



РЕЦЕНЗИЯ върху дисертационен труд

за придобиване на образователната и научна степен „доктор”

Автор на дисертационния труд: **маг. инж. Константин Любомиров Димитров**

Тема на дисертационния труд: **“Моделиране и изследване чрез виртуално прототипиране на високоскоростни динамични процеси”**

Рецензент: **доц. д-р инж. Явор Петров Софронов**

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

Дисертационният труд е насочен към изследване на високоскоростни динамични процеси, характерни за съвременните инженерни системи, които протичат в кратки времеви интервали и се отличават със сложни нелинейни зависимости, затрудняващи експерименталния им анализ. В този контекст виртуалното прототипиране се утвърждава като ефективен инструмент за изграждане на адекватни числени модели, намаляване на експерименталните разходи и повишаване надеждността на инженерните решения.

Темата е актуална както в научен, така и в приложен аспект. Целта на дисертацията е разработване на интегриран подход за моделиране и изследване на тези процеси чрез валидирани виртуални прототипи, като е анализирано и влиянието на изграждането на изчислителен модел базиран на виртуален прототип, планирането и провеждането на физически експерименти, както и анализа на резултатите от двата вида експерименти в единна логическа рамка.

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

Представените материали свързани с дисертационният труд, доказват, че докторанта Константин Димитров познава актуалното състояние на проблема.

В дисертационният труд са разгледани 123 литературни източници, като от тях 2 са от български автори и 121 са от чуждестранни.

Извършеният преглед на литературните източници в глава първа е с достатъчен по обем и обхват и е адекватно анализиран, което е отразено в аргументирано представените изводи. Познаването на състоянието на проблема и творческата интерпретация на литературния материал са в подкрепа на формулирането на целта на дисертацията за необходимостта от разработване на интегриран подход за моделиране и изследване на високоскоростни динамични процеси чрез числени анализи, базирани на валидирани виртуални прототипи.

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

Вземайки предвид натрупаните познания в областта на дисертационният труд, докторантът аргументирано е адаптирал изследователската методика към спецификата на поставената цел и задачи за моделиране и изследване на високоскоростни динамични процеси чрез анализи при използване на валидирани виртуални прототипи.

Избраната методика на изследване е правилно подбрана, като съответства на поставените цел и задачи, което се потвърждава от получените резултати. Резултатите показват разработена методика за виртуален инженерен анализ за моделиране и изследване на високоскоростни динамични процеси чрез анализи при използване на валидирани виртуални прототипи. Оценено е влиянието от изграждането на изчислителен модел, избора на числен метод и и спецификите в етапите на верификация и валидация. Формулирани са принципи и критерии за осигуряване на точност, устойчивост и физическа достоверност на симулациите. Също така е анализирано влиянието на измервателните методи и на експерименталната техника. Предоставени са препоръки за провеждане на експерименти, които да осигуряват надеждни данни за валидация на числените модели.

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

Дисертационният труд е разработен в 6 глави с обем от 204 страници и съдържа 54 фигури и 5 таблици.

В първа глава е извършен анализ на съвременните изследвания в областта на високоскоростните динамични процеси и виртуалното прототипиране. Обобщени са основните физични особености на процесите, методите за числено моделиране и експериментална валидация. Установена е липсата на систематизиран подход за валидация, което мотивира целта и задачите на дисертацията.

Във втора глава е разработена концептуална рамка за моделиране чрез виртуално прототипиране, базирана на три основни елемента: изграждане на модел, избор на числен метод и верификация/валидация. Формулирани са принципи и критерии за осигуряване на точност, устойчивост и физическа достоверност на симулациите.

В трета глава е създадена методология за изграждане на виртуален прототип и провеждане на числен анализ. Методологията е апробирана чрез модел на свободно падане, като е доказана възможността за получаване на достоверни резултати, съпоставими с експериментални данни.

В четвърта глава е разработена методология за провеждане на експериментални изследвания при високоскоростни динамични процеси. Анализирани са измервателните методи и влиянието на експерименталната техника. Проведени са експерименти (свободно падане), които осигуряват надеждни данни за валидация на числените модели.

В пета глава е предложен интегриран (хибриден) подход за валидация, комбиниращ числени, експериментални и аналитични методи. Доказано е добро съответствие между резултатите чрез използване на коефициента на възстановяване като основен валидиращ параметър. Подходът позволява итеративно усъвършенстване на моделите.

В шеста глава е оценена приложимостта на разработения подход чрез реален инженерен обект – батериен модул. Проведен е числен анализ на ударно натоварване и е показано, че валидираният

виртуален прототип може да се използва за разширени изследвания, оптимизация и инженерни оценки при реални условия.

5. Приноси на дисертационния труд

В резултат от разработката по дисертационният труд са формулирани 3 научно – приложни и 5 приложни приноса.

5.1. Научно-приложни приноси

1. Разработена е методология за провеждане на експериментални изследвания за изследване на поведението на физически прототипи при високоскоростни динамични процеси.
2. Разработена е методология за изграждане на изчислителен модел за извършване на инженерни анализи на високоскоростни динамични процеси на базата на виртуален прототип.
3. Разработен е интегриран подход за валидиране и изследване на високоскоростни динамични процеси, който съчетава методологиите за виртуално прототипиране и експериментални изследвания чрез доразвитие на метода „черна – бяла кутия“ в единна логическа структура.

5.2. Приложни приноси

1. Разработената методология е приложена успешно при реални експериментални изпитвания от тип свободно падане, включително върху опростени референтни обекти и върху физически прототип на батериен модул за електрическо превозно средство.
2. Изготвени са практически насоки за планиране и провеждане на експериментални изпитвания при високоскоростни динамични въздействия, отчитащи ограниченията, свързани с разрушителния характер на тестовете, ограничения брой прототипи и спецификите на измервателната техника.
3. Анализирано е влиянието на експерименталната техника върху възпроизводимостта на резултатите, като са идентифицирани фактори, влияещи върху ориентацията и кинематиката на падащите тела, на чиято основа са формулирани препоръки за подобряване на точността при изпитвания от тип свободно падане.
4. Чрез прилагането на валидиран виртуален прототип са осъществени потвърдителни и оптимизационни тестове на иновативно изделие – батериен модул за електрически превозни средства.

5. Извлечени са ползи за детайлната разработка и оптимизация на дизайна на изделието батериен модул в съответствие с модела „черна-бяла кутия“.

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

От представените четири публикации, разработени в съавторство по темата на дисертационния труд и личното ми впечатление от докторанта, смятам че постигнатите научни приноси са в значителна степен резултат от личния принос на дисертанта.

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.

Авторът е публикувал резултатите от дисертационния труд в 4 броя публикации – 3 от тях са докладвани на следните научни конференции: 13-та международна научна конференция TECHSYS 2024 – инженерство, технологии и системи” – Пловдив, „14-ти Национален конгрес по теоретична и приложна механика“ – София, „34-ти международен научен симпозиум по метрология и метрологично осигуряване“ – Созопол. Всички статии са реферирани и индексирани в световните бази данни SCOPUS/WoS.

Представените публикации са по темата на дисертацията, като се забелязват и 2 цитирания. Постигнатият брой от 41.33 точки, при изискуем минимум от 30, ми дава основание да заключа, че количеството на публикациите е достатъчно за образователната и научна степен "доктор" и представя в голяма степен получените резултати.

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

Постигнатите в дисертационния труд резултат дават възможност за анализ на високоскоростни динамични процеси чрез виртуално прототипиране. Разработеният подход е апробиран успешно чрез практическото му прилагане за изследване на процес на свободно падане на батериен модул, ключов тест за безопасността на

съвременните електромобили. Също така изследванията ще намерят приложение в научно-изследователската и учебната дейност на Факултета по индустриални технологии.

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 в обем от 30 страници и отговаря на изискванията за оформление спрямо правилата на ТУ-София и отразява по същество структурата, по-съществените моменти и приносите на дисертационния труд.

10. Мнения, препоръки и бележки

Наблюдават се технически и стилови забележки, които не дават основание за оспорване на представените научноприложни и приложни приноси в дисертационната работа.

Считам, че дисертационният труд е една добра основа за бъдещо професионално развитие на научни и приложни разработки в областта на изследването на високоскоростни динамични процеси.

11. Заключение

В резултат на запознаването ми с дисертационния труд и материалите по него, изпълнената образователна цел на докторантурата и изискванията на Закона за развитието на академичния състав в Република България, Правилника за прилагането му и Правилника за условията и реда за придобиване на научни степени в ТУ–София, актуалността и значимостта на постигнатите научноприложни и приложни приноси, с убеденост давам **положителна** оценка на дисертационната работа.

На тези основания предлагам на Научното Жури, да присъди на маг. инж. Константин Любомиров Димитров образователната и научна степен „доктор” по професионално направление 5.1 Машинно инженерство, научна специалност „Автоматизация на инженерния труд и системи за автоматизирано проектиране”.

Дата: 14.04.2026

РЕЦЕНЗЕНТ:

(доц. д-р инж. Я. Софронов)



REVIEW

of a dissertation

for the obtaining of the educational and scientific degree "doctor"

Author of the dissertation: **MSc. Eng. Konstantin Lyubomirov Dimitrov**

Topic of the dissertation: **"Modeling and Investigation through virtual prototyping of high-speed dynamic processes"**

Reviewer: **Assoc. Prof. Dr. Eng. Yavor Petrov Sofronov**

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

The dissertation focuses on the study of high-speed dynamic processes characteristic of modern engineering systems, which occur over very short time intervals and are characterized by complex nonlinear relationships that hinder their experimental analysis. In this context, virtual prototyping is established as an effective tool for developing adequate numerical models, reducing experimental costs, and increasing the reliability of engineering solutions.

The topic is relevant both scientifically and practically. The aim of the dissertation is to develop an integrated approach for modelling and investigating these processes through validated virtual prototypes, including analysis of the development of computational models based on virtual prototypes, the planning and execution of physical experiments, as well as the analysis of results from both types of experiments within a unified logical framework.

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

The presented materials related to the dissertation demonstrate that the PhD candidate, Konstantin Dimitrov, is well acquainted with the current state of the problem.

A total of 123 literature sources are reviewed in the dissertation, of which 2 are by Bulgarian authors and 121 are international.

The literature review conducted in Chapter One is sufficient in scope and depth and has been appropriately analyzed, as reflected in the well-justified conclusions. The understanding of the state of the problem, combined with the creative interpretation of the literature, supports the formulation of the dissertation's objective—namely, the need to develop an integrated approach for modeling and investigating high-speed dynamic processes through numerical analyses based on validated virtual prototypes.

3. Compliance of the chosen research methodology with the set goal and tasks of the dissertation

Considering the accumulated knowledge in the field of the dissertation, the PhD candidate has convincingly adapted the research methodology to the specifics of the defined aim and tasks for modelling and investigating high-speed dynamic processes through analyses based on validated virtual prototypes.

The selected research methodology is appropriately chosen and corresponds to the stated aim and objectives, which is confirmed by the obtained results. The results demonstrate a developed methodology for virtual engineering analysis for modelling and investigating high-speed dynamic processes using validated virtual prototypes. The influence of computational model development, the choice of numerical method, and the specifics of the verification and validation stages have been evaluated. Principles and criteria for ensuring accuracy, stability, and physical reliability of the simulations have been formulated. Additionally, the impact of measurement methods and experimental techniques has been analysed. Recommendations are provided for conducting experiments that ensure reliable data for the validation of numerical models.

4. Brief Analytical Characterization of the Nature and Evaluation of the Credibility of the Material on which the Contributions of the Dissertation are Based

The dissertation is structured in six chapters, with a total length of 204 pages, and includes 54 figures and 5 tables.

Chapter One presents an analysis of current research in the field of high-speed dynamic processes and virtual prototyping. The main physical characteristics of the processes, as well as methods for numerical

modelling and experimental validation, are summarized. A lack of a systematic validation approach is identified, which motivates the aim and objectives of the dissertation.

Chapter Two develops a conceptual framework for modeling through virtual prototyping, based on three main elements: model development, selection of a numerical method, and verification/validation. Principles and criteria for ensuring accuracy, stability, and physical reliability of simulations are formulated.

Chapter Three introduces a methodology for building a virtual prototype and conducting numerical analysis. The methodology is validated through a free-fall model, demonstrating the capability to obtain reliable results comparable to experimental data.

Chapter Four presents a methodology for conducting experimental investigations of high-speed dynamic processes. Measurement methods and the influence of experimental techniques are analyzed. Free-fall experiments are conducted, providing reliable data for validation of numerical models.

Chapter Five proposes an integrated (hybrid) validation approach combining numerical, experimental, and analytical methods. Good agreement between results is demonstrated using the coefficient of restitution as the main validation parameter. The approach enables iterative improvement of the models.

Chapter Six evaluates the applicability of the developed approach using a real engineering object—a battery module. A numerical analysis of impact loading is performed, showing that the validated virtual prototype can be used for extended studies, optimization, and engineering assessments under real conditions.

5. Contributions of the Dissertation

As a result of the work on the dissertation, 3 scientific-applied and 6 applied contributions have been formulated.

5.1. Scientific-Applied Contributions

1. A methodology has been developed for conducting experimental studies to investigate the behavior of physical prototypes under high-speed dynamic processes.

2. A methodology has been developed for constructing a computational model for performing engineering analyses of high-speed dynamic processes based on a virtual prototype.
3. An integrated approach has been developed for the validation and investigation of high-speed dynamic processes, combining virtual prototyping and experimental methodologies through further development of the “black–white box” method into a unified logical framework.

5.2. Applied Contributions

1. The developed methodology has been successfully applied in real experimental tests of the free-fall type, including both simplified reference objects and a physical prototype of an electric vehicle battery module.
2. Practical guidelines have been developed for planning and conducting experimental tests under high-speed dynamic loading, taking into account the limitations related to the destructive nature of the tests, the limited number of prototypes, and the specifics of the measurement equipment.
3. The influence of experimental techniques on the reproducibility of results has been analyzed, and factors affecting the orientation and kinematics of falling bodies have been identified, forming the basis for recommendations to improve accuracy in free-fall tests.
4. By applying a validated virtual prototype, verification and optimization tests have been carried out on an innovative product—a battery module for electric vehicles.
5. Insights have been derived for the detailed development and optimization of the battery module design in accordance with the “black–white box” model.

6. Assessment of the Degree of Personal Participation of the Dissertation Author in the Contributions

Based on the four co-authored publications related to the dissertation topic, as well as my personal impression of the PhD candidate, I consider that the achieved scientific contributions are to a significant extent the result of the candidate’s individual contribution.

7. Evaluation of the Publications on the Dissertation: Number, Nature of the Publications, and Their Impact in Science – Usage and Citations by Other Authors, in Other Laboratories, Countries, etc.

The author has published the results of the dissertation in four publications, three of which have been presented at the following scientific conferences: the 13th International Scientific Conference TECHSYS 2024 – Engineering, Technologies and Systems (Plovdiv), the 14th National Congress on Theoretical and Applied Mechanics (Sofia), and the 34th International Scientific Symposium on Metrology and Metrology Assurance (Sozopol). All publications are peer-reviewed and indexed in the global databases SCOPUS/WoS.

The presented publications are directly related to the dissertation topic, and two citations have been identified. The achieved total of 41.33 points, exceeding the required minimum of 30, provides sufficient grounds to conclude that the quantity of publications meets the requirements for the educational and scientific degree “Doctor” and adequately reflects the obtained results.

8. Utilization of the Dissertation Results in Scientific and Social Practice. Presence of Achieved Direct Economic Effect, etc. Documents Supporting the Claim

The results achieved in the dissertation provide the opportunity to analyse high-speed dynamic processes through virtual prototyping. The developed approach has been successfully validated through its practical application in studying a free-fall process of a battery module, a key safety test for modern electric vehicles. The research will also find application in the scientific and educational activities of the Faculty of Industrial Technologies.

9. Evaluation of the Compliance of the Abstract with the Requirements for Its Preparation, as well as the Adequacy of Reflecting the Main Points and Contributions of the Dissertation

The abstract is 30 pages in total and meets the formatting requirements according to the rules of TU-Sofia. It essentially reflects the structure, key points, and contributions of the dissertation.

10. Opinions, Recommendations, and Notes

Technical and stylistic shortcomings are observed; however, they do not provide grounds for contesting the presented scientific-applied and practical contributions of the dissertation.

I believe that the dissertation is a good foundation for future professional development in scientific and applied research in the field of high-speed dynamic processes.

11. Conclusion

As a result of my review of the dissertation and its materials, the educational goal of the doctoral program, and the requirements of the Law on the Development of the Academic Staff in the Republic of Bulgaria, its Implementing Regulations, and the Regulations for the Conditions and Procedures for Acquiring Scientific Degrees at TU-Sofia, the relevance and significance of the achieved scientific-applied and applied contributions, I confidently give a positive assessment of the dissertation work.

On these grounds, I propose to the Scientific Jury to award the educational and scientific degree “Doctor” to MSc. Eng. Konstantin Lyubomirov Dimitrov in the professional field 5.1 Mechanical Engineering, scientific specialty “Automation of Engineering Work and Systems for Automated Design.”

Date: 14.04.2026

REVIEWER:

(Assoc. Prof. Dr. Eng. Y. Sofronov)