

07.08-НС2-098
06.07.2026



РЕЦЕНЗИЯ

за дисертационен труд за придобиване на научната степен "доктор на науките" по научна специалност:

„Автоматизирани системи за обработка на информация и управление (в комуникациите)“

в професионално направление:

5.3. Комуникационна и компютърна техника

Автор на дисертационния труд:

доц. д-р инж. Росен [REDACTED] Милетиев

Тема на дисертационния труд:

Методи, алгоритми и системи за определяне на ориентацията и състоянието на подвижни обекти на базата на MEMS инерционни сензори

Изготвил рецензията: проф. д-р инж. Александър [REDACTED] Бекярски

1. Актуалност на разработвания в дисертационния труд проблем в научно и научно-приложно отношение

Темата на представения дисертационен труд **„Методи, алгоритми и системи за определяне на ориентацията и състоянието на подвижни обекти на базата на MEMS инерционни сензори“** може да се определи от една страна като съществуваща и актуална от момента на възникване на необходимостта за определяне на ориентацията на подвижни обекти с цел тяхното управление, а от друга страна поради постоянното развитие и миниатюризиране на инерционните сензори, представители на които са MEMS сензорите, водещи до значително редуциране на размерите на системите за ориентация и навигация, съчетано с повишаване на точността и надежността.

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

За степента на познаване състоянието на проблема и творческата интерпретация на литературния материал може да се добие реална представа от творческата интерпретация на литературния материал в Глава 1 на дисертационния труд, където на базата на преглед и обстойн критичен анализ на многобройни (197) и актуални в настоящия момент научни публикации, тясно свързани с тематиката на дисертацията, са дефинирани много точно и правилно целите и задачите на дисертацията.

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

Считам, че има пълно съответствие на избраната методика на изследване и поставената цел и задачи на дисертацията. Това съответствие следва да се търси

в напълно основателно дефинираната значимост и необходимост в научно и научно-приложно отношение от изследване в областта на проблемите при използването на MEMS инерционните сензори с цел определяне на ориентацията и текущото състояние на подвижни обекти. Това мое твърдение изцяло съвпада с възприетия правилен подход, чрез който доц. д-р инж. Росен Милетиев е формулирал много конкретно и точно целта и задачите в своя дисертационен труд, както следва:

Цел на дисертацията: Анализ и синтез на нови подходи, методи и алгоритми за подобряване на параметрите на MEMS инерциални сензори, повишаване на качеството на данните, получавани от сензорни системи и разработване на системи за определяне на ориентация и състояние на подвижни обекти на базата на MEMS инерциални сензори.

Тази цел е реализирана чрез формулиране и изпълнение на **следните задачи:**

1. Анализ на съществуващи MEMS инерциални сензори, включващ и тяхната базова архитектура, изследване на техните основни характеристики и точността на нискобюджетните сензори, използвани за измерване на линейни и ъгови ускорения, моделите за техния анализ и методите за тяхното компенсирание.
2. Разработване на методи и алгоритми за подобряване на характеристиките на MEMS инерциални сензори.
3. Разработване на методи и алгоритми за системи на базата на MEMS инерциални сензори за определяне на ориентацията в пространството.
4. Разработване на методи и алгоритми за системи на базата на MEMS инерциални сензори за анализ на динамичното състояние на подвижни обекти, техни подсистеми, както и състоянието на пътната мрежа в областта на автомобилния и железопътния транспорт.
5. Създаване на прототипи на информационно - комуникационни системи на основата на MEMS инерциални сензори и тестването им в реални условия, както и тестване на алгоритми и програмни среди за обработката на информацията.

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

Дисертационният труд е с обем 327 страници. Реализирането на правилно поставената цел и съответни задачи на дисертационния труд е обект на следващите глави на дисертацията, между които е постигната последователност в изложението, логическа връзка и методичност в представяне на новите важни, относно приносите на дисертацията, теоретични и практически решения в областта на тематиката на дисертацията.

В глава 2 "Методи и алгоритми за подобряване на характеристиките на MEMS инерциални сензори" са представени хардуерни методи за подобряване на характеристиките и методи за подобряване на характеристиките чрез уейвлетна обработка на сигналите и чрез адаптивни филтри, като е проведен теоретичен анализ, експериментално изследване и сравнителен анализ.

В трета глава на дисертационния труд "Изследване и развитие на системи на базата на MEMS инерциални сензори за определяне на ориентацията в пространството", се дефинират координатните системи и трансформациите за определянето на пространствената ориентация. Представено е описание на ъглите на Ойлер в системите с MEMS сензори. Извършено е определяне на ориентацията с MEMS инерциални сензори и определяне на пространственото положение чрез комплиментарен филтър.

В глава четвърта на дисертационния труд "Изследване и развитие на системи на базата на MEMS инерциални сензори за определяне на динамичното състояние в автомобилния транспорт" е предложена мултипротоколна мрежа от инерциални сензори. Изследвана е динамиката на движение и методите за диагностика в автомобилния транспорт. Представени са инерциални системи за контрол и управление на двигатели и за контрол и управление на движението. Предложени са инерциални системи за оценка на въздействието на автомобилния транспорт върху околната среда.

В глава пета "Инерциални системи за изследване на динамиката на движение и за диагностика в железопътния транспорт" са предложени методи за измерване на железния път и измервателна система на базата на MEMS инерциални сензори. Предложен е алгоритъм за обработка на данните от инерциални сензори и инерциална система за измерване и анализ на състоянието на градски железопътни линии на база динамиката на движението. Проведено е изследване и оценка на вибрациите в трамвайна мотриса.

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

Основните резултати, постигнати в настоящия дисертационен труд са обобщени и представени под формата на следните приноси:

Научни приноси:

- методи за компенсиране на нулевото отместване на инерциални сензори чрез използване на допълнителни сензори, като магнитометри, както и алгоритъм за определяне на грешката от нулевото отместване или чрез оценка на общото ускорение на обекта, извършеният сравнител анализ показва, че динамичната компенсация значително намалява отклонението в сравнение със статичната компенсация;

- метод за подобряване на характеристиките на инерциални сензори на базата на прилагане на четирисензорна структура от такива сензори с подходяща ориентация на осите им, като са изведени теоретични зависимости за дисперсията и стандартното отклонение на резултатните ускорения, потвърдени симулационно и експериментално;

- предложени са специфични режими на работа на четирисензорната структура в синхронен и асинхронни режими на работа, които водят до подобряване на параметрите в сравнение с единичен инерциален сензор, като: намаляване на шумовите характеристики при синхронен режим, увеличаване на честотата на дискретизация 4 пъти при асинхронен режим с равномерна дискретизация и възможност за честотен анализ над честотата на Найкуист при асинхронен режим с неравномерна дискретизация;

- предложен е метод за подобряване на характеристиките на сензорите чрез обработка на сигналите на базата на уейвлет преобразуване, като са разгледани избора на нивото на декомпозиция, избора на метод за изчисление на праговата стойност и избора на метод за прилагане на изчислената прагова стойност;

- разработен е модел на Калманов филтър за определяне на пространственото разполагане на обекти, проверен е експериментално със специализирана постановка и при сравнението с аналогични модели на широко използвани на сензори се доказва, че моделът е коректен, приложим и работи успешно както при използване на Ойлерови ъгли, така и на кватерниони;

- предложена е структура на комплементарен филтър за определяне на пространственото разположение на обекти, която позволява моделиране на физичните процеси по-точно в сравнение със структурата, определяща пространственото положение само на базата от данните за сензора на линейни ускорения;

- предложена е структура на мултипротоколна мрежа от инерциални сензори с последователно или паралелно свързване на сензорите, като са изведени изрази за максималния брой свързани сензори, както и за максималната скорост за предаване на данни по мрежата, като в табличен вид е представена зависимостта $B(n)$, изведена е и обратната зависимост $n(B)$;

- предложен е метод и методология за диагностика на окачването на автомобили по принудени колебания с оценка на времето на затихване, скоростта на затихване на колебанията, основните доминиращи честоти и техните амплитуди, зависимостта на определените честоти и амплитуди в зависимост от състоянието на изследвания обект, определяне на скоростта, преместването на елементите и интегрална оценка на състоянието на системата на базата на STFT анализ и времево – честотното разпределение с уейвлет пакети, като са изведени изрази за коефициента на затихване на колебанията и респективно за реципрочната му стойност, която определя скоростта на промяна на честотата на трептене;

- предложен е метод за измерване и оценяване на движението на железния път, който позволява анализ на динамиката на движение в реално време и откриване на компрометирани участъци от железния път.

Научно-приложни приноси:

- предложен е алгоритъм за прилагане на метода чрез оценка на общото ускорение на обекта за компенсиране на нулевото отместване;

- определени са шумовите характеристики чрез статистически анализ и чрез дисперсия на Алън на MEMS инерциални сензори от различни класове и поколения и е анализирано ненулетово отместване и неговата нестабилност;

- предложен е алгоритъм за подобряване на характеристиките на сензорите чрез обработка на сигналите на базата на уейвлет преобразуване на база на предложени метод;

- разработена е измервателна система на базата на четирисензорна структура от инерциални сензори за експериментално изследване на параметрите на структурата с възможност за изследване на синхронния и асинхронен режимите на работа на структурата;

- извършен е сравнителен анализ на резултатите от индивидуален сензор и четирисензорна структура от инерциални сензори по отношение на шумовите параметри на базата на честотен анализ и анализ на дисперсията на Алън;

- разработена е система за експериментално изследване на работата на разработения алгоритъм на Калманов филтър в статични и динамични условия, като са определени изрази, които характеризират двете състояния;

- разработена е система за анализ на динамиката по метода на вибрационния стенд с MEMS сензори, която позволява определяне на относителното преместване между отделни детайли в субмилиметровия диапазон, а при сравнителния анализ на теоретично измерената хлабина с резултатите от системата в границите $0.6 \div 1.0 \text{ mm}$, грешката при определяне на хлабината е в рамките на $\pm 0.1 \text{ mm}$;

- разработени са инерциални системи за контрол и управление на двигатели за определя на състоянието им на база на времеви и честотен анализ на вибрациите, предизвикани от неуравновесените инерциални сили, като получената оценка се базира на сравнение на записани вибродиаграми на изправен и неизправен двигател;

- разработени са хардуер и софтуер на инерциални системи за контрол на движението и управление на автомобили, базирани на Калманов филтър, за определяне на пространственото положение с приложение в пасивни и активни системи за контрол на стабилността; - разработени са хардуер и софтуер на инерциални системи за оценка на въздействието на автомобилния транспорт върху околната среда, които позволяват интегриране на допълнителни сензори, като сензор за фини прахови частици (ФПЧ) или електрохимични сензори за мониторинг на отделените токсични газове, позволяващи да се установи връзка между ускоренията на автомобила и отделените ФПЧ и/или отделените токсични газове;

- разработен е хардуер и софтуер на инерциален модул за мултипротоколна мрежа и алгоритъм за работа на основния (master) сензор;

- предложен е алгоритъм за измерване и оценяване на движението на железният път, който позволява анализ на динамиката на движение в реално време и откриване на компрометирани участъци от железния път на базата на предложени метод;

- разработена е инерциална система за изследване на взаимодействието железен път - возило и за измерване и оценяване на движението на железния път,

която позволява анализ на динамиката на движение в реално време, откриване на компрометирани участъци от железния път и мониторинг на допустимите ускорения при движение на подвижния състав за постигане на необходимия комфорт при превоз на пътници съгласни изискванията на стандартите на ЕС (с издадено Свидетелство за полезен модел №5143/27.10.2020г.);

- разработена е инерциална система за измерване и анализ на състоянието на градски железопътни линии на база динамиката на движение, както и алгоритъм за обработка на данните, на основата на която може да се определи нивото на вибрациите на пода на трамвайна мотриса и да се направи оценка за комфорта на правостоящите пътници на базата на съществуващите стандарти в ЕС.

Постигнатите резултати и представените приноси в дисертационния труд се потвърждават и на основата на тяхната апробация чрез достатъчния брой цитирания в Scopus (36) и точки (210), при минимални изисквания за точки (100) в научни издания и отпечатани части от труда в международни реферирани и индексирани списания, в сборници с доклади от научни конференции, участие в пет научно-изследователски проекта (в два от които като ръководител е доц. д-р инж. Росен Милетиев) и една заявка за патент (№ 112730).

6. Оценка на степента на личното участие на докторанта в приносите

Описаните по-горе научни и научно-приложни приноси фигурират в достатъчната по обем и съдържание публикационна дейност на авторът. Те са популяризирани в подходящи и утвърдени в областта на дисертацията научни форуми, което означава, че резултатите от дисертацията са придобили съответната популярност и признание в научните среди. В тази връзка и личното участие на авторът в приносите се проявява и е неоспоримо и потвърдено от наличието на 37 публикации.

7. Преценка на публикациите по дисертационния труд

Основните постижения в дисертационния труд са популяризирани в 37 научни публикации. Публикациите по дисертационния труд са разпределени по следния начин: в рецензирани научни списания – 13; доклади на научни конференции в 24. Научните публикации в издания на реферирани и индексирани в световноизвестни бази данни с научна информация са 10 броя. Всички публикации са с теоретично и приложно значение, свързани са с дисертацията и с професионалното направление 5.3. Комуникационна и компютърна техника. Приемам публикационната дейност като напълно достатъчна по обем, на високо научно ниво и популяризирана в достатъчна степен в национален и международен научен план.

Правилната преценка на публикациите по дисертационния труд е извършена чрез прецизно сравнение на утвърдените (ППРАСРБ Приложение 1.) в таблица „Минимални национални изисквания“ за придобиване на образователната и научна степен „доктор на науките“ с представената справка за приносите от доц. д-р инж. Росен Милетиев. Резултатите от това сравнение потвърждават напълно, въз основа на следната последователност при

анализиране на представения доказателствен материал в документите по настоящата процедура, изпълнението на минималните национални изисквания, както следва: Списък А: минимален брой точки – **150** (за „доктор” – 50 т., за „доктор на науките” – 100 т., – общо **150 точки**); Списък Г: минимален брой точки – **100** (37 публикации – общо **142 точки**); Списък Д: минимален брой точки – **100**. Представени са 36 бр. – общо **210 точки**.

Представените за настоящия конкурс 37 научни публикации са само част от общата значителна по обем научна продукция на доц. д-р инж. Росен Милетиев, което определено дава основание за отлична оценка при определянето на общата характеристика на научно-изследователската и научно-приложната му дейност.

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

Дисертационният труд съдържа множество практически решения на разработваните теоретично методи, алгоритми и системи за определяне на ориентацията и състоянието на подвижни обекти на базата на MEMS инерционни сензори. Това несъмнено дава реално основание и доказва наличието на използване на резултатите от дисертационния труд в научната и социалната практика и допълнително се потвърждава от представения в дисертационния труд списък за участие в пет научно-изследователски проекта (в два от които като ръководител е доц. д-р инж. Росен Милетиев) и една заявка за патент (№ 112730).

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

Оформянето на автореферата е в съответствие с изискванията и напълно съдържа най-важните и съществени теоретични и практически постижения в дисертацията, което показва неговата адекватност със съдържанието на дисертационния труд.

10. Мнения, препоръки и бележки

Окончателното оформление на дисертационния труд е изключително прецизно и напълно в съответствие с изискванията в научно и редакционно отношение. В него са отстранени всички пропуски и неточности, забелязани в първоначалната редакция на дисертацията и отразени в моето мнение, представено на предварителната вътрешна защита на дисертацията. Напълно излишно е представянето на незначителни редакционни забележки, които винаги може да се допуснат в такъв обемист научен труд като дисертация за научната степен „доктор на науките”.

Моите колегиални пожелания към доц. д-р инж. Росен Милетиев са за напълно основателно бъдещо кариерно развитие, което да се основава, както на постигнатите в настоящия дисертационен труд научни резултати, така и на

несъмнено реалната възможност те да бъдат развити в научни проекти, нови научни публикации като автор и ръководител на млади учени и докторанти.

11. Заключение

Считам, че общата положителна оценка на теоретичните и практически резултати, постигнати при разработката на настоящия дисертационен труд, дефинирани като научни и научно-приложни приноси, отразени в достатъчен на брой научни публикации и в подходящи научни списания и конференции, са напълно достатъчно основание за ясно положително заключение относно високата научна квалификация на автора на дисертацията и неговите потвърдени в дисертационния труд качества на изявен учен в избраната от него научна област. Затова считам за напълно основателно присъждането на научната степен "доктор на науките" на доц. д-р Росен [REDACTED] Милетиев в професионалното направление **5.3. Комуникационна и компютърна техника** по научна специалност **„Автоматизирани системи за обработка на информация и управление (в комуникациите)“**.

Дата: 28.06.2026 г.

Рецензент:

проф. д-р Александър [REDACTED] Бекярски

REVIEW

for a dissertation for the degree of Doctor of Science in the scientific specialty:

"Automated Information Processing and Management Systems (in Communications)"

in the professional field:

5.3. Communication and Computer Engineering

Author of the dissertation:

Assoc. Prof. Dr. Eng. Rosen [redacted] Miletiev

Topic of the dissertation:

Methods, algorithms and systems for determining the orientation and state of moving objects based on MEMS inertial sensors

Prepared by the review: Prof. Dr. Eng. Alexander [redacted] Bekyarski

1. Relevance of the problem developed in the dissertation in scientific and scientific-applied terms

The topic of the presented dissertation "Methods, algorithms and systems for determining the orientation and state of moving objects based on MEMS inertial sensors" can be defined on the one hand as existing and relevant from the moment of the emergence of the need to determine the orientation of moving objects for the purpose of their control, and on the other hand due to the constant development and miniaturization of inertial sensors, representatives of which are MEMS sensors, leading to a significant reduction in the size of orientation systems and navigation, combined with increasing accuracy and reliability.

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

A real idea of the degree of knowledge of the state of the problem and creative interpretation of the literary material can be obtained from the creative interpretation of the literary material in Chapter 1 of the dissertation, where, based on a review and thorough critical analysis of numerous (197) and currently relevant scientific publications, closely related to the topic of the dissertation, the goals and objectives of the dissertation are defined very precisely and correctly.

3. Compliance of the selected research methodology and the set goal and objectives of the dissertation with the achieved contributions

I believe that there is full compliance of the selected research methodology and the set goal and objectives of the dissertation. This correspondence should be sought in the completely justified defined significance and necessity in scientific and scientific-applied terms of research in the field of problems in the use of MEMS inertial sensors for the purpose of determining the orientation and current state of moving objects. This statement of mine fully coincides with the adopted correct approach, through which

Assoc. Prof. Dr. Eng. Rosen Miletiev has formulated very specifically and precisely the goal and tasks in his dissertation work, as follows:

Purpose of the dissertation: Analysis and synthesis of new approaches, methods and algorithms for improving the parameters of MEMS inertial sensors, increasing the quality of data received from sensor systems and developing systems for determining the orientation and state of moving objects based on MEMS inertial sensors.

This goal is achieved by formulating and implementing the following tasks:

1. Analysis of existing MEMS inertial sensors, including their basic architecture, study of their main characteristics and the accuracy of low-cost sensors used to measure linear and angular accelerations, models for their analysis and methods for their compensation.
2. Development of methods and algorithms for improving the characteristics of MEMS inertial sensors.
3. Development of methods and algorithms for systems based on MEMS inertial sensors for determining orientation in space.
4. Development of methods and algorithms for systems based on MEMS inertial sensors for analyzing the dynamic state of moving objects, their subsystems, as well as the state of the road network in the field of road and rail transport.
5. Creation of prototypes of information and communication systems based on MEMS inertial sensors and their testing in real conditions, as well as testing of algorithms and programming environments for information processing.

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

The dissertation is 327 pages long. The realization of the correctly set goal and relevant tasks of the dissertation is the subject of the following chapters of the dissertation, between which consistency in the exposition, logical connection and methodicality in presenting the new important, regarding the contributions of the dissertation, theoretical and practical solutions in the field of the dissertation's topic have been achieved.

In Chapter 2 "Methods and algorithms for improving the characteristics of MEMS inertial sensors", hardware methods for improving the characteristics and methods for improving the characteristics through wavelet signal processing and through adaptive filters are presented, and a theoretical analysis, experimental research and comparative analysis have been conducted.

In the third chapter of the dissertation "Research and development of systems based on MEMS inertial sensors for determining orientation in space", the coordinate systems and transformations for determining spatial orientation are defined. A description of Euler angles in systems with MEMS sensors is presented. Orientation determination with MEMS inertial sensors and determination of spatial position by means of a complimentary filter are performed.

In the fourth chapter of the dissertation "Research and development of systems based on MEMS inertial sensors for determining the dynamic state in road transport", a multi-protocol network of inertial sensors is proposed. The dynamics of movement and diagnostic methods in road transport are studied. Inertial systems for engine control and

management and for traffic control and management are presented. Inertial systems for assessing the impact of road transport on the environment are proposed. In chapter five, "Inertial systems for studying traffic dynamics and for diagnostics in railway transport", methods for measuring the railway track and a measuring system based on MEMS inertial sensors are proposed. An algorithm for processing data from inertial sensors and an inertial system for measuring and analyzing the condition of urban railway lines based on traffic dynamics are proposed. A study and assessment of vibrations in a tram car is carried out.

5. Scientific and/or scientific-applied contributions of the dissertation work

The main results achieved in this dissertation work are summarized and presented in the form of the following contributions:

Scientific contributions:

- methods for compensating for the zero offset of inertial sensors by using additional sensors, such as magnetometers, as well as an algorithm for determining the error from the zero offset or by estimating the total acceleration of the object, the comparative analysis performed shows that dynamic compensation significantly reduces the deviation compared to static compensation;
- a method for improving the characteristics of inertial sensors based on the implementation of a four-sensor structure of such sensors with appropriate orientation of their axes, with theoretical dependencies for the dispersion and standard deviation of the resultant accelerations, confirmed by simulation and experiment;
- specific operating modes of the four-sensor structure in synchronous and asynchronous operating modes are proposed, which lead to an improvement in parameters compared to a single inertial sensor, such as: reducing noise characteristics in synchronous mode, increasing the sampling frequency by 4 times in asynchronous mode with uniform sampling and the possibility of frequency analysis above the Nyquist frequency in asynchronous mode with non-uniform sampling;
- a method for improving the characteristics of sensors by processing signals based on wavelet transformation is proposed, considering the choice of the decomposition level, the choice of a method for calculating the threshold value and the choice of a method for applying the calculated threshold value;
- a Kalman filter model for determining the spatial location of objects is developed, it is experimentally verified with a specialized setup and when compared with similar models of widely used sensors, it is proven that the model is correct, applicable and works successfully both when using Euler angles and quaternions;
- a complementary filter structure for determining the spatial location of objects is proposed, which allows modeling of physical processes more accurately compared to the structure determining the spatial position only based on the data for the linear acceleration sensor;
- a structure of a multi-protocol network of inertial sensors with serial or parallel connection of the sensors is proposed, expressions for the maximum number of connected sensors, as well as for the maximum data transmission speed over the

network, are derived, and the dependence $B(n)$ is presented in tabular form, and the inverse dependence $n(B)$ is also derived;

- a method and methodology for diagnosing the suspension of cars by forced oscillations is proposed with an assessment of the damping time, the rate of oscillation damping, the main dominant frequencies and their amplitudes, the dependence of the determined frequencies and amplitudes depending on the state of the object under study, determination of the speed, displacement of the elements and an integral assessment of the state of the system based on STFT analysis and the time-frequency distribution with wavelet packets, and expressions for the damping coefficient of the oscillations and, respectively, for its reciprocal value, which determines the rate of change of the oscillation frequency, are derived;

- a method for measuring and assessing the movement of the railway track is proposed, which allows for the analysis of the dynamics of movement in real time and the detection of compromised sections of the railway track.

Scientific and applied contributions:

- an algorithm for applying the method by estimating the total acceleration of the object to compensate for the zero offset has been proposed;

- the noise characteristics of MEMS inertial sensors of different classes and generations have been determined by statistical analysis and by Allen dispersion, and non-zero offset and its instability have been analyzed;

- an algorithm for improving the characteristics of the sensors has been proposed by processing the signals based on wavelet transform based on the proposed method;

- a measuring system has been developed based on a four-sensor structure of inertial sensors for experimental study of the parameters of the structure with the possibility of studying the synchronous and asynchronous modes of operation of the structure;

- a comparative analysis of the results of an individual sensor and a four-sensor structure of inertial sensors in terms of noise parameters has been performed based on frequency analysis and Allen dispersion analysis;

- a system for experimental study of the operation of the developed Kalman filter algorithm in static and dynamic conditions has been developed, and expressions have been determined that characterize both states;

- a system for analyzing dynamics using the vibration bench method with MEMS sensors has been developed, which allows determining the relative displacement between individual parts in the submillimeter range, and in the comparative analysis of the theoretically measured clearance with the results from the system within the range of 0.6÷1.0 mm, the error in determining the clearance is within ± 0.1 mm;

- inertial systems for engine control and management have been developed to determine their condition based on time and frequency analysis of vibrations caused by unbalanced inertial forces, with the resulting assessment being based on a comparison of recorded vibrograms of a working and faulty engine;

- hardware and software of inertial systems for motion control and vehicle control, based on the Kalman filter, have been developed to determine the spatial position with application in passive and active stability control systems; - hardware and software of

inertial systems for assessing the impact of road transport on the environment have been developed, which allow the integration of additional sensors, such as a fine particulate matter (PM) sensor or electrochemical sensors for monitoring the released toxic gases, allowing to establish a connection between the accelerations of the vehicle and the released PM and/or released toxic gases;

- hardware and software of an inertial module for a multi-protocol network and an algorithm for the operation of the main (master) sensor have been developed;
- an algorithm for measuring and assessing the movement of the railway track has been proposed, which allows for the analysis of the dynamics of movement in real time and the detection of compromised sections of the railway track based on the proposed method;
- an inertial system has been developed for studying the railway-vehicle interaction and for measuring and assessing the movement of the railway, which allows for analysis of the dynamics of movement in real time, detection of compromised sections of the railway and monitoring of the permissible accelerations during the movement of the rolling stock to achieve the necessary comfort in the transportation of passengers in accordance with the requirements of EU standards (with the issued Certificate of Utility Model No. 5143/27.10.2020);
- an inertial system has been developed for measuring and analyzing the condition of urban railway lines based on the dynamics of movement, as well as a data processing algorithm, on the basis of which the level of vibrations on the floor of a tram car can be determined and the comfort of standing passengers can be assessed based on existing EU standards.

The achieved results and the presented contributions in the dissertation are also confirmed on the basis of their approbation through the sufficient number of citations in Scopus (36) and points (210), with minimum requirements for points (100) in scientific publications and printed parts of the work in international refereed and indexed journals, in collections of reports from scientific conferences, participation in five scientific research projects (in two of which Assoc. Prof. Dr. Eng. Rosen Miletiev is the head) and one patent application (No. 112730).

6. Assessment of the degree of personal participation of the doctoral student in the contributions

The scientific and scientific-applied contributions described above appear in the author's publication activity, which is sufficient in volume and content. They have been popularized in appropriate and established scientific forums in the field of the dissertation, which means that the results of the dissertation have gained the corresponding popularity and recognition in scientific circles. In this regard, the author's personal participation in the contributions is evident and is undeniable and confirmed by the presence of 37 publications.

7. Assessment of publications on the dissertation work

The main achievements in the dissertation work have been popularized in 37 scientific publications. Publications on the dissertation work are distributed as follows: in peer-reviewed scientific journals – 13; reports at scientific conferences – 24. Scientific

publications in refereed and indexed editions in world-renowned databases with scientific information are 10. All publications are of theoretical and applied importance, are related to the dissertation and the professional field 5.3, Communication and computer technology. I accept the publication activity as completely sufficient in volume, at a high scientific level and popularized to a sufficient extent in national and international scientific terms.

The correct assessment of the publications in the dissertation work was carried out by a precise comparison of the approved (PPRASRB Appendix 1.) in the table "Minimum national requirements" for acquiring the educational and scientific degree "Doctor of Sciences" with the submitted report on the contributions by Assoc. Prof. Dr. Eng. Rosen Miletiev. The results of this comparison fully confirm, based on the following sequence when analyzing the presented evidentiary material in the documents under this procedure, the fulfillment of the minimum national requirements, as follows: List A: minimum number of points - 150 (for "Doctor" - 50 points, for "Doctor of Sciences" - 100 points, - total 150 points); List D: minimum number of points - 100 (37 publications - total 142 points); List E: minimum number of points - 100. 36 publications were submitted - total 210 points.

The 37 scientific publications submitted for this competition are only part of the total significant scientific output of Assoc. Prof. Dr. Eng. Rosen Miletiev, which definitely gives grounds for an excellent assessment in determining the general characteristics of his scientific research and scientific-applied activities.

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

The dissertation contains numerous practical solutions to the theoretically developed methods, algorithms and systems for determining the orientation and state of moving objects based on MEMS inertial sensors. This undoubtedly provides a real basis and proves the existence of the use of the results of the dissertation in scientific and social practice and is additionally confirmed by the list of participation in five scientific research projects (in two of which Assoc. Prof. Dr. Eng. Rosen Miletiev is the leader) and one patent application (No. 112730).

9. Assessment 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 work

The design of the abstract is in accordance with the requirements and fully contains the most important and essential theoretical and practical achievements in the dissertation, which shows its adequacy with the content of the dissertation work.

10. Opinions, recommendations and notes

The final design of the dissertation work is extremely precise and fully in accordance with the requirements in scientific and editorial terms. It has eliminated all the omissions and inaccuracies noticed in the initial edition of the dissertation and reflected in my opinion, presented at the preliminary internal defense of the dissertation. It is completely unnecessary to present minor editorial remarks, which can always be

allowed in such a voluminous scientific work as a dissertation for the scientific degree of "Doctor of Sciences".

My collegial wishes to Assoc. Prof. Dr. Eng. Rosen Miletiev are for a completely justified future career development, which will be based both on the scientific results achieved in this dissertation work, and on the undoubtedly real possibility of their development in scientific projects, new scientific publications as an author and supervisor of young scientists and doctoral students.

11. Conclusion

I believe that the overall positive assessment of the theoretical and practical results achieved in the development of this dissertation work, defined as scientific and scientific-applied contributions, reflected in a sufficient number of scientific publications and in appropriate scientific journals and conferences, are fully sufficient grounds for a clear positive conclusion regarding the high scientific qualification of the author of the dissertation and his confirmed in the dissertation work qualities of a prominent scientist in his chosen scientific field. Therefore, I consider it completely justified to award the scientific degree "Doctor of Science" to Assoc. Prof. Dr. Rosen Miletiev in the professional field 5.3. Communication and computer technology in the scientific specialty "Automated information processing and management systems (in communications)".

Date: 28.06.2026

Reviewer: [redacted]

(Prof. Dr. Alexander [redacted] Bekyarski)