

РЕЦЕНЗИЯ

върху дисертационен труд за придобиване на образователна и научна степен „доктор“ в област на висше образование 5. „Технически науки“, професионално направление 5.3 „Комуникационна и компютърна техника“, научна специалност „Автоматизирани системи за обработка на информация и управление“

Автор на дисертационния труд: маг. инж. Стефан Николаев Лишев, катедра „Електронна техника“, Факултет по Електроника и автоматика на Технически университет – София, филиал Пловдив

Тема на дисертационния труд: „Методи и средства за отдалечено измерване параметрите на атмосферния въздух“

Рецензент: проф. д-р инж. Никола Вичев Колев, доктор на науките.

Актуалност на разработвания в дисертационния труд проблем в научно и научноприложно отношение.

Дисертационният труд е с актуална тема за развитието на електронни средства за дистанционна оценка на параметри на атмосферния въздух. Оценката и управлението на процеси, свързани с атмосферния въздух, е сложна и деликатна дейност на човешкото познание и има интердисциплинарен характер.

Антропогенната дейност причинява нарушения, затова има нарастващ интерес към опазването на елементите на околната среда, сред които и приземния въздух, и вниманието на обществото се фокусира към все по-задълбочено изучаване на средата, в която живеем.

От прегледа на документите на дисертанта инж. Лишев, и в изпълнение на условието, че е решил поставените задачи и е отчислен с право на защита, съгласно Правилника на ТУ – София, мога да приема, че е изпълнил изискванията, които му дават право за защита на подготвената от него дисертация за присъждане на ОНС „доктор“.

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

Целта на дисертационния труд е да се развият методи и средства за реализиране на системи за локални и отдалечени измервания на параметри, отразяващи качеството на атмосферния въздух като се използват Интернет системата (IoT) и облачни технологии (Cloud Computing).

За постигане на тази цел в настоящия труд се решават следните задачи:

1. Да се усвоят и развият методи и средства за събиране, предаване, обработка и съхранение на данни в системи за измерване на параметри, отразяващи качеството на атмосферния въздух;

2. Да се моделира и проектира адаптирана архитектура на IoT базирана система за измерване на параметри, отразяващи качеството на атмосферния въздух.

3. Да се изследва приложението на LoRaWAN при реализиране на системи за отдалечено измерване на параметри, характеризиращи атмосферния въздух.

4. Да се интегрира към облачна среда система за измерване на параметри, отразяващи качеството на атмосферния въздух и да се изследва нейното мащабиране.

Трябва да се подчертае, че приземният атмосферен въздух е изключително динамична величина и внимателно трябва да се подхожда за да се изберат тези параметри, които могат да се измерват и оценяват, за да се получат обективни данни за състоянието му.

Дисертационният труд е с обем от 151 страници и се състои от увод, 5 глави с изводи, приноси, списък на публикации по дисертационния труд и използвана литература, включваща 114 източника, от които - 101 на латиница, 1 на кирилица и останалите – интернет адреси. В текста са включени 72 фигури и 13 таблици, всички добре представени.

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

Интелигентните системи, които се използват в мониторинга на атмосферния въздух, който е изключително динамична величина, използват съвременни технологии за събиране, обработка и анализ на данни в реално време, което позволява бързо реагиране на промените в качеството на въздуха и вземане на информирани решения. Използването на облачни технологии, които да се включат като елементи на измервателна система за оценка на качеството на атмосферния въздух предлага нови възможности за постигане на висока ефективност и оптимизация в оценката на параметрите, необходими за мониторинг на качеството на въздуха.

В изпълнение на целта дисертантът подчертава, че някои групи от населението са особено уязвими и податливи на неблагоприятните ефекти от замърсяването на въздуха (децата, възрастните хора и тези със здравословни проблеми с дишането), което налага разработката.

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

В уводната част на дисертацията се обсъжда интеграцията на Интернет (IoT) с възможностите на облачни технологии за развитие на системи за измерване на параметри за качеството на атмосферния въздух като се предлагат нови възможности за постигане на оптимизация, което е важна задача за проектирането на интелигентните системи за мониторинг на качеството на въздуха.

Във втора глава се разглеждат детайлно различните подходи при мониторинга на атмосферния въздух и се анализират техните предимства и ограничения. Разглеждат се методите и средствата за предаване на данни, тяхното съхранение и последваща обработка за успешното и прецизно събиране, обработка и оценка на получените данни. В тази глава се представя работният процес в този род системи за отдалечено измерване на параметрите, характеризиращи качеството на атмосферния въздух. Той се базира на измерването на електромагнитното излъчване, отразено или излъчено от земната повърхност и атмосферата, като позволява количествена оценка на атмосферните замърсители чрез анализ на спектралните характеристики при поглъщане и разсейване на светлината.

Въпреки своите предимства, методите за дистанционно изследване имат ограничения, свързани с наличието на облачна покривка, която възпрепятства оптичните измервания, както и с по-ниската времева разделителна способност (обикновено едно преминаване на ден за полярно-орбиталните сателити). Интегрирането на сателитни данни с наземни сензорни мрежи се разглежда като най-перспективният подход за постигане на пълна пространствено-времева картина на качеството на атмосферния въздух.

В трета глава се предлагат интересни подходи при внедряването на системи за локални и дистанционни измервания на параметри, отразяващи качеството на атмосферния въздух като адаптирана IoT архитектура, която може да интегрира различни компоненти и технологии, за да осигури регистриране, предаване, обработка и съхранение на данни за състоянието на приземния въздух.

Предлаганата от дисертанта система включва сензорни устройства, свързани дистанционно с базова станция, която използва протокол за радиовръзка с цел предаване на измерените данни от сензорните устройства до базовата станция. Дисертантът предлага протоколът да е от групата на LPWAN стандартите, които позволяват работа на големи разстояния при ниска консумация на енергия. След като данните се получат в базовата станция, тя ги предава чрез IP протокол или чрез клетъчни мрежи, например Wi-Fi към облачната среда, където се намира базата данни за съхранение и обработка на данните. В облачната среда е и приложният сървър, който служи за идентификация, авторизация и предоставяне на удобен потребителски интерфейс за крайния потребител, който се свързва към системата чрез персонален компютър или мобилен телефон.

Системата за регистриране на параметри, характеризиращи атмосферния въздух, най-често се налага да работи в градска среда, която е наситена с източници на електромагнитни смущения. Поради тази причина се налага да се използват подходящи методи за радио връзка, които позволяват надеждна и сигурна комуникация.

Сензорите за измерване на параметри на атмосферния въздух са част от сензорните устройства, които могат да бъдат монтирани в различни части на града, или може да бъдат прикрепени към специализиран дрон, с цел изследване на вертикалното разпределение на параметрите, които се налага да се регистрират, включително разпределението на температурата и влажността в приземните слоеве на атмосферния въздух.

Дисертантът предлага адаптирана архитектура за използване в системи за екологичен мониторинг, която се основава на класическите IoT модели, като добавя и променя слоеве, запазвайки концептуалната рамка. Той предлага да се адаптира структурата на системата, което е необходимо, за да се отчетат особеностите на такъв тип системи. За да се оптимизира структурата на системата се въвежда периферен слой, тъй като освен енергията, необходима за хранване на сензорните устройства, е необходима енергия за предавателните мрежи в градската среда, които да извършват компресия на данните, получени от сензорите. Той предлага 5-слоен IoT модел, върху който е изградена хибридна архитектура на система за екологичен мониторинг.

Харесва ми идеята на дисертанта комуникационната система на крайното измервателно устройство да е снабдена с два модема – един, работещ на стандартната честотна лента за Европейския съюз, която е 868 MHz, и втори модем, който работи с LoRa модулация в честотната лента 433 MHz. Това крайно устройство, наречено хибридно, може да работи в два режима – като релейно устройство, което препредава получените пакети данни, или като такова, което поддържа собствена мрежа от крайни устройства. Във втория случай то има достъп до данните, които получава и може да ги обобщава, с цел оптимизация на използването на LoRaWAN мрежата, както и оптимизиране на използваната енергия.

В четвърта глава се обсъжда какво да се направи при IoT системи за отдалечено регистриране на параметри, показващи качеството на атмосферния въздух, защото при дистанционни измервания сензорните мрежи са географски разпределени на големи площи. Това налага използването на безжичен протокол за връзка, който позволява комуникация на големи разстояния. Наред с това, сензорните устройства трябва да могат да работят за продължителни периоди от време, без да се налага поддръжка, включително смяна на хранящите батерии, особено в трудно достъпни райони. Необходимо е сензорните устройства да бъдат оптимизирани за работа дълго време.

Работната хипотеза, която дисертантът предлага е, че стандартът LoRaWAN отговаря на тези изисквания и, че при оптимално конфигуриране на безжичната сензорна мрежа е възможно да бъдат удовлетворени изискванията за екологичен мониторинг.

Пета глава е посветена на интегрирането на облачни технологии и съвременните системи за Интернет и представлява критичен етап от развитието на инфраструктурите за мониторинг в околната среда. Облачната среда, според дисертанта, предлага мащабируемост, изчислителна мощ и дългосрочно съхранение на данните. Изборът на LoRaWAN като комуникационен протокол за тези системи е продиктуван от неговата способност да осигурява свързаност на големи разстояния при изключително ниска консумация на енергия, което позволява на сензорните възли да оперират автономно в градска или отдалечена среда в продължение на години.

В съвременните системи това представлява модерна, мащабируема и сигурна LoRaWAN мрежова структура, която обслужва както обществени мрежи, така и частни индустриални инсталации, предлагайки разширени функции за управление на жизнения цикъл на устройствата. За целите на измерването на качеството на въздуха, тази мрежова структура действа като дедупликатор на съобщения, когато няколко шлюза приемат едно и също предаване от сензорен възел, и като пазител на сигурността чрез AES-128 криптиране.

В тази глава са включени и резултати от експериментални измервания, визуализирани в потребителския интерфейс на облачната услуга ThingSpeak, което я прави приносен елемент на дисертацията..

5. Научноприложни и приложни приноси на дисертационния труд

Считам, че приносите имат научно-приложен и приложен характер. Направени са аналитични изследвания на LoRaWAN и възможностите за мащабиране на безжични сензорни системи в градска среда. Предложена е оптимизация на предаването на данни, която позволява разгръщане на широко-обхватни мрежи за екологичен мониторинг.

Научно-приложни приноси:

1. Предложено е аналитично изследване на възможностите за мащабиране на LoRaWAN безжична сензорна мрежа.
2. Предложена е хибридна IoT архитектура, адаптирана за измерване на параметри, отразяващи качеството на атмосферния въздух.
3. Предложен е симулационен анализ, с цел потвърждение на резултатите, получени от аналитичното изследване.
4. Предложени са резултати от измервания на качеството на атмосферния въздух в ключови точки в градска среда.
5. Изследвани са възможностите за употреба на ниско-стойностни сензори и тяхното приложение при индикативни измервания на качеството на въздуха.

Приложни:

1. Проектирано е инженерно и реализирано преносимо устройство за измерване на параметри, отразяващи качеството на атмосферния въздух.
2. Проектирано и реализирано е безжично преносимо устройство, което използва LoRaWAN комуникация за предаване на данни. Също така, за работа с измервателното устройство е реализирано мобилно приложение за управление и визуализация на получените резултати от измерванията.

Считам, че получените резултати са оригинални, включително създадената конструкция на измервателна система и напълно съответстват на изискванията за дисертационен труд за придобиване на образователната и научна степен „Доктор“.

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

Разработките в дисертацията са описани компетентно и в необходимата пълнота, изводите и заключенията са добре построени и аргументирани. Докторантът е покрил минималните изисквания на ТУ-София.

7. Преценка на публикациите по дисертационния труд

Дисертационният труд на инж. Лишев е построен върху 5 публикации, основна част от които - публикувани в издания в Scopus, като в един от трудовете инж. Лишев е единствен автор, а в останалите – първи автор.

Разработките по дисертацията са публикувани в реномирани научни издания като: Proceedings of International Scientific Conference “Electronics 2021”; Natural Sciences and Humanities; Computer and Communications Engineering; Engineering Processing.

Прочетох трудовете на инж. Лишев, на основата на които е изградена дисертацията и приемам, че резултатите от разработките са познати на научната общност у нас, тъй като основна част от публикациите са включени в реферирани научни издания.

Не открих елементи на плагиатство в материалите по дисертацията.

Нямам общи публикации с дисертанта и не съм свързано лице с него по смисъла на параграф 1, т. 5 от Допълнителните разпоредби на ЗРАСРБ.

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

От прочетеното в дисертацията оценявам, че е направена една интересна разработка и публикуването на резултатите от нея в реномирани научни издания и участието в няколко научни форума доказват активното присъствие на инж. Лишев в научния живот на Техническия университет – София, филиал Пловдив.

Това ми дава основание да приема, че разработките по дисертацията са познати и са лично дело на дисертанта.

9. Оценка на съответствието на автореферата с изискванията за изготвянето му

Прочетох внимателно автореферата и твърдя, че той отразява всички части на дисертацията и е подготвен, съгласно изискванията на Правилника на ТУ.

10. Лични впечатления

Познавам добре творческата среда, в която е работил дисертантът Стефан Лишев и зная, че той участва активно в научноизследователската дейност на Технически университет – филиал Пловдив. Рецензирал съм ръкопис на негова публикация, познавам добре научните му ръководители и творческата атмосфера на катедрата в която е протекло обучението му

11. Мнения, препоръки и бележки

- 1) Има фигури които изглеждат взети от други източници и с текстове на английски.
- 2) Липсва заключение в края на дисертационния труд.
- 3) Използвани са чуждици в текста на дисертацията (констелация и др.)
- 3) Препоръчвам резултатите от дисертационната разработка да бъдат публикувани в повече международни издания.

12. Заключение

Считам, че получените от маг. инж. Стефан Николаев Лишев резултати са оригинални и напълно съответстват на изискванията за дисертационен труд за придобиване на образователната и научна степен „Доктор“. Разработките в дисертацията са описани компетентно и в необходимата пълнота, изводите и заключенията са добре построени и аргументирани. Докторантът е покрил изискванията на ТУ-София.

Получените в дисертационния труд научно-приложни и приложни приноси, демонстрираното високо образователно ниво и натрупан теоретичен и изследователски опит с постигнати и практически резултати в една актуална научна област, ми дават достатъчни основания убедено да препоръчам на уважаемото жури да присъди на маг. инж. Стефан Николаев Лишев образователната и научна степен „доктор“ в областта на висше образование „Технически науки“, професионално направление 5.2 „Електротехника, електроника и автоматика“, научна специалност “Автоматизирани системи за обработка на информация и управление”.

Дата : 03.08.2026 г.

гр. София

РЕЦЕНЗИЯ

(проф. д-р инж. **Николаев, Д.Н.**)



REVIEW

on a dissertation for the acquisition of the educational and scientific degree "Doctor" in the field of higher education 5. "Technical Sciences", professional field 5.3 "Communication and Computer Engineering", scientific specialty "Automated Information Processing and Control Systems".

Author of the dissertation: M.Eng. Stefan Nikolaev Lishev, Department of "Electronic Engineering", Faculty of Electronics and Automation of the Technical University - Sofia, Plovdiv Branch

Topic of the dissertation: "Methods and tools for remote measurement of atmospheric air parameters"

Reviewer: Prof. Dr. Eng. Nikola Vichev Kolev, Doctor of Sciences.

1. Relevance of the problem developed in the dissertation in scientific and applied science terms.

The dissertation has a topical topic for the development of electronic means for remote assessment of atmospheric air parameters. The assessment and management of processes related to atmospheric air is a complex and delicate activity of human knowledge and has an interdisciplinary nature. Anthropogenic activity causes disturbances, therefore there is a growing interest in the protection of environmental elements, including ground air, and the attention of society is focused on an increasingly in-depth study of the environment in which we live. From the review of the documents of the dissertation student Eng. Lishev, and in fulfillment of the condition that he has solved the assigned tasks and has been discharged with the right to defend, according to the Regulations of TU - Sofia, I can assume that he has fulfilled the requirements that give him the right to defend the dissertation he prepared for the award of the ONS "doctor".

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

The goal of the dissertation work is to develop methods and tools for implementing systems for local and remote measurements of parameters reflecting the quality of atmospheric air using the Internet system (IoT) and cloud technologies (Cloud Computing). To achieve this goal, the following tasks are solved in this work:

1. To master and develop methods and tools for collecting, transmitting, processing and storing data in systems for measuring parameters reflecting the quality of atmospheric air;
2. To model and design an adapted architecture of an IoT-based system for measuring parameters reflecting the quality of atmospheric air.
3. To study the application of LoRaWAN in implementing systems for remote measurement of parameters characterizing atmospheric air.
4. To integrate a system for measuring parameters reflecting the quality of atmospheric air into a cloud environment and to study its scaling.

It should be emphasized that ground-level atmospheric air is an extremely dynamic quantity and care must be taken to select those parameters that can be measured and evaluated in order to obtain objective data on its condition. The dissertation has a volume of 151 pages and consists of an introduction, 5 chapters with conclusions, contributions, a list of publications on the dissertation and used literature, including 114 sources, of which - 101 in Latin, 1 in

Cyrillic and the rest - Internet addresses. The text includes 72 figures and 13 tables, all well presented.

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

The intelligent systems used in the monitoring of atmospheric air, which is an extremely dynamic quantity, use modern technologies for collecting, processing and analyzing data in real time, which allows for rapid response to changes in air quality and making informed decisions. The use of cloud technologies to be included as elements of a measurement system for assessing ambient air quality offers new opportunities for achieving high efficiency and optimization in the assessment of parameters necessary for air quality monitoring. In pursuit of the goal, the dissertation emphasizes that some groups of the population are particularly vulnerable and susceptible to the adverse effects of air pollution (children, the elderly and those with respiratory health problems), which necessitates the development.

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

The introductory part of the dissertation discusses the integration of the Internet (IoT) with the capabilities of cloud technologies for the development of systems for measuring parameters of atmospheric air quality, offering new opportunities for achieving optimization, which is an important task for the design of intelligent air quality monitoring systems. The second chapter examines in detail the different approaches to atmospheric air monitoring and analyzes their advantages and limitations. The methods and means of data transmission, their storage and subsequent processing for the successful and precise collection, processing and evaluation of the obtained data are considered. This chapter presents the workflow in this type of systems for remote measurement of parameters characterizing atmospheric air quality. It is based on the measurement of electromagnetic radiation reflected or emitted by the Earth's surface and atmosphere, allowing for the quantitative assessment of atmospheric pollutants by analyzing the spectral characteristics of light absorption and scattering. Despite their advantages, remote sensing methods have limitations related to the presence of cloud cover, which hinders optical measurements, as well as lower temporal resolution (typically one pass per day for polar-orbiting satellites). The integration of satellite data with ground-based sensor networks is considered the most promising approach to achieve a complete spatiotemporal picture of atmospheric air quality. In the third chapter, interesting approaches are proposed in the implementation of systems for local and remote measurements of parameters reflecting atmospheric air quality as an adapted IoT architecture that can integrate various components and technologies to provide recording, transmission, processing and storage of data on the state of the ground air. The system proposed by the dissertation includes sensor devices remotely connected to a base station that uses a radio communication protocol to transmit the measured data from the sensor devices to the base station. The dissertation proposes that the protocol be from the group of LPWAN standards, which allow operation over long distances with low power consumption. After the data is received at the base station, it transmits it via IP protocol or via cellular networks, for example Wi-Fi, to the cloud environment, where the

database for data storage and processing is located. The cloud environment also contains the application server, which serves for identification, authorization and provision of a convenient user interface for the end user, who connects to the system via a personal computer or mobile phone. The system for registering parameters characterizing atmospheric air most often has to operate in an urban environment that is saturated with sources of electromagnetic interference. For this reason, it is necessary to use appropriate radio connection methods that allow reliable and secure communication. Sensors for measuring atmospheric air parameters are part of the sensor devices that can be installed in different parts of the city, or can be attached to a specialized drone, in order to study the vertical distribution of the parameters that need to be registered, including the distribution of temperature and humidity in the ground layers of the atmospheric air. The dissertation proposes an adapted architecture for use in environmental monitoring systems, which is based on classic IoT models, by adding and changing layers, while preserving the conceptual framework. He proposes to adapt the structure of the system, which is necessary to take into account the peculiarities of such systems. In order to optimize the structure of the system, a peripheral layer is introduced, since in addition to the energy needed to power the sensor devices, energy is needed for the transmission networks in the urban environment, which will compress the data received from the sensors. He proposes a 5-layer IoT model, on which a hybrid architecture of an environmental monitoring system is built. I like the idea of the dissertationist that the communication system of the final measuring device is equipped with two modems – one operating on the standard frequency band for the European Union, which is 868 MHz, and a second modem that operates with LoRa modulation in the frequency band 433 MHz. This final device, called hybrid, can operate in two modes – as a relay device that retransmits the received data packets, or as one that supports its own network of final devices. In the second case, it has access to the data it receives and can summarize it, in order to optimize the use of the LoRaWAN network, as well as optimize.

5. Scientific-applied and applied contributions of the dissertation

I believe that the contributions have a scientific-applied and applied nature. Analytical studies of LoRaWAN and the possibilities for scaling wireless sensor systems in urban environments have been conducted. Optimization of data transmission has been proposed, which allows the deployment of wide-area networks for environmental monitoring.

Scientific-applied contributions:

1. An analytical study of the possibilities for scaling a LoRaWAN wireless sensor network has been proposed.
2. A hybrid IoT architecture has been proposed, adapted for measuring parameters reflecting the quality of atmospheric air.
3. A simulation analysis has been proposed, in order to confirm the results obtained from the analytical study.
4. Results of measurements of atmospheric air quality at key points in urban environments have been proposed.
5. The possibilities for using low-value sensors and their application in indicative measurements of air quality have been studied.

Applied contributions:

1. An engineering and implemented portable device for measuring parameters reflecting the quality of atmospheric air has been designed and implemented.

2. A wireless portable device that uses LoRaWAN communication for data transmission has been designed and implemented. Also, a mobile application for managing and visualizing the obtained measurement results has been implemented to work with the measuring device. I believe that the obtained results are original, including the created construction of a measuring system and fully comply with the requirements for a dissertation for acquiring the educational and scientific degree "Doctor".

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

The developments in the dissertation are described competently and in the necessary completeness, the conclusions and conclusions are well constructed and argued. The doctoral student has covered the minimum requirements of TU-Sofia.

7. Assessment of publications on the dissertation work

The dissertation work of Eng. Lishev is built on 5 publications, the main part of which is published in Scopus publications, as in one of the works Eng. Lishev is the sole author, and in the others – the first author. The developments on the dissertation have been published in renowned scientific publications such as: Proceedings of International Scientific Conference "Electronics 2021"; Natural Sciences and Humanities; Computer and Communications Engineering; Engineering Processing.

I have read the works of Eng. Lishev, on the basis of which the dissertation is built, and I assume that the results of the developments are known to the scientific community in our country, since the main part of the publications are included in refereed scientific publications.

I did not find elements of plagiarism in the materials on the dissertation.

I have no common publications with the dissertation author and I am not a related person to him within the meaning of paragraph 1, item 5 of the Additional Provisions of the Law on the Protection of Scientific and Technical Resources of the Republic of Bulgaria.

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

From what I have read in the dissertation, I assess that an interesting work has been done and the publication of its results in reputable scientific publications and participation in several scientific forums prove the active presence of Eng. Lishev in the scientific life of the Technical University - Sofia, Plovdiv Branch. This gives me reason to assume that the works on the dissertation are known and are the personal work of the dissertation author.

9. Assessment of the compliance of the abstract with the requirements for its preparation

I have carefully read the abstract and claim that it reflects all parts of the dissertation and has been prepared in accordance with the requirements of the TU Regulations.

10. Personal impressions

I am well acquainted with the creative environment in which the dissertation candidate Stefan Lishev worked and I know that he actively participates in the scientific research activities of the Technical University - Plovdiv Branch. I have reviewed a manuscript of his publication, I am well acquainted with his scientific supervisors and the creative atmosphere of the department in which his training took place

11. Opinions, recommendations and notes

1) There are figures that appear to be taken from other sources and with texts in English.

- 2) There is no conclusion at the end of the dissertation work.
- 3) Foreign words are used in the text of the dissertation (constellation, etc.)
- 4) I recommend that the results of the dissertation be published in more international publications.

12. Conclusion

I believe that the results obtained by M.Eng. Stefan Nikolaev Lishev are original and fully comply with the requirements for a dissertation for the acquisition of the educational and scientific degree "Doctor". The developments in the dissertation are described competently and in the necessary completeness, the conclusions and conclusions are well constructed and argued. The doctoral student has met the requirements of TU-Sofia. The scientific and applied and applied contributions obtained in the dissertation, the demonstrated high educational level and accumulated theoretical and research experience with achieved and practical results in a current scientific field, give me sufficient grounds to confidently recommend to the esteemed jury to award M.Eng. Stefan Nikolaev Lishev the educational and scientific degree "Doctor" in the field of higher education "Technical Sciences", professional direction 5.2 "Electrical Engineering, Electronics and Automation", scientific specialty "Automated Information Processing and Control Systems".

Date: 03.08.2026

Sofia

REVIEWER:

(Prof. Dr. Eng. Nikola Kolev, D.Sc.)

