъртането им (посочени са на фигурата) при скорост на вятъра $c_w=9m/s$. Уместно е да се отбележи, че този извод противоречи на резултатите, получени в изследването [Brown et al. 2007].



Фиг.5. Влияние на броя на лопатките

За да се направи по-обосновано

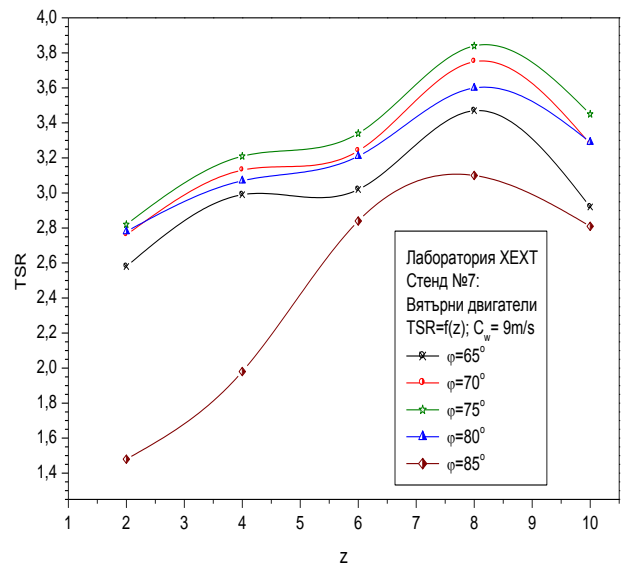
сравнение с резултатите от горното изследване са определени и стойностите на т.нар. скоростно отношение TSR,



което представлява отношение на средната скорост на вятъра към преносната скорост u в периферното сечение на работното колело (режимен параметър при активните водни турбини):

$$TSR = \frac{c_w}{u} \quad (3)$$

На фиг.6 е показано изменението на параметъра TSR в зависимост от броя на лопатките и ъгъла на поставянето им при скорост на вятъра 9m/s. Сравнението показва, че няма съществена разлика в стойностите на TSR в зоната на оптималния брой лопатки според данните от настоящото изследване и в изследването на Clarkson University [Brown et al.



Фиг.6. Изменение на скоростното отношение

2007]: $TSR = 3=4$. Известна разлика се наблюдава само в стойностите на отношението на диаметрите на главината и на работното колело.

Заклучение

Резултатите от направените опитни изследвания на вятърен двигател с хоризонтална ос дават основание да бъдат направени следните по-важни изводи:

1. Оптималният брой на работните лопатки за изследваните работни колела е $z=6$, независимо от стойностите на скоростта на вятъра и ъгълът на поставяне на лопатките в решетката (изследвана е много широка зона).
2. Оптималният ъгъл на поставяне на лопатките в решетката на работното колело е $\varphi = 75^\circ$ за всички изследвани работни колела и режими на работа.

Литература

Обретенов В. Стенд за изпитване на вятърни двигатели. XIV научна конференция ЕМФ'09, т.ІІ, Созопол, 2009, стр. 61-65.

Brown, M. and Visser, K. Optimum Blade Numbers and Solidities for Small HAWTs, AIAA-2007-1370, 45th AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit, Reno, NV., January 2007.

Duquette, M., J. Swanson and K. Visser. Solidity and Blade Number Effects on a Fixed Pitch, 50W Horizontal Axis Wind Turbine. Wind Engineering, v. 27, No. 4, 2003.

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF RUNNERS OF WIND TURBINE

V. Obretenov, Ts. Tsalov

Summary

The paper presents the results of experimental studies of horizontal axis wind turbine. The impact of the blade number is examined and the angle of placement on the runner of the blades on the energy performance of wind unit. Optimum values of both parameters are determined by full factorial experiment. The investigations were conducted on a stand #7 in the laboratory of hydro power and hydraulic turbomachines at the Technical University of Sofia.