

Моделна вятърна турбина

Валентин Обретенов, Цветан Цалов, Петър Марчев

Model wind turbine: The work presents the results of investigations carried out to develop a new model of the horizontal axis wind turbine (HAWT). The turbine is installed on a stand No 7A in the laboratory of hydropower and hydraulic turbomachinery at the Technical University - Sofia. Described are the characteristics of the structure and capabilities of the new model turbine. The results from model tests conducted.

Key words: Wind turbine, model, characteristics, runner, mode of operation, control system.

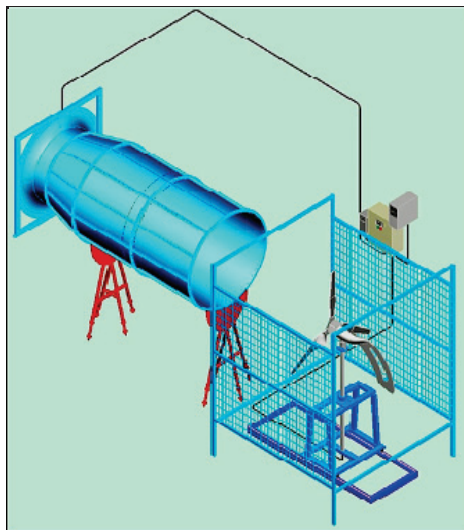
ВЪВЕДЕНИЕ

През последните години в лабораторията по хидроенергетика и хидравлични турбомашини (ХЕХТ) на ТУ-София се провеждат системни изследвания на вятърни двигатели с хоризонтална и вертикална ос. В 2009г. беше пуснат в експлоатация стенд за моделни изследвания на вятърни турбини с хоризонтална ос [1]. С цел валидиране на разработените методи за синтез на лопатъчните системи на вятърни турбини от този тип бе създаден моделен блок, в основата на който беше заложен серийния ветроагрегат AEOLUS-300 [6]. Необходимостта от провеждането на прецизни опитни изследвания на разработваните лопатъчни системи, както и съблюдаването на изискванията на стандартите [4,5] наложи проектирането на нова моделна турбина.

В работата са описани особеностите на конструкцията и възможностите на новата моделна турбина. Представени са резултати от проведени моделни изследвания.

ОПИТНА УРЕДБА

На фиг.1 е представен компютърен модел на стенда с базовия ветроагрегат AEOLUS, а в таблица 1 – основните параметри на изпитваните на стенда турбини.



Фиг.1. Стенд за изпитване на вятърни турбини (стенд №7А)

Таблица 1. Основни параметри

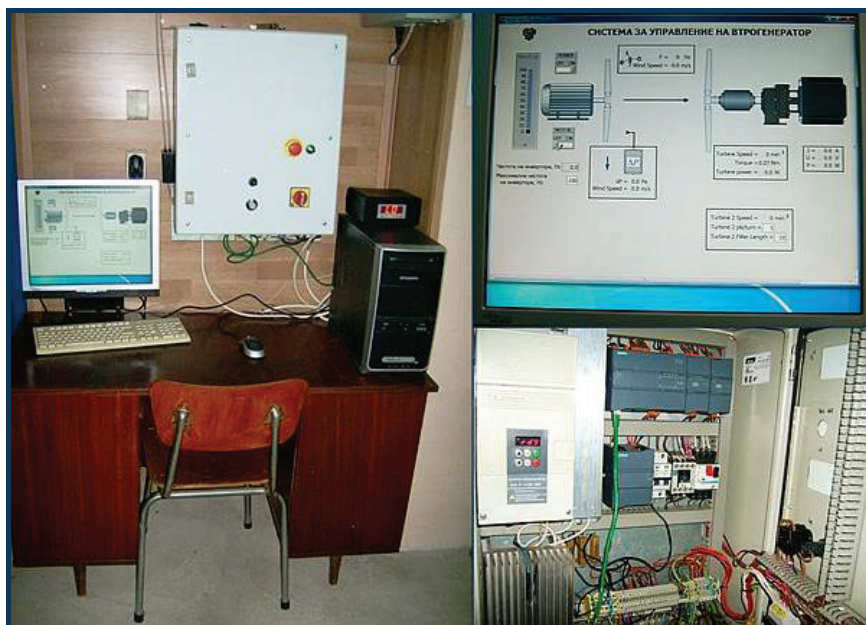
Параметър	Стойност
Максимален диаметър, m	1.5
Скорост на вятъра, m/s:	
a. Минимална	0.5
b. Максимална	15.0
Брой работни лопатки	до 10
Мощност, W	500
Честота на въртене, min ⁻¹	до 2000

Въздушното течение се генерира от осов вентилатор LANW 1000.6 TII, който се задвижва от асинхронен електродвигател. Вентилаторът е с диаметър на работното колело $D_f=1000\text{mm}$. Честотата на въртене на вентилатора се регулира в широки граници чрез честотен инвертор. По този начин може да се променя скоростта на въздушното течение и да се моделират неговите характеристики.

Към изхода на вентилатора е присъединена аеродинамична тръба

с диаметър $D_p=1270\text{mm}$. Предвидена е възможност към изхода на тръбата да се монтира дифузор, чийто изходен диаметър следва да отговаря на диаметъра на изпитвания вятърен двигател.

Разстоянието между вентилатора и двигателя може да се изменя, тъй като последният е монтиран върху подвижната платформа, снабдена с ходови колела. Платформата се движи върху релсов път и се фиксира в желано от оператора положение. Валът на вятърната турбина е свързан без мултипликатор с вала на нискооборотен постоянен ток генератор. Ветроагрегатът и платформата са поставени в метален предпазен кафез.



Фиг.2. Команден пункт

Командният пункт на стенда се намира непосредствено до моделния блок и включва стационарен компютър и командно табло (фиг.2). Системата за управление на стенда и обработване на данните от измерванията е разработена от специалисти от катедра „Системи за управление“ на ТУ-София [2]. Тя дава възможност за провеждане на изследвания на статичните и динамичните характеристики на вятърната турбина и на агрегата.

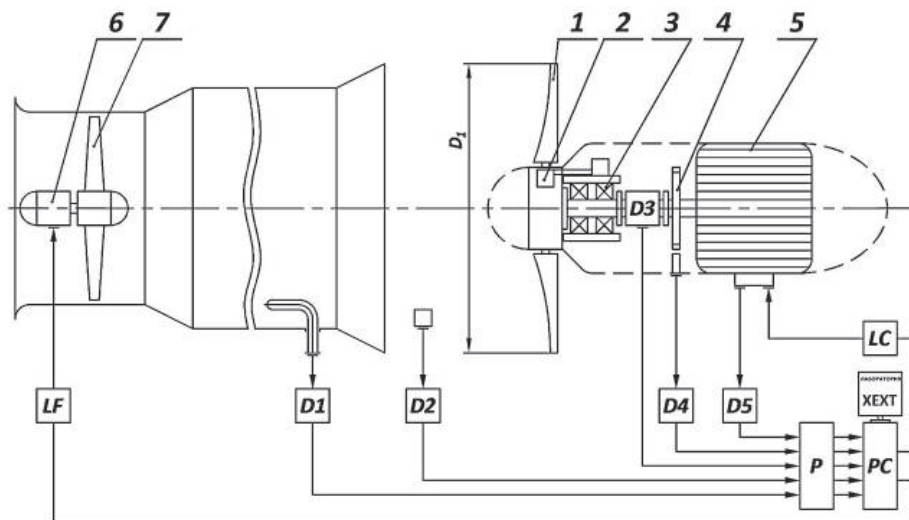
МОДЕЛНА ТУРБИНА

1. Схема и действие

Принципна схема на моделната турбина и измервателната апаратура е показана на фиг.3.

Работното колело 1 е съставено от главина и работни лопатки. Броят им може да се променя според задачите на експеримента до $z=10$. Промяната на положението им се осъществява чрез електромеханично задвижване 2. Работното колело е монтирано на вал, който е лагериран с търкалящи лагери в лагерното тяло 3 и е свързан с преобразувателя за въртящ момент D3. Валът на преобразувателя е

свързан и с вала на генератора 5. По този начин може да бъде измерен въртящият момент на вала на турбината, както и механичните загуби във ветроагрегата. Към генераторния вал е закрепен диск с прорези за измерване на честотата на въртене. Ветроагрегатът е монтиран върху тръбна конструкция, закрепена върху носещата платформа, която позволява изместване и ротация спрямо вертикалната ос и точно ориентирание спрямо изхода на аеродинамичната тръба (фиг. 1, 4).



Фиг.3. Схема на моделната турбина

На фиг.4 са показани фотографии на елементи от моделната турбина.



Фиг.4. Моделна турбина

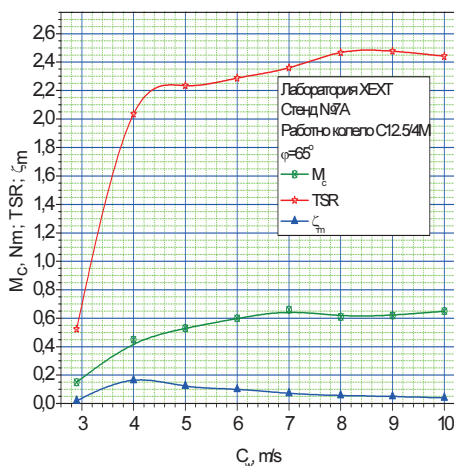
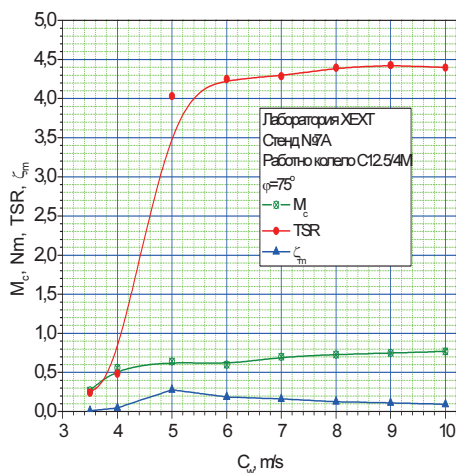
2. 2. Измервателна апаратура

Принципна схема на измервателната система, местата и начинът на свързване на уредите, са показани на фиг.3. Системата за управление е базирана на промишлен контролер Siemens CPU 1215 и сигнални модули [2]. Сигналите от преобразувателите за въртящ момент D3, честота на въртене D4, електрическа мощност D5 на изхода на генератора и за разлика в налягането от скоростомерната тръба D1, респ. от алтернативния анемометър D2 се предават в реално време на преобразувателя P, който от своя страна предава преобразуваните в цифров код сигнали на компютъра PC. SCADA система осигурява графичен интерфейс, който визуализира работния процес и показва стойностите на измерваните величини. Системата дава възможност за задаване на скоростта на въздушния поток чрез изменение на честотата на въртене на електродвигателя 6, задвижващ вентилатора 7 (посредством честотния инвертор LF), както и натоварването на генератора (с помощта на натоварващата система LC). Данните от измерванията се записват във файлове.

ОПИТНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ

С цел проверка на функционалните възможности на новата моделна турбина са направени опитни изследвания с работното колело C12.5/4M, което е с 4 цилиндрични работни лопатки (фиг.4) и с диаметър $D_1=1.16m$. Опитите са направени при напълно разтоварен генератор.

На фиг. 5, 6 и 7 са показани зависимости на скоростното отношение (по същество число на Strouhal) TSR [3,4], съпротивителният момент M_c и относителните механични загуби на мощност ξ_m в зависимост от скоростта на вятъра C_w за три различни положения на работните лопатки, определени от ъгъла между хордата на профила на вътрешното сечение и оста на работното колело ($\varphi=65^\circ$, $\varphi=75^\circ$ - оптимална стойност и $\varphi=80^\circ$).


 Фиг.5. Характеристики за ъгъл $\varphi=650$

 Фиг.6. Характеристики за ъгъл $\varphi=750$

Параметрите TSR и ξ_m се определят по следния начин:

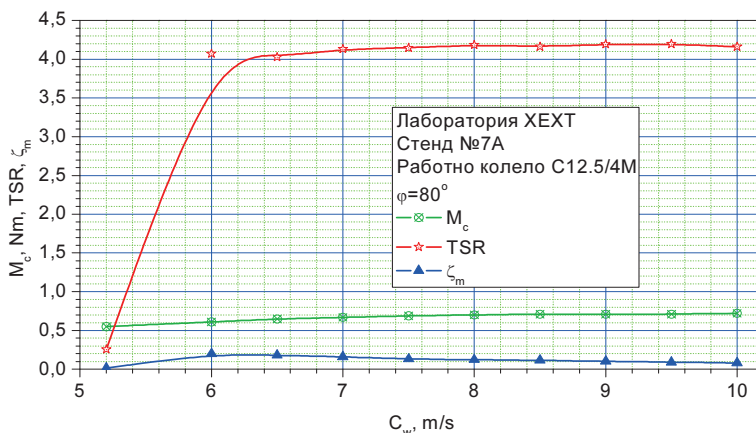
$$TSR = u / c_w \quad (1)$$

$$\zeta_m = P_c / P_w \quad (2)$$

В горните изрази u е окръжната скорост в периферното сечение на работното колело, P_c е измерената мощност на вала му при разтоварен генератор, а P_w е мощността на въздушното течение:

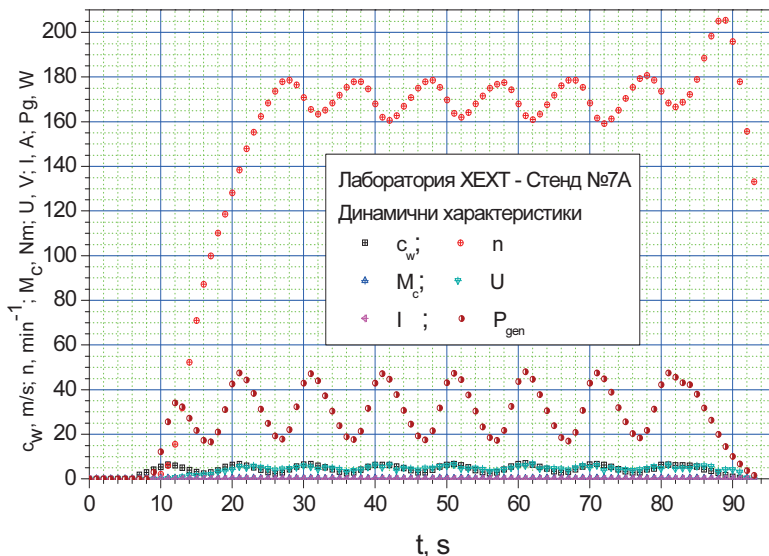
$$P_w = \rho c_w^3 S / 2 \quad (3)$$

където $S = \pi D_1^2 / 4$ е т.нар. ометаема площ на работното колело.



Фиг.7. Характеристики за ъгъл $\varphi=80^\circ$

На фиг.8 е показан запис на изменението на скоростта на вятъра, честотата на въртене на турбината, съпротивителния момент, тока I , напрежението U и генераторната мощност P_{gen} за различни режими на работа. Записът е направен със стъпка $\Delta t=1.0s$.



Фиг.8. Динамични характеристики

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Резултатите от направените изследвания дават основание да бъдат направени следните по-важни изводи:

1. Разработена е конструкция на моделна вятърна турбина за стенд №7А в лабораторията по хидроенергетика и хидравлични турбомашини на ТУ – София. Турбината дава възможност за провеждане на широк спектър статични и динамични изследвания, които ще намерят приложение в учебната и научно-изследователската работа на лабораторията. Важно предимство на моделната турбина е възможността за моделиране и изследване на различни режими на работа, което е трудно осъществимо в полеви условия.

2. Разработена е измервателна система, която позволява автоматизирано провеждане на опитните изследвания на стенд №7А в лаборатория ХЕХТ.

3. Направените опитни изследвания с работното колело С12.5/4М доказват възможностите на новата моделна турбина за провеждане на изследвания, насочени към усъвършенстване на лопатъчните системи на работните колела на вятърни турбини с хоризонтална ос, а също така и за моделиране на различни режими на работа на турбини и ветроагрегати от този тип.

Литература

- [1] Обретенков В. Стенд за изпитване на вятърни турбини. Научна конференция ЕМФ'2009, сборник доклади, т.ІІ, стр. 61-65, Созопол, 2009.
- [2] Ружеков, Г., И. Тянов. Лабораторен стенд "Вятърен генератор" - система за управление. XXI Международен симпозиум "Управление на топлоенергийни обекти и системи", стр. 4, 2013, България, Баня, ISSN 1313-2237.
- [3] Advances in wind Power. Edited by Rupp Carriveau. Published by InTech, Rijeka, Croatia. November 2012, ISBN 978-953-51-0863-4.
- [4] Cotrell J. DOE/NREL's wind turbine test facilities. NREL, November, 2007.
- [5] International Standard IEC 61400. Wind turbines. International Electrotechnical Commission, Geneva 20, Switzerland.
- [6] <http://www.hydrolab.tu-sofia.bg>

За контакти:

Проф. д-р Валентин Сл. Обретенков, кат. „ХАД и хидравлични машини“, ТУ-София, тел.: +359 02 965 2333; E-mail: v_obretenov@tu-sofia.bg.

Гл.ас. инж. Цветан Ил. Цалов, кат. „ХАД и хидравлични машини“, ТУ-София, тел.: +359 02 965 2315; E-mail: tsalov@tu-sofia.bg.

Маг. инж. Петър М. Марчев, докторант, тел.: +359 089 571 3570; E-mail: p.marchev@gmail.com.

Докладът е рецензиран.