

## Моделна вятърна турбина

В. Обретенов, Цв. Цалов, П. 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.

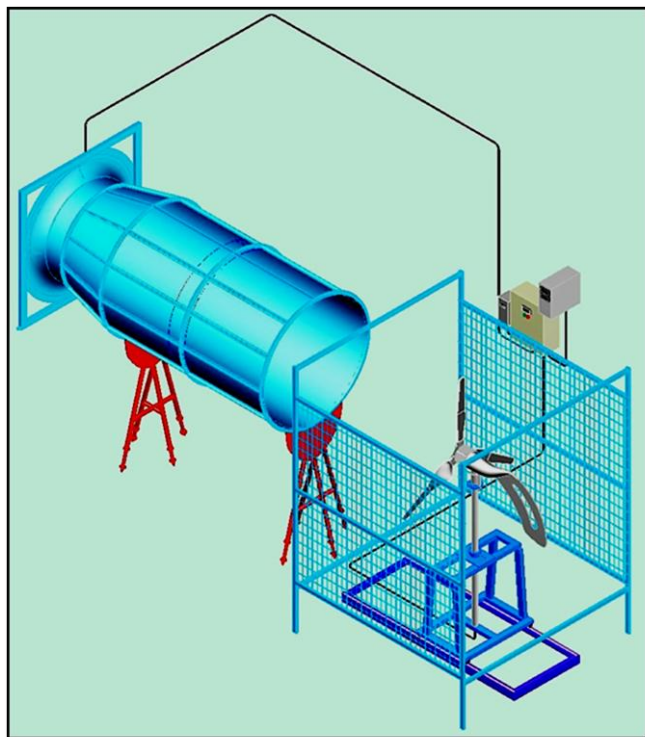
### ВЪВЕДЕНИЕ

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

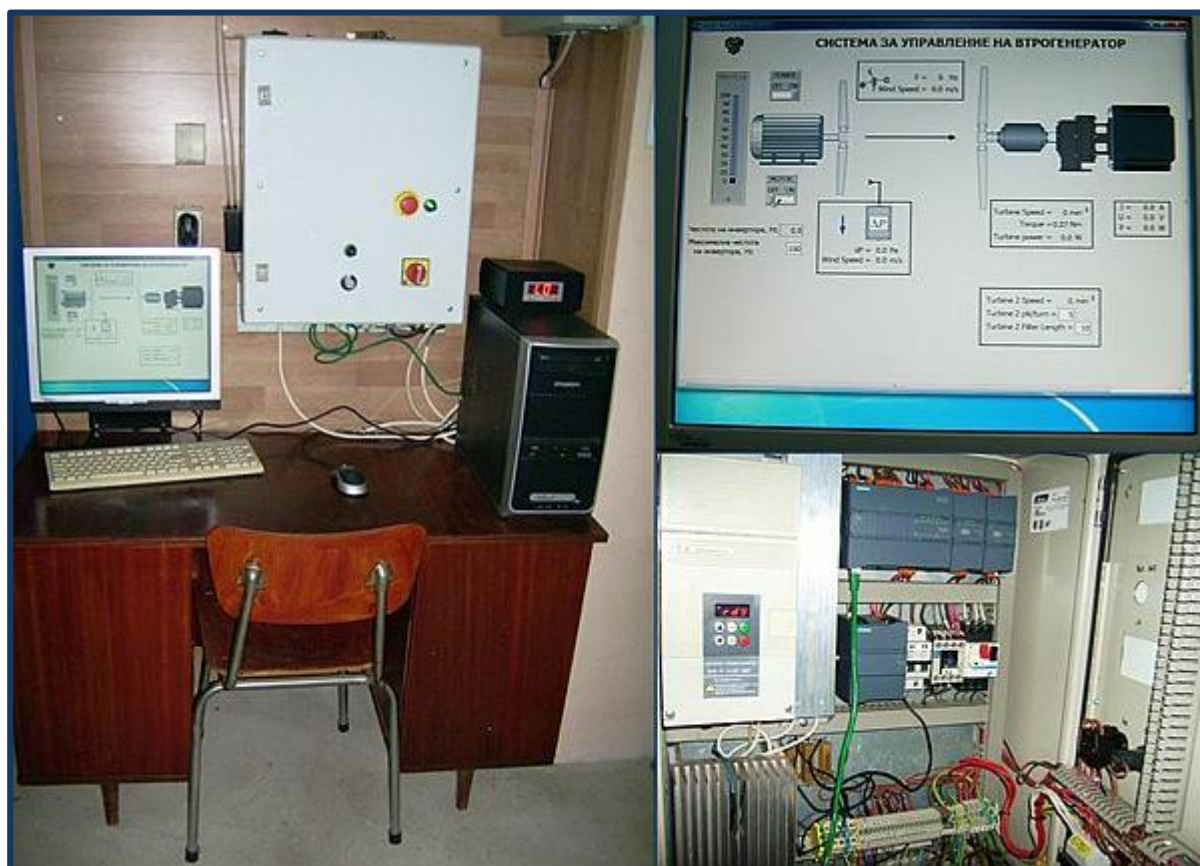
Параметър	Стойност
Максимален диаметър, m	1.5
Скорост на вятъра, m/s:	
a. Минимална	0.5
b. Максимална	15.0
Брой работни лопатки	до 10
Мощност, W	500
Честота на въртене, min <sup>-1</sup>	до 2000

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 постояннотокков 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 кат. „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.

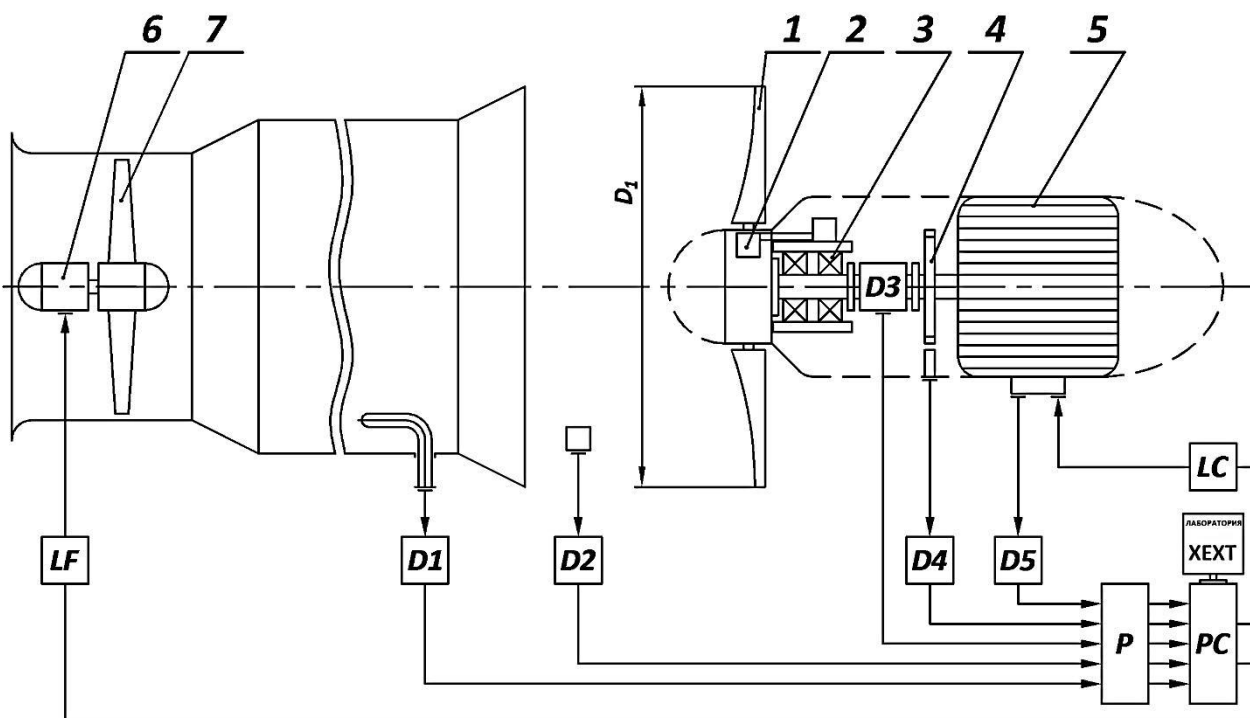
## МОДЕЛНА ТУРБИНА

### 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 лагеруван 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 ориентиране 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. 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  $\xi_m$  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  $\varphi=80^\circ$ ). Параметрите  $TSR$  и  $\xi_m$  се определят по следния начин:

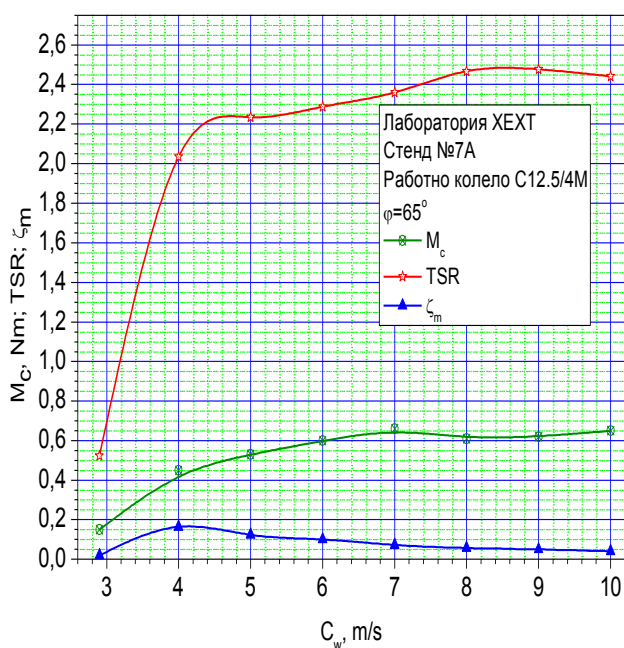
$$TSR = u / c_w \quad (1)$$

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

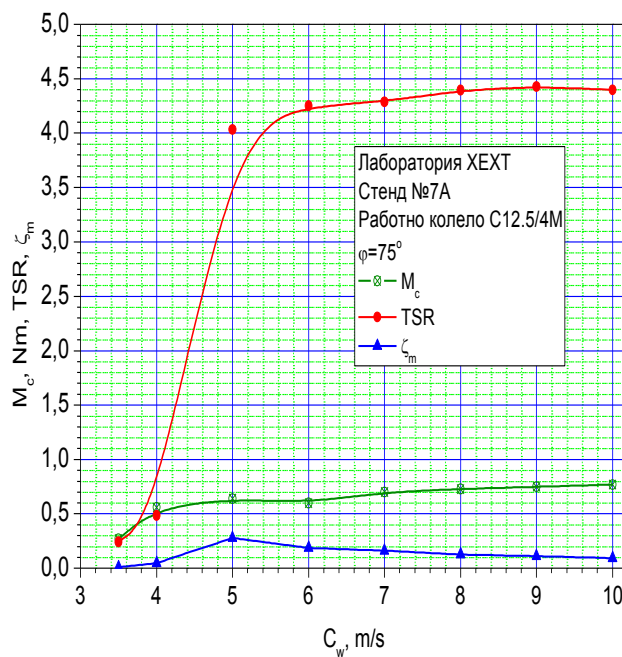
В горните изрази  $u$  е окръжната скорост в периферното сечение на работното колело,  $P_c$  е измерената мощност на вала му при разтоварен генератор, а  $P_w$  е мощността на въздушното течение:

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

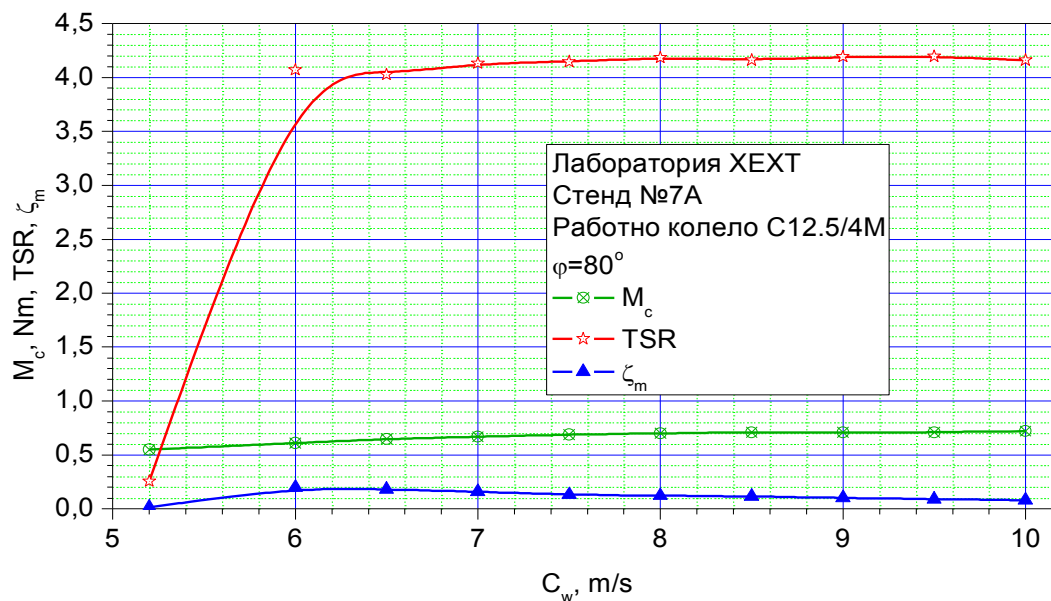
където  $S = \pi D_1^2 / 4$  е т.нар. ометаема площ на работното колело.



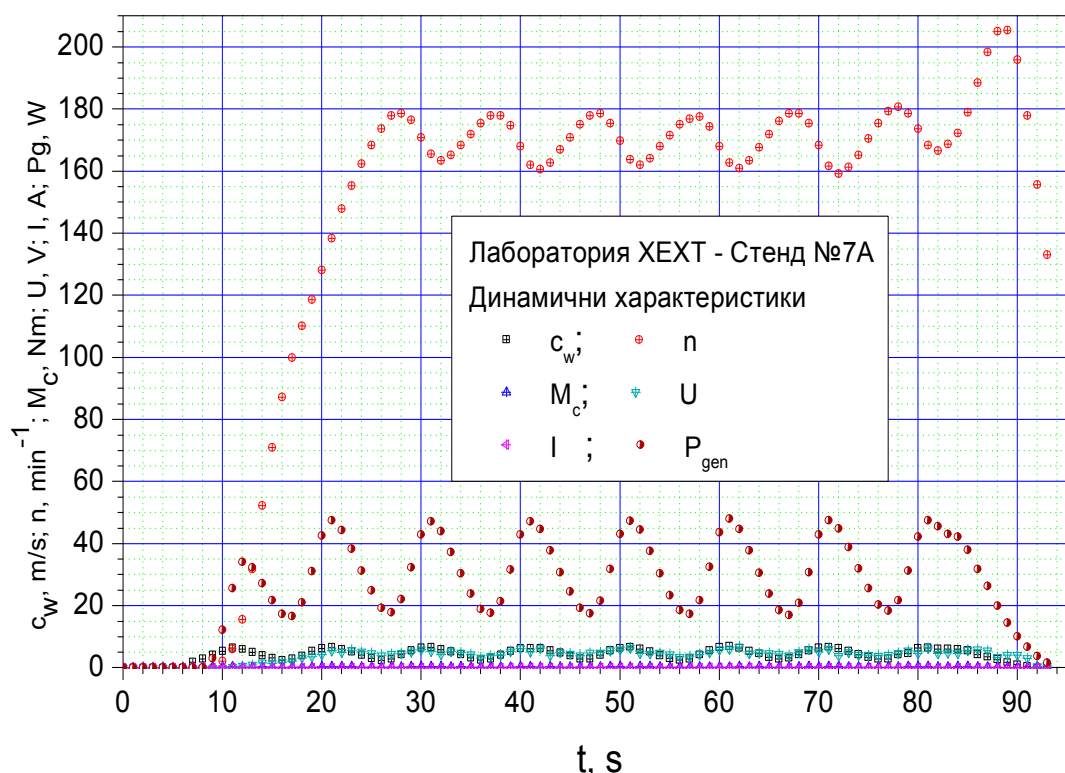
Фиг.5. Характеристики за ъгъл  $\varphi=65^\circ$



Фиг.6. Характеристики за ъгъл  $\varphi=75^\circ$



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



Фиг.8. Динамични характеристики

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  $\Delta t=1.0s$ .

### 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. Обретенов В. Стенд за изпитване на вятърни турбини. Научна конференция ЕМФ`2009, сборник доклади, т.ІІ, стр. 61-65, Созопол, 2009.

2. Ружеков, Г., И. Тиянов. 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. Обретенов, кат. „ХАД и хидравлични машини“, ТУ-София, тел.: +359 02 965 2333; E-mail: [v\\_obretenov@tu-sofia.bg](mailto: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](mailto:tsalov@tu-sofia.bg).

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

**Докладът е рецензиран.**