

**НАУЧНА КОНФЕРЕНЦИЯ ЕМФ 2011
ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – СОФИЯ
ЕНЕРГОМАШИНОСТРОИТЕЛЕН ФАКУЛТЕТ**

СБОРНИК ДОКЛАДИ

**XVI^{-та} НАУЧНА КОНФЕРЕНЦИЯ С МЕЖДУНАРОДНО УЧАСТИЕ
ЕМФ 2011**

ЕНЕРГИЯ – ЕКОЛОГИЯ – КОМФОРТ - САМОЧУВСТВИЕ

Том II

**ХИДРОАЕРОДИНАМИКА И ХИДРАВЛИЧНИ МАШИНИ
ТЕКСТИЛНА ТЕХНИКА**

**17 – 20 септември 2011 г.
Почивна база на ТУ – София
гр. Созопол**

ДОКЛАДИ

секция „Хидроаеродинамика и хидравлични машини”

1.Обретанов В. Работно колело за осова водна турбина	7
2.Обретенов В., Цв. Цалов Моделна Капланова водна турбина	13
3.Обретенов В., Цв.Цалов, Й. Йорданов Стенд за изпитване на вятърни турбини с вертикална ос	19
4.Dimitrov S Static characteristics of pilot operated pressure relief valves with compensating piston	25
5.Величкова Р., К. Николов Числени методи за изследване на двуфлуидния модел на течението. Описание на модела.	31
6.Величкова Р., В. Петров Числено изследване на двуфазно неизотермично вертикално течение	38
7.Дуков Ив. Числено моделиране на пневмотранспорт в суспендирано състояние в дълъг хоризонтален тръбопровод с ANSYS FLUENT	44
8.Асенов Ас., Ст. Баташки Приложение на индекс методи при определяне на ефективността на хидрогенератори	50
9.Станилов Ал. Експериментално изпитване на затворени хидравлични енерговъзстановяващи системи	56
10.Данчев Ог. Разработка и приложение на софтуер за аеродинамично проектиране на лопатки за вятърни турбини с хоризонтална ос	62
11.Петров П., Ан. Терзиев, Ив. Геновски Изследване влиянието на класа на грапавост на релефа върху годишното електропроизводство от вятърна турбина	68
12.Василев В., Юл. Тодоров Изследване на система за хидрозадвижване	75
13.Дуков Ив., В. Василев Изследване на пневмотранспорт на гранулирани материали	81
14.Терзиев Ан., Ил. Илиев, В. Камбурова, Пл, Граматиков	87

Система за комбинирано производство на електрическа и топлинна енергия от отпадна дървесина. Финансов анализ

15. Бекриев Ог. 93
Експериментално изследване на точността при измерване разход на вода по тегловен път
16. Антонов Ив., Ев.Ильова 97
Хидроложки изследвания на река Джерман
17. Nguyen Thanh Hao, Nguyen Thanh Nam, Iv. Antonov 100
A Simple Chemical Reactor Network Simulation for CO Emission Prediction in Lean Premixed Gas Turbine Combustor
18. Vo Tuyen, Nguyen Thanh Nam, Iv. Antonov, An. Terziev 106
Optimization of parameters of irrigation process according to irrigation radius
19. Ангелов Ил., Ст. Маринов 113
Анализ на действието на регулируема аксиално-бутална помпа тип A10VSO18 C DR- регулатор по налягане
20. Ангелов Ил., П. Кьоргогов 119
Експериментална установка за изследване на хидростатична трансмисия за ветрогенератори до 20 kW
21. Ангелов Ил., Н. Станчев 125
Методика за анализ и синтез на електрохидравлична позиционна следяща система

ДОКЛАДИ

секция „Текстилна техника”

1.Александров С., Д. Германова-Кръстева, Г. Изследване на изменението на мекотата и на степента на водопоглъщане при омекотяване на хавлиени тъкани	132
2.Angelova R., V. Mavrov, Hr. Kopova QSC concept in design and weaving of jacquard labels	139
3.Атанасова Р. Алгоритми за моделиране на дамски рокли	144
4.Германова-Кръстева Д., Г. Канджикова Взаимосвързаност на свойства, характеризиращи опипа на хавлиени тъкани	150
5.Канджикова Г., Д. Германова-Кръстева Изследване на процеса на разтваряне на ПВА в двукомпонентна прежда П/ПВА за хавлиени тъкани	156
6.Манолова Р. Сравнителен анализ на CAD/CAM системи за проектиране на плетени изделия за линейни трикотажни машини	161
7.Незнакомова М. Изследване влиянието на влажността на околната среда върху влагосъдържанието на иглонабити нетъкани текстилни материали	166
8.Николов Н., Д. Германова-Кръстева, Г. Канджикова Изчислителен модел за оценка на мекотата на тъкан с примкова структура по метода на крайните елементи	172
9.Петров Хр. Алгоритми за построяване на столчето на горната яка при мъжки сака	180
10.Софронова Д. Сравнение на аналитични модели за описване механичното поведение на напречно плетена структура като нелинеен хипереластичен материал	186
11.Стоилов Т., Р. Манолова Триизмерен теоретичен модел на бримкообразуване при плоско плетачни машини	192

СТЕНД ЗА ИЗПИТВАНЕ НА ВЯТЪРНИ ТУРБИНИ С ВЕРТИКАЛНА ОС

Валентин Обретенов, Цветан Цалов, Йордан Йорданов

В работата са представени резултати от изследвания, насочени към създаването на нов стенд за изпитване на вятърни турбини с вертикална ос. Описана е аеродинамичната схема на стенда, конструктивните особености и измервателната апаратура. Анализирани са възможностите за провеждане на опитни изследвания с различни конструкции вятърни двигатели. Стендът е инсталиран в лабораторията по хидроенергетика и хидравлични турбомашини на ТУ-София.

VERTICAL AXIS WIND TURBINES TEST STAND

Valentin Obretenov, Tsvetan Tsalov, Jordan Jordanov

Abstract: *The work presents the results from investigations directed to the establishment of new testing stand for vertical axis wind turbines at the laboratory of hydropower and turbomachinery to the Technical University – Sofia. The aerodynamic scheme, design features and scientific equipment are considered. Analyzed the possibilities for experimental studies with different designs wind turbines.*

Въведение

През последните години видимо нарасна интереса към вятърните турбини с вертикална ос. В дълъг период от време се считаше, че тези машини не са конкурентноспособни на енергийния пазар. Те обаче притежават някои важни качества: ниска себестойност, сравнително проста конструкция, надеждна компоновка на ветроагрегата, дълъг период, през който не се нуждаят от обслужване, ниско ниво на шума, независимост по отношение посоката на вятъра и др. Това, както и засиления интерес към възобновяемите енергийни технологии е основната причина за активното им навлизане през последните години на пазара, особено в сегмента на малките и микро-мощностите.

В тази работа се разглежда схемата и възможностите на стенд за опитни изследвания на вятърни турбини с вертикална ос, проектиран и инсталиран в лабораторията по хидроенергетика и хидравлични турбомашини (ХЕХТ) на ТУ – София [1].

Научните изследвания, резултатите от които са представени в настоящата публикация, са частично финансирани от Вътрешния конкурс на ТУ-София за подпомагане на докторанти - 2011 г.

Обща характеристика, основни параметри

Стендът е проектиран с идеята на него да се провеждат опитни изследвания с различни конструкции на вятърни двигатели с вертикална ос. Сравнително голямото разнообразие на такива двигатели (Savonius, Darrieus с класически, Н-тип, хеликоидален ротор и др.) налага универсалност на моделния блок.

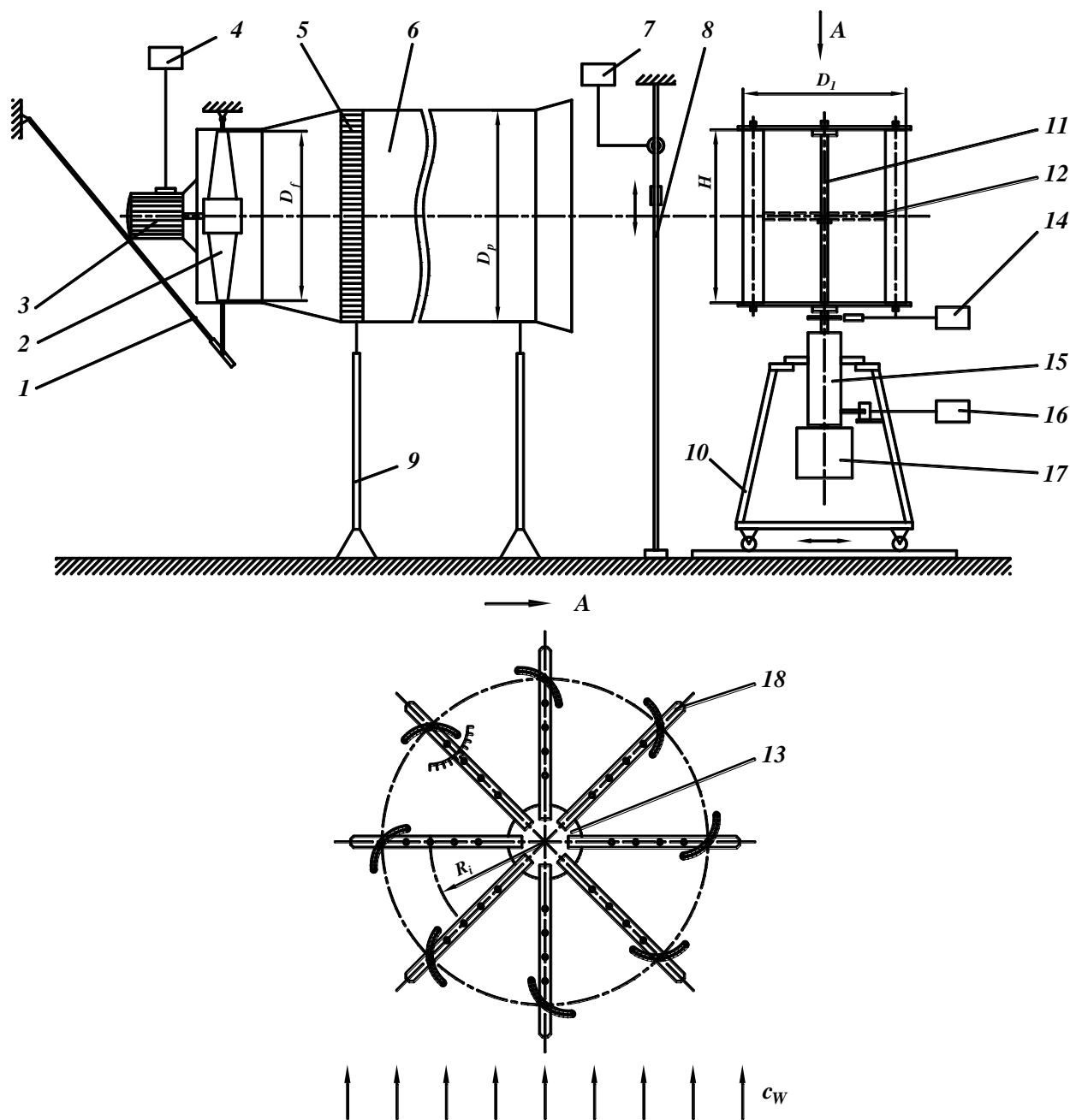
Основните параметри на стенда са определени на основата на техническите данни и възможностите за използване на съществуващите в лаборатория машини и съоръжения [1], изискванията на стандартите [2], опита на лаборатории с традиции в тази област [3]. Първоначалната идея да бъде използван центробежен вентилатор за генериране на въздушното течение [4] отпадна и се наложи стендът да бъде проектиран по нова схема. Неговите основните параметри са:

- Максимална скорост на вятъра: $C_w = 10 \text{ m/s}$;
- Максимален диаметър на работното колело: $D_1 = 1 \text{ m}$;
- Максимална височина на работното колело : $H = 1 \text{ m}$;
- Максимална ефективна мощност: $P = 100 \text{ W}$;

Една от основните цели при проектирането на стенда беше осигуряването на реални възможности за провеждане на статични и динамични експерименти с различни конструкции на вятърни двигатели с вертикална ос.

Аеродинамична схема и конструкция на стенда

Схемата на стенда е синтезирана по аналогия на доказалия се в учебната и изследователска работа стенд за изпитване на ветродвигатели с хоризонтална ос – стенд №7 [1, 4]. На фиг.1 е показана принципна схема на новия стенд.



Фиг.1. Схема на стенда

Осовият вентилатор 2 тип LANW 1000.6 TII се задвижва от асинхронен електродвигател 3. Вентилаторът е с диаметър на работното колело $D_f=1000\text{mm}$ и генерира въздушно течение със скорост до 12 m/s [4]. Той е монтиран върху платформата 1, която може да се

фиксира в различни положения с отклонение $\pm 10^\circ$ спрямо хоризонталното. Това дава възможност да се променя посоката на вятъра. Честотата на въртене на вентилатора се регулира в широки граници чрез честотния инвертор 4. По този начин може да се променя скоростта на въздушното течение. Към изхода на вентилатора е присъединена аеродинамичната тръба 6, която е с диаметър $D_p=1270\text{mm}$. Опорите 9 на тази тръба позволяват да се изменя положението ѝ в зависимост от положението на вентилатора. В тръбата е предвидена изправяща решетка 5, а на изхода ѝ се монтира елемент с форма на дифузор, чиято геометрия следва да отговаря на габаритите на изпитвания вятърен двигател.



Фиг.2. Работно колело с плоски лопатки



Фиг.3. Диск и преобразувател за честота на въртене

Скоростта на въздушното течение се измерва с анемометъра 7, монтиран върху направляващи 8. Последните осигуряват фиксирането му в произволна точка на мерната равнина. Разстоянието между вентилатора и двигателя може да се изменя, тъй като последният е монтиран върху подвижната платформа 10, която може да се придвижва по направляващи и да се фиксира в произволно положение.

Първото работно колело, проектирано, изработено и монтирано на моделния блок е на класически вертикален ветродвигател по схемата на Darrieus с плоски лопатки (фиг.2). Диаметърът му D_1 може да се променя в границите $520 \div 1100\text{mm}$. За целта на шините 18, върху които се закрепват лопатките, са пробити серия отвори на определен радиус R_i (фиг.1). Работното колело е така конструирано, че лесно може да се преобразува в H-тип. Освен това двете главини 13, които се монтират в двата края на основния вал (при H-тип главината 12 е една и се монтира в средата на вала – фиг.1) могат да се сменят, което позволява да се изпитват работни колела с различен брой на лопатките – от 2 до 9. Последните се присъединяват към шините 18, които се центроват и закрепват върху главините. Конструкцията дава възможност за закрепване върху шините и на лопатки на хиликоидални работни колела. Предвидена е възможност и за провеждане на изпитвания на ветродвигатели с различни (по схема и конструкция) направляващи апарати.

Работните лопатки могат лесно да се монтират/демонтират върху шините, което дава възможност освен броя, да се изменя и тяхната геометрия. Важна особеност на конструкцията на работното колело е възможността за промяна на положението на работните лопатки спрямо вектора на скоростта на въздушното течение, т.е. за извършване на експерименти с различни ъгли на атака. Тази особеност е продължение на идеите, заложенни при изследванията на ветродвигатели с хоризонтална ос [5] и дава възможност за оптимизиране на изследваните

лопатъчни системи.

Към вала на ветродвигателя е присъединена система за измерване на честотата на въртене, състояща се от диск, преобразувател за честота и процес-индикатор 14 (фиг.1). На фиг.3 е показана част от тази система.



Фиг.4. Моделен блок

позволява да се променя рамото на силата според двигателния момент на изпитваното работно колело и обхвата на преобразувателя за сила.

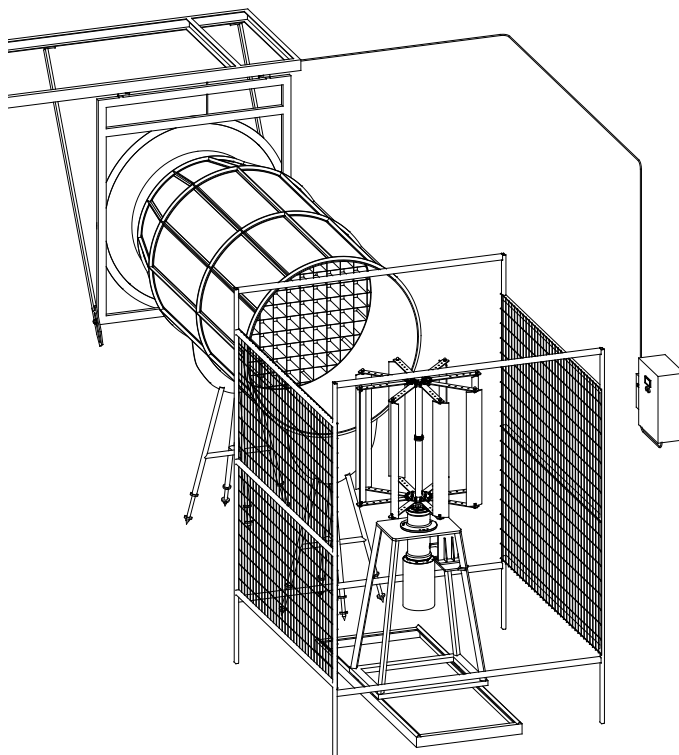
На фиг.4 е показан моделния блок на стенда (работното колело е от втората серия - с цилиндрични лопатки, които работят с направляващ апарат). Ветроагрегатът и платформата са поставени в метален предпазен кафез. На фиг.5 е показан компютърен модел на стенда.

Методи и средства за измервания на стенда

Изборът на измервателната апаратура е съобразен с изискванията на учебния процес и програмата за научни изследвания в областта на ветроенергетиката. На този етап се използват следните методи и средства за измерване на стенда:

1. Скорост на въздушното течение

Скоростта на въздушното течение пред работното колело на изпитваните ветродвигатели се измерва с помощта на дигитални пропелерни анемометри. Стендът



Фиг.5. Модел на стенда

разполага с три анемометъра: G16 и G25 на фирмата Hontzsch GmbH и BA15 на фирмата Trotec.

От гледна точка на съкращаването на времето за провеждане на експериментите, както и за определянето на някои от основните параметри на изпитваните ветродвигатели се налага да се определи средната стойност на скоростта на въздушното течение. Поради неравномерността в скоростното разпределение, в конкретния случай е прието усредняването да се прави по следния начин (използва се уравнението за непрекъснатост на теченията) [6]:

$$c_{w,s} = \frac{\int_s c(r) ds}{S} = \frac{\int_0^R c(r) 2\pi r dr}{\pi R^2} = \frac{2 \int_0^R c(r) r dr}{R^2}, \quad (1)$$

където $c_{w,s}$ е средната скорост, r е текущия, а R е максималния радиус на мерното сечение.

2. Честота на въртене

За измерването на честотата на въртене n на работните колела на ветротурбините се използват индуктивен преобразувател за честота и процес-индикатор, модел DP на Delta Instruments.

3. Мощност

Мощността на вала на ветродвигателя (ефективната мощност) се определя посредством въртящия момент M_b и ъгловата скорост ω :

$$P = M_b \omega = \frac{\pi}{30} M_b n \quad (3)$$

Въртящият момент се определя чрез силата F , която лагеруваният статор на спирачката упражнява чрез лоста упражнява върху измервателния уред 17 и рамото l (фиг.1, фиг.4):

$$M_b = Fl \quad (4)$$

За измерването на силата се използва преобразувател BSM 1660/50N и процес-индикатор на Delta Instruments. Предвидена е възможност (основно за лабораторните упражнения) за използване на електронна везна, за монтирането на която са осигурени специални приспособления (фиг.4).

Мощността на въздушното течение се определя по израза [5]:

$$P_w = \rho S \frac{c_{w,s}^3}{2}, \quad (5)$$

където ρ - плътност на въздуха; $S = DH/2$ е ефективната площ на работното колело (половината от напречната му площ; H е височината на колелото – фиг.1); $c_{w,s}$ средна скорост на течението.

4. Коефициент на полезно действие на вятърната турбина (коефициент на мощност)

$$c_p = \frac{P}{P_w} \quad (6)$$

Заклучение

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

1. Създаден е лабораторен стенд за моделни изследвания на вятърни турбини с вертикална ос. Стендът дава възможност за провеждане на широк спектър изследвания, които ще намерят приложение както в учебната, така и в научно-изследователската работа. Важно предимство на стенда е възможността за моделиране на различни режими на работа, което е трудно осъществимо в полеви условия.

2. Синтезът на аеродинамичната схема на стенда е направен с оглед използването в максимална степен на разполагаемите в лабораторията съоръжения, както и от гледна точка на осигуряването на изискваните от стандартите условия за провеждане на експериментите.

3. Разработени са няколко работни колела на вятърни турбини с вертикална ос чрез вариране на основните им геометрични параметри.

4. Изборът на методите и средства за измерване на величините на стенда е направен според характера на основните задачи за решаване на този етап и в съответствие с изискваната от стандартите точност.

Литература

1. <http://www.hydrolab.tu-sofia.bg>
2. International Standard IEC 61400: Wind turbines.
3. Neeraj Mittal. Investigation of Performance Characteristics of a Novel VAWT, p.p. 45-70. Department of Mechanical Engineering, University of Strathclyd. Glasgow, 2001.
4. Обретенов В. Стенд за изпитване на вятърни турбини. Научна конференция ЕМФ`2009, сборник доклади, т. II, стр. 61-65, Созопол, 2009.
5. Обретенов В. Опитно изследване на вятърен двигател с хоризонтална ос. Научна конференция ЕМФ`2010, сборник доклади, т. II, стр. 53-58, Созопол, 2010.
6. Обретенов В., Ц.Цалов. Изследване на скоростното разпределение във входното сечение на вятърен двигател. Научна конференция ЕМФ`2010, сборник доклади, т. II, стр. 59-65, Созопол, 2010.

Автори:

Доц. д-р Валентин С. Обретенов
Тел.: +359 2 965 2333
E-mail: v_obretenov@tu-sofia.bg

Гл.ас. Цветан И. Цалов
Тел.: +359 2 965 2315
E-mail: tsalov@tu-sofia.bg

Инж. Йордан Йорданов
докторант
E-mail: y.n.yordanov@abv.bg

ТУ – София, кат. "Хидроаеродинамика и хидравлични машини"
Лаборатория "Хидроенергетика и хидравлични турбомашини"
www.hydrolab.tu-sofia.bg