



РЕЦЕНЗИЯ

върху дисертационен труд за придобиване на научна степен „Доктор на науките“

Автор на дисертационния труд: проф. д-р инж. Тодор Стоилов Тодоров

Тема на дисертационния труд:

ДИНАМИКА НА МЕХАТРОННИ СИСТЕМИ, БАЗИРАНИ НА УМНИ МАТЕРИАЛИ

Рецензент: доц. д.н. Анастас Иванов Иванов

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

Актуалността на предоставения ми за рецензиране дисертационен труд се установява в следните по-важни направления.

Всички изследвания, отразени в дисертационния труд, улесняват разработването на адаптивни, саморегулиращи се и високопроизводителни устройства, като по този начин отговарят на съвременните изисквания на технологиите в редица области на производството.

Изследваните проблеми отразяват изискванията за мултифункционалност и миниатюризация в областта на мехатронните системи, ключов елемент за развитието на иновациите.

Дадени са решения как интелигентните материали, комбиниращи сплави с памет за формата и пиезоелектрични материали, показват реактивност към външни стимули, улеснявайки интегрираното задвижване със сензорни обратни връзки и контрол в компактни архитектури.

Получени са важни познания за стабилността, енергийната ефективност и прецизността на управлението на редица системи. Проведени са пълни проучвания на динамичното им поведение, включващо показатели като честотна характеристика, хистерезис, характеристики на затихване и нелинейности. Доказано е прякото им влияние върху проектирането на обратни връзки, алгоритми за управление в реално време и стратегии за структурна интеграция в мехатронни приложения.

Показано е как установените динамични характеристики улесняват разработването на предсказващи модели и симулации, като по този начин позволяват

на инженерите да оптимизират производителността при променящи се експлоатационни условия.

Всички изброени най-съществени проблеми, разработени в дисертационния труд доказват най-високо ниво на актуалност.

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

Дисертационният труд е с общ обем 287 страници, който включва 7 глави, 215 фигури, 15 таблици, 148 цитирани литературни източници, от които 2 на кирилица, а останалите на латиница. Литературният обзор, с название „Анализ на съвременното научно ниво в областта на мехатронните енергодобивни и енергоефективни системи“, обхваща 34 страници. Тук в синтезиран и стегнат стил, са разгледани състоянията на редица мехатронни енергодобивни и енергоефективни системи, подлежащи на моделиране. Уточнени са видовете модели и техните физико-механични характеристики. Направен е обзор на енергийните комбайни с умни материали и термомеханични самовъзбуждащи осцилатори, както и методите за моделиране на сплави с памет на формата (еднопосочен, двупосочен и супер еластичен ефект). Описан е химичния състав и свойства на тези сплави, а така също методите за термодинамично моделиране. Разгледани са обстойно методите за изследване на пиезоелектрични генератори на напрежение. Накрая е формулирана основната цел на дисертационния труд, въз основа на която са определени седем основни задачи.

Познаването състоянието на проблема и творческата интерпретация на литературния материал оценявам с най-висока степен.

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

Съгласно поставената цел, а именно създаване на приложни мултифизични теоретични модели на устройства с осцилационно действие, базирани на умни материали, като сплави с памет на формата и пиезоелектрици, с фокус върху влиянието на хистерезисите, да се изработят реални устройства, чрез които да се валидират теоретичните изводи, в дисертацията са формулирани две хипотези, чието потвърждение води до разработване на енергийни комбайни, използващи фазови трансформации на сплави с памет на формата и пиезоелектричен ефект за преобразуване на постоянна топлина в електрическа енергия. Освен това са създадени нови методи за моделиране и експериментално изследване на сплави с памет на формата и пиезоелектрични материали. Предложени са нови постановки за моделиране на хистерезисните процеси в сплави с памет на формата, както и

оригинални мултифизични методи описващи динамиката на осцилиращи и квазиосцилиращи системи.

Това показва, че избраната методика на изследване съответства напълно с поставената основна цел и задачи в дисертацията.

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

В дисертационния труд са направени анализи и оптимизации на множество управляеми термомеханични енергийни системи, базиран на умни материали като сплави с памет на формата и пиезоелектрици. Те са подкрепени от множество публикации. Разработени са първоначални прототипи и експериментални установки за техното изследване, като едновременно с това са създадени динамични модели, описващи тяхното поведение и характеристики. Показано е, че експерименталните и теоретични резултати съвпадат с висока степен на точност.

Открояват се създаването на две научни хипотези, които издигат дисертационния труд на изключително високо ниво.

Първата, наречена физическа, твърди, че ако съществува квазистационарно или стационарно топлинно поле с променлив температурен градиент по отношение на положението в пространството, в което се намира източникът и преобразувателят от сплави с памет на формата, е възможно да се създаде осцилираща механична система, чиято енергия да се преобразува в електрическа.

Втората, наречена математическа, твърди, че ако съществува функционал на качеството, е възможно да се определят параметрите му в допустимите диапазони и при наличие на ограничения, така че да се постигне минимално значение на този функционал.

Двете хипотези са доказани с помощта на 10 теореми и 4 леми.

Основният извод, който мога да констатирам е, че предварително набелязаната цел на дисертационния труд е изпълнена.

5. Научни и/или научно приложни приноси на дисертационния труд.

Приносите в един дисертационен труд представляват най-важните му компоненти. Тук мога определено да подчертая, че всички приноси, научни и научно-приложни, са изключително добре формулирани, обосновани и подкрепени с резултатите от изследванията в дисертацията.

Научни приноси:

5.1. Формулиране и обосновка на нови хипотези;

Това са двете хипотези, физическа и математическа, които описах в предходната точка.

Научно-приложни приноси:

5.2. Доказване с нови средства на съществени нови страни в съществуващи научни проблеми и теории;

Доказано е теоретично и валидирано експериментално, че при наличие на топлинно поле с монотонно променлив пространствен температурен градиент е възможно да се създаде осцилираща механична система чрез нишка от сплав с памет на формата. Създадена е и е валидирана експериментално нова теория за моделиране на хистерезиси в сплави с памет на формата чрез коефициенти на пропорционалност. Създадени са и са валидирани оригинални математически модели за описване на динамичното поведение на термо-еластични елементи от сплави с памет на формата в осцилиращи режими. Чрез уравненията на Лагранж са изведени оригинални мултифизични модели, свързващи механични, пиезоелектрични и топлинни свойства при наличие на хистерезиси.

5.3. Получаване на потвърдителни факти;

Експериментално е потвърдена теорията за пропорционалното моделиране на основни хистерезисни и под хистерезисни явления в сплави с памет на формата. Потвърдени са експериментално математическите модели за описване на динамичното поведение на термо-еластични елементи от сплави с памет на формата в осцилиращи режими. Експериментално са валидирани уравненията на Лагранж за всички мултифизични модели.

5.4. Създаване на нови методи на изследване;

Създадени са числени решения на мултифизичните модели, които са потвърдени експериментално. Създадени са нови експериментални методи за едновременно измерване на няколко физични величини в реално време и тяхното записване с възможности за управление на експеримента. На основата на разработените стендове за едновременно измерване и записване на няколко физични величини с висока честота на дискретизация са създадени серия от лабораторни упражнения по множество учебни дисциплини в 4 факултета на ТУ-София.

5.5. Създаване на нови конструкции;

Проектирани са и са изработени разновидности на енергийни харвестери със самовъзбуждащи осцилации индуцирани от източник на постоянна температура. Създаден е енергиен вибрационен харвестер с нишка от сплави с памет на формата.

Проектиран е и е изработен стенд за изпитване на сплави с памет на формата, чрез които се измерват едновременно в реално време преместване, сила, температура, ток електрическо напрежение и множество производни величини. Създадени са опитни образци за управление на пропорционални клапани за сградна автоматизация. Проектирани са произведени оптимизирани опитни образци за on/off управление на клапани чрез бистабилни механизми.

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

Считам, че личното участие на дисертанта във формулиране на приносите в дисертационния труд не подлежи на никакво съмнение. Това е дисертация за научно звание „доктор на науките“, която се разработва самостоятелно, а в конкретния случай, това е труд, който финализира и представлява завършек на цялостната творческа дейност на кандидата.

7. Преценка на публикациите по дисертационния труд.

По дисертацията са приложени общо 13 научни публикации. Първите 4 са с импакт фактор над 2.2, като една от тях е в кuartил Q1, а останалите 3 – в кuartил Q2. От публикациите с импакт фактор над 2.2 в Scopus са получени общо 18 броя независими цитати (авто цитиранията са извадени и не се включват). Реферираните в Scopus публикации с импакт фактор под 2 са 9 броя. От публикациите с импакт фактор под 2 в Scopus са получени общо 46 независими цитирания. Общият брой цитирания в Scopus е 99. От тях 35 броя са самоцитирания. Независимите цитирания в Scopus са 64. До момента са налице 5 броя защитени патенти или подадени заявки за патенти по темата на дисертацията.

Научната продукция, свързана пряко с дисертационния труд, е на изключително високо ниво и надвишава в пъти минималните държавни изисквания.

8. Използване на резултатите от дисертационния труд в научната и социалната практика.

Мехатронните системи, които включват сплави с памет на формата и пиезоелектрични материали, предлагат значителни предимства по отношение на миниатюризация, многофункционалност и адаптивно управление. Интегрирането на тези интелигентни материали улеснява разработването на компактни, леки и енергийно ефективни устройства, оборудвани с интегрирани сензорни и задействащи възможности. Полезността на сплавите с памет на формата е особено изразена в сценарии, където безшумната работа и високите съотношения мощност-тегло са от първостепенно значение. В дисертационния труд тези свойства са комбинирани с функциите за преобразуване на енергия на пиезоелектрическите материали, при

което динамиката на вибрационно задвижваните генератори преобразуват топлината в електричество. Създадени са безшумни управления на клапани за приложения за интелигентен дом.

Всичко това доказва, че резултатите от дисертационния труд ще се ползват в бъдеще, както в научната, така и в социалната практика.

9. Оценка на съответствието на Автореферата с изискванията за изготвянето му и адекватност на отразяване на основните положения и приноси.

Авторефератът отразява напълно и адекватно основните постижения в дисертационния труд. Той е изготвен съобразно изискванията и нормативните документи в ТУ-София.

10. Мнения, препоръки и бележки.

До сега не съм имал научни или учебно-методични контакти с проф. д-р инж. Тодор Стоилов Тодоров. В последните няколко години, индиректно, се докоснах до огромната му научна продукция. Удивен съм от неговата компетентност в много широк диапазон на научното познание. Предложеният дисертационен труд е един логичен завършек на многогодишния му творчески път. Той е пример за младите научни кадри, как трябва да се отдадат с цялата си духовна и физическа енергия в името на науката и човешкия прогрес. Искрено се възхищавам от неговите научни постижения и му пожелавам крепко здраве и творческо дълголетие.

11. Заключение

Представеният дисертационен труд „Динамика на мехатронни системи, базирани на умни материали“ отговаря на всички изисквания на Закона за развитие на академичния състав в Република България и съответния Правилник, както и на изискванията на Правилника за условията и реда на придобиване на научни степени в Технически университет – София.

**Предлагам на проф. д-р инж. Тодор Стоилов Тодоров
да се присвои научната степен
„ДОКТОР НА НАУКИТЕ“.**

Дата: 08.01.2026 г.

РЕЦЕНЗЕНТ:



REVIEW

on the dissertation for the degree of Doctor of Science

Author of the dissertation: Prof. Dr. Eng. Todor Stoilov Todorov

Topic of the dissertation:

DYNAMICS OF MECHATRONIC SYSTEMS BASED ON SMART MATERIALS

Reviewer: Assoc. Prof. D.Sc. Anastas Ivanov Ivanov

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

The relevance of the dissertation submitted to me for review is established in the following more important areas.

All research reflected in the dissertation facilitates the development of adaptive, self-regulating, and high-performance devices, thus meeting the modern requirements of technologies in a number of areas of production.

The researched problems reflect the requirements for multifunctionality and miniaturization in the field of mechatronic systems, a key element for the development of innovations.

Solutions are given on how smart materials combining shape memory alloys and piezoelectric materials show reactivity to external stimuli, facilitating integrated actuation with sensor feedback and control in compact architectures.

Important knowledge is obtained on the stability, energy efficiency, and precision of control of a number of systems. Complete studies of their dynamic behavior, including indicators such as frequency response, hysteresis, damping characteristics, and nonlinearities, are carried out. Their direct impact on the design of feedback loops, real-time control algorithms, and structural integration strategies in mechatronic applications is proven.

It is shown how the established dynamic characteristics facilitate the development of predictive models and simulations, thus allowing engineers to optimize performance under changing operating conditions.

All the listed most significant problems developed in the dissertation work prove the highest level of relevance.

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

The dissertation work has a total volume of 287 pages, which includes 7 chapters, 215 figures, 15 tables, 148 cited literary sources, of which 2 are in Cyrillic, and the rest are in the Latin alphabet. The literature review, entitled "Analysis of the modern scientific level in the field of mechatronic energy-generating and energy-efficient systems", covers 34 pages. Here, in a synthesized and concise style, the states of a number of mechatronic energy-generating and energy-efficient systems subject to modeling are examined. The types of models and their physical and mechanical characteristics are specified. An overview of energy harvesters with smart materials and thermomechanical self-excited oscillators, as well as methods for modeling shape memory alloys (one-way, two-way, and super elastic effect) is given. The chemical composition and properties of these alloys are described, as well as methods for thermodynamic modeling. Methods for studying piezoelectric voltage generators are examined in detail. Finally, the main goal of the dissertation is formulated, on the basis of which seven main tasks are defined.

I evaluate the knowledge of the state of the problem and the creative interpretation of the literary material to the highest degree.

3. Compliance of the selected research methodology with the set goal and tasks of the dissertation.

According to the set goal, namely the creation of applied multiphysics theoretical models of devices with oscillatory action, based on smart materials, such as shape memory alloys and piezoelectrics, with a focus on the influence of hysteresis, to develop real devices through which to validate the theoretical conclusions, the dissertation formulates two hypotheses, the confirmation of which leads to the development of energy harvesters using phase transformations of shape memory alloys and piezoelectric effect for the conversion of constant heat into electrical energy. In addition, new methods for modeling and experimental study of shape memory alloys and piezoelectric materials have been created. New formulations for modeling hysteresis processes in shape memory alloys, as well as original multiphysics methods describing the dynamics of oscillating and quasi-oscillating systems, have been proposed.

This shows that the chosen research methodology fully corresponds to the main goal and tasks set in the dissertation.

4. Brief analytical characterization of the nature and assessment of the credibility of the material on which the contributions of the dissertation are built.

In the dissertation, analyses and optimizations of multiple controllable thermomechanical energy systems based on smart materials such as shape memory alloys and piezoelectrics have been made. They are supported by numerous publications. Initial prototypes and experimental setups for their research have been developed, while dynamic models describing their behavior and characteristics have been created at the same time. It has been shown that the experimental and theoretical results coincide with a high degree of accuracy.

The creation of two scientific hypotheses stands out, which elevates the dissertation to an extremely high level.

The first, called physical, claims that if there is a quasi-stationary or stationary thermal field with a variable temperature gradient with respect to the position in space in which the source and the shape memory alloy converter are located, it is possible to create an oscillating mechanical system, the energy of which can be converted into electrical energy.

The second, called mathematical, claims that if a quality functional exists, it is possible to determine its parameters in the permissible ranges and in the presence of restrictions, so as to achieve a minimum value of this functional.

Both hypotheses are proven with the help of 10 theorems and 4 lemmas.

The main conclusion that I can state is that the previously set goal of the dissertation work has been fulfilled.

5. Scientific and/or scientifically applied contributions of the dissertation work.

The contributions in a dissertation work represent its most important components. Here I can definitely emphasize that all contributions, scientific and scientifically applied, are extremely well formulated, justified and supported by the results of the research in the dissertation.

In short, the contributions are systematized as follows:

Scientific contributions:

5.1. Formulation and justification of new hypotheses;

These are the two hypotheses, physical and mathematical, that I described in the previous point.

Scientific and applied contributions:

5.2. Proving with new means of significant new aspects in existing scientific problems and theories;

It has been theoretically proven and experimentally validated that in the presence of a thermal field with a monotonically varying spatial temperature gradient, it is possible to create an oscillating mechanical system through a shape memory alloy thread. A new theory for modeling hysteresis in shape memory alloys using proportionality coefficients has been created and experimentally validated. Original mathematical models have been created and validated to describe the dynamic behavior of thermo-elastic elements of shape memory alloys in oscillating modes. Original multiphysics models have been derived using Lagrange equations, connecting mechanical, piezoelectric and thermal properties in the presence of hysteresis.

5.3. Obtaining confirmatory facts;

The theory for proportional modeling of basic hysteresis and subhysteresis phenomena in shape memory alloys has been experimentally confirmed. The mathematical models for describing the dynamic behavior of thermo-elastic elements made of shape memory alloys in oscillating modes have been experimentally confirmed. The Lagrange equations for all multiphysics models have been experimentally validated.

5.4. Creation of new research methods;

Numerical solutions of the multiphysics models have been created, which have been experimentally confirmed. New experimental methods for simultaneous measurement of several physical quantities in real time and their recording with possibilities for experiment control have been created. Based on the developed stands for simultaneous measurement and recording of several physical quantities with high sampling frequency, a series of laboratory exercises have been created in multiple academic disciplines in 4 faculties of TU-Sofia.

5.5. Creation of new structures;

Varieties of energy harvesters with self-excited oscillations induced by a constant temperature source have been designed and manufactured. An energy vibration harvester with a shape memory alloy filament has been created.

A test stand for shape memory alloys has been designed and manufactured, through which displacement, force, temperature, current, voltage, and multiple derivative quantities are measured simultaneously in real time. Experimental samples for controlling proportional valves for building automation have been created. Optimized experimental samples for on/off control of valves using bistable mechanisms have been designed and manufactured.

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

I believe that the personal participation of the dissertation candidate in formulating the contributions in the dissertation work is beyond doubt. This is a dissertation for the scientific title of "Doctor of Science", which is developed independently, and in this particular case, this is a work that finalizes and represents the culmination of the candidate's overall creative activity.

7. Assessment of publications on the dissertation work.

A total of 13 scientific publications have been attached to the dissertation. The first 4 have an impact factor above 2.2, with one of them in the Q1 quartile, and the remaining 3 in the Q2 quartile. A total of 18 independent citations were received from publications with an impact factor above 2.2 in Scopus (self-citations are excluded and not included). There are 9 referenced publications in Scopus with an impact factor below 2. A total of 46 independent citations were received from publications with an impact factor below 2 in Scopus. The total number of citations in Scopus is 99.

35 publications are self-citations. Independent citations in Scopus are 64. To date, there are 5 protected patents or submitted patent applications on the topic of the dissertation.

The scientific production directly related to the dissertation work is of an extremely high level and exceeds the minimum state requirements many times over.

8. Use of the results of the dissertation work in scientific and social practice.

Mechatronic systems that include shape memory alloys and piezoelectric materials offer significant advantages in terms of miniaturization, multifunctionality, and adaptive control. The integration of these smart materials facilitates the development of compact, lightweight, and energy-efficient devices equipped with integrated sensing and actuation capabilities. The utility of shape memory alloys is particularly pronounced in scenarios where silent operation and high power-to-weight ratios are of paramount importance. In the dissertation, these properties are combined with the energy conversion functions of piezoelectric materials, where the dynamics of vibration-driven generators convert heat into electricity. Silent valve controls for smart home applications have been created.

All this proves that the results of the dissertation will be used in the future, both in scientific and social practice.

9. Assessment of the compliance of the Abstract with the requirements for its preparation and adequacy of reflecting the main points and contributions.

The abstract fully and adequately reflects the main achievements in the dissertation work. It has been prepared in accordance with the requirements and regulatory documents of TU-Sofia.

10. Opinions, recommendations, and notes.

Until now, I have not had scientific or educational-methodical contacts with Prof. Dr. Eng. Todor Stoilov Todorov. In the last few years, indirectly, I have come into contact with his enormous scientific production. I am amazed by his competence in a very wide range of scientific knowledge. The proposed dissertation work is a logical conclusion to his many years of creative path. He is an example for young scientists of how they should devote all their spiritual and physical energy in the name of science and human progress. I sincerely admire his scientific achievements and wish him good health and creative longevity.

11. Conclusion

The presented dissertation "Dynamics of Mechatronic Systems Based on Smart Materials" meets all the requirements of the Act on the Development of Academic Staff in the Republic of Bulgaria and the relevant Regulations, as well as the requirements of the Regulations on the Conditions and Procedure for Acquiring Scientific Degrees at the Technical University - Sofia.

**I propose that Prof. Dr. Eng. Todor Stoilov Todorov
be awarded the scientific degree
"DOCTOR OF SCIENCES".**

Date: 08.01.2026

REVIEWER: