

РЕЦЕНЗИЯ

върху дисертационен труд за придобиване на образователна и научна степен „Доктор“ в област на висше образование 5. „Технически науки“, професионално направление 5.2 “Електротехника, електроника и автоматика”, научна специалност “Автоматизация на производството (по отрасли)”.

Автор на дисертационния труд: маг. инж. Милен Николаев Славов

Тема на дисертационния труд: „Размито управление на технологични процеси от химическата промишленост“

Рецензент: доц. д-р инж. Ясен Горбунов, департамент Информатика, Нов български университет

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

Разработваният проблем е актуален както в научно, така и в приложно отношение, обединявайки управлението на нелинейни технологични процеси с ефективната реализация на интелигентни регулатори. Научната актуалност се дължи на необходимостта от систематизирани и верифицирани методики за синтез, структурно-ориентиран анализ и оценка на адаптивни и робастни размити регулатори, включително формално доказване на устойчивост и гарантирано качество на управление при наличие на параметрични неопределености и външни смущения. Приложната значимост произтича от потребността от алгоритми, които могат да бъдат интегрирани в съществуващи програмируеми логически контролери без съществени модификации на инфраструктурата, осигурявайки оптимизация на ресурси, повишаване на безопасността и устойчиво подобрене на производствената ефективност. Степента на актуалност на проблема се проявява последователно на теоретично, методологично и промишлено ниво, а дисертационният труд демонстрира завършеност чрез комплексен подход – от изграждане на адекватни модели, през синтез и настройка на размити регулатори, до експериментално потвърждение на тяхната ефективност и робастност.

Считам, че полезността и актуалността на дисертационните изследвания са ясно демонстрирани и научно обосновани. Оценявам положително тематичната насоченост и високата актуалност на изследваната проблематика.

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

Дисертационният труд демонстрира задълбочено познаване на състоянието на проблема, свързан с проектирането и реализацията на размити регулатори за управление на сложни технологични процеси. В първата глава е проведен систематичен преглед на съвременните методи за размито управление, включително основите на базата на правила, системите за извличане на размито заключение, класическите и модифицирани Такаги-Сугено-Канг модели, както и подходи за паралелно разпределена компенсация.

Литературният материал от 135 източника е систематично и критично анализиран, като са идентифицирани ограниченията на съществуващите методи и възможностите за интегриране на адаптивни, фазово ориентирани и робастни структури в промишлени приложения. Използваната литература обхваща класически трудове по размито управление и ПИД/Сугено регулатори [5], [8], [14], [27-34], както и съвременни изследвания за оптимизация и адаптивно управление [37], [74], [101-115]. Практическите ръководства и стандарти [56-61] допълват теоретичната база и показват компетентност при промишленото прилагане на методите.

Авторът демонстрира творческа интерпретация чрез систематично изграждане на модели и методики за синтез, оптимизация и валидиране на размити регулатори – от ПИ и ПИД структури до адаптивни решения с генетична оптимизация на параметрите. Експерименталните изследвания и промишлените реализации в карбонизационна колона потвърждават практическата приложимост и научната значимост на подхода.

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

Избраната методика на изследване е в съответствие с целта и конкретните задачи на дисертационния труд. Тя последователно съчетава аналитични, симулационни и експериментални подходи, започвайки с изграждане и валидиране на модифицирани Такаги-Сугено-Канг модели на обекта за управление. Синтезът на ПИ, ПИД и адаптивни размити регулатори е извършен на базата на утвърдени теоретични методи, допълнени с параметрична оптимизация чрез генетични алгоритми. Методиката включва анализ на робастна устойчивост и качество на управление, което осигурява формална проверка на получените решения. Реализацията на разработените регулатори в програмируем логически контролер и експерименталните изследвания в реална карбонизационна колона гарантират практическата валидност на резултатите. Приложената методика осигурява пълно и логически завършено изпълнение на поставените изследователски задачи.

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

Дисертационният труд е структуриран последователно и е изграден в съответствие с утвърдените изисквания за научно изследване в областта на автоматичното управление. В рамките на изследването е разгледана структурна интерпретация на размит регулатор чрез имплицитно вграждане на каноничен ПИ/ПИД закон за регулиране в базата от правила или в изходните функции на размития регулатор.

В първа глава е извършен систематизиран аналитичен преглед на методите за размито управление, включително бази правила, механизми за размито заключение, Такаги–Сугено–Канг модели, методи за синтез, адаптивно управление и параметрична оптимизация, което формира коректна теоретична рамка за последващите изследвания.

Във втора глава е описан реалният обект за управление и са изведени и валидирани модифицирани Такаги–Сугено–Канг модели на карбонизационна колона, които осигуряват представяне на нелинейната динамика на процеса и служат като основа за синтеза на регулаторите. Глави трета и четвърта са посветени на синтеза, настройката и реализацията на ПИ и ПИД размити регулатори с различна входна структура и компенсация на смущения, като разработените решения са реализирани в програмируем логически контролер и са изследвани чрез симулации и експерименти в реално време.

В пета глава е разгледан адаптивен ПИД размит регулатор, при който параметричната настройка е формулирана като задача за оптимизация и е решена чрез генетични алгоритми. Работата е подкрепена със симулационни и експериментални резултати. Шеста глава е посветена на анализа на устойчивост и робастно качество на системи с адаптивен размит регулатор, като са приложени утвърдени аналитични критерии и е предложена методика за проверка на устойчивостта.

Синтезът, симулационните изследвания и експерименталните резултати са взаимно съгласувани и позволяват еднозначна интерпретация. Това дава основание да се приеме, че материалът, върху който се градят приносите на дисертационния труд, е коректен, методически обоснован и достатъчен от научна гледна точка.

5. Научни и/или научноприложни приноси на дисертационния труд.

Приемам заявените научноприложни и приложни приноси в дисертационния труд за реализирани в съответствие с формулираните цели и задачи. Разработените модели, размити и адаптивни регулатори осигуряват решение на поставените научни проблеми и водят до подобряване на качеството и робастността на управлението при разглежданите технологични процеси. Получените резултати са валидирани чрез симулационни изследвания и експерименти в реална промишлена среда, което потвърждава тяхната приложимост и практическа значимост. В този смисъл дисертационният труд представлява завършено и последователно научноприложно изследване с ясно формулирани и обосновани приноси.

Считам, че получените резултати имат оригинален характер и отговарят на изискванията за дисертационен труд за придобиване на образователната и научна степен „доктор“.

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

Представените изследвания в дисертационния труд и придружаващите научни публикации с авторското участие ми дават основание да считам, че дисертационните резултати са постигнати лично от докторанта.

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.

Резултатите от дисертационния труд са апробирани в шест научни публикации, пряко свързани с тематиката на дисертацията, публикувани в реферирани международни списания и сборници от международни научни конференции. Част от публикациите са отпечатани в индексирани в международни наукометрични бази данни издания с определен квартил, както следва: [1] Engineering Science and Technology, an International Journal (Elsevier) – Q1, SJR'24 = 1.09; [2] WSEAS Transactions on Systems and Control – Q4, SJR'24 = 0.22; [5] Мехатроника, автоматизация, управление – Q4, SJR'24 = 0.19; [6] Jordan Journal of Electrical Engineering – Q4, SJR'24 = 0.16. Една публикация [4] е включена в сборник, индексирани в IEEE Xplore, а една [3] е публикувана в годишника на Техническия университет – София. Това съответства на приетите академични изисквания за апробация на резултатите от дисертационен труд за придобиване на образователната и научна степен „доктор“, като дори ги надхвърля по брой и наукометрични показатели.

Научното отражение на резултатите е потвърдено чрез 14 цитирания, включително 2 самоцитирания, публикувани в реномирани международни научни издания и форуми. Публикациите на дисертанта са цитирани в списания като IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing, International Journal on Advanced Science, Engineering & Information Technology, Journal of Engineering and Sustainable Development, International Journal of Circuits, Systems and Signal Processing, както и в издания на Springer Nature и IOP Publishing. Цитиранията са реализирани от независими научни колективи от различни държави и са свързани с приложения на размита логика и интелигентно управление в различни инженерни и технологични области.

Оценявам високо представената публикационна дейност и откритите цитати. Посочените факти дават основание да се приеме, че резултатите от дисертационния труд имат реално научно отражение, разпознаваемост и приложимост извън рамките на конкретното изследване, което потвърждава тяхната научна и научноприложна стойност.

8. Използване на резултатите от дисертационния труд в научната и социалната практика. Наличие на постигнат пряк икономически ефект и пр. Документи, на които се основава твърдението.

Резултатите от дисертационното изследване са имплементирани в научната и инженерна практика посредством разработка, внедряване и експериментална валидация на размити и адаптивни алгоритми за управление. Те са приложени в реален технологичен обект на химическата индустрия – карбонизационна колона за производство на калцинирана сода. Интеграцията на предложените алгоритми е осъществена чрез програмируем логически контролер без модификация на съществуващата архитектура на системата за автоматизация, което отговаря на изискванията за директно индустриално приложение.

Експерименталното внедряване демонстрира значимо подобрене на качеството на управление, повишена робастност спрямо екзогенни смущения и параметрични неопределености, както и стабилизация на технологичния процес в разширен операционен

диапазон. Тези резултати пряко допринасят за повишаване на надеждността и оперативната ефективност на инсталацията.

Въпреки че пряк икономически ефект не е количествено отчетен чрез финансови показатели, реализираните подобрения демонстрират потенциал за редукия на технологични загуби, оптимизация на разхода на ресурси и минимизиране на отклоненията от зададени технологични параметри.

Документалната основа за представените приложения включва експериментални резултати в реално време, фигуриращи в дисертационния труд, протоколи от промишлени изпитвания, както и научни публикации, рефериращи разработката и нейната индустриална реализация.

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 в съответствие с изискванията за оформление и структура. Основните положения и научният принос на дисертационния труд са ясно и точно отразени, като са подчертани както теоретичните, така и приложните резултати. Представянето е последователно и адекватно, без отклонения от същността на изследването.

10. Мнения, препоръки и бележки.

Дисертационният труд представлява цялостно изследване с ясно дефинирани цели, научен принос и приложна значимост. Въпреки това, някои аспекти на изложението могат да бъдат подобрени. Изложението в Глава 1 е прекалено обемно; част от известните факти биха могли да се обобщят в таблична форма. По-ценен би бил анализът на причините за „ограниченото приложение на РР за управление на обекти в промишлеността“ (т.1.5), който би засилил мотивацията за избора на РУ.

В Глава 2 се наблюдават терминологични неточности: технологичната величина „ниво на разтвора“ в карбонизационната колона е определена като обект на управление, което не отговаря на установената научна терминология. Необходимо е прецизно разграничаване на термините „управление“ и „регулиране“, които в работата са използвани смесено. Формулировката за внедряване на „нови измервания“ следва да бъде доразвита, за да се изяснят конкретната новост и ефект върху управлението на процеса.

Въпреки че заглавието предполага разглеждане на „технологични процеси“ от химическата промишленост, реалният фокус е върху един конкретен процес – производството на калцинирана сода. Би било уместно текстът и заглавието да отразяват по-точно действителния обхват на изследването или да бъде подчертан ясно мащабът на приложимост на постигнатите резултати и при други процеси.

Направените коментари предполагат препоръка за редакционна и терминологична прецизност, както и уточнение на тематичния обхват, но не поставят под съмнение научната стойност и принос на дисертационния труд. Положителна оценка заслужават публикационната дейност с рецензии от специалисти в чужбина, която надхвърля минималните изисквания за придобиване на ОНС „доктор“, както и високата цитируемост от

чуждестранни специалисти, което потвърждава значимостта и международното признание на дисертационния труд.

11. Заключение с ясна положителна или отрицателна оценка на дисертационния труд.

Оценявам положително постигнатите научни и научноприложни приноси на дисертационния труд на маг. инж. Милен Николаев Славов. Считам, че изискванията на Закона за развитие на академичния състав в Република България, Правилника за неговото прилагане и Правилата и процедури за приемане и обучение на докторанти и придобиване на образователната и научна степен „доктор“ на ТУ-София са изпълнени в цялост. Гореизложеното ми дава основание да дам **положителна оценка** за представения дисертационен труд и да препоръчам на Научното жури да присъди на Милен Николаев Славов научната степен „доктор“ по професионално направление 5.2 “Електротехника, електроника и автоматика”, научна специалност “Автоматизация на производството (по отрасли)”.

Дата : 02.01.2026 г.
гр. София

РЕЦЕНЗЕНТ: *121*
/ доц. д-р инж. Ясен Горбунов /

Взртно с оригинала



REVIEW

on the doctoral thesis submitted for the educational and scientific degree of Doctor of Philosophy (PhD) in the field of higher education 5. "Technical Sciences", professional field 5.2 "Electrical Engineering, Electronics, and Automation", scientific specialty "Industrial Automation (by sectors)".

Author of the thesis: M.Sc. Eng. Milen Nikolaev Slavov

Title of the thesis: Fuzzy Control of Technological Processes in the Chemical Industry

Reviewer: Assoc. Prof. Eng. Yassen Gorbounov PhD, Department of Informatics, New Bulgarian University

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

The problem addressed is relevant both scientifically and practically, combining the control of nonlinear technological processes with the effective implementation of intelligent controllers. The scientific relevance stems from the need for systematic and verified methodologies for synthesis, structure-oriented analysis, and evaluation of adaptive and robust fuzzy controllers, including formal proof of stability and guaranteed control quality in the presence of parametric uncertainties and external disturbances. The practical significance arises from the demand for algorithms that can be integrated into existing programmable logic controllers (PLCs) without substantial modifications to infrastructure, ensuring resource optimization, increased safety, and sustainable improvement of production efficiency.

The relevance of the problem manifests consistently at theoretical, methodological, and industrial levels. The dissertation demonstrates completeness through a comprehensive approach—from constructing adequate models, through synthesis and tuning of fuzzy controllers, to experimental validation of their effectiveness and robustness. I consider that the usefulness and relevance of the research are clearly demonstrated and scientifically substantiated. I positively assess the thematic focus and high relevance of the investigated problem.

2. Degree of knowledge of the state of the problem and creative interpretation of the literature.

The dissertation demonstrates deep knowledge of the problem related to the design and implementation of fuzzy controllers for complex technological processes. The first chapter presents a systematic review of modern fuzzy control methods, including rule-base fundamentals, fuzzy inference systems, classical and modified Takagi–Sugeno–Kang (TSK) models, as well as approaches for parallel-distributed compensation.

The literature from 135 sources is systematically and critically analyzed, identifying the limitations of existing methods and the possibilities for integrating adaptive, phase-oriented, and robust structures into industrial applications. The references include classical works on fuzzy control and PID/TSK controllers [5], [8], [14], [27–34], as well as contemporary research on optimization and adaptive control [37], [74], [101–115]. Practical manuals and standards [56–61] complement the theoretical foundation and demonstrate competence in industrial application.

The author shows creative interpretation through the systematic development of models and methodologies for synthesis, optimization, and validation of fuzzy controllers—from PI and PID structures to adaptive solutions with genetic parameter optimization. Experimental studies and industrial implementations in a carbonation column confirm the practical applicability and scientific significance of the approach.

3. Correspondence of the chosen research methodology with the goal and objectives of the dissertation.

The chosen research methodology aligns with the goal and specific objectives of the dissertation. It sequentially combines analytical, simulation, and experimental approaches, beginning with the construction and validation of modified Takagi–Sugeno–Kang models of the control object. The synthesis of PI, PID, and adaptive fuzzy controllers is performed based on established theoretical methods, complemented by parametric optimization via genetic algorithms. The methodology includes analysis of robust stability and control quality, providing formal verification of the obtained solutions. Implementation of the developed controllers in a PLC and experimental investigations in a real carbonation column ensure the practical validity of the results. The applied methodology ensures complete and logically coherent fulfillment of the research tasks.

4. Brief analytical characterization of the nature and evaluation of the reliability of the material on which the dissertation's contributions are based.

The dissertation is systematically structured and developed according to established requirements for scientific research in automatic control. The study considers a structural interpretation of fuzzy controllers through implicit embedding of canonical PI/PID control laws into the rule base or output functions of the fuzzy controller.

Chapter 1 provides a systematic analytical review of fuzzy control methods, including rule bases, fuzzy inference mechanisms, TSK models, synthesis methods, adaptive control, and parametric optimization, forming a correct theoretical framework for subsequent research.

Chapter 2 describes the real control object and derives validated modified TSK models of the carbonation column, representing the nonlinear process dynamics and serving as the basis for controller synthesis. Chapters 3 and 4 focus on synthesis, tuning, and implementation of PI and PID fuzzy controllers with different input structures and disturbance compensation. The developed solutions are implemented in a PLC and tested through simulations and real-time experiments.

Chapter 5 addresses an adaptive PID fuzzy controller, where parametric tuning is formulated as an optimization problem and solved using genetic algorithms. Simulation and experimental results support the work. Chapter 6 analyzes stability and robust control quality of adaptive fuzzy

systems, applying established analytical criteria and proposing a methodology for stability verification.

The synthesis, simulations, and experimental results are consistent and allow unambiguous interpretation. This provides a basis to consider that the material supporting the dissertation's contributions is accurate, methodologically sound, and sufficient from a scientific perspective.

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

I accept that the declared scientific, applied, and practical contributions of the dissertation are realized in accordance with the formulated goals and objectives. The developed models, fuzzy, and adaptive controllers provide solutions to the posed scientific problems and improve control quality and robustness in the studied technological processes. The results are validated through simulations and experiments in real industrial conditions, confirming their applicability and practical significance. In this sense, the dissertation represents a complete and coherent scientific and applied study with clearly formulated and substantiated contributions.

I consider that the obtained results are original and meet the requirements for a dissertation for the educational and scientific degree of Doctor of Philosophy (PhD).

6. Assessment of the doctoral candidate's personal contribution to the results.

The presented research in the dissertation and the accompanying publications with the author's contribution lead me to conclude that the doctoral results were personally achieved by the candidate.

7. Evaluation of the publications related to the dissertation: number, type of journals/conferences, impact. Use and citation by other authors, in other laboratories, countries, etc.

The dissertation results have been presented in six scientific publications directly related to the dissertation's topic, published in peer-reviewed international journals and conference proceedings. Some publications are included in indexed journals with specified quartiles as follows: [1] Engineering Science and Technology, an International Journal (Elsevier) – Q1, SJR'24 = 1.09; [2] WSEAS Transactions on Systems and Control – Q4, SJR'24 = 0.22; [5] Mechatronics, Automation, Control – Q4, SJR'24 = 0.19; [6] Jordan Journal of Electrical Engineering – Q4, SJR'24 = 0.16. One publication [4] is included in an IEEE Xplore-indexed collection, and one [3] in the Annual of the Technical University – Sofia.

This meets and even exceeds the academic requirements for approval of doctoral results in terms of number and bibliometric indicators.

The scientific impact is confirmed by 14 citations, including 2 self-citations, in reputable international journals and forums. The candidate's publications are cited in IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing, International Journal on Advanced Science, Engineering & Information Technology, Journal of Engineering and Sustainable Development, International Journal of Circuits, Systems and Signal Processing, as well as Springer Nature and IOP Publishing.

Citations come from independent research groups in various countries, linked to fuzzy logic and intelligent control applications in engineering and technological domains.

I highly appreciate the presented publication activity and the recorded citations, which confirm the research's scientific relevance, recognition, and applicability beyond the specific study.

8. Use of dissertation results in scientific and social practice. Evidence of direct economic effect, etc. Documents supporting the claim.

The dissertation results have been implemented in scientific and engineering practice through the development, deployment, and experimental validation of fuzzy and adaptive control algorithms. They have been applied in a real chemical industry plant – a carbonation column for soda production. Integration of the proposed algorithms was carried out via a PLC without modifications to the existing automation system architecture, meeting the requirements for direct industrial application.

Experimental implementation demonstrated significant improvement in control quality, increased robustness against exogenous disturbances and parametric uncertainties, and stabilization of the technological process across an extended operational range. These results directly contribute to the reliability and operational efficiency of the installation.

Although direct economic impact is not quantified, the implemented improvements demonstrate potential for reducing technological losses, optimizing resource consumption, and minimizing deviations from target process parameters.

Supporting documentation includes real-time experimental results presented in the dissertation, industrial test protocols, and scientific publications reporting the development and industrial implementation.

9. Evaluation of the abstract's compliance with requirements and adequacy in reflecting the main statements and contributions of the dissertation.

The abstract is prepared according to the formatting and structural requirements. The main statements and scientific contributions of the dissertation are clearly and accurately reflected, highlighting both theoretical and applied results. The presentation is consistent and adequate, without deviation from the essence of the research.

10. Opinions, recommendations, and remarks.

The dissertation represents a comprehensive study with clearly defined objectives, scientific contributions, and practical significance. However, certain aspects of the presentation could be improved. Chapter 1 is overly detailed; some well-known facts could be summarized in tables. A more valuable analysis of the reasons for the "limited application of fuzzy controllers in industrial process control" (section 1.5) would strengthen the motivation for choosing fuzzy control.

Chapter 2 contains terminological inaccuracies: the technological variable "solution level" in the carbonation column is defined as the control plant, which does not correspond to established scientific terminology. A precise distinction between the terms "control" and "regulation" is needed,

as they are currently used interchangeably. The formulation for implementing “new measurements” should be further elaborated to clarify the novelty and its effect on process control.

Although the title implies coverage of “chemical industry technological processes,” the actual focus is on a single process – soda production. It would be appropriate for the text and title to more accurately reflect the study’s scope or clearly emphasize the applicability of results to other processes.

The comments suggest editorial and terminological refinement and clarification of thematic scope but do not question the scientific value and contribution of the dissertation. The publication activity with international peer reviews and high citation impact is commendable, confirming the work’s significance and international recognition.

11. Conclusion with a clear positive or negative evaluation of the dissertation.

I positively evaluate the scientific and applied contributions of M.Sc. Eng. Milen Nikolaev Slavov’s doctoral thesis. I consider that the requirements of the Bulgarian Law on the Development of the Academic Staff, its implementing regulations, and the Rules and Procedures for Admission, Training, and Awarding the Educational and Scientific Degree “Doctor of Philosophy” at TU–Sofia have been fully met.

Based on the above, I give a **positive assessment** of the presented dissertation and recommend that the Scientific Jury award Milen Nikolaev Slavov the degree of Doctor of Philosophy in professional field 5.2 “Electrical Engineering, Electronics, and Automation,” scientific specialty “Industrial Automation (by sectors).”

02.01.2026
Sofia

REVIEWER:
/ Assoc. Prof. Yassen Gorbounov PhD /

Върто с оригинала

