



## РЕЦЕНЗИЯ

върху дисертационен труд за придобиване на  
образователна и научна степен „доктор”

Автор на дисертационния труд: магистър инж. Христо Тошков Недев

Тема: МОДЕЛИРАНЕ И ИЗСЛЕДВАНЕ НА АДАПТИВЕН  
ВЕТРОГЕНЕРАТОР

Рецензент: Проф. д-р инж. Стоян Савов Ишпеков, хабилитиран и верифициран в област 5. Технически науки, професионално направление 5.1. Машинно инженерство, специалност „Механизация и електрификация на растениевъдството“, определен за член на Научно жури със заповед № 5.1.75 от 18.07.2024 г на Ректора на Технически университет – София.

### 1. Актуалност на проблема

Възобновяемите източници на енергия (ВЕИ) са средство за достигане на устойчиво енергийно развитие и понижаване на вредните въздействия върху околната среда. Развитието на ВЕИ е основна част от пакета „Климат и енергия 2030“ на Европейския съюз. У нас в процес на разработка са вятърни електроцентрали с обща мощност 1000 MW.

Ветрогенераторите съществуват от времето на Архимед и са обект на многократни опити за повишаване на тяхната ефективност. Преобладават разработките върху хоризонтално-осевите и вертикално-осевите генератори. Тяхната ефективност е ниска поради несъвършенството на конструкциите, което не е съобразено с параметричната нестабилност на вятъра, задвижващ генераторите.

Изложеното накратко свидетелства за високата актуалност на проблема, целта и задачите в дисертацията, както в научно така и в научно - приложно направление.

## **2. Познаване на проблема**

За това може да се съди по обзора на съществуващата литература. Прегледани са 134 източника, от които 31 на кирилица, а останалите на латиница. Анализирани са съществуващите конструкции ветрогенератори и изследванията върху тях. На тази основа е синтезирана хипотезата на изследванията, която предполага обосноваване и изследване на модел на адаптивен ветрогенератор, който поддържа висок КПД в целия скоростен диапазон на вятъра в условия на параметрична нестабилност.

## **3. Съответствие на методиката с поставената цел и задачи**

Хипотезата на изследванията е конкретизирана в целта на дисертацията. Приложеният подход включва теоретично обосноваване на процеси, конструкции и показатели на ветрогенераторите, последвано от потвърждение на теоретичните резултати чрез числени и физични изследвания.

В дисертацията са формулирани 7 задачи. Те следват подхода в дисертацията и са достатъчни по вид и обем за постигане на целта. Изследванията са конкретизирани за адаптивен ветрогенератор, свързан с електрически генератор. Адаптивността се реализира чрез изменение на съпротивителния момент на генератора, който служи и за обратна връзка при поддържане на максимален к.п.д. при променлива скорост на вятъра. По-конкретно:

- Представени са теоретичните постановки, върху които се основава работата на адаптивните ветрогенератори. Това са уравнението за непрекъснатост на потока, закона на Бернули за адиабатен процес, уравненията на Ойлер за движението на свиваем невискозен флуид и други.

- Определена е теоретичната енергийна ефективност на хоризонталноосев ветрогенератор при идеализирани условия. Обосновано е съотношението между скоростта на въздушния поток и периферната скорост на работното колело, при което се постига максималния к.п.д.

- Теоретично е дефинирано влиянието на стеснението на конфузорен канал пред турбината и к.п.д. на хоризонталноосев ветрогенератор, базирано на импулсната теория.

- Изследвано е входното устройство по метода на крайните обеми. Разработени са четири симетрични входни устройства с кръгло напречно сечение на входа и квадратно на изхода. Определено е че дължината на входното устройство в работния интервал не е съществен фактор за изменението на скоростта и дебита на потока в скоростния диапазон на ветрогенераторите.

- За увеличаване на скоростта на вятъра пред ветрогенератора се предлага U-образен канал пред турбината, който е с еднакви напречни сечения и радиуси в извитата част. Установено е, че скоростното поле на флуида се доближава в по-голяма степен до симулираното при малка разлика между радиусите на вътрешната и външната стена. Изследването е проведено в среда на SolidWorks.

- Разработен е стенд за физическо изследване на адаптивни ветрогенератори в скоростния диапазон на въздушния поток от  $5 \text{ m/s}$  –  $15 \text{ m/s}$ . Чрез него се определя изменението на мощността на ветрогенератора във функция от скоростта на потока и на съпротивителния момент, приложен на вала на турбината.

- Изследвани са резонансните честоти на турбината с вала на ветрогенератора чрез модула за симулация в SolidWorks. Определено е, че моделът не е застрашен от отрицателните резонансни ефекти.

#### **4. Оценка на достоверността на резултатите и приносите**

Методите на изследванията са приложени компетентно чрез утвърден софтуер за проектиране и изследване на конструкция в процеса на нейното разработване, като SolidWorks и CATIA. За оценяване на точността на теоретичните модели са разработени стенд и два образца на адаптивни ветрогенератори. При скорост на вятъра  $10 \text{ m/s}$ , разликата между ефективността между физическото изследване и теоретичния модел е  $1,6\%$ , което е показателно

за точността на изследванията. Формулираните приноси са логичен синтез на оригиналните резултати.

За проектиране на аналогични конструкции на ветрогенератор е приложената теорията на подобие. Като критерии за подобие е предложен безразмерния параметър  $V_p/V$ , (*скоростта на въздуха на входа на ВУ върху периферната скорост на турбината*).

## **5. Научни и научно-приложни приноси**

Приносите от дисертацията имат научно-приложен характер и третират създаване на нови конструкции и технологии. По-значимите са:

- Разработен е теоретичен модел за ефективността на адаптивен хоризонталноосев ветрогенератор. В случая той е свързан с електрически генератор, който създава регулируем спирачен момент на турбината като по този начин се поддържа максимален к.п.д. при променлива скорост на вятъра.

- Обоснована е конструкцията на корпуса и турбината на адаптивния ветрогенератор. Дефинирано е нарастването на скоростта на потока, протичащ през извит канал пред входа на центростремителната турбина, с което се разширява скоростния диапазон на въздуха, задвижващ ветрогенератора.

- Разработен е стенд за експериментално изследване на адаптивни ветрогенератори с възможност за плавно изменение на спирачния момент върху турбината.

- Разработени са два физични модела на адаптивни ветрогенератори, които са изследвани в скоростен диапазон на вятъра от 5 до 15 m/s. Те поддържат висок КПД в целия скоростен диапазон в условия на параметрична нестабилност и позволяват определяне на показателите на адаптивни ветрогенератори, а също проверка на точността на теоретичните модели.

- Въведен е параметър  $n$ , който изразява отношението на сечението на входа на конфузора и сечението, в което се преобразува кинетичната енергия на потока в механична работа. Определено е влиянието, което оказва конфузорната част между двете сечения върху ефективността. То е максимално при  $n = 1,299$ .

- Адаптивният ветрогенератор поддържа високи стойности на к.п.д., стигащи до 45% в целия скоростен работен диапазон. Постигната ефективност на адаптивния ветрогенератор е два пъти по-висока от тази на хоризонтално осевия.

- Предложен е метод за мащабиране на адаптивни ветрогенератори от споменатия вид, чрез теорията на подобие.

#### **6. Участие на докторанта в приносите**

За това може да се съди от публикациите върху дисертацията и по разработения стенд, който е лично дело на докторанта. Част от резултатите са патентовани на името на докторанта, който е собственик на патента. Затова считам, че личното участие на дисертанта за постигане на споменатите по-горе приноси е определящо.

#### **7. Публикации**

По дисертацията са публикувани четири статии и един патент. На всички е водещ автор. Две от тях са самостоятелни, три са от участия в конференции, една от които е интернационална. Всички публикации са реферирани в Google Scholar, а патента е публикуван в бюлетина на Българското патентно ведомство. Цитати върху материалите от дисертацията не констатирах.

#### **8. Използване на резултатите в практиката**

Резултатите от дисертацията имат значителен приложен, икономически, екологичен и социален ефект. Те са приложими в практиката за повишаване ефективността на хоризонтално осевите ветрогенератори чрез постигане на техния максимален потенциал при променлива скорост на вятъра, а с това и за понижаване на себестойността на електроенергията, която е произведената по екологично чист начин.

#### **9. Оценка на автореферата**

Той включва 32 страници и 28 фигури, което е 21,5% от обема на дисертацията. Съдържанието отразява достатъчно и точно и ясно резултатите от всяка глава на дисертационния труд. Представени са основните изводи, приносите, публикациите по дисертацията и анотация на английски език.

Рефератът свидетелства, че докторантът може да реферира обемни научни трудове съгласно общоприетите изисквания.

#### **10. Мнения, препоръки и бележки**

- Предметът на изследването се посочва след обзора, а не в края на дисертацията.

- Редно е в текста на дисертацията да са цитирани всички литературни източници. Препоръчвам да е по правилата на Scopus и WoS.

- При описание на литературата се посочва ISSN, респективно ISBN на източника. Литературният източник 14 не е описан напълно в литературата.

#### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ:**

Въз основа на приложените от кандидата методи на изследване, резултатите от изведените експерименти, синтезираните изводи и постигнатите приноси, считам че представеният дисертационен труд отговаря на изискванията на ЗРАСРБ и Правилника за развитие на академичния състав в Техническия университет - София, което ми дава основание да го оценя **ПОЛОЖИТЕЛНО**.

Затова предлагам да се присъди на магистър инж. Христо Тошков Недев образователната и научна степен „Доктор” в област на висше образование 5. Технически науки, професионално направление 5.1. Машинно инженерство, научна специалност „Теория на механизмите, машините и автоматичните линии“.

**Дата:**

17.10.2024

**РЕЦЕНЗЕНТ:**

/проф. д-р Стоян Ишпеков/

ФМУ55-НС1-034/22.10.2024г.



## REVIEW

on a dissertation work for the acquisition of an educational and scientific degree PhD

Author of the dissertation: Master Eng. Hristo Toshkov Nedev

Topic: MODELING AND RESEARCH OF AN ADAPTIVE WIND TURBINE

Reviewer: Professor engineer Stoyan Savov Ishpekov, PhD, habilitated and verified in the area 5. Technical sciences, professional direction 5.1. Mechanical Engineering, specialty "Mechanization and Electrification of Crop Production", designated as a member of the Scientific Jury by Order No. 5.1.75 of 18.07.2024 of the Rector of the Technical University - Sofia.

### 1. Timeliness of the problem

Renewable energy sources (RES) are a means of achieving sustainable energy development and reducing harmful impacts on the environment. That is why the development of RES is a major part of the "Climate and Energy 2030" package of the European Union. Wind power plants with a total capacity of 1000 MW are under development in our country.

Wind turbines have been around since the time of Archimedes and have been subject to repeated attempts to increase their efficiency. Developments upon the construction of horizontal-axis and vertical-axis generators prevail. Their efficiency is low due to the imperfection of the structures, which is not taken into account with the parametric instability of the wind driving the generators.

The briefly presented facts testify high relevance of the problem, the goal and the tasks in the dissertation, both in scientific and in scientific - applied direction.

## **2. Knowledge of the problem**

This can be judged by the overview of the existing literature. 134 sources were reviewed, of which 31 were in Cyrillic and the rest were in Latin. The existing wind generator structures and the research on them are analyzed. On this basis, the research hypothesis is synthesized, but not formulated, which implies the justification and study of an adaptive wind generator model that maintains high efficiency in the entire wind speed range under conditions of parametric instability.

## **3. Correspondence of the methodology with the set goal and tasks**

The research hypothesis is specified in the purpose of the dissertation. The applied approach includes theoretical justification of processes, structures and performance of wind turbines, followed by confirmation of theoretical results through numerical and physical studies.

In the dissertation 7 tasks are formulated. They follow the approach in the dissertation and are sufficient in type and volume to achieve the objective. The research are specified for an adaptive wind turbine connected to an electric generator. Adaptability is realized by changing the resistance moment of the generator, which also is used as a feedback loop for maintaining maximum efficiency in variable wind speed. More specifically:

- The theoretical statements on which the work of the adaptive wind generators is based are presented. These are the equation for continuity of flow, Bernoulli's law for an adiabatic process, Euler's equations for the movement of a compressible inviscid fluid and others.

- The theoretical energy efficiency of a horizontal axis wind generator under idealized conditions has been determined. The ratio between the speed of the air flow and the peripheral speed of the impeller, in which the maximum efficiency is achieved, is justified.

- The influence of the narrowing of a confusor channel in front of the turbine and its efficiency is theoretically defined of a horizontal axis wind turbine based on the impulse theory.



- An inlet device has been investigated using the method of finite volumes. Four symmetrical input devices with a circular cross-section at the input and a square cross-section at the output were developed. It was determined that the length of the inlet device in the operating interval is not a significant factor for the variation of the speed and flow rate in the speed range of the wind turbines.

- To increase the wind speed in front of the wind generator, a U-shaped channel is proposed in front of the turbine, which has the same cross-sections and radii in the curved part. The fluid velocity field is found to approximate more closely to the simulated one for a small difference in the inner and outer wall radii. The study was conducted in SolidWorks environment.

- A stand has been developed for the physical study of adaptive wind generators in the air flow speed range of 5 m/s – 15 m/s. It determines the variation of the power of the wind generator as a function of the flow rate and the resistance moment applied to the turbine shaft.

- The resonance frequencies of the turbine with the shaft of an adaptive wind generator were investigated using the simulation module in SolidWorks. It is determined that the model is not threatened by the negative resonance effects.

#### **4. Assessment of credibility of results and contributions**

Research methods are applied competently and through established software for designing and studying a structure in the process of its development, such as SolidWorks and CATIA. To evaluate the accuracy of the theoretical models, several stands of adaptive wind generators have been developed. At a wind speed of 10 m/s, the difference between the efficiency of the physical study and the theoretical model is 1.6%, which is indicative of the accuracy of the studies. The contributions are a logical synthesis of the original results.

The theory of similarity has been applied to the design of similar structures of a wind generator. As similarity criteria, the dimensionless parameter  $V_p/V$ , (air velocity at the inlet on the peripheral speed of the turbine) has been proposed.

## **5. Scientific and applied scientific contributions**

The contributions of the dissertation have a scientific-applied nature and treat with the creation of new constructions and technologies. The more significant are:

- A theoretical model for the efficiency of an adaptive horizontal axis wind turbine has been developed. In this case, it is connected to an electric generator, which creates an adjustable braking torque on the turbine, thus maintaining maximum efficiency in variable wind speed.

- The design of the housing and the turbine of the adaptive wind generator is justified. The increase in the speed of the flow flowing through a curved channel in front of the inlet of the centrifugal turbine is defined, which expands the speed range of the air driving the wind generator.

- A bench has been developed for the experimental study of adaptive wind generators with the possibility of smoothly changing the braking moment on the turbine.

- Two physical models of adaptive wind generators were developed, which were investigated in the wind speed range from 5 to 15 m/s. They maintain high efficiency in the entire speed range under conditions of parametric instability and allow determining the parameters of adaptive wind generators, as well as verifying the accuracy of theoretical models.

- A parameter  $n$  has been introduced, which expresses the ratio of the section at the entrance of the confusor and the section in which the kinetic energy of the flow is converted into mechanical work. The effect of the confusing part between the two sections on the efficiency is determined. It is maximal at  $n = 1.299$ .

- The adaptive wind generator maintains high efficiency values of up to 45% in the entire speed operating range. The achieved efficiency of the adaptive wind generator is twice as high as that of the horizontal axis.

- A method for scaling adaptive wind turbines of the mentioned type is proposed, through the similarity theory.

## **6. Participation of the PhD student in the contributions**

This can be judged from the publications on the dissertation and the developed stand, which is the personal work of the doctoral student. Part of the results have been patented in the name of the doctoral student, who is the owner of the patent. Therefore, I consider that the personal involvement of the PhD student in achieving the contributions mentioned above is decisive.

## **7. Publications**

Four articles and one patent were published on the dissertation. He is the lead author of all. Two of them are independent, three are from participation in conferences, one of which is international. All publications are referenced in Google Scholar, and the patent is published in the bulletin of the Bulgarian Patent Office. I did not find any citations on the materials from the dissertation.

## **8. Application of the results in practice**

The results of the dissertation have significant applied, economic, environmental and social impact. They are applicable in practice to increase the efficiency of horizontal axis wind generators by using their maximum potential at variable wind speed, and thus to lower the cost of electricity, which is produced in an environmentally friendly way.

## **9. Evaluation of the abstract**

It includes 32 pages and 28 figures, which is 21.5% of the volume of the dissertation. The content reflects sufficiently and accurately and clearly the results of each chapter of the dissertation work. The main conclusions, contributions, dissertation publications and annotation in English are presented. The report testifies that the doctoral student can refer voluminous scientific works according to the generally accepted requirements.

## **10. Recommendations and notes**

- The subject of the research is indicated after the overview, not at the end of the dissertation.

- All literary sources should be cited in the text of dissertation. I recommend it be according to Scopus and WoS rules.

- When describing the literature, indicate the ISSN or ISBN of the source. Literature Source 14 is not fully described in the literature.

**CONCLUSION:**

Based on the research methods applied by the candidate, the correctly performed experiments, the synthesized conclusions and the contributions achieved, I consider that the presented dissertation meets the requirements of the ŽRASRB and the Regulations for the Development of the Academic Staff at the Technical University - Sofia, which gives me the reason to rate it POSITIVELY.

Therefore, I propose to be awarded Master Eng. Hristo Toshkov Nedev with the educational and scientific degree "Doctor" in the field of higher education 5. Technical sciences, professional direction 5.1. Mechanical engineering, scientific specialty "Theory of mechanisms, machines and automatic lines".

Date:

17.10.2024

**REVIEWER:**

/prof, Stoyan Ishpekov, PhD/