

РЕЦЕНЗИЯ

на дисертационен труд за присъждане на образователна и научна степен „доктор“ на тема „Изследване на топлинните режими на честотно управляем асинхронен двигател“, разработен от инж. Марин Тодоров Маринов

Дисертационният труд е в обем от 136 страници, като включва увод, 5 глави, приложения, списък на основните приноси, списък на публикациите по дисертацията и използвана литература. Дисертацията включва общо 155 фигури и 17 таблици.

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

Темата за топлинните режими на честотно управляемите асинхронни двигатели е изключително актуална поради масовото навлизане на честотни инвертори в индустрията. Основните причини, поради които това изследване е важно са влошеното охлаждане при ниски обороти, дължащо се на това, че асинхронните двигатели обикновено имат собствено охлаждане и когато честотният регулатор намали оборотите, дебитът на въздуха спада рязко, което води до критично прегряване, дори при номинален момент, също така хармоничните съставляващи на напрежението и свързаните с тях загуби, тъй като честотните преобразуватели захранват двигателя с несинусоидално напрежение, при което се генерират висши хармоници, които причиняват допълнителни загуби в стоманата и медта, превръщащи се в топлина. Оптимизирането на топлинния режим би позволило на машината да работи в най-ефективната си точка, намалявайки разходите за енергия и предотвратявайки преждевременното стареене на изолацията. Точното моделиране на тези процеси съществено би спомогнало за избягване на аварийни спирания на честотно управляемото асинхронно електрозадвижване.

Затова всяко изследване в тази област е актуално и ценно. Дисертационният труд разглежда конкретни проблеми, свързани с изследване на топлинните режими на честотно управляем асинхронен двигател, които представляват научна новост и са несъмнено полезни и актуални.

2. Познава ли дисертантът състоянието на проблема и оценява ли творчески литературния материал.

При изясняване състоянието на проблема, авторът се позовава на голям брой литературни източници – 122, издадени в широк период от време. Той е успял да обработи и анализира голям обем от информация, което му е помогнало правилно да формулира същността на проблема от гледна точка на предмета на изследването.

Избраните методики на изследване са правилни и дават отговор на поставената цел и задачи на дисертационния труд.

3. Избраната методика на изследване може ли да даде отговор на поставената цел и задачи на дисертационния труд.

Формулираната основна цел на дисертационния труд е:

Изследване на пространственото разпределение на температурното поле в честотно управляем асинхронен двигател при различни режими на работа.

За изпълнение на тази цел са формулирани и решени следните задачи:

- Разработване на подобрена методика за моделиране на температурното поле в честотно-управляем асинхронен двигател.
- Теоретично изследване на разпределението на температурното поле в честотно-управляем асинхронен двигател при стационарен режим и преходен режим на нагряване.
- Разработване и реализиране на стенд за експериментално изследване на температурното поле в честотно-управляем асинхронен двигател.
- Сравнителна аналитична оценка на резултатите получени при симулациите и експериментите.

Целта на дисертацията е ясна, конкретна и ориентирана към изследване на температурното поле в честотно-управляем асинхронен двигател при различни режими на работа. Задачите за нейното постигане са формулирани точно и в правилна методична последователност.

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

В дисертационния труд са представени резултати от теоретично и експериментално изследване на температурното поле на честотно управляем трифазен асинхронен двигател при различни режими на работа на двигателя и при различни честоти на захранващото напрежение.

В първа глава на дисертационния труд е направена класификация на неизправностите при експлоатация на асинхронни двигатели и неизправностите са систематизирани по честота на проявяване. Съставена е диаграма на разпределението на неизправностите в асинхронните двигатели, захранвани чрез честотни преобразуватели, на базата на която са идентифицирани източниците на топлина в двигателя. Направена е класификация на софтуерните приложения за моделиране на асинхронни двигатели, като най-подходящи за изследването са определени софтуерните продукти, базирани на метода на крайните елементи. Представен е сравнителен анализ на софтуерните приложения, попадащи в избраната категория. В табличен вид са представени предимствата и недостатъците на контактното и безконтактното измерване на температура в асинхронните двигатели и е направен сравнителен анализ на сензорите за измерване на температура.

Във втора глава на дисертационния труд е предложена оригинална методика за моделиране на температурното поле в асинхронен двигател, съчетаваща Т-образна заместваща схема и модел, изграден на база метода на крайните елементи. Параметрите

по Т-образната заместваща схема на избрания за изследване асинхронен двигател са определени по известна от литературата методика за проектиране на електрически двигатели. На тази база са изчислени всички загуби в двигателя при промяна на честотата на захранващото напрежение. Генериран е температурен модел на двигателя чрез метода на крайните елементи в програмна среда Comsol Multiphysics. Изследвано е топлинното поле на двигателя при симулиране на различни работни режими.

В трета глава на дисертационния труд са разгледани резултатите от симулационните изследвания, извършени посредством описания във втора глава модел. Разгледани са симулации на стационарен и преходен топлинен процес на двигателя в различни режими на работа и при различни честоти на захранващото напрежение.

В четвърта глава на дисертационния труд е разгледано изграждането на оригинален експериментален стенд за изследване на температурното поле на асинхронен двигател, който експериментално да апробира симулационните резултати за температурното разпределение в изследвания двигател. Проведени са многобройни експерименти при различни режими на работа на двигателя и при различни честоти на захранващото напрежение.

В пета глава на дисертационния труд е направен сравнителен анализ между експерименталните и симулационните резултати при определяне на работните характеристики на двигателя. Направени са сравнителни анализи на температурите, получени от моделирането и при експериментите при различни режими на работа на двигателя и при различни честоти на захранващото напрежение. Определени са стойностите на относителните и средните грешки.

5. Научни и научно-приложни приноси на дисертационния труд. Значимост на приносите за науката и практиката.

При реализирането на разработката са извършени много експериментални изследвания. Използван е съвременен софтуер за провеждане на теоретични изследвания чрез моделиране и симулации като Comsol Multiphysics.

Въз основа на представения дисертационен труд и публикациите може да се направи най-общо изводът, че са постигнати редица положителни резултати с приносен характер, по-значимите от които са:

- **Научно-приложни приноси:**

1. Разработена е подобрена методика въз основа на известни теоретични подходи, даваща възможност за определяне на температурното поле в честотно-управляем асинхронен двигател. Резултатите от изследването утвърждават предложената методика като иновативна и успешно приложима за подобряване режимите на работа на асинхронни двигатели при честоти, различни от номиналната.

2. Получени са потвърдителни данни при извършен сравнителен анализ на методи за определяне на загубите в асинхронен двигател. Получени са потвърдителни данни за влиянието на източниците на топлина в двигателя от честотата на захранващото

напрежение. Получени са потвърдителни данни при извършен сравнителен анализ на софтуерни решения за симулиране на полета в асинхронни двигатели.

3. Генерирани са нови и подобрени модели за симулационно изследване на разпределението на температурното поле в асинхронен двигател в честотен диапазон от 30-70Hz за стационарен режим и преходен режим на нагряване. Получени са пространствени температурни разпределения в честотно – управляем асинхронен двигател за честотен диапазон 30-70Hz за стационарен и преходен режим на работа.

4. Разработена е подобрена постановка за симулация работата на асинхронен двигател в програмна среда Comsol Multiphysics. В процеса на проектиране, а също и при действащи асинхронни двигатели е допустимо и целесъобразно параметрите и характеристиките им да се моделират и симулират с цел облекчаване или отказ от изследване в реални условия. Резултатите от изследването потвърждават, че на база на създаденото моделиране, може да се разработи реален двигател с по-добри показатели и характеристики.

- **Приложни приноси**

1. Разработен е подобрен експериментален подход за изследване на температурното поле в статора и ротора на асинхронен двигател. Разработен е нов оригинален дата логер (data logger), позволяващ извеждането на информацията за температурите на двигателя в процеса на работа.

2. Разработен е нов оригинален експериментален стенд за изследване на температурното поле на асинхронен двигател при различни режими на работа на двигателя и при различни честоти на захранващото напрежение.

6. Може ли да се оцени в каква степен дисертационния труд и приносите представляват лично дело на дисертанта?

Аналитичното изложение на материала, критичното отношение към собствените резултати и стремежът те да бъдат сравнени с такива на други автори, множеството числени и натурални експерименти са свидетелство за оригиналността на дисертационния труд и неговите научно-приложни приноси.

Доказателство в това отношение са и публикуваните резултати по дисертацията, които имат своето значимо присъствие сред материалите в тази важна и актуална област, каквато е честотното управление на асинхронни електрозадвижвания.

Освен това инж. Марин Тодоров Маринов е представил декларация за оригиналност на научните приноси съгласно чл. 27, ал. 2 от Правилника за приложение на ЗРАСПБ.

7. Преценка на публикациите по дисертационния труд: брой, характер на изданията (международни, национални, ведомствени, служебни бюлетини и т.н.), в които са отпечатани. Какво е отражението им в науката – използване и цитиране от други автори, в други лаборатории, страни и пр.?

Основни постижения и резултати от дисертационния труд са публикувани в 4 статии, като всички са индексирани в Scopus. Една статия е самостоятелна, а останалите са в съавторство. Има регистрирано 1 независимо цитиране в Scopus.

Изпълнени са Минималните национални изисквания за придобиване на ОНС „доктор“, определени от Правилника за приложение на ЗРАСРБ.

8. Резултатите от дисертационния труд използвани ли са вече в научната и социалната практика?

Няма представени доказателства за внедряване на резултатите на дисертационния труд.

9. Мотивирани препоръки за бъдещо използване на научните и научно-приложните приноси: какво и къде да се внедри.

Бих препоръчал резултатите от дисертационния труд да бъдат използвани за конкретни препоръки към производителите на трифазни асинхронни двигатели с честотно управление.

Резултатите от изследванията в дисертацията могат да бъдат използвани и в учебния процес.

10. Авторефератът направен ли е съгласно изискванията, правилно ли отразява основните положения и научните приноси на дисертационния труд?

Авторефератът е разработен съгласно изискванията на Приложение 4 на Правилника за приемане, обучение на докторанти и придобиване на образователната и научна степен „доктор“ и научна степен „доктор на науките“ на ТУ – Варна. Той правилно отразява основните положения и научните приноси на дисертационния труд.

Авторефератът дава ясна представа за същността на проблема, целта и задачите на дисертацията както и за пътя по който те се решават. Кратко и ясно са изложени резултатите от анализа, моделирането и експериментите, изводите и приносите.

11. Критични бележки по дисертацията, включително и по литературната осведоменост на кандидата.

Съществени забележки към дисертационния труд нямам. Прави впечатление, че дисертантът като цяло се е съобразил с направените препоръки в предварителната рецензия.

Имам някои технически препоръки, касаещи оформянето на дисертацията:

1. Препоръчвам източниците в библиографската справка да се изпишат еднообразно съгласно изискванията на БДС 17377-96 „Библиографско цитиране“ и да бъдат подредени или по азбучен ред или по реда на цитирането им в дисертацията.

2. На много места в дисертацията се говори за режим на натоварване на двигателя, без да е изяснено точно за какво натоварване става въпрос – номинално или различно от номиналното. Препоръчвам навсякъде, където е относимо, да се уточни големината и вида на натоварването.

3. Препоръчвам да се коментира защо в дисертацията е разгледан само един преходен режим на работа на двигателя – този на пускане, а не са разгледани и други преходни режими.

4. Препоръчвам в основните изводи и заключения на дисертацията да се коментира разпространението на получените в дисертацията резултати върху проектирането и изследването на трифазни асинхронни двигатели и да се направят конкретни препоръки.

5. Препоръчвам използваното в някои изводи словосъчетание „недвузначно определя“ да се замени с „недвусмислено определя“.

6. Препоръчвам към дисертацията да се добави списъка с публикациите по темата на дисертационния труд.

7. Препоръчвам да се отстранят правописните и стилистични грешки от текста на дисертацията.

Въпреки направените препоръки считам, че резултатите от изследването са теоретично значими и приложими в практиката.

Прави впечатление също, че и след представяне на дисертационния труд, инж. Марин Тодоров Маринов продължава да работи по тематиката на дисертацията и предлага план за бъдещи изследвания.

12. Други въпроси, по които рецензентът счита, че следва да вземе отношение.

Личните ми впечатления от над 5-годишното ми познанство в професионалната сфера с инж. Марин Тодоров Маринов са много добри. Като отговорен изследовател той се стреми към изчерпателност и точност на изследванията, на тяхното оформяне и публикуване.

За мен като рецензент няма съмнение, че основните научно-приложни и приложни приноси в дисертационния труд са лично дело на дисертанта.

Бих желал да отбележа, че съм впечатлен от обхвата и изчерпателността на проведените изследвания. Много добро впечатление прави и сравнението на получените теоретични резултати с данни от проведени реални експерименти.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Въз основа на изложеното по-горе относно актуалността, съдържанието и значимостта на научните и научно-приложните приноси на дисертационния труд „Изследване на топлинните режими на честотно управляем асинхронен двигател“, неговият обем и качеството на постигнатите научни резултати, считам, че той представлява завършено научно изследване.

Получени са редица положителни резултати с научно-приложен характер, представени на високо научно ниво по подходящ начин. Основните резултати са добре апробирани на редица национални и международни форуми и отпечатани в реферирани издания.

Разработката съответства на изискванията на ЗРАСРБ и Правилника за неговото приложение за получаване на образователна и научна степен “доктор”.

Предлагам на уважаемото Научно жури да присъди образователната и научна степен “доктор” на инж. Марин Тодоров Маринов.

Дата: 21.07.2026 г.

РЕЦЕНЗЕНТ:

проф. д-р инж. Бохос Апрахамян

REVIEW

of a PhD thesis for the award of the educational and scientific degree of "Doctor" (PhD)
Subject: "Investigation of the Thermal Regimes of a Frequency-Controlled Induction Motor"
Developed by: Eng. Marin Todorov Marinov

The thesis consists of 136 pages and includes an introduction, 5 chapters, appendices, a list of main contributions, a list of publications related to the thesis, and a bibliography. The thesis comprises a total of 155 figures and 17 tables.

1. Relevance of the problem addressed in the thesis from a scientific and applied-scientific perspective. Degree and scope of the relevance of the problem and the specific tasks developed in the thesis.

The topic of thermal regimes in frequency-controlled induction motors is highly relevant due to the widespread adoption of frequency inverters in the industry. The main reasons why this study is important include degraded cooling at low speeds. This is due to the fact that induction motors typically rely on self-cooling; when the frequency regulator reduces the speed, the airflow drops sharply, leading to critical overheating even at nominal torque. Furthermore, voltage harmonics and their associated losses are critical, as frequency converters supply the motor with non-sinusoidal voltage. This generates higher harmonics that cause additional losses in the steel and copper, which transform into heat.

Optimising the thermal regime would allow the machine to operate at its most efficient point, reducing energy costs and preventing premature aging of the insulation. Accurate modelling of these processes would significantly help avoid emergency shutdowns of frequency-controlled induction motor drives.

Therefore, any research in this field is relevant and valuable. The thesis addresses specific problems related to the study of thermal regimes in a frequency-controlled induction motor, which represent scientific novelty and are undoubtedly useful and topical.

2. Knowledge of the state of the art and creative evaluation of the literature by the PhD candidate.

In clarifying the state of the art, the author refers to a large number of literature sources – 122, published over a wide period of time. He has successfully processed and analysed a large volume of information, which has helped him correctly formulate the core of the problem from the perspective of the subject of research.

The chosen research methodologies are correct and address the established aim and objectives of the thesis.

3. Ability of the chosen research methodology to address the established aim and objectives of the thesis.

The main aim of the thesis is formulated as follows:
Investigation of the spatial distribution of the temperature field in a frequency-controlled induction motor under various operating regimes.

To achieve this aim, the following tasks have been formulated and resolved:

- Development of an improved methodology for modelling the temperature field in a frequency-controlled induction motor.
- Theoretical investigation of the temperature field distribution in a frequency-controlled induction motor under steady-state and transient heating regimes.
- Development and implementation of a test bench for experimental investigation of the temperature field in a frequency-controlled induction motor.
- Comparative analytical assessment of the results obtained from simulations and experiments.

The aim of the thesis is clear, specific, and oriented towards investigating the temperature field in a frequency-controlled induction motor under various operating conditions. The tasks for its achievement are formulated precisely and in a correct methodological sequence.

4. Brief analytical description of the nature and assessment of the reliability of the material supporting the thesis contributions.

The thesis presents results from both theoretical and experimental investigations of the temperature field of a frequency-controlled three-phase induction motor under various operating regimes and at different supply voltage frequencies.

In Chapter One of the thesis, a classification of operational faults in induction motors is provided, and faults are systematised by their frequency of occurrence. A distribution chart of faults in induction motors supplied via frequency converters is compiled, based on which the heat sources in the motor are identified. A classification of software applications for induction motor modelling is presented, identifying software products based on the Finite Element Method (FEM) as the most suitable for the study. A comparative analysis of software applications falling into the chosen category is presented. The advantages and disadvantages of contact and non-contact temperature measurement in induction motors are presented in tabular form, along with a comparative analysis of temperature sensors.

In Chapter Two of the thesis, an original methodology for modelling the temperature field in an induction motor is proposed, combining a T-equivalent circuit and a model built using the Finite Element Method. The parameters of the T-equivalent circuit for the induction motor selected for the study are determined using an electrical motor design methodology known from the

literature. On this basis, all motor losses are calculated as the supply voltage frequency varies. A thermal model of the motor is generated using the Finite Element Method within the Comsol Multiphysics software environment. The thermal field of the motor is investigated by simulating various operating regimes.

In Chapter Three of the thesis, the results of the simulation studies performed using the model described in Chapter Two are discussed. Simulations of steady-state and transient thermal processes of the motor under various operating regimes and at different supply voltage frequencies are examined.

In Chapter Four of the thesis, the construction of an original experimental test bench for investigating the temperature field of an induction motor is described, aimed at experimentally validating the simulation results for the temperature distribution in the investigated motor. Numerous experiments were conducted under various operating conditions of the motor and at different supply voltage frequencies.

In Chapter Five of the thesis, a comparative analysis between the experimental and simulation results is performed to determine the motor's performance characteristics. Comparative analyses are made regarding the temperatures obtained from the modelling and the experiments under various operating conditions and at different supply voltage frequencies. The values of relative and mean errors are determined.

5. Scientific and applied contributions of the thesis. Significance of the contributions to science and practice.

A large number of experimental studies were carried out during the implementation of this work. Modern software, such as Comsol Multiphysics, was utilised to conduct theoretical research through modelling and simulations.

Based on the presented thesis and publications, it can be generally concluded that a number of positive results with a contributing character have been achieved, the most significant of which are:

Applied-Scientific Contributions:

1. An improved methodology has been developed based on known theoretical approaches, enabling the determination of the temperature field in a frequency-controlled induction motor. The research results validate the proposed methodology as innovative and successfully applicable for improving the operating regimes of induction motors at frequencies other than the nominal one.
2. Confirmatory data were obtained from a comparative analysis of methods for determining losses in an induction motor. Confirmatory data were obtained regarding the influence of the supply voltage frequency on the heat sources within the motor. Confirmatory data were obtained from a comparative analysis of software solutions for field simulation in induction motors.

3. New and improved models have been generated for the simulation study of the temperature field distribution in an induction motor within a frequency range of 30–70 Hz for steady-state and transient heating regimes. Spatial temperature distributions in a frequency-controlled induction motor were obtained for the 30–70 Hz frequency range under steady-state and transient operating regimes.

4. An improved framework for simulating induction motor operation within the Comsol Multiphysics software environment has been developed. During the design process, as well as for operational induction motors, it is permissible and expedient to model and simulate their parameters and characteristics to ease or bypass real-world testing. The research results confirm that, based on the created model, a real motor with improved indicators and characteristics can be developed.

Applied Contributions:

1. An improved experimental approach has been developed to investigate the temperature field in the stator and rotor of an induction motor. A new original data logger has been developed, allowing the extraction of motor temperature data during operation.

2. A new original experimental test bench has been developed to investigate the temperature field of an induction motor under various operating conditions and at different supply voltage frequencies.

6. Assessment of the extent to which the thesis and its contributions represent the candidate's personal work.

The analytical presentation of the material, the critical attitude towards one's own results, the effort to compare them with those of other authors, and the multitude of numerical and physical experiments bear witness to the originality of the thesis and its applied-scientific contributions.

Proof of this is also found in the published results of the thesis, which hold a significant presence among the literature in this important and relevant field of frequency-controlled induction motor drives.

Furthermore, Eng. Marin Todorov Marinov has submitted a declaration of originality regarding the scientific contributions in accordance with Art. 27, Par. 2 of the Regulations for the Application of the Development of Academic Staff in the Republic of Bulgaria Act.

7. Evaluation of the publications related to the thesis: number, nature of the publications (international, national, institutional, official bulletins, etc.) where they were printed. Reflection in science – usage and citation by other authors, in other laboratories, countries, etc.

The main achievements and results of the thesis have been published in 4 papers, all of which are indexed in Scopus. One paper is single-authored, while the remaining ones are co-authored. There is 1 independent citation registered in Scopus.

The minimum national requirements for obtaining the educational and scientific degree of "Doctor" (PhD), as defined by the Regulations for the Application of the Development of Academic Staff in the Republic of Bulgaria Act, have been met.

8. Have the results of the thesis already been applied in scientific and social practice?

No evidence of the implementation of the thesis results has been presented.

9. Motivated recommendations for future application of the scientific and applied contributions: what should be implemented and where.

I would recommend that the results of the thesis be used to provide specific recommendations to manufacturers of frequency-controlled three-phase induction motors. The research results in the thesis could also be utilised in the teaching process.

10. Is the extended abstract (autoreferat) prepared in accordance with the requirements, and does it correctly reflect the main propositions and scientific contributions of the thesis?

The extended abstract has been developed in accordance with the requirements of Appendix 4 of the Regulations for Admission, Training of PhD Students, and Awarding of the Educational and Scientific Degree "Doctor" and the Scientific Degree "Doctor of Sciences" at the Technical University of Varna. It correctly reflects the main propositions and scientific contributions of the thesis.

The extended abstract provides a clear overview of the core of the problem, the aim, and the tasks of the thesis, as well as the path taken to resolve them. The results of the analysis, modelling, experiments, conclusions, and contributions are presented briefly and clearly.

11. Critical remarks on the thesis, including the candidate's literary awareness.

I have no substantial criticisms of the thesis. It is noteworthy that the PhD candidate has generally complied with the recommendations made in the preliminary review.

I have some technical recommendations regarding the layout and formatting of the thesis:

1. I recommend that the sources in the bibliography be formatted uniformly in accordance with the requirements of BDS 17377-96 "Bibliographic Citation" and arranged either alphabetically or in the order of their citation within the thesis.
2. In many places in the thesis, the motor loading regime is mentioned without clarifying exactly what load is concerned – nominal or otherwise. I recommend specifying the magnitude and type of load wherever relevant.
3. I recommend commenting on why only one transient operating regime of the motor – namely starting – was considered in the thesis, and why other transient regimes were not explored.

4. I recommend that the main findings and conclusions of the thesis comment on the extension of the results obtained to the design and investigation of three-phase induction motors, and that specific recommendations be made.

5. I recommend that the phrase "unambiguously determines" (недвузначно определя) used in some conclusions be replaced with "unequivocally determines" (недвусмысленно определя).

6. I recommend adding the list of publications on the topic of the thesis to the thesis text.

7. I recommend correcting spelling and stylistic errors within the text of the thesis.

Despite the recommendations made, I consider the research results to be theoretically significant and applicable in practice.

It is also impressive that even after submitting the thesis, Eng. Marin Todorov Marinov continues to work on the topic and proposes a plan for future research.

12. Other matters on which the reviewer considers they should express an opinion.

My personal impressions from my professional acquaintance with Eng. Marin Todorov Marinov spanning over 5 years are very good. As a responsible researcher, he strives for comprehensiveness and accuracy in his investigations, as well as in their presentation and publication.

For me, as a reviewer, there is no doubt that the main applied-scientific and applied contributions in the thesis are the personal work of the PhD candidate.

I would like to note that I am impressed by the scope and comprehensiveness of the research conducted. The comparison of the obtained theoretical results with data from real physical experiments also makes a very good impression.

CONCLUSION

Based on the foregoing regarding the relevance, content, and significance of the scientific and applied-scientific contributions of the thesis "Investigation of the Thermal Regimes of a Frequency-Controlled Induction Motor", its volume, and the quality of the achieved scientific results, I consider it to be a completed scientific study.

A number of positive results of an applied-scientific nature have been obtained, presented at a high scientific level and in an appropriate manner. The main results have been well validated at a number of national and international forums and published in peer-reviewed journals. The work complies with the requirements of the Development of Academic Staff in the Republic of Bulgaria Act and the Regulations for its application for obtaining the educational and scientific degree of "Doctor" (PhD).

I propose to the esteemed Scientific Jury to award the educational and scientific degree of "Doctor" (PhD) to Eng. Marin Todorov Marinov.

Date: 21 July 2026

REVIEWER:

Prof. Dr. Eng. Bohos Aprahamian