

РЕЦЕНЗИЯ

върху дисертационен труд за придобиване на образователна и научна степен „доктор” към професионално направление 5.4. „Енергетика“, научна специалност „Термични и ядрени електрически централи“.

Автор на дисертационния труд: *маг. инж. Делян Йорданов Гавраилов*

Тема на дисертационния труд: *„Изследване на възможности за подобряване на ефективността на електролизни и горивни клетки в системи за водородна енергия“*

Член на научното жури: проф. дхн Мартин Славчев Божинов - ХТМУ

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

Електроенергийната система е една от най-важните и сложни системи в съвременното общество. Съвременната електроенергийна система включва като основни компоненти възобновяеми енергийни източници, подсистеми за производство на енергоносители и съхранение на енергия, което води до необходимостта от прогнозиране и изследване на режимите на работа на този тип компоненти.

Разглежданата в дисертационния труд проблематика отговаря на съвременните тенденции в развитието на електроенергийните системи, характеризиращи се с ускорена интеграция на възобновяеми енергийни източници с производството и употребата на водород като енергоносител. Като особено важни можем да определим задачите, свързани с прогнозиране на производството на електрическа енергия; анализ на реални експлоатационни режими; интеграция на системи за производство и съхранение на енергия.

В този контекст дисертационният труд разглежда комплекс от научно-приложни проблеми, свързани с разработването на модели и алгоритми за изследване и изпитване на режимите на работа на електролизни клетки като генератори на водород и горивни елементи като устройства за получаване на електрическа енергия от така произведения водород. Актуалността на темата се определя и от фокуса върху съвременни методи на компютърно моделиране и използването на реални данни от измервания за валидиране и верифициране на моделите.

Най-общо може да се отбележи, че целите на дисертационния труд и задачите за тяхното изпълнение са формулирани ясно и съответстват на актуалните нужди на научната общност и енергийната промишленост.

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

Литературният преглед, като основна част на дисертационния труд, е базиран на 210 литературни източника, публикувани основно в списания, индексирани в световните бази

данни през последните 15-20 години. Може да се заключи, че инж. Гавраилов е разгледал и обобщил значителен обем източници по тематиката на дисертацията.

Литературният преглед е достатъчно изчерпателен и добре структуриран. Подробно е разглеждано съвременното състояние на познанието за водорода като енергоносител, производството на водород чрез алкална, кисела (електролизатори с протон-проводяща мембрана, PEM) и високотемпературна електролиза чрез твърдооксидни клетки. Изчерпателно са описани моделите на електролизните клетки с основен фокус върху хидродинамичните и мас-преносни процеси. Авторът демонстрира задълбочено познаване на съществуващите научни разработки в областта на моделирането на системите за електролизно получаване на водород, включително техните основни характеристики, определящи ефективността на процеса и дълготрайността на използваните конструктивни материали.

Представен е критичен поглед към горивните елементи като устройства за преобразуване на химичната енергия на водорода и кислорода в електрическа, като са дискутирани тяхната енергетика, кинетиката на процесите, транспортните и омови ограничения, които водят до ограничаване на ефективността на тези устройства в експлоатационни условия. В разделите за математическо моделиране на електролизаторите и горивните елементи са разглеждани разнообразни подходи: физически базирани модели, софтуерни симулации; емпирични и регресионни модели, както и хибридни подходи.

Може да се заключи, че инж. Гавраилов умело аргументира необходимостта от комбиниране на класически методи с модерни подходи, базирани на наличието на данни от реални обекти, което свидетелства за неговото нестандартно мислене и способността за развиване на нови аналитични подходи.

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

Дисертационният труд на инж. Гавраилов е разработен в логическа последователност и реализира успешно поставените цели. Подходът на изследванията е интердисциплинарен и обединява елементи от теоретичната електрохимия, термодинамиката, математическото моделиране и съвременните методи за софтуерни симулации на сложни обекти, като генераторите на водород и горивните елементи.

В дисертацията са разработени следните иновативни подходи:

- математически модели на алкални и PEM електролизни клетки, отчитащи основните физикохимични и електрохимични закономерности, както и хидродинамиката и масопренасянето с фокус върху каналната структура на мембранно-електродния пакет;
- Изследване на възможностите за съвместяване на електролизатори с фотоволтаична система и електрическата им синхронизация;

- Модели на каналните течения и електродните потенциали в PEM горивни елементи;
- Моделни изследвания на разпределението на течението в каналната структура PEM горивни елементи с цел разработване на критерии за повишаване на тяхната ефективност.

Съществено е да се отбележи използването на данни от реални измервания при разработването, верифицирането и валидирането на моделите. Това значително повишава както надеждността на получените изчислителни резултати, така и тяхната практическа приложимост.

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

Материалът, върху който се базират изследванията, включва реални данни от измервания на основните характеристики на електролизни клетки и горивни елементи, както и допълнителни хидродинамични, дифузионни и мас-преносни параметри. Това е съществено предимство на дисертационния труд, тъй като позволява разработване на модели, близки до реалните условия на експлоатация.

В рамките на настоящото изследване, за преградните модели и за паралелно-серпентинна геометрия е използвана нормална мрежа на дискретизация на подхода на крайните елементи, осигуряваща оптимален баланс между продължителността на изчисление, компютърно натоварване и точност на резултатите от пресмятанията. В случая на дизайна на Тюринг и хибридният дизайн, поради по-сложната структура на полето на течение, са приложени по-фини размери на крайните елементи – „фини“ за корпуса и „изключително фини“ за най-малките компоненти, с цел постигане на достатъчно висока разрешителна способност в ключовите области. Може да се направи заключението, че използваните подходи са надеждни, а направените изводи са логически последователни и обосновани.

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

Приносите на дисертационния труд имат ясно изразен научно-приложен и приложен характер.

Основните научно-приложни приноси могат да се обобщят, както следва:

- нова електродна конфигурация с перфорирани отвори и е доказан потенциал за миниатюризация на системи за алкална електролиза с по-голяма ефективната активна повърхност и по-висока скорост на електрохимичните реакции;
- количествен модел на електродни повърхности и реакционни зони на алкални електролизатори на основа на симулационно-базирано проектиране и мащабиране на електролизни системи;
- нова хибридна геометрия от типа Тюринг-дизайн с прегради за повишаване на енергийната ефективност на горивни клетки с протонно-обменни мембрани.
- Чрез моделни изследвания е доказано значението на хибридната конфигурация

за минимизиране на омовите загуби чрез разпределение на потоците реагенти и ефективното отвеждане на водата -продукт на реакцията.

- подход за директно интегриране на алкален електролизьор с фотоволтаична система при синхронизиране на работните им характеристики с цел оптимизиране на производството на зелен водород.

Разработени са софтуерни инструменти, които позволяват изследване на режимите свързани с експлоатация на електролизьори и горивни елементи чрез методите и средствата приложени в дисертационния труд.

Приносите са ясно формулирани и отговарят на изискванията към дисертационен труд за придобиване на научната и образователна степен „доктор“.

6 Оценка за степента на личното участие на дисертанта в приносите

Анализът на съдържанието на дисертационния труд и личните ми впечатления от докторанта показват, че инж. Гавраилов има съществено лично участие във всички етапи на изследването – от формулиране на задачите, през разработване на моделите, до анализа и интерпретацията на резултатите. В процеса на работата той генерира иновативни идеи и предлага подходи за тяхната реализация в експлоатационната практика. Избраните методи, начинът на тяхното прилагане и направените обобщения свидетелстват за самостоятелна научноизследователска дейност и добра подготовка на автора в областта, което е задължително изискване за придобиване на научната и образователна степен „доктор“.

7 Преценка на публикациите по дисертационния труд: брой, характер на изданията, в които са отпечатани. Отражение в науката – използване и цитиране от други автори, в други лаборатории, страни и пр.

Дисертационният труд се базира на пет научни труда, два от които са публикувани в специализирани научни издания с импакт фактор и квантил Q1, а останалите са публикувани в пълен текст в сборници на международни конференции - в рефериранията поредици IOP Conference Series и IEEE Explore. В четири от тях инж. Гавраилов е първи автор, а публикациите вече имат общо 11 цитирания (Scopus).

Представените трудове са в тематично съответствие с дисертацията и отразяват основните резултати от проведените изследвания. Техният брой надхвърля минималните изисквания на закона на правилника за неговото приложение в ТУ-София, а съдържанието им показва последователност в научната работа на автора.

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

Резултатите от дисертационния труд имат потенциал за приложение в практиката, особено в областта на:

- Оптимизиране на устройствата за производство на водород и електроенергия на база водорода като енерго-носител;
- управление на производството на зелен водород и неговото приложение за

производство на електроенергия;

- оптимизация на работата на системи за съхранение на енергия.

Използването на реални данни и ориентираността към практически задачи създават предпоставки за внедряване на разработените модели в реални условия.

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

Авторефератът е изготвен съгласно установените изисквания. В него са представени основните положения, методи и приноси на дисертационния труд по ясен и структуриран начин. Съдържанието на автореферата коректно отразява същността на дисертационния труд.

10 Мнения, препоръки и бележки

Дисертационният труд е разработен на високо ниво. Основните ми забележки са от технически характер – напр. някои неточности в терминологията, като „електрохимичен потенциал“ вместо електроден потенциал, „свръхпотенциал“ вместо свръхнапрежение, „обменна плътност на тока“ вместо плътност на обменния ток и т.н., както и прекалено големия брой глави, които донякъде затрудняват четенето. Тези забележки по никакъв начин не поставят под въпрос основните качества на дисертационния труд.

11 Заключение с ясна положителна или отрицателна оценка на дисертационния труд

Дисертационният труд разглежда актуални научно-приложни проблеми в областта на електроенергетиката. Постигнатите от докторанта резултати са успешно отразени в редица публикации в реномирани международни списания и доклади на международни конференции, достъпни в световните бази данни. Представените научно- приложни и приложни приноси са реални.

В заключение считам, че представеният ми за рецензиране дисертационен труд по обем, методично ниво, научни приноси и наукометрични данни отговаря на ЗРАС и Правилника за приложението му в ТУ-София в частта присъждане на научната и образователна степен “ДОКТОР”. Като имам предвид всичко гореизложено и изхождам преди всичко от научните приноси на дисертационния труд и достигнатото ниво на квалификация на кандидата, с убеденост препоръчвам на почитаемото научно жури да гласува за присъждане на научната и образователна степен “ДОКТОР” по професионално направление 5.4. Енергетика (Термични и ядрени електрически централи) на маг. инж. Дилиян Йорданов Гавраилов.

11.05.2026 г.

Рецензент:

(проф. дхн Мартин Божинов)

REVIEW

of a thesis to award the educational and scientific degree "Doctor"
in the professional field 5.4. "Energy", scientific specialty
'Thermal and nuclear power plants“

Author of the dissertation: *Dilyan Yordanov Gavrailov, MSc (Eng.)*

Title: Exploring Opportunities to Improve the Efficiency of Electrolysis and Fuel Cells in Hydrogen Energy Systems

Member of scientific jury: Prof. Martin Slavchev Bojinov, DSc - UCTM

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

The energy production and storage system is one of the most important and complex systems in modern society. The modern electricity system includes as its main components renewable energy sources, subsystems for energy production and energy storage, which leads to the need to forecast and study the operating modes of this type of components.

The problems discussed in the dissertation correspond to the current trends of development of electricity systems, characterized by accelerated integration of renewable energy sources with the production and use of hydrogen as an energy carrier. As particularly important, we can define the tasks related to forecasting the production of electricity; analysis of real operating modes; Integration of energy production and storage systems.

In this context, the dissertation examines a complex of scientific and applied problems related to the development of models and algorithms for the study and testing of the modes of operation of electrolysis cells as hydrogen generators and fuel cells as devices for the production of electrical energy from hydrogen produced in this way. The relevance of the topic is also determined by the focus on modern methods of computer modeling and the use of real measurement data for validation and verification of models.

In general, it can be noted that the objectives of the dissertation and the tasks for their implementation are clearly formulated and correspond to the current needs of the scientific community and the energy industry.

2 Degree of knowledge of the state of the problem and creative interpretation of relevant scientific literature

The literature review, as a significant part of the dissertation, is based on 210 literary sources, published mainly in journals indexed in world databases in the last 15-20 years. It can be concluded that eng. Gavrailov has examined and summarized a significant volume of sources on the topic of the dissertation.

The literature review is sufficiently comprehensive and well-structured. The current state of knowledge about hydrogen as an energy carrier, the production of hydrogen through alkaline, acidic (with a proton-conductive membrane, PEM) and high-temperature electrolysis through solid oxide cells is considered in detail. The models of electrolysis cells with a main focus on hydrodynamic and mass-transport processes are comprehensively described. The author demonstrates in-depth knowledge of existing scientific developments in the field of modeling systems for electrolysis production of hydrogen, including their main characteristics, determining the efficiency of the process and the durability of the structural materials used.

A critical look at fuel cells as devices for converting chemical energy of hydrogen and oxygen into electrical energy is presented, discussing their energy, process kinetics, transport and ohm constraints that lead to limiting the efficiency of these devices in operating conditions. In the sections on mathematical modeling of electrolysis and fuel cells, a variety of approaches are considered: physics-based models, software simulations; empirical and regression models, as well as hybrid approaches.

It can be concluded that eng. Gavrilov skillfully argues the need to combine classical methods with modern approaches based on the availability of data from real objects, which testifies to his non-standard thinking and ability to develop new analytical approaches.

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

The dissertation of eng. Gavrilov is developed in a logical sequence to reach the set goals. The research approach is interdisciplinary and brings together elements of theoretical electrochemistry, thermodynamics, mathematical modeling and modern methods for software simulations of complex objects such as hydrogen generators and fuel cells.

The following innovative approaches have been developed in the dissertation:

- mathematical models of alkaline and PEM electrolysis cells, taking into account the basic physicochemical and electrochemical regularities, as well as hydrodynamics and mass transfer with a focus on the channel structure of the membrane-electrode package;
- Study of the possibilities for combining electrolyzers with a photovoltaic system and their electrical synchronization;
- Patterns of channel flows and electrode potentials in PEM fuel cells;
- Model studies of the distribution of the flow in the channel structure of PEM fuel elements in order to develop criteria for increasing their efficiency.

It is important to note the use of realistic measurement data in the development, verification and validation of models. This significantly increases both the reliability of the computational results obtained and their practical applicability.

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

The material on which the studies are based includes real measurement data of the main characteristics of electrolysis cells and fuel cells, as well as additional hydrodynamic, diffusion and mass transfer parameters. This is a significant advantage of the dissertation, since it allows the development of models close to the real operating conditions.

Within the framework of this study, a normal network of sampling of the approach of finite elements was used for the partition models and for parallel-serpentine geometry, providing an optimal balance between calculation duration, computer load and accuracy of the calculation results. In the case of Turing design and hybrid design, due to the more complex structure of the current field, finer dimensions of the final elements have been applied – "fine" for the enclosure and "extremely fine" for the smallest components, in order to achieve a sufficiently high resolution in the key areas.

5 Scientific and/or Applied Scientific Contributions of the Dissertation

The contributions of the dissertation have a clearly expressed scientific and applied scientific nature.

The main scientific and applied contributions can be summarized as follows:

- a new electrode configuration with perforated holes and the potential for miniaturization of alkaline electrolysis systems with a higher effective active surface area and a higher rate of electrochemical reactions has been proven;
- quantitative model of electrode surfaces and reaction zones of alkaline electrolyzers based on simulation-based design and scaling of electrolysis systems;
- a new hybrid geometry of the Turing type with partitions to increase the energy efficiency of fuel cells with proton exchange membranes.
- Through model studies, the importance of the hybrid configuration in minimizing ohm losses by distributing the reagent flows and efficiently removing the water-product of the reaction has been proven.
- An approach for direct integration of an alkaline electrolyzer with a photovoltaic system while synchronizing their performance characteristics in order to optimize green hydrogen production.

Software tools that allow the study of the conditions related to the operation of electrolyzers and fuel cells through the methods and means applied in the dissertation are accordingly developed.

The contributions are clearly formulated and meet the requirements for a dissertation for acquiring the scientific and educational degree of "Doctor".

6 Assessment of the degree of personal involvement of the doctoral student in the contributions

The analysis of the content of the dissertation and my personal impressions of the PhD student show that Eng. Gavrilov has a significant personal participation in all stages of the research – from the formulation of the tasks, through the development of the models, and finally the analysis and

interpretation of the results. In the process of work, he generates innovative ideas and proposes approaches for their implementation in operational practice. The chosen methods, the method of their application and the generalizations made testify to independent research activity and good training of the author in the field, which is a mandatory requirement for acquiring the scientific and educational degree of "Doctor".

7 Assessment of the publications on the dissertation: number and nature of the associated publications. Reflection in scientific literature – use and citation by other authors, laboratories, countries, etc.

The dissertation is based on five scientific papers, two of which are published in specialized scientific journals with impact factor and quartile Q1, and the rest are published in full text in proceedings of international conferences - in the refereed series IOP Conference Series and IEEE Explore. In four of them, eng. Gavrailov is the first author, and the publications have already a total of 11 citations (Scopus).

The presented works are in thematic accordance with the dissertation and reflect the main results of the research carried out. Their number exceeds the minimum requirements of the law and the regulations for its application at the Technical University of Sofia, and their content shows consistency in the scientific work of the author.

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

The results of the dissertation have potential for application in practice, especially in the field of:

- Optimization of devices for hydrogen and electricity production based on hydrogen as an energy carrier;
- management of green hydrogen production and its application for electricity generation;
- optimization of the operation of energy storage systems.

The use of real data and orientation to practical tasks create prerequisites for the implementation of the developed models in real conditions.

9 Assessment of the compliance of the author summary with the requirements for its preparation, as well as the adequacy of presentation of the main points and contributions of the dissertation

The author summary has been prepared in accordance with the established requirements. It presents the main points, methods and contributions of the dissertation in a clear and structured way. The content of the summary reflects correctly the essence of the dissertation.

10 Opinions, recommendations and comments

The dissertation is developed on a high level. My main remarks are of a technical nature – e.g. some inaccuracies in terminology, such as "electrochemical potential" instead of electrode potential, "overpotential" instead of overvoltage, "exchange current density" instead of exchange current density, etc., as well as the excessive number of chapters that make the thesis somewhat difficult to read. These remarks in no way call into question the main qualities of the dissertation.

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

The dissertation examines up-to-date scientific and applied problems in the field of electric power generation. The results achieved by the PhD student are successfully reflected in a number of publications in renowned international journals and reports of international conferences available in world databases. The presented scientific, applied and applied contributions are real.

In conclusion, I believe that the dissertation submitted to me for review in terms of volume, methodological level, scientific contributions and science-metric data complies with the Law on Academic Development and the Regulations for its application at the Technical University of Sofia in the part of awarding the scientific and educational degree "DOCTOR". Bearing in mind all of the above and proceeding primarily from the scientific contributions of the dissertation and the level of qualification reached by the candidate, I firmly recommend the honorable scientific jury to vote for awarding the scientific and educational degree "DOCTOR" in the professional field 5.4. Energy (Thermal and Nuclear Power Plants) to MSc(Eng.) Dilyan Yordanov Gavrailov.

11.05.2026 г.

Reviewer:

(Prof. Martin Bojinov, DSc)