

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/331563218>

A new model vertical axis wind turbine

Conference Paper · September 2018

CITATIONS

0

READS

47

2 authors:



Valentin Obretenov

Technical University of Sofia

34 PUBLICATIONS 8 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Rossen Iliev

Technical University of Sofia

9 PUBLICATIONS 2 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Performance Investigation and Optimization of a VAWT [View project](#)



ДНИ НА НАУКАТА НА ТУ – СОФИЯ
Енергомашиностроителен факултет

XXIII НАУЧНА КОНФЕРЕНЦИЯ С МЕЖДУНАРОДНО УЧАСТИЕ ЕМФ 2018

17 – 20 септември 2018, Созопол

СБОРНИК ДОКЛАДИ

ЕНЕРГИЯ, ЕКОЛОГИЯ, КОМФОРТ, САМОЧУСТВИЕ

Почивна база на Технически Университет-София

Гр. Созопол

Докладите в сборника са рецензирани и одобрени от редакционна колегия в състав:

Председател: проф. д-р инж. Ивайло Банов

Членове: доц. д-р инж. Росица Величкова
доц. д-р инж. Калин Филипов
проф. д-р инж. Тотю Тотев
проф. д-р инж. Диана Кръстева
доц. д-р инж. Иван Дуков
доц. д-р инж. Цветан Божков

ISSN 1314 – 5371

ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – СОФИЯ

СЕКЦИЯ „ХИДРОАЕРОДИНАМИКА, ХИДРО- И ПНЕВМОТЕХНИКА“

1. Мартин Пушкарров	150
Формиране и третиране на кисели руднични води	
2. Иван Денев.....	158
Числено моделиране на евакуация на замърсена струя посредством бордови смукател	
3. Цветелина Петрова, Илияна Найденова, Огнян Сандов, Росица Величкова, Искра Симова.....	164
Изграждане и тестване на експериментален модул за контрол на фини прахови частици	
4. Георги Пичуров, Детелин Марков	172
Пресмятане разпространението на вредности във вътрешна среда с подход за пасивен скалар	
5. Георги Пичуров, Детелин Марков, Емануил Георгиев.....	179
Проверовъчно топлинно пресмятане на маслоохладителите в лагери на хидроагрегати	
6. Ho Minh Kha, Nguyen Thanh Nam, Hoang Duc Lien, Vo Tuyen, Svetlin Antonov, Ivan Antonov.....	186
A research on the kinematics and the performances of the effect of the geometrical shape of inlet nozzles of Gas–Liquid Cylindrical Cyclone (GLCC) separators	
7. Nguyen Tan Hung, LeKhanh Dien, NguyenThanh Nam, Vo Tuyen, Svetlin Antonov, Ivan Antonov.....	199
Research on the formability of titanium sheet materials by hot single point incremental forming technology	
8. Vo Tuyen, Le Khanh Dien, Tran Van Hung, Svetlin Antonov	207
Design a control system of sls rapid prototyping machine	
9. Vo Tuyen, LeKhanh Dien, Nguyen Thanh Nam, Svetlin Antonov, Rositsa Velichkova, Ivan Antonov.....	214
Structure design of the sls rapid prototyping machine by modularity	
10.Vo Tuyen, Le Khanh Dien, Tran Trong Hy, Svetlin Antonov, Rositsa Velichkova, Ivan Antonov.....	222
Stress and transposition analysis of the sls rapid prototype machine frame	
11.Le Khanh Dien, Vo Tuyen, Nguyen Thanh Nam, Svetlin Antonov, Ivan Antonov.....	229
Design of assembling process for sls rapid prototyping machine installation	
12.Мартин Иванов.....	237
Многоточково експериментално измерване на скоростта на въздушно течение, генерирано при фазата на издишване, от респираторния цикъл при хората	

13.Мартин Иванов.....	245
Анализ на термографски изображения, на участници в експериментално измерване на скоростта на въздушно течение, генерирано при издишване	
14.А. А. Генбач, Н.О. Джаманкулова, Ангел Терзиев	253
Исследование тепломассообмена в капиллярно-пористых системах охлаждения	
15.A.A. Genbach, K.K. Shokolakov.....	258
Development of an experimental plant of a non-nozzle porous foam generator for producing of air (steam) and mechanical foam	
16.Мария Пантушева	263
Стоманени вертикални резервоари и сеизмично въздействие. Ефекти от разпличване	
17.Iskra Simova, Detelin Markov, Rositsa Velichkova, Guanyi Chen, Zheng Wandong	273
CFD simulation of the interaction between water turbine with oscillating blades runner and sea water under non-regular conditions	
18.Тодор Чакъров	279
Особености при проектирането на осови вентилатори	
19.Валентин Обретенов, Росен Илиев	287
Нова моделна вятърна турбина с вертикална ос	
20.Konstantin Lebedev, Vladimir Ribakov, Sergey Shumilin	295
The axial-flow circulation pump for liquid – metal heat transfer agent	
21.Огнян Бекриев, Константин Константинов, Александър Станилов	303
Експериментално изследване на осова помпа в турбинен режим	
22.Огнян Бекриев, Радослав Асенов	307
Полево измерване на пиезOMETЪРА на топлопреносна мрежа	
23.Иван Дуков, Диана Танева	312
Общ подход при проектиране на енергийно ефективни системи за пневмотранспорт в суспендирано състояние	
24.Илчо Ангелов, Александър Митов, Йордан Кралев.....	318
Стенд за изследване на електрохидравлична система за кормилна уредба с чувствителност по натоварване	
25.Александър Митов, Цоньо Славов, Йордан Кралев, Илчо Ангелов	326
H_{∞} регулатор на електрохидравличен управляващ модул за цифрово управление на хидравлични кормилни системи	
26.Илчо Ангелов, Никола Станчев, Александър Митов	335
Установка за експериментално изследване на електрохидравлични следящи системи с обемно регулиране на скоростта на изпълнителния механизъм	
27.Венцислав Василев	343
Система за хидрозадвигване на мобилна машина	

Нова моделна вятърна турбина с вертикална ос

Валентин Обретенов, Росен Илиев

В работата са представени резултати от изследвания, насочени към създаването на нов моделен блок към стенд №7 в лаборатория ХЕХТ на ТУ-София. Описана е аеродинамичната схема на стенда и моделния блок, конструктивните особености на моделната турбина с вертикална ос и измервателната апаратура. Анализирани са възможностите за провеждане на опитни изследвания с новата турбина. Представени са и резултати от проведени опитни изследвания с новата турбина.

Ключови думи: вятърна турбина, стенд, опитни изследвания, характеристики.

A new model vertical axis wind turbine

Valentin Obretenov, Rossen Iliev

Abstract: *The work presents results of research aimed at the creation of a new model block to a stand №7 in the HEHT laboratory of TU-Sofia. Described is the aerodynamic scheme of the stand and model block, the design features of the model vertical axis wind turbine and the measuring equipment. The possibilities for conducting experimental tests with the new turbine are analyzed. Also presented are the results of the experimental tests conducted with the new turbine.*

Keywords: wind turbine, test rig, experimental investigation, characteristics.

Въведение

През 2011 г. в лабораторията по хидроенергетика и хидравлични машини (лаборатория ХЕХТ) на ТУ-София [8] беше пуснат в действие първия моделен блок за изпитване вятърни турбини с вертикална ос [3]. В продължение на 7 години на него бяха проведени широк спектър изследвания, основната цел на които беше разработването на ефективни лопатъчни системи за този тип вятърни турбини [2,4,5,7]. Натрупаният опит позволи да бъде конструиран нов моделен блок с по-големи възможности от гледна точка на изследването на работния процес и валидирането на разработените методи за пресмятане на вертикални вятърни турбини. Засиления интерес към възобновяемите енергийни технологии и разширяването на пазарния дял на ветродвигатели с малка мощност е втората причина за създаването на новия моделен блок.

В тази работа е представена схемата, конструкцията и възможностите на новия моделен блок, монтиран към стенд №7 (вятърни турбини) в лабораторията ХЕХТ. Представени са и резултати от първите опитни изследвания, направени на този блок.

Моделна турбина

1. Обща характеристика, основни параметри

Моделният блок е проектиран с идеята на него да се провеждат опитни изследвания на вятърни двигатели с вертикална ос с различни конструкции на работното колело (Savonius, Darrieus). Конструкцията позволява да се променя броя на работните лопатки, техния профил и ъгъл на поставяне. Предвидена е възможност и за провеждане на изпитвания на ветродвигатели с различни (по схема и конструкция) направляващи апарати.

Основните параметри на турбината и моделния блок са определени на основата на опита от проведените досега изследвания, възможностите за използване на съществуващите на

стенд №7 машини и съоръжения, изискванията на стандарта [6], както и опита на лаборатории с традиции в тази област [9,10,11]. Стойностите на основните параметри са:

- Максимална скорост на вятъра $C_w = 10 \text{ m/s}$ (тази стойност може да бъде увеличена, ако се инсталира друг вентилатор);
- Максимален диаметър на работното колело: $D_1 = 1.0 \text{ m}$;
- Максимална височина на работното колело : $H = 0.8 \text{ m}$;
- Максимална ефективна мощност: $P = 120 \text{ W}$;

На фиг.1 е показан 3D модел на турбината и опорния блок, а на фиг.2 - фотографии на моделния блок.



Фиг.1. Моделна турбина



Фиг.2. Моделен блок

2. Конструктивни особености

Моделната турбина е монтирана върху подвижната платформа 8 (фиг.3), която може да се премества в хоризонтално направление.

Работните лопатки се монтират между два диска. Конструкцията на дисковете дава възможност да се изследват работни колела (7 – фиг.3) с различни диаметри в диапазона ($D_1 = 400 \div 1000$) mm, да се изменя броя на работните лопатки (без демонтиране на дисковете), а също така ъгъла на поставяне. Височината на работните лопатки е $H = 800 \text{ mm}$ (фиг.3).

Валът на турбината е лагериран на търкалящи лагери в две опори. В долната му част той е свързан с преобразувател за въртящ момент. Натоварването на вала (за моделиране на различни режими на работа) се извършва с помощта на оригинална механична спирачка (диск с феродови накладки). Задвижването на натоварващата система (НС-фиг.3) е ръчно, като предстои то да бъде заменено с електромеханично.

Конструкцията позволява към ротора на турбината да бъде присъединен генератор, което

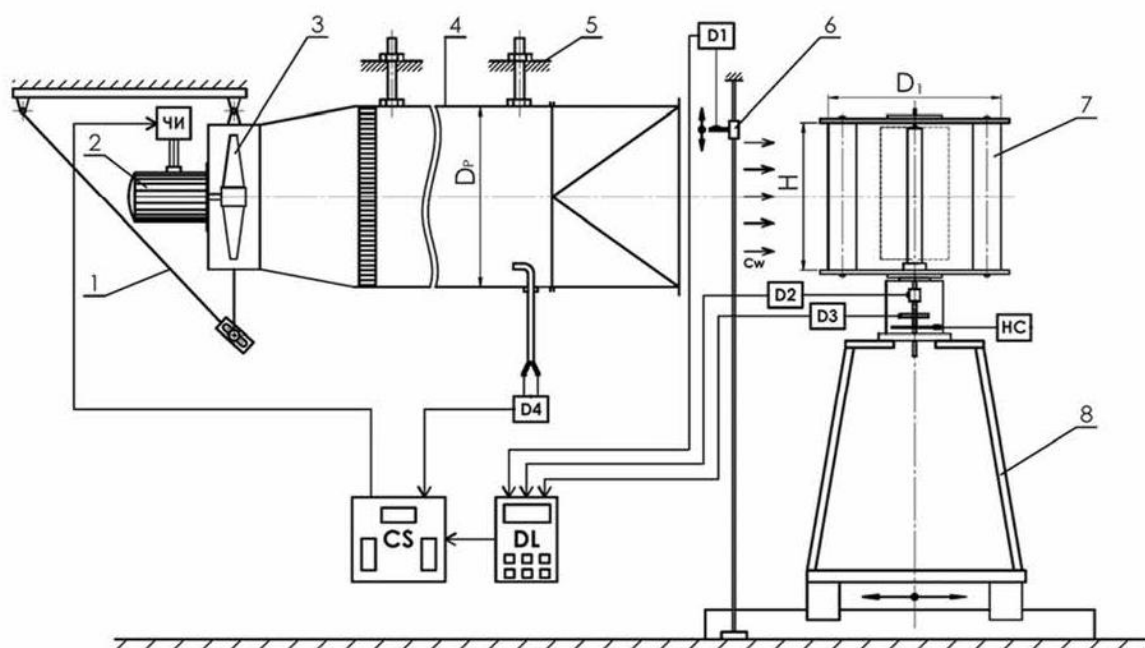
ще промени принципно системата за натоварване на турбината (експериментите ще покажат предимствата и недостатъците на двете системи, преди да бъде взето крайното решение).

Предвидена е възможност за присъединяване на неподвижен цилиндър във вътрешното пространство на работното колело, което ще позволи да бъдат изследвани някои идеи относно възможностите за повишаване ефективността на турбината [1,5].

Опитна уредба

1. Аеродинамична схема на стенда

Тъй като стендът е универсален (на него освен вертикални, могат да бъдат изпитвани вятърни турбини с хоризонтална ос, както и ветропомпен агрегат [3]), елементите, осигуряващи генерирането на въздушно течение с променливи параметри, се запазват. На фиг.3 е показана схемата на стенда с новия моделен блок и новата измервателна апаратура.



Фиг.3. Схема на стенда

Осовият вентилатор 3 се задвижва от асинхронен електродвигател 2 и генерира въздушното течение. Той е монтиран върху платформата 1, която може да се фиксира в различни положения с отклонение $\pm 10^\circ$, а това дава възможност да се променя посоката на течението. Честотата на въртене на вентилатора се регулира в широки граници чрез честотния инвертор ЧИ и по този начин може да се променя скоростта на въздушното течение. Към изхода на вентилатора е присъединена аеродинамичната тръба 4, която е с диаметър $D_p = 1270 \text{ mm}$. Тя е окачена на опорите 5, които позволяват нейното положение да се съгласува с положението на вентилатора. В края на конусната част на тръбата е монтирана изправяща решетка, а в края на цилиндричната – преход, на който изходящото сечение е с квадратна форма. Предвижда се да се монтира продължение на тръбата – тунел с квадратно напречно сечение, в който ще бъде позиционирана вятърната турбина.

2. Измервателна апаратура

Изборът на измервателната апаратура е съобразен с изискванията на учебния процес и програмата за научни изследвания в областта на ветроенергетиката. Основните характеристики на новите измервателни уреди (те са дарени на лабораторията от „Спартак“ АД - Бургас) са представени в табл.1.

1. Скорост на въздушното течение

Скоростта на въздушното течение (C_w) пред работното колело на изпитваните ветродвигатели се измерва с помощта на термоанемометъра D1 (фиг.3). Поради неравномерността на скоростното разпределение се налага усредняване, което в конкретния случай се прави по дебит [3]. Уредът може да се фиксира в произволна точка на въздушното течение в равнина, разположена непосредствено преди работното колело на турбината и перпендикулярна на оста на тръбата. За целта е предвиден механизъм (6), който осигурява придвижването на термоанемометъра по две взаимно перпендикулярни оси. Стендът позволява скоростта да бъде измервана и със скоростомерна тръба и преобразувателя за разлика в налягане DT4 (фиг.3).

Таблица 1.

Измервателна апаратура

№	Параметър	Тип	Производител	Обхват	Точност
1.	Скорост	FVAD35TH5K1	Ahlborn	0.2 ÷ 20 m/s	±0.2 m/s
2.	Въртящ момент	FKA650DR1B04	Ahlborn	0.0 ÷ 12 Nm	± 0.1%
3.	Честота на въртене	FUA 9192	Ahlborn	1.0 ÷ 12000 min ⁻¹	± 0.02%
4.	Универсален измервателен уред	Almemo 2590-2A/-4AS	Ahlborn	-	-

1. Честота на въртене

Честотата на въртене n на изпитваните турбини се измерва с помощта оптичен преобразувател за честота D3 (фиг.3).

2. Мощност

Мощността на вала на турбината (ефективната мощност) се определя посредством въртящия момент M_b и честотата на въртене n :

$$P = M_b \omega = M_b \frac{\pi n}{30} \quad (1)$$

Въртящият момент се измерва с преобразувателя D2 - фиг.3.

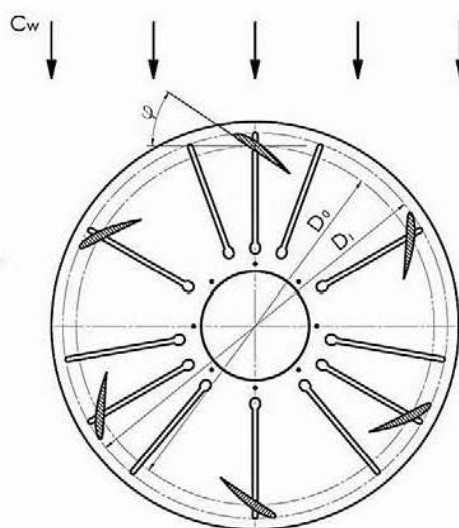
Мощността на въздушното течение се определя по израза [3]:

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

където ρ - плътност на въздуха; $S = DH$ - условна площ на работното колело (напречната му площ); $C_{w,s}$ - средна скорост на течението.

3. Коефициент на полезно действие на турбината (коефициент на мощност)

$$c_p = \frac{P}{P_w} \quad (3)$$



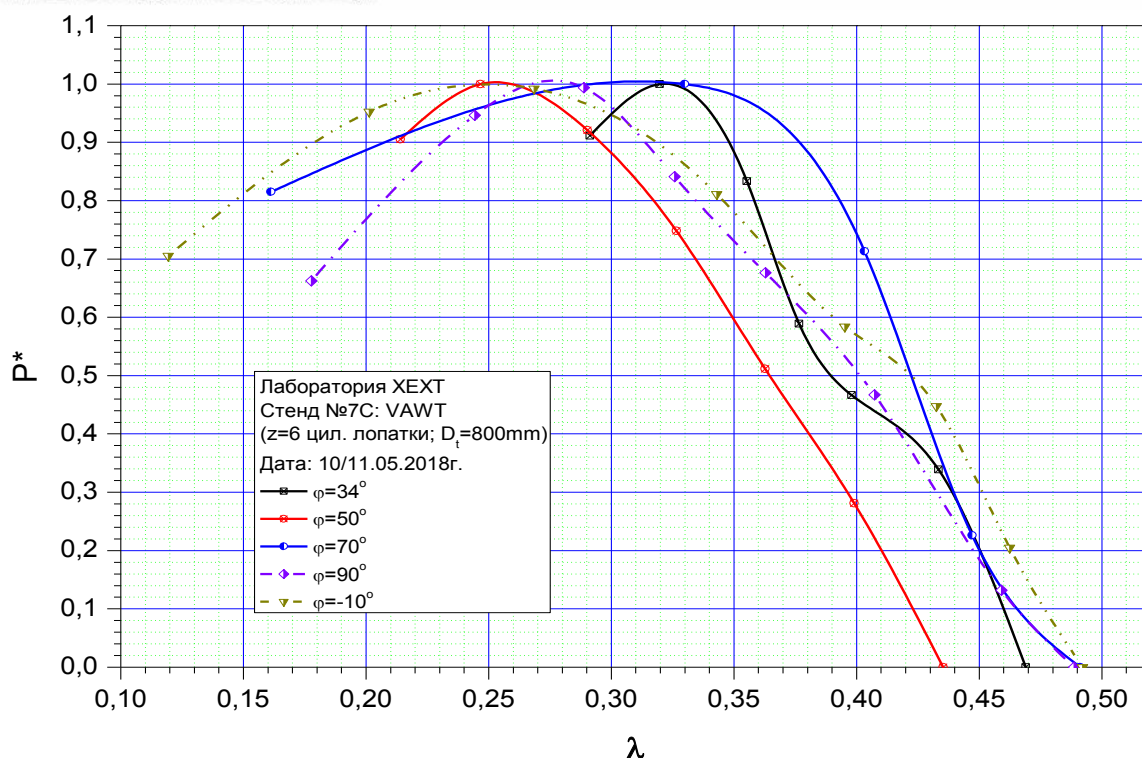
Фиг.4. Работно колело

Сигналите от първичните преобразуватели се подават към универсалния измервателен уред DL (фиг.3). Той е 4-канален и притежава вътрешна памет, позволяваща съхраняване на резултатите от измерванията (до 100 000), графичен LCD екран и собствен софтуер. Той може да работи самостоятелно, както и да предава информацията на компютъра от командния пункт (CS- фиг.3).

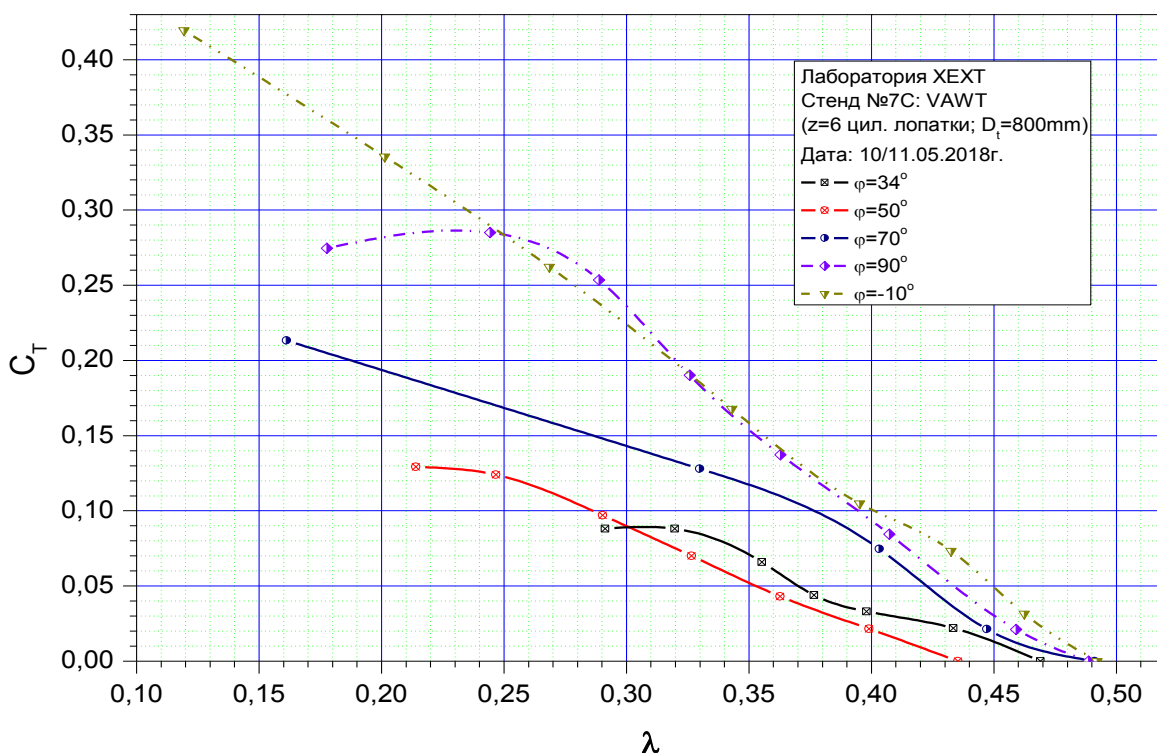
Опитни изследвания

След пускането на моделния блок в действие, с цел проверка на неговата функционалност, са направени първите опитни изследвания с работно колело на вертикален вятърен двигател с диаметър на осите на лопатките $D_1=800\text{mm}$ и с 6 цилиндрични работни лопатки. Скелетната им линия е изчислена по програмата [5] и е апроксимирана с дъга от окръжност, т.е работното колело е с

цилиндрични лопатки ($r=125\text{ mm}$), които при тези изследвания не са профилирани и са с постоянна дебелина (6 mm).



Фиг.5. Изменение на относителната мощност

Фиг.6. Изменение на коефициента C_T

Изследванията са направени за няколко стойности на ъгъла на поставяне φ (фиг.4). На фиг.5 и 6 са показани зависимостите $P^*=f(\lambda)$ и $C_T=f(\lambda)$, където:

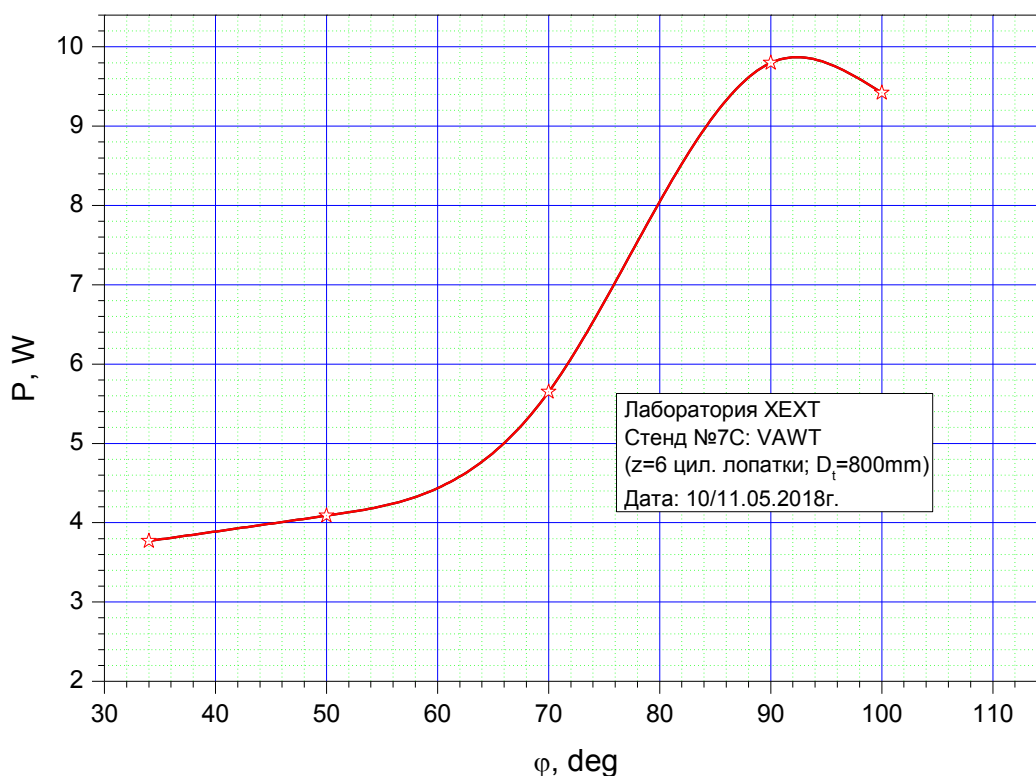
- $P^*=P/P_{max}$ - относителна мощност (P_{max} – максимална стойност на мощността);
- $\lambda = TSR = \frac{u}{c_w}$ – скоростно отношение (u - периферна скорост). По същество тази

величина е следствие на известния критерий на V. Strouhal [1,2], който се използва за осигуряване на динамично подобие при хидравличните турбомашини (отношение на конвективните към локалните инерционни сили);

- $C_T = M_b / (\rho c_w^2 / 2 * S * D / 2)$ – коефициент на въртящия момент.

Резултатите от опитните изследвания позволяват да бъдат направени няколко важни извода:

- Максималната мощност при различните ъгли на поставяне на работните лопатки се получава за различни стойности на скоростното отношение;
- Диапазонът на λ , в който се запазват високи стойности на мощността е най-широк за ъгъл на поставяне $\varphi \cong 70^\circ$;
- С увеличаване на ъгъла на поставяне на лопатките до $\varphi \cong 92^\circ$ нараства максималната стойност на въртящия момент на вала на турбината - фиг.6. Тази стойност на ъгъла на поставяне може да се приеме за оптимална от гледна точка на максималната стойност на мощността.



Фиг.6. Зависимост на ефективната мощност от ъгъла на поставяне на лопатките

Заклучение

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

1. Създаден е нов моделен блок на вятърна турбина с вертикална ос. Той развива идеите, заложи в първата конструкция, пусната в експлоатация през 2011г. и значително разширява възможностите на стенд №7 на лаборатория XEXT в следните направления:

- Възможност за провеждане на т.нар. динамични изследвания;
- Прецизно натоварване на вала на турбината в широк диапазон;
- Измерване на мощността на вала на турбината с висока точност;
- Съществено облекчаване на монтажа и демонтажа на лопатките на работното колело, респ. съкращаване на времето за провеждане на изследванията;
- Възможност за монтиране на вътрешен цилиндър с произволен диаметър.

Моделният блок ще се използва в учебната и в научно-изследователската работа на лабораторията.

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

3. Представени са резултати от първите изследвания с ново работно колело на вертикална вятърна турбина, които показват възможностите на стенда и новия моделен блок.

Литература

1. Обретенов, В. Изследване на вертикална вятърна турбина с вътрешен цилиндър. Научна конференция ЕМФ`2013, сборник доклади, т. II, стр. 66-71, Созопол, 2013. ISSN 1314-5371.

2. Обретенов, В. Изследване на вертикална вятърна турбина със сдвоени работни лопатки. Научна конференция ЕМФ`2014, сборник доклади, т. II, стр. 69-75, Созопол, 2014. ISSN 1314-5371.
3. Обретенов В., Ц.Цалов, Й.Йорданов. Стенд за изпитване на вятърни турбини с вертикална ос. Научна конференция ЕМФ`2011, сборник доклади, т. II, стр. 21-27, Созопол, 2011.
4. Обретенов, В., Цв. Цалов, П. Николов. Опитно изследване на вертикална вятърна турбина с направляващ апарат. Научна конференция ЕМФ`2016, сборник доклади, т. II, стр. 69-77, Созопол, 2016. ISSN 1314-5371.
5. Обретенов, В., Ц.Цалов, Т.Чакъров. Вятърна турбина с вертикална ос. Научна конференция ЕМФ`2012, сборник доклади, т. II, стр. 28-34, Созопол, 2012, ISSN 1314-5371.
6. International Standard IEC 61400: Wind turbines.
7. Obretenov V. Experimental study of runners for vertical axis wind turbine. Proceedings of the Conference COFRET'12, pp.350-353, Sozopol 2012, ISBN 978-619-460-008-3.
8. Obretenov, V.S., Ts. Tsalov. The new hydraulic laboratory at the Technical University of Sofia. Сборник научных трудов IX международной научно-технической конференции „Гидравлические машины, гидроприводы и гидропневмоавтоматика. Современное состояние и перспективы развития“, стр. 79-87, Санкт-Петербург, 2016. ISBN 978-5-7422-5346-4.
9. Vertical Axis Wind Turbine. MECH 4010 Design Project, Department of Mechanical Engineering, Dalhousie University. December, 2005.
10. Yan Lia, Shaolong Wanga, Qindong Liua, Fang Fengb, Kotaro Tagawac. Characteristics of ice accretions on blade of the straight-bladed vertical axis wind turbine rotating at low tip speed ratio. Cold Regions Science and Technology 145, pp 1-13, 2018.
11. www.criaciv.com/energy-harvesting-flutter/. Optimization of vertical axis wind turbines. Università degli Studi di Firenze, 2018.

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

Маг. инж. Росен Сашов. Илиев,
докторант
Тел: +359 2 965 2349
E-mail: sladow@abv.bg

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