



## РЕЦЕНЗИЯ

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

**Автор на дисертационния труд:** маг. инж. Надежда Василева

**Тема на дисертационен труд:** „Моделиране и изследване на хибридни топлинни системи“

**Рецензент:** проф. д.н. инж. Станислава Цанкова Ташева

**1. Актуалност на разработвания в дисертационния труд проблем в научно и научноприложно отношение. Степен и нива на актуалността на проблема и конкретните задачи, разработени в дисертацията.**

Енергетиката в световен мащаб е насочена към използването на възобновяеми енергийни източници, с цел намаляване емисиите на  $\text{CO}_2$  и замърсяването на околната среда. Повишаването на температурата на земната повърхност оказва неблагоприятно влияние върху живота на земята. В голяма част от директивите на ЕС са свързани с разработване нови системи използващи възобновяеми енергийни източници и зелени технологии. Всичко това обуславя въвеждането и използването на хибридни топлинни системи. Възможността за оползотворяване на отпадната топлина и съчетаването ѝ с възобновяеми енергийни източници също водят до употребата на хибридни топлинни системи. Считаю, че в дисертационния труд представен за използването на хибридни топлинни системи, както за отопление, така и за охлаждане на сгради е безспорно актуален. Симулирането при проектиране на хибридни топлинни системи е нов метод за изследване на този тип системи, който позволява повишаване ефективността на работата на подобни системи.

**2. Степен на познаване състоянието на проблема и творческа интерпретация на литературния материал.**

От направеното библиографско проучване по тематиката в дисертационния труд, подробно са представени елементите от които е изградена хибридната топлинна система, както и множество примери на хибридни топлинни системи в различни страни и начини на приложението им. Разгледани са методите и средствата за симулиране на хибридни топлинни системи. Всичко това показва задълбочени познания по избраната тематика на дисертацията и за използването и приложението

на хибридни топлинни системи.

### **3. Съответствие на избраната методика на изследване с поставената цел и задачи на дисертационния труд.**

В материали и методи на дисертацията е представена методиката на изследванията, които са представени като три отделни етапа в създаването на модела за симулациите на хибридната топлинна система и е представен обекта на изследването. Детайлно са обяснени и разгледани всички компоненти включвани в изследвания обект. Представен е програмния продукт с който ще се извърши симулирането на хибридната топлинна система в различни режими на работа. Обяснени са и математичните модели на основните компоненти в изследвания обект. Симулационните модели са валидирани с помощта на експериментални данни, получени от работата на съществуваща хибридна топлинна инсталация.

### **4. Кратка аналитична характеристика на естеството и оценка на достоверността на материала, върху който се градят приносите на дисертационния труд.**

Представеният ми дисертационен труд е в обем от 172 стандартни машинописни страници, в това число 79 броя фигури и схеми, 20 броя таблици и 140 литературни източници, от които 10 на кирилица, и 130 латиница. Представен е списък на означения, съкращения и използваните индекси в дисертационния труд. Дисертацията е оформена в четири отделни глави, които са свързани в логическа последователност. Заключение, библиографска справка, публикации и приноси.

Правилно е формулирана целта на дисертационния труд да се създаде и валидира симулационен модел на функционирането на хибридна топлинна система, който да позволява реализирането на различни режими на работа и действа при различни климатични условия. На база поставената цел на дисертацията, правилно са определени задачите, които трябва да се изпълнят за постигането на целта на дисертацията.

В резултатите е представено създаването на симулационни модели на изследваната система при различни режими на работата ѝ. Представени са компонентите включени в разглежданата инсталация, а това са: 3бр. слънчеви колектори; 2 бр. вертикални топлообменници; термopомпа вода-вода; конвектор; два топлинни акумулатора с вместимост от 200 l и 300 l; латентен топлинен акумулатор и измервателни прибори.

Разгледани са пет режима на работа на хибридната топлинна

система. В първия режим се извършва зареждане на топлинните акумулатори от слънчевия колектор; при втори режим се зареждат двата вертикални теплообменника от слънчевия колектор; в третия режим слънчевия колектор зарежда водните резервоари с вода, която се подава към конвектора; четвъртият режим е отопление със земно базирана термopомпа; а петият режим е отопление със земно базирана термopомпа подпомогната от слънчевия колектор. Представени са експерименталните резултати от разгледаните пет режима на работа на хибридна топлинна система и са направени симулационните модели за отделните режими, които са симулирани и валидирани при работата на инсталацията. От направените изводи по важни са:

- Симулациите на режимите 1, 2 и 3 показват високата ефективност на работата на слънчевите колектори, което се дължи на благоприятното им разположение. Съвпадението на симулираните стойности на променливите в посочените по-горе режими с реално измерените е отлично.

- Режимите 4 и 5 представят малко по-ниска точност на верификация на някои от компонентите.

- Всички изследвани режими на работа показват добър потенциал за намаляване на енергийните разходи. От представените резултати може да се направи заключение, че системата е икономически и екологично устойчива.

Разгледана е ефективността на хибридна топлинна система, което включва коефициента на покритие на системата в гр. Пловдив за отоплителния сезон, а също така е направено и сравнение на ефективността на системата между два града (гр. Пловдив и гр. Хелзинки), които са с различен климат.

Създадена е симулация на системата по използваният метод на „сивата кутия“, който доказва своята приложимост при моделиране на сложни топлинни процеси, като позволява системата да се адаптира към различни климатични особености.

При сравнението между температурните характеристики на ХТС в Пловдив и Хелзинки е установено, че системата успешно се справя да поддържа нуждите от 20 °C през зимните месеци и в двата града.

В Пловдив, поради умерено-континенталния климат, слънчевата радиация е по-обилна, което поддържа стабилно ниво на мощност през годината. В Хелзинки, където климатът е по-студен и има по-малко слънчева енергия, системата трябва да компенсира тези условия чрез увеличено натоварване на термopомпата.

Направеното изследване подчертава адаптивността на ХТС при различни климатични условия и демонстрира нейната ефективност.

#### **5. Научни и/или научноприложни приноси на дисертационния труд:**

Подкрепям направените приноси в дисертационния труд, че те са научно-приложни и приложни, както следва:

##### **Научно-приложни приноси**

1. Създадени са симулационни модели на функционирането на работата на хибридна топлинна система за отопление и охлаждане на сгради в пет базови режима на работа в средата TRNSYS.
2. Направено е верифициране на функционирането на работата на хибридна топлинна система за петте режима на работа, на база сравнение на симулационните модели и експериментално изследваните стойности.
3. Създаден е модел позволяващ изследване на работата на петте режима на работа, с цел възможност за оптимизиране, отчитане на конкретни климатични условия и възможност за оптимален избор на критерии за преминаване от един режим на работа към друг.

##### **Приложни приноси**

1. Създаден е алгоритъм на методика за изчисляване на коефициент на покритие на хибридни топлинни системи с цел повишаване на енергийната и продуктивност.
2. Установено е, че по-високия коефициент на покритие показва, че хибридна топлинна система може да покрие по-голяма част от топлинните нужди на пространството което обслужва, което означава че е по-ефективна.
3. Разработени са симулационни модели за отоплителния сезон на два града с различни климатични условия (гр.Пловдив и гр. Хензелки). Направения анализ на ефективността на хибридните топлинни системи показва, че независимо от различните климатични условия в двата града (гр.Пловдив и гр. Хензелки) системата успешно се справя с поддържането на температура от 20°C през отоплителния сезон.
4. Установи се, че при работата на хибридна топлинна система в градове с различни климатични условия за гр. Хензелки, където климата е по-студен и има по-малко слънчева радиация се налага

тези условия да се компенсират от по-голямо натоварване на термопомпата.

Основните приноси на дисертационния труд ще обогатят съществуващите знания за използване и приложение на хибридни топлинни системи и определяне на тяхната ефективност, както и методи за тяхната оптимизацията с оглед на най-ефективна работа на системата.

#### **6. Оценка за степента на личното участие на дисертанта в приносите.**

Представеният ми за рецензиране дисертационен труд и публикациите към него показват, че формулираните научно-приложни и приложни приноси в работите са лично дело на маг. инж. Надежда Василева, под ръководството на нейните научни ръководители. В дисертационния труд липсват елементи на плагиатство.

#### **7. Преценка на публикациите по дисертационния труд:**

По докторантурата са публикувани общо 7 бр. научни публикации, които са на английски език и отразяват резултатите от дисертационния труд. Докторантът е самостоятелен автор в една от публикациите, в другите участва в колектив. Две от публикациите са в световната база данни Scopus, а другите са с научно рецензиране.

През период от 2019 до 2023 г. докторантката е взела участие в изследователски проект BG05MOP001-1.002-0023-C01 Център за компетентност „Интелигентни мехатронни, еко- и енергоспестяващи системи и технологии“ на длъжност - изследовател.

#### **8. Използване на резултатите от дисертационния труд в научната и социалната практика. Наличие на постигнат пряк икономически ефект и пр.**

Получените заключения въз основа на проведените експерименти и верификация на експерименталните данни показват, че те могат да намерят отражение в практиката. Симулирането на работата на ХТС по методиката представена в дисертацията и оценяването на системата чрез коефициента на покритие, също ще намерят приложение в инженерната практика.

#### **9. Оценка на съответствието на автореферата с изискванията за изготвянето му, както и на адекватността на отразяване на основните положения и приносите на дисертационния труд.**

Авторефератът отразява съдържателно съществени моменти от дисертационния труд, спазени са изискванията в съответствие с образеца за изготвяне на авторефератите по дисертационните трудове,

посочен в сайта "Развитие на АС - Работни документи".Представеният автореферат е в обем от 32 стр. текст, структуриран в 4 глави. Посочени са общо 140 литературни източници, от които: 10 на кирилица, 119 на латиница и 11 интернет адреса.

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

Считам, че образователните цели на дисертацията са изпълнени. Нямам забележки относно количеството и качеството на извършената в дисертацията работа.

Изготвих мнение за предварителното обсъждане на дисертационния труд пред РКС на катедра „Механика“ при факултет „Машиностроене и уредостроене“ съгласно заповед №ОЖ-5.4-09/13.03.2025 г. Направените в него препоръки и забележки са изцяло отстранени в настоящия вариант на дисертационния труд.

#### **11.Заключение с ясна положителна или отрицателна оценка на дисертационния труд.**

Представеният дисертационен труд е разработен на високо ниво при използване на съвременни методи за изследване. Той отговаря на изискванията за присъждане на образователна и научна степен „доктор“ съгласно ЗРАСРБ, Правилника за прилагането му както и на Правилника за придобиване на научни степени в ТУ –София.

В заключение мога да заявя, че дисертационния труд на инж. Надежда Василева представлява интердисциплинарен труд, с всички необходими части на една завършена научна разработка.

Въз основа на направения анализ на представените ми материали изразявам своята ПОЛОЖИТЕЛНА оценка за разработения дисертационен труд. Предлагам на научното жури да присъди научната и образователната степен „доктор“ на инж. Надежда Василева в област на висше образование 5. Технически науки, професионално направление 5.4. Енергетика по докторска програма „Енергопреобразуващи технологии и системи“.

**Дата:**

**18.08.2025 г.**

**РЕЦЕНЗЕНТ:**

**/проф. д.н. инж. С. Ташева/**



## REVIEW

on a dissertation for the acquisition of the educational and scientific degree of "Doctor"

**Author of the dissertation:** M.Sc. Eng. Nadezhda Vasileva

**Topic of the dissertation:** "Modeling and research of hybrid heating systems"

**Reviewer:** Prof. DSc. Eng. Stanislava Tsankova Tasheva

**1. Relevance of the problem developed in the dissertation work in scientific and applied science terms. Degree and levels of relevance of the problem and the specific tasks developed in the dissertation.**

The global energy sector is focused on the use of renewable energy sources, with the aim of reducing CO<sub>2</sub> emissions and environmental pollution. The increase in the temperature of the Earth's surface has an adverse effect on life on Earth. A large part of the EU directives are related to the development of new systems using renewable energy sources and green technologies. All this determines the introduction and use of hybrid heating systems. The possibility of utilizing waste heat and combining it with renewable energy sources also leads to the use of hybrid heating systems. I believe that the thesis presented on the use of hybrid thermal systems, both for heating and cooling buildings, is undoubtedly relevant. Simulation in the design of hybrid thermal systems is a new method for studying this type of systems, which allows increasing the efficiency of the operation of such systems.

**2. Degree of knowledge of the state of the problem and creative interpretation of the literary material.**

From the bibliographic research conducted on the topic of the dissertation, the elements from which the hybrid heating system is built are presented in detail, as well as numerous examples of hybrid heating systems in different countries and methods of their application. The methods and tools for simulating hybrid heating systems are examined. All this shows in-depth knowledge of the chosen topic of the dissertation and the use and application of hybrid heating systems.

**3. Compliance of the chosen research methodology with the set goal and objectives of the dissertation.**

In the materials and methods of the dissertation, the research methodology is presented, which is presented as three separate stages in the creation of the model for the simulations of the hybrid heating system and the object of the study is presented. All components included in the research object are explained and discussed in detail. The software product that will be used to simulate the hybrid heating system in different operating modes is presented. The mathematical models of the main components in the research object are also explained. The simulation models are validated using experimental data obtained from the operation of an existing hybrid heating installation.

#### **4. A brief analytical characterization of the nature and assessment of the credibility of the material on which the contributions of the dissertation are built.**

The dissertation presented to me is 172 standard typewritten pages long, including 79 figures and diagrams, 20 tables and 140 literary sources, of which 10 are in Cyrillic and 130 in Latin. A list of symbols, abbreviations and indices used in the dissertation is presented. The dissertation is structured in four separate chapters, which are connected in a logical sequence. Conclusion, bibliography, publications and contributions.

The goal of the dissertation is correctly formulated to create and validate a simulation model of the functioning of a hybrid heat system, which allows the implementation of different operating modes and operates under different climatic conditions. Based on the set goal of the dissertation, the tasks that must be completed to achieve the goal of the dissertation have been correctly defined.

The results present the creation of simulation models of the studied system in different modes of its operation. The components included in the installation under consideration are presented, and these are: 3 solar collectors; 2 vertical heat exchangers; water-water heat pump; convector; two heat accumulators with a capacity of 200 l and 300 l; latent heat accumulator and measuring instruments.

Five operating modes of the hybrid heating system have been considered. In the first mode, the thermal accumulators are charged by the solar collector; in the second mode, the two vertical heat exchangers are charged by the solar collector; in the third mode, the solar collector charges the water tanks with water, which is fed to the convector; the fourth mode is heating with a ground-based heat pump; and the fifth mode is heating with a ground-based heat pump assisted

by the solar collector. The experimental results of the five operating modes of the hybrid heating system are presented and the simulation models for the individual modes are made, which are simulated and validated during the operation of the installation. From the conclusions drawn from this chapter, it turns out that:

- The simulations of modes 1, 2 and 3 show the high efficiency of the solar collectors, which is due to their favorable location. The coincidence of the simulated values of the variables in the above modes with the actually measured ones is excellent.

- Modes 4 and 5 present slightly lower verification accuracy of some of the components.

- All studied operating modes show good potential for reducing energy costs. From the presented results, it can be concluded that the system is economically and environmentally sustainable.

The efficiency of the hybrid heating system was examined, which includes the coverage coefficient of the system in the city of Plovdiv for the heating season, and a comparison of the efficiency of the system between two cities (Plovdiv and Helsinki) with different climates was also made.

A simulation of the system was created using the "gray box" method, which proves its applicability in modeling complex thermal processes, allowing the system to adapt to different climatic features.

When comparing the temperature characteristics of the HTS in Plovdiv and Helsinki, it was found that the system successfully manages to maintain the needs of 20 °C during the winter months in both cities.

In Plovdiv, due to the temperate continental climate, solar radiation is more abundant, which maintains a stable power level throughout the year. In Helsinki, where the climate is colder and there is less solar energy, the system must compensate for these conditions by increasing the load on the heat pump.

The study highlights the adaptability of the HTS in different climatic conditions and demonstrates its effectiveness.

## **5. Scientific and/or applied scientific contributions of the dissertation:**

I support the contributions made in the dissertation work that they are scientifically applied and applicable, as follows:

### **Scientific and applied contributions**

1. Simulation models of the functioning of the hybrid thermal system for heating and cooling buildings in five basic operating modes have been created in the TRNSYS environment.
2. Verification of the functioning of the hybrid heating system for the five operating modes was carried out, based on a comparison of the simulation models and the experimentally studied values.
3. A model has been created allowing for the study of the operation of the five operating modes, with the aim of enabling optimization, taking into account specific climatic conditions and the possibility of optimal selection of criteria for switching from one operating mode to another.

### **Applied Contributions**

1. An algorithm for a methodology for calculating the coverage factor of hybrid heating systems has been created in order to increase energy efficiency and productivity.
2. It has been found that a higher coverage ratio indicates that the hybrid heating system can cover a greater portion of the heating needs of the space it serves, meaning that it is more efficient.
3. Simulation models have been developed for the heating season of two cities with different climatic conditions (Plovdiv and Henselki). The analysis of the efficiency of the hybrid heating systems showed that regardless of the different climatic conditions in the two cities (Plovdiv and Henselki), the system successfully copes with maintaining a temperature of 20°C during the heating season.
4. It was found that when operating the hybrid heating system in cities with different climatic conditions for the city of Henselki, where the climate is colder and there is less solar radiation, these conditions need to be compensated by a greater load on the heat pump.

The main contributions of the dissertation will enrich the existing knowledge on the use and application of hybrid thermal systems and determining their efficiency, as well as methods for their optimization in order to achieve the most efficient operation of the system.

### **6. Assessment of the degree of personal participation of the dissertation candidate in the contributions.**

The dissertation work presented to me for review and the publications to it show that the formulated scientific-applied and applied contributions in the works are the personal work of M. Eng. Nadezhda Vasileva, under the guidance of her scientific supervisors. The dissertation work lacks elements of plagiarism.

### **7. Evaluation of the publications on the dissertation:**

A total of 7 scientific publications have been published during the doctoral studies, which are in English and reflect the results of the dissertation. The doctoral student is an independent author in one of the publications, in the others he participates in a team. Two of the publications are in the global database Scopus, and the others are peer-reviewed.

During the period from 2019 to 2023, the doctoral student participated in the research project BG05MOP001-1.002-0023-C01 Competence Center "Intelligent Mechatronic, Eco- and Energy-Saving Systems and Technologies" in the position of researcher.

**8. Use of the results of the dissertation work in scientific and social practice. Presence of achieved direct economic effect, etc.**

The conclusions obtained based on the conducted experiments and verification of the experimental data show that they can be reflected in practice. The simulation of the operation of the HTS using the methodology presented in the dissertation and the evaluation of the system using the coverage coefficient will also find application in engineering practice.

**9. Assessment of the compliance of the abstract with the requirements for its preparation, as well as the adequacy of reflecting the main points and contributions of the dissertation work.**

The abstract reflects substantively significant moments of the dissertation work, the requirements have been met in accordance with the template for preparing abstracts for dissertation works, specified on the website "Development of AS - Working Documents". The presented abstract is 32 pages long, structured in 4 chapters. A total of 140 literary sources are cited, of which: 10 in Cyrillic, 119 in Latin and 11 Internet addresses.

**10. Opinions, recommendations and notes.**

I believe that the educational goals of the dissertation have been met. I have no comments regarding the quantity and quality of the work done in the dissertation.

I prepared an opinion for the preliminary discussion of the dissertation work before the RKS of the Department of Mechanics at the Faculty of Mechanical Engineering and Instrumentation according to order No. OЖ-5.4-09/13.03.2025. The recommendations and remarks made therein have been completely removed in the current version of the dissertation work.

### **11. Conclusion with a clear positive or negative assessment of the dissertation.**

The presented dissertation has been developed at a high level using modern research methods. It meets the requirements for awarding the educational and scientific degree "doctor" according to the Law on the Education and Scientific Research of the Republic of Bulgaria, the Regulations for its implementation, as well as the Regulations for the acquisition of scientific degrees at the Technical University of Sofia.

In conclusion, I can state that the dissertation work of Eng. Nadezhda Vasileva is an interdisciplinary work, with all the necessary parts of a complete scientific work.

Based on the analysis of the materials presented to me, I express my POSITIVE assessment of the developed dissertation. I propose to the scientific jury to award the scientific and educational degree "Doctor" to Eng. Nadezhda Vasileva in the field of higher education 5. Technical Sciences, professional field 5.4. Energy in the doctoral program "Energy Conversion Technologies and Systems".

**Data:**

**18.08.2025 r.**

**REVIEWER:**

**/Prof. DSc. Eng. S. Tasheva/**

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_