

РЕЦЕНЗИЯ

върху дисертационен труд за придобиване на образователна и научна степен „Доктор” в област на висшето образование 5. „Технически науки”, професионално направление 5.2. „Електротехника, електроника и автоматика ” (Електротехнологии)

Тема на дисертационния труд: **„ТЕХНОЛОГИЧНИ ПРОЦЕСИ И АПАРАТИ ЗА ЕЛЕКТРООВЛАКНЯВАНЕ“**

Автор на дисертационния труд: **маг.инж. Момчил Димитров Шопов**

Изготвил: проф. д.н. инж. Галина Петкова Чернева – ВТУ «Тодор Каблешков» София

1. Информация за докторанта

Маг.инж. Момчил Шопов е задочен докторант по докторска програма "Електротехнологии", професионално направление 5.2 Електротехника, електроника и автоматика в катедра "Електрически апарати" към Електротехнически факултет на Технически университет-София.

Маг. инж. Момчил Шопов е изпълнил всички изисквания в индивидуалния план на своята докторантура и е положил успешно всички необходими изпити.

Процедурата по публична защита на дисертационния му труд е стартирана по предложение на катедрения съвет на катедра „Електрически апарати” и решение на факултетния съвет на Електротехнически факултет.

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

Процесът на електроовлакняване се разглежда като стратегическа технология на бъдещето, която съчетава научна иновативност, индустриален потенциал и екологична устойчивост. Неговата значимост се определя от възможността за получаване на ултратънки влакна с диаметър в микро- и нанометров диапазон, които образуват структури с изключително ценни свойства и широко приложение. Получените наноматериали се отличават с голяма специфична повърхност, висока порьозност, ниско тегло и добра механична устойчивост. Тези качества превръщат електроовлакнените материали в ключов елемент за редица иновативни приложения. Особено голяма е актуалността на електроовлакняването в медицината и биоинженерството, в областта на филтрацията и екологията. Съществено значение технологията има и за енергетиката и електрониката – при производството на сепаратори за батерии, суперкондензатори, гъвкави сензори, проводими текстили и компоненти за интелигентни устройства. Това показва, че електроовлакняването не е само лабораторен метод, а реална индустриална технология с нарастващо практическо значение.

Растящият интерес към електроовлакнените материали и перспективите за тяхното приложение, определят актуалността на настоящия дисертационен труд (ДТ). Развитието на тези технологии поставя множество инженерни задачи, свързани с моделиране, анализ и оптимизация на процесите. Поради това поставената цел и формулираните конкретни задачи, които успешно решава представената разработка, имат широко научно и приложно значение.

3. Аналитична характеристика на дисертационния труд

Трудът е разработен в обем от 183 страници, като съдържа 55 фигури и 24 таблици. Структуриран е в уводна част, четири глави, резюме на получените резултати и 8 приложения. Съдържа още претенции за приноси на ДТ, списък на публикации, свързани с дисертацията,

декларация за оригиналност и библиографична справка. Положително е, че всяка глава завършва с основни изводи и резултати.

Уводната част анализира актуалността, инженерна значимост и принос на дисертационната тема. Акцентирано е върху нарастващия обем изследвания, публикации и пазарен потенциал на електроовлажняването в световен мащаб. Дефинирана е основната цел на изследванията, която е с ясно изразена приложна насоченост и е съобразена с актуалните тенденции за интеграция в процеса на електроовлажняване на нови технологични подходи за подобряване на морфологията и функционалните свойства на материалите. От поставената цел произтичат 8 основни задачи, които са подробно разписани. Изложени са и 5 работни хипотези, които определят логиката на изследването.

Формулираните цел и задачи съответстват на изискванията за ДТ за придобиване на ОНС „Доктор“. Авторът умело свързва работните хипотези, задачите на ДТ и съответните глави, в които е реализирано изследването.

Първа глава, озаглавена „Литературен обзор“ съдържа теоретични сведения за процеса и технологичните параметри на електроовлажняването и необходимата апаратура. Направена е подробна класификация на технологичния процес и на получените микро- и нановлакна по различни показатели. Изводите от направения задълбочен обзор са, че съществува необходимост от разработване на систематичен методологичен подход за анализ и оптимизация на процеса електроовлажняване, който да отчита съвместното влияние на електрическите, реологичните и геометричните параметри. Това включва разработване на адекватни математични модели, експериментална валидация на резултатите и апробация на предложените решения при реални апаратни условия. Въз основа на направения литературен анализ в следващата глава е разработена методологична рамка за изследване на процеса на електроовлажняване, базирана на планиране на експериментите, ста тистически анализ и математическо моделиране.

Втора глава представя методологичния подход и използваните експериментални и аналитични методи за практическо решаване на поставените задачи. Представена е връзката между задачите, използваните методи и основните получени резултати. Разгледани са предимствата на методиката за планиране на експериментите (Design of Experiments - DOE), която позволява систематично и ефективно изследване на влиянието на параметрите върху качествените показатели на процеса. Обоснован е изборът на експериментален план от типа Box–Behnken, който дава добри резултати при оптимизация на технологични процеси с нелинейно поведение. Разгледани са статистическите методи за анализ и оценка на резултатите, подходите за математическо моделиране и оптимизация на процеса електроовлажняване, както и използваните експериментални средства и технологични методи. Чрез избраната методологична рамка за изследване е осигурена логическа последователност и интеграция между отделните етапи на изследването и са създадени предпоставки за надеждна експериментална апробация и практическа приложимост на получените резултати.

В трета глава са представени резултати от аналитична обработка, математическо моделиране и интерпретация на данни, свързани с процеса електроовлажняване, както и разработените софтуерни и инженерни решения. Разработеният софтуерен инструмент за оптимизация, както и предложената концепция за контрол и автоматизация потвърждават възможността за интеграция на модели, данни и алгоритми в единна инженерна рамка за управление на процеса на електроовлажняване. Така е формирана цялостната теоретична и методологична основа за последващите експериментални изследвания.

Четвърта глава представя експериментални изследвания на процеса на електроовлажняване чрез методите, моделите и инженерните решения, разработени в предните глави на ДТ. Резултатите от проведените експерименти са използвани за количествена и качествена оценка на влиянието на основните технологични параметри върху морфологията и качеството на получените микро- и нановлакна. Проведените експерименти потвърждават, че

изборът и управлението на работните параметри на процеса са определящи за формирането и устойчивостта на отложената влакнеста структура. Потвърдено е същественото значение на състава на полимерния разтвор за управлението на процеса. Всички резултати от експериментите доказват практическата приложимост на разработената методология за контролирано формиране на нановлакнести материали.

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

От дисертацията личи отлична литературна осведоменост на докторанта. В библиографията са цитирани 188 литературни източници, от които само 2 са на кирилица. Привеждат и обсъждат се резултати от изследвания на други автори, което показва, че маг.инж. Момчил Шопов е запознат много добре със спецификата на проблема. Доказателство за това е направеното заключение, че в литературата липсва интегриран подход, който да обединява експериментални изследвания, математическо моделиране и оптимизация на процеса на електроовлажняване. Това мотивира докторанта да разработи систематичен методологичен подход за анализ и управление на процеса на електроовлажняване.

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

За изпълнение на поставената цел в ДТ авторът използва експериментални и аналитични методи за практическо решаване на основните задачи. Основните етапи на изследването (фиг.4 - гл.2) включват избор на материали и технологичен метод, планиране и анализ на експериментите, математическо моделиране, оптимизация и контрол на производствените параметри. Връзката между задачите за изпълнение, използваните методи и очакваните резултати са подробно описани в т.2.2, табл.2. Умело са съчетани методи за планиране на експериментите, статистически анализ, математическо моделиране и оптимизация на технологичните процеси. В оптимизационния етап са предвидени компромисни решения, удовлетворяващи предварително зададени качествени критерии. Заложена е и обратна връзка, чрез която при наличие на незадоволителни качествени показатели се осъществява връщане към предходни етапи за корекция на параметрите.

6. Научни и/или научноприложни приноси на дисертационния труд

Авторът формулира 4 научно-приложни и 5 приложни приноса в дисертацията, които аз напълно приемам. Те могат да се обобщят като: създаване на нови методи и технологии, получаване и доказване на нови и потвърдителни факти.

Научно-приложните приноси обогатяват информацията за технологичния процес на електроовлажняване и доказват нови факти. Те се състоят в следното:

- разработена методология за изследване на процеса на електроовлажняване, която интегрира планиране на експерименти (DoE), статистическа оценка на значимостта и моделиране на влиянието на технологични параметри върху характеристиките на получените микро- и нановлакна;
- предложен нов подход за интегриране на процеса на електроовлажняване с обработка със студена технологична плазма при атмосферно налягане като допълнителен технологичен етап, създаващ предпоставки за целенасочена повърхностна активация (вкл. на колектора/порестите бариери) и разширяващ възможностите за технологично усъвършенстване на процеса;
- на база изследване приложимостта на порести влакнести колектори при електроовлажняване е установено, че геометрията и конфигурацията на колектора влияят върху разпределението на електрическото поле и морфологията на получените

влакна, което позволява директно формиране на функционални влакнести слоеве в една технологична операция;

- разработени статистически регресионни модели за количествено описание и прогнозиране на процеса на отлагане при електроовлажняване, като е моделирано влиянието на основни работни параметри.

Приложните приноси предлагат практически решения на съществуващи технологични проблеми:

- разработен и внедрен софтуерен инструмент за оптимизация на процеса електроовлажняване, който използва експериментални данни и модели за подпомагане на избора на работни режими и за ускоряване на инженерната настройка на процеса;
- създадена работна схема за осигуряване, структуриране и обработка на експериментални данни, пригодна за многофакторен анализ, моделиране и интеграция с оптимизационни и управленски алгоритми;
- експериментално доказана приложимостта на електроовлажняване при двукомпонентен полимерен разтвор PVA/Алое вера и възможността за управление на количествени характеристики чрез контрол на приложеното напрежение при електроовлажняване и електрическата проводимост на разтвора;
- разработени практически насоки за избор на работни режими при електроовлажняване на PVA (10%) върху плосък колектор;
- оценени конкретни технологични решения за усъвършенстване и внедряване на процеса електроовлажняване.

7. Преценка на публикациите по дисертационния труд

Дисертантът прилага списък от 3 публикации, които съдържат резултати от изследванията в дисертацията. Една от тях е самостоятелна, останалите в съавторство с научния ръководител. Всички са докладвани на международни конференции на IEEE, индексирани в Scopus и Web of Science - Electrical Engineering Faculty Conference (BUEF), International Scientific Conference on Information, Communication and Energy Systems and Technologies (ICEST), Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems (ELMA).

Публикациите по ДТ имат 2 цитирания в издания, индексирани в WoS и Scopus, като едното е в списание от Q1.

Чрез посочените публикации са изпълнени изискванията по спецификацията на НАЦИД. Резултатите от работата по дисертацията са станали достояние на научната общност у нас и в чужбина.

8. Оценка на степента на лично участие на дисертанта в приносите.

Въз основа на представените изследвания, задълбочен анализ на резултатите и авторството на публикациите по дисертацията, считам, че тя е самостоятелно дело на дисертанта, реализирано под ръководството на научните ръководители. Потвърждение на това е участието на докторанта в 3 научноизследователски проекти: NIS-251ПД0012-01; Проект №: BG-RRP-2.004-0005, научна група: 3.4.11; Договор № КП 06-Рила/7.

Не е установено плагиатство.

9. Приложимост на резултатите от дисертационния труд

Направените аналитични и експериментални изследвания и получените резултати показват, че предложените оригинални теоретични подходи и разработените модели дават възможност за анализ и решаване на конкретни проблемни задачи при изследването на процеса

на електроовлажняване. Направените изследвания, създадените модели и предложените иновативни технически решения, според мен, ще имат голямо приложение. Това дава основание да се твърди, че кандидатът притежава способността за формулиране на инженерни проблеми и за провеждане на самостоятелни научни изследвания.

Смятам, че предложеният дисертационен труд представлява една задълбочена научно-изследователска разработка с висока степен на актуалност. Степента на приложимост на получените резултати е висока.

10. Критични бележки и препоръки.

Дисертацията представлява обширен научен труд по изследваната проблематика. Тя е структурирана добре и пригледно. Дисертантът е извършил сериозна по обем научно-изследователска работа, съдържаща както експериментална, така и аналитична част.

Нямам забележки.

Препоръчвам на докторанта да продължи изследванията си в тази перспективна област на техниката.

11. Заключение

Представеният от маг.инж. Момчил Димитров Шопов дисертационен труд съдържа аналитични и експериментални резултати, чрез които са решени поставените в него задачи. Налице са достатъчно научно-приложни и приложни приноси, които покриват изискванията на ЗРАСРБ, Правилника за неговото приложение и Правилника на ТУ София за присъждане на образователната и научна степен «Доктор».

Въз основа на посочените от мен аргументи предлагам на Научното жури да присъди на **маг.инж. Момчил Димитров Шопов** образователна и научна степен «**Доктор**» в област на висшето образование 5., «Технически науки», професионално направление 5.2. «Електротехника, електроника и автоматика» (Електротехнологии).

Дата: 05.05.2026

Подпис:...../ проф. дн инж. Г. Чернева/

REVIEW

of a dissertation for obtaining the educational and scientific degree "Doctor" in the field of higher education 5. "Technical sciences", professional field 5.2. "Electrical engineering, electronics and automatics" (Electrical Technologies)

Author of the dissertation:

M.Sc. Eng. Momchil Dimitrov Shopov

Dissertation title:

"Technological Processes and Apparatus for Electrospinning "

Author of the review: Member of the scientific jury:

Prof. DSc Eng. Galina Petkova Cherneva

1. Information about the PhD student

M.Sc. Eng. Shopov is a part-time PhD student in doctoral program "Electrical technologies" professional field 5.2 "Electrical engineering, electronics and automatics" in the Department of Electrical Apparatus at the Technical University-Sofia.

M.Sc. Eng. Momchil Shopov has fulfilled all the requirements in the individual plan of his PhD study and has successfully passed all the required exams thus he finished his PhD study.

The procedure for a public defence of his dissertation has started after a proposal of the Department Council of Electrical Apparatus and a decision of the Electrical Engineering Faculty.

2. Actuality of the problem studied in the dissertation work

The electrospinning process is considered a strategic technology of the future, combining scientific innovation, industrial potential and environmental sustainability. Its significance is determined by the possibility of obtaining ultrathin fibers with a diameter in the micro- and nanometer range, which form structures with extremely valuable properties and wide application. The resulting nanomaterials are distinguished by a large specific surface area, high porosity, low weight and good mechanical resistance. These qualities make electrospun materials a key element for a number of innovative applications. Electrospinning is particularly relevant in medicine and bioengineering, in the field of filtration and ecology. The technology is also of significant importance for energy and electronics - in the production of battery separators, supercapacitors, flexible sensors, conductive textiles and components for smart devices. This shows that electrospinning is not just a laboratory method, but a real industrial technology with increasing practical importance.

The growing interest in electrospun materials and the prospects for their application determine the relevance of the present dissertation (DT). The development of these technologies poses numerous engineering tasks related to modeling, analysis and optimization of processes. Therefore, the set goal and the formulated specific tasks, which the presented work successfully solves, have broad scientific and applied significance.

3. Analytical characteristics of the dissertation work

The dissertation is developed in a volume of 183 pages, containing 55 figures and 24 tables. Its structure includes an introduction, a literature review, four chapters, a conclusion, a summary of the work's contributions, a list of notations used, a declaration of their originality, a list of publications and participation in research projects, references. Conclusions are formulated at the end of each chapter.

The introduction analyzes the relevance, engineering significance and contribution of the dissertation topic. The emphasis is on the growing volume of research, publications and market potential of electrospinning worldwide. The main goal of the research is defined, which has a clearly

expressed applied focus and is consistent with current trends for integration into the electrospinning process of new technological approaches to improve the morphology and functional properties of materials. 8 main tasks arise from the set goal, which are described in detail. 5 working hypotheses are also presented, which determine the logic of the research.

The formulated goal and tasks correspond to the requirements for the DT for acquiring the ONS "Doctor". The author skillfully connects the working hypotheses, the DT tasks and the relevant chapters in which the research was implemented.

The first chapter, entitled "Literature Review" contains theoretical information about the process and technological parameters of electrospinning and the necessary equipment. A detailed classification of the technological process and the obtained micro- and nanofibers according to various indicators has been made. The conclusions from the in-depth review are that there is a need to develop a systematic methodological approach for analysis and optimization of the electrospinning process, which would take into account the joint influence of the electrical, rheological and geometric parameters. This includes the development of adequate mathematical models, experimental validation of the results and testing of the proposed solutions under real apparatus conditions. Based on the literature analysis, a methodological framework for studying the electrospinning process has been developed in the next chapter, based on experimental planning, statistical analysis and mathematical modeling.

The second chapter presents the methodological approach and the experimental and analytical methods used for practical solution of the tasks set. The relationship between the tasks, the methods used and the main results obtained is presented. The advantages of the Design of Experiments (DoE) methodology are discussed, which allows for a systematic and effective study of the influence of parameters on the quality indicators of the process. The choice of an experimental plan of the Box–Behnken type is justified, which gives good results in the optimization of technological processes with nonlinear behavior. The statistical methods for analysis and evaluation of the results, the approaches for mathematical modeling and optimization of the electrospinning process, as well as the experimental tools and technological methods used are discussed. The selected methodological framework for research ensures logical consistency and integration between the individual stages of the study and creates prerequisites for reliable experimental testing and practical applicability of the obtained results.

The third chapter presents results from analytical processing, mathematical modeling and interpretation of data related to the electrospinning process, as well as the developed software and engineering solutions. The developed software tool for optimization, as well as the proposed concept for control and automation, confirm the possibility of integrating models, data and algorithms into a single engineering framework for controlling the electrospinning process. Thus, the overall theoretical and methodological basis for subsequent experimental studies has been formed.

The fourth chapter presents experimental studies of the electrospinning process using the methods, models and engineering solutions developed in the previous chapters of the DT. The results of the conducted experiments are used for quantitative and qualitative assessment of the influence of the main technological parameters on the morphology and quality of the obtained micro- and nanofibers. The conducted experiments confirm that the selection and management of the operating parameters of the process are decisive for the formation and stability of the deposited fibrous structure. The essential importance of the composition of the polymer solution for process control has been confirmed. All experimental results prove the practical applicability of the developed methodology for controlled formation of nanofibrous materials.

4. Level of knowledge of the problem and creative interpretation

The dissertation shows the excellent literary awareness of the PhD student. In the bibliography are cited 188 in number literary sources, of which only 2 are in Cyrillic. Based on the first chapter, as well as on the other chapters of the dissertation, which present and discuss the results of other authors, it can be concluded that M.Sc. Eng. M. Shopov is very familiar with the issues. Evidence for this is the conclusion that the literature lacks an integrated approach that would combine experimental research, mathematical modeling, and optimization of the electrospinning process. This motivates the doctoral student to develop a systematic methodological approach for the analysis and management of the electrospinning process.

5. Conformity of the selected research methodology with the aim and tasks of the dissertation

To achieve the goal set in the DT, the author uses experimental and analytical methods for practical solution of the main tasks. The main stages of the study (Fig. 4 - Ch. 2) include selection of materials and technological method, planning and analysis of experiments, mathematical modeling, optimization and control of production parameters. The relationship between the tasks to be performed, the methods used and the expected results are described in detail in §2.2, Table 2. Methods for planning experiments, statistical analysis, mathematical modeling and optimization of technological processes are skillfully combined. In the optimization stage, compromise solutions are provided that satisfy previously set quality criteria. A feedback loop is also provided, through which, in the presence of unsatisfactory quality indicators, a return to previous stages for correction of parameters is carried out.

6. Dissertation contributions

The author formulated 3 scientific-applied and 3 applied contributions, which I accept. They can be summarized as: creating new methods and technologies, obtaining and proving new and confirmatory facts.

The *scientific and applied contributions* enrich the information about the technological process of electrospinning and prove new facts. They consist of the following:

- developed methodology for studying the electrospinning process, which integrates design of experiments (DoE), statistical assessment of the significance and modeling of the influence of technological parameters on the characteristics of the obtained micro- and nanofibers;

- proposed a new approach for integrating the electrospinning process with treatment with cold technological plasma at atmospheric pressure as an additional technological stage, creating prerequisites for targeted surface activation (incl. of the collector/porous barriers) and expanding the possibilities for technological improvement of the process;

- based on research into the applicability of porous fiber collectors in electrospinning, it was established that the geometry and configuration of the collector affect the distribution of the electric field and the morphology of the obtained fibers, which allows direct formation of functional fiber layers in one technological operation;

- developed statistical regression models for quantitative description and prediction of the deposition process in electrospinning, modeling the influence of basic operating parameters.

The *applied contributions* offer practical solutions to existing technological problems:

- developed and implemented software tool for optimization of the electrospinning process, which uses experimental data and models to support the selection of operating modes and to accelerate the engineering tuning of the process;

- created a working scheme for providing, structuring and processing of experimental data, suitable for multifactor analysis, modeling and integration with optimization and management algorithms;

- experimentally proven the applicability of electrospinning in a two-component polymer solution PVA/Aloe vera and the possibility of controlling quantitative characteristics by controlling the applied voltage during electrospinning and the electrical conductivity of the solution;
- developed practical guidelines for selecting operating modes in electrospinning of PVA (10%) on a flat collector;
- evaluated specific technological solutions for improving and implementing the electrospinning process.

7. Assessment of dissertation publications

The dissertation results are published in 3 publications. One of them is independent, the rest are co-authored with the scientific supervisor. All have been reported at international IEEE conferences indexed in Scopus and Web of Science - Electrical Engineering Faculty Conference (Bulef), International Scientific Conference on Information, Communication and Energy Systems and Technologies (ICEST), Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems (ELMA).

The publications on DT have 2 citations in publications indexed in WoS and Scopus, one of which is in a Q1 journal.

The specified publications have fulfilled the requirements of the NACID specification. The results of the work on the dissertation have become available to the scientific community in our country and abroad.

8. Assessment of the degree of personal participation of the dissertation in the contributions.

Based on the research presented and the authorship of the publications on the dissertation, I consider that it is an independent work of the dissertation student, realized under the guidance of the scientific supervisor. This is confirmed by his participation in a 3 research projects related to the subject of the dissertation: NIS-251Π/Ι0012-01; Project No: BG-RRP-2.004-0005, Scientific Group: 3.4.11; Contract No. KP 06-Rila/7. I don't find plagiarism.

9. Using the results of the dissertation work in science and practice

The analytical and experimental studies carried out and the results obtained show that the proposed original theoretical approaches and the developed models provide an opportunity for analysis and solution of specific problem tasks in the study of the electrospinning process. The research carried out, the created products and the obtained results, in my opinion, will have great application. This gives grounds to claim that the PhD student has the ability to formulate engineering problems and to conduct independent scientific research.

I believe that the proposed dissertation work represents a thorough scientific research work with a high degree of relevance. The degree of applicability of the obtained results is high.

10. Opinions, recommendations and remarks on the dissertation work

The dissertation is an extensive scientific work on the researched issues. It is well structured and clearly arranged. The dissertation candidate has carried out a serious amount of scientific research work, containing both experimental and analytical parts.

I have no critical comments.

I recommend the doctoral student to continue his research in this promising field of technology.

11. Conclusion

The dissertation work of Mag. Eng. Momchil Shopov contains analytical and simulation results, through which the tasks set in it are solved. My overall rating is positive. There are sufficient scientific and applied contributions that meet the requirements of the ZRASRB, as well as the Rules of the Law and that of the TU Sofia for the award of the educational and scientific degree "Doctor".

On the basis of my arguments, I propose that the Scientific Jury award to M.Sc. Eng. **Momchil Dimitrov Shopov** a PhD degree in professional field 5.2. "Electrical engineering, electronics and automatics" (Electrical Technologies).

05.05.2026

Reviewer:.....

/Prof. DSc. Eng. G. Cherneva/