

СТАНОВИЩЕ

от проф. дн инж. Димитър Андонов Дичев на дисертационния труд на маг. инж. Чавдар Ставрев Георгиев на тема: *„Изследване и оптимизация на механични структури с внезапна загуба на устойчивост“* за присъждане на образователната и научна степен “доктор” в професионално направление “5.1 Машинно инженерство” и научна специалност *„Динамика, якост и надеждност на машините, уредите, апаратите и системите“*

научни ръководители: проф. дн инж. Георги Димитров Тодоров,

доц. д-р инж. Явор Петров Софронов

Технически университет-София

1. Представени материали

Докторантът маг. инж. Чавдар Ставрев Георгиев е зачислен в редовна докторантура към катедра “Теория на механизмите и машините” при Факултет по индустриални технологии на Технически университет - София. За изготвяне на настоящата рецензия са получени всички необходими за защитата документи, включително дисертационен труд, автореферат, копия на 5 публикационни материала по дисертацията, два патента, автобиография, копие от диплома за магистър и др.

2. Актуалност на разработения в дисертационния труд проблем

Представеният ми за рецензия дисертационен труд е изключително актуален, защото се фокусира върху важна и съвременна проблематика в областта на виртуалното инженерство и компютърното проектиране. Трудът изследва механични структури, които са подложени на натискови натоварвания и са предразположени към внезапна загуба на устойчивост, базирайки се на метода на крайните елементи. Основният акцент е насочен върху разработването на нови методи и подходи за оптимално оразмеряване и повишаване на устойчивостта на тези конструкции.

Въведените симулационни модели и методи за структурна и топологична оптимизация позволяват решаване на сложни индустриални проекти с висока степен на достоверност. Използването на невронни мрежи и изкуствен интелект за предсказване на симулационни резултати без необходимост от реални анализи представлява иновативен подход, който допълнително подчертава значимостта на изследването.

Всичко това показва, че дисертационният труд има съвременен и важен принос към научните изследвания и практическите приложения в инженерството и компютърното проектиране, предлагащ решения за подобряване на устойчивостта на механични структури.

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

Авторът демонстрира задълбочено познаване на текущото състояние на проблема, свързан с внезапната загуба на устойчивост на механични структури. В дисертационния труд са включени обширни литературни източници, които обхващат както теоретични, така и практически аспекти на изследваната тема. Творческата

интерпретация на литературния материал е видима чрез прилагането на съвременни методи за числен анализ и структурна оптимизация, както и чрез интеграцията на нови подходи за използване на невронни мрежи и изкуствен интелект. Тази интерпретация не само потвърждава съществуващите теории, но и допринася с иновативни решения и методи за повишаване на устойчивостта на конструкциите.

Тези резултати ми дават основание убедено да твърдя, че докторантът има напълно завършена представа за съвременното състояние на проблема, което му позволява да развие логиката на разработената в дисертацията концепция за нейното решаване във вярната посока. Всичко това е доказателство, че образователната цел на обучението по докторската програма е успешно постигната и по категоричен начин отразена в дисертационния труд.

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

Избраната методика на изследване в дисертационния труд напълно съответства на поставените цел и задачи. Използването на метода на крайните елементи и компютърната структурна оптимизация е адекватно средство относно спецификите на изследването на механични структури, предразположени към внезапна загуба на устойчивост. Симулационните модели, разработени в дисертацията, позволяват оптимизация при различни критерии за оптималност и гранични условия, което е в пълно съответствие с поставените задачи. Включването на невронни мрежи и изкуствен интелект за предсказване на симулационни резултати без реални анализи допълнително подчертава иновативния подход и съответствието на методиката с целите на изследването.

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

Първа глава от дисертационния труд предоставя обширен обзор на проблема с внезапната загуба на устойчивост при тънкостенни метални конструкции, които са подложени на натискови натоварвания. Изследва се значението на устойчивостта и състоянието на равновесие, като се дефинират критичните състояния и сили, водещи до загуба на устойчивост. Разгледани са различни типове натоварени структури и техните реакции на натиск, включително случаи на изкълчване и бифуркация. Обсъждат се съвременни системи за компютърно проектиране, методи за виртуално инженерство и управлението на жизнения цикъл на продукта, както и концепцията за дигитален двойник. В глава 1 е включено и подробно описание на метода на крайните елементи, използван за анализ и оптимизация на структурите, като се подчертава неговата приложимост и ефективност в инженерната практика.

Втора глава от дисертацията се фокусира върху спецификата на аналитичните подходи и изследване на загубата на устойчивост с метода на крайните елементи (МКЕ). Описват се различни видове симулации и анализи с МКЕ, включително статичен, динамичен, топло-механичен анализ и оптимизация на дизайна. Процесът на симулация с МКЕ е детайлно представен, като се разглеждат всички стъпки - от геометрични данни до постпроцесинг. Специално внимание е отделено на валидацията на точността на

изчисленията чрез класически примери като Lee's Frame Buckling. Тази глава завършва с разработването на симулационни модели за изследване на загубата на устойчивост, като се прави съпоставка на резултатите с реални индустриални образци.

Трета глава от дисертационния труд е посветена на изследването на подходи за структурна оптимизация във виртуалното инженерство. Разглеждат се различни методи за оптимизация, като всеки метод е анализиран по отношение на предимства и недостатъци. В тази част се описва математическата формулировка на оптимизационните задачи и се представя процеса на интегриране на числения модел за структурен анализ в оптимизационния алгоритъм. Специално внимание се обръща на непараметричната топологична оптимизация, непараметричната оптимизация на формата и оптимизацията с ребра. Разгледана е и автоматизацията на симулационния процес и параметричната оптимизация. Главата завършва с изводи, които систематизират възможностите на различни софтуерни пакети и оптимизационни стратегии за подобряване на устойчивостта на модели.

Четвърта глава от дисертационния труд е посветена на структурната оптимизация на примери със загуба на устойчивост. Представени са различни случаи на оптимизация, включително топологична оптимизация на равнинно еластични тела, оптимизация на рамо от ходовата част на автомобил и метална релса, както и нелинейна оптимизация на светофарен стълб и параметрична оптимизация на оребрена плоча. За всеки пример са използвани специфични оптимизационни методи и софтуерни инструменти, като целта е намаляване на теглото и повишаване на устойчивостта на структурите. Резултатите показват значително подобрене в устойчивостта и ефективността на оптимизираните структури. Главата завършва с изводи и нова методика за класификация, която може да се използва при решаването на сложни индустриални проекти.

Пета глава от дисертационния труд разглежда използването на изкуствен интелект (AI) и машинно обучение (ML) в числените симулации. Представен е пример за използване на невронни мрежи за генериране на симулационни резултати при изкълчване и след изкълчване на тръба. Използван е методът Long Short-Term Memory (LSTM) за обработка на данни, като са направени 16 симулации за обучение и 64 предсказания. Резултатите показват значително намаляване на времето за изчисляване и минимално отклонение от реалните симулации. Проучени са предимствата на непрекъснатото машинно обучение при добавяне на нови параметри и гранични стойности. Главата завършва с изводи, които подчертават потенциала на AI и ML за бързи и точни симулационни резултати.

6. Научно-приложни и приложни приноси на дисертационния труд

Считам, че изведените приноси са научно-приложни и приложни.

А. Научно-приложни приноси:

Според характера си научно-приложните приноси спадат към следната методична категория:

Създаване на нови класификации, методи, подходи, алгоритми, конструкции, модели и др.

1. Разработена е нова методология и класификация за оптимално оразмеряване на конструкции и детайли под натискови натоварвания, осигуряваща висока достоверност при решаването на сложни индустриални проекти.

2. Създаден е иновативен метод за предсказване на симулационни резултати при загуба на устойчивост с помощта на невронни мрежи и изкуствен интелект, елиминиращ необходимостта от реални специализирани анализи.

3. Методи за предсказване чрез невронни мрежи са апробирани с възможност за надграждане на обучен алгоритъм (непрекъснато обучение), което повишава точността и ускорява сходимостта между предсказаните и симулираните резултати.

Б. Приложни приноси

Категория: *Доказване с нови средства на съществени нови страни на вече съществуващи научни области, проблеми, теории, хипотези – Приноси 1 и 4.*

Категория: *Създаване на нови класификации, методи, конструкции, технологии – Приноси 2 и 3*

Категория: *Получаване на потвърдителни факти – Принос 5*

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

Познавам докторанта преди всичко от неговата научна продукция, демонстрирана сполучливо на важни научни форуми. От друга страна, познавам много добре един от научните ръководители - проф. дн Георги Тодоров. Високото ниво на неговата работа, професионализъм и методи за обучение на докторанти ми дават основание да подчертая, че основните идеи, заложи при разработването на тази работа, са оригинален принос на автора.

8. Мнения, препоръки и бележки

Нямам съществени забележки, с които да оспорвам постигнатите резултати и приносни моменти в материалите, представени от маг. инж. Чавдар Георгиев. Бих препоръчал разширяване на изследванията върху по-широк набор от материали и конструктивни елементи. Това ще предостави по-голяма гъвкавост и приложимост на предложените методи. Допълнителни експериментални изследвания могат да бъдат проведени за валидиране на симулационните модели. Това ще повиши доверието в резултатите и ще подкрепи теоретичните изводи с практически доказателства.

9. Заключение

По мое мнение дисертацията представлява напълно завършен научен труд с подчертано практическо приложение. Материалът е добре структуриран, ясно и прегледно изложен.

В заключение мога да отбележа, че дисертационният труд напълно отговаря на изискванията на Закона за развитие на академичния състав в Република България и Правилника за неговото прилагане. Във връзка с гореизложеното предлагам на почитаемото Научно жури да присъди на маг. инж. **Чавдар Ставрев Георгиев** образователната и научна степен **"Доктор"** в професионално направление **„5.1**

Машинно инженерство“ и научна специалност „Динамика, якост и надеждност на машините, уредите, апаратите и системите“.

10.06.2024 г.

Рецензент:

/проф. дн инж. Димитър Дичев/

OPINION

by Prof. D.Sc. Eng. Dimitar Andonov Dichev on the dissertation work of M.Sc. Eng. Chavdar Stavrev Georgiev on the topic: "Research and optimization of mechanical structures with a sudden loss of stability" for awarding the educational and scientific degree "doctor" in the professional direction "5.1 Mechanical engineering" and scientific specialty "Dynamics, strength and reliability of machines" , the devices, apparatus and systems" scientific supervisors: Prof. D.Sc. Eng. Georgi Dimitrov Todorov, assoc. prof. Ph.D. Eng Yavor Petrov Sofronov, Technical University of Sofia

1. Presented materials

The PhD student M.Sc. Eng. Chavdar Stavrev Georgiev is enrolled in a full-time doctoral program at the Department of Theory of Mechanisms and Machines at the Faculty of Industrial Technologies of the Technical University - Sofia. For the preparation of this review, all documents necessary for the defense were received, including the dissertation, abstract, copies of 5 publications on the dissertation, two patents, CV, copy of the Master's degree, etc.

2. Actuality of the problem developed in the dissertation work

My dissertation submitted for review is extremely topical because it focuses on an important and contemporary issue in the field of virtual engineering and computer-aided design. The thesis investigates mechanical structures that are subjected to compressive loads and are prone to sudden loss of stability, based on the finite element method. The main focus is on the development of new methods and approaches to optimally size and increase the stability of these structures.

The introduced simulation models and methods for structural and topological optimization allow solving complex industrial designs with a high degree of reliability. The use of neural networks and artificial intelligence to predict simulation results without the need for real analyses represents an innovative approach that further highlights the significance of the research.

All this shows that the dissertation makes a contemporary and important contribution to research and practical applications in engineering and computer-aided design, offering solutions to improve the stability of mechanical structures.

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

The author demonstrates a thorough knowledge of the current state of the problem related to the sudden loss of stability of mechanical structures. The dissertation incorporates extensive references that cover both theoretical and practical aspects of the research topic. The creative interpretation of the literature is evident through the application of modern numerical analysis and structural optimization methods, as well as the integration of novel approaches using neural networks and artificial intelligence. This interpretation not only confirms existing theories but also contributes innovative solutions and methods to enhance the stability of structures.

These results give me reason to confidently assert that the PhD student has a fully completed understanding of the current state of the problem, which allows him to develop the logic of the concept developed in the dissertation for its solution in the right direction. All of this is proof that the educational goal of the doctoral program has been successfully achieved and is reflected in the dissertation in a definite way.

4. Compatibility of the chosen research methodology with the aim and objectives of the dissertation

The chosen research methodology in the dissertation fully corresponds to the set goal and objectives. The use of the finite element method and computational structural optimization is an adequate tool concerning the specifics of the study of mechanical structures prone to sudden loss of stability. The simulation models developed in this thesis allow optimization under different optimality criteria and boundary conditions, which is in full accordance with the set tasks. The inclusion of neural networks and artificial intelligence to predict simulation results without real analyses further highlights the innovative approach and the relevance of the methodology to the research objectives.

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

Chapter one of the dissertation provides an extensive review of the problem of sudden loss of resistance in thin-walled metal structures subjected to compressive loads. The significance of stability and equilibrium state is investigated by defining the critical states and forces leading to loss of stability. Different types of loaded structures and their responses to compression are considered, including cases of buckling and bifurcation. Advanced computer-aided design systems, virtual engineering methods and product life cycle management are discussed, as well as the concept of the digital double. Chapter 1 also includes a detailed description of the finite element method used to analyze and optimize structures, highlighting its applicability and effectiveness in engineering practice.

Chapter two of the dissertation focuses on the specifics of the analytical approaches and the study of stability loss with the finite element method (FEM). Different types of simulations and analyses with FEM are described, including static, dynamic, thermal-mechanical analysis and design optimization. The FEM simulation process is presented in detail, with all steps from geometry data to postprocessing discussed. Special attention is given to the validation of the accuracy of the calculations through classical examples such as Lee's Frame Buckling. This chapter concludes with the development of simulation models to investigate stability loss, comparing the results with real industrial samples.

Chapter Three of the dissertation is devoted to the study of structural optimization approaches in virtual engineering. Different optimization methods are considered and each method is analyzed in terms of advantages and disadvantages. This part describes the mathematical formulation of the optimization problems and presents the process of integrating the numerical model for structural analysis into the optimization algorithm. Special attention is paid to nonparametric topological optimization, nonparametric shape optimization, and edge optimization. Automation of the simulation process and parametric optimization are also

discussed. The chapter concludes with conclusions that systematize the capabilities of various software packages and optimization strategies to improve model stability.

Chapter four of the thesis is devoted to structural optimization of examples with loss of stability. Various optimization cases are presented, including topological optimization of planar elastic solids, optimization of a car chassis arm and a metal rail, as well as nonlinear optimization of a traffic light pole and parametric optimization of a ribbed plate. Specific optimization methods and software tools are used for each example, with the goal of reducing the weight and increasing the stability of the structures. The results show a significant improvement in the stability and efficiency of the optimized structures. The chapter concludes with conclusions and a new classification methodology that can be used to solve complex industrial designs.

Chapter five of the dissertation discusses the use of artificial intelligence (AI) and machine learning (ML) in numerical simulations. An example of using neural networks to generate simulation results for buckling and post buckling of a pipe is presented. The Long Short-Term Memory (LSTM) method was used for data processing, and 16 training simulations and 64 predictions were made. The results show a significant reduction in computation time and minimal deviation from the actual simulations. The advantages of continuous machine learning in adding new parameters and boundary values are investigated. The chapter ends with conclusions that highlight the potential of AI and ML for fast and accurate simulation results.

6. Scientific and Applied Contributions of the Dissertation

I believe that the contributions are scientific and applied.

А. Научно-приложни приноси:

According to their nature, scientific and applied contributions fall into the following methodological category:

Creation of new classifications, methods, approaches, algorithms, constructs, models, etc..

1. A new methodology and classification for optimal dimensioning of structures and details under compressive loads is developed, providing high reliability in solving complex industrial projects.

2. An innovative method has been developed to predict simulation results under loss of stability using neural networks and artificial intelligence, eliminating the need for real specialized analyses.

3. Prediction methods using neural networks have been validated with the ability to upgrade a trained algorithm (continuous learning), which increases accuracy and accelerates convergence between predicted and simulated results.

Б. Applied contributions

Category: *Proof by new means of significant new aspects of already existing scientific fields, problems, theories, hypotheses - Contributions 1 and 4.*

Category: *Creation of new classifications, methods, constructions, technologies - Contributions 2 and 3*

Category: *Obtaining Confirmatory Evidence - Contribution 5*

7. Assessment of the degree of personal involvement of the dissertant in the contributions

I know the PhD student primarily from his scientific production, successfully demonstrated at important scientific forums. On the other hand, I know very well one of the scientific supervisors - Prof. D.Sc. Georgi Todorov. The high level of his work, professionalism and methods of training doctoral students give me a reason to emphasize that the main ideas set in the development of this work are an original contribution of the author.

8. Opinions, recommendations and comments

I have no substantive remarks to dispute the results and contributions in the materials presented by M.Eng. Chavdar Georgiev. I would recommend extending the research to a wider range of materials and structural elements. This would provide greater flexibility and applicability of the proposed methods. Further experimental studies could be conducted to validate the simulation models. This will increase confidence in the results and support the theoretical conclusions with practical evidence.

9. Conclusion

In my opinion, the dissertation represents a complete scientific work with a marked practical application. The material is well structured, clearly and clearly presented.

In conclusion, I can note that the dissertation fully complies with the requirements of the Academic Staff Development Act in the Republic of Bulgaria and the Regulations for its implementation. In view of the above, I propose to the Honourable Scientific Jury to award to **M.Eng. Chavdar Stavrev Georgiev** the educational and scientific degree "**Doctor**" in the professional field "**5.1 Mechanical Engineering**" and scientific specialty "**Dynamics, Strength and Reliability of Machines, Devices, Apparatus and Systems**".

10.06.2024

Reviewer:

/ Prof. D.Sc. Dimitar Dichev /